



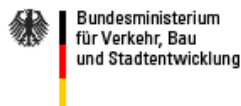
Globale und regionale räumliche Verteilung von Biomassepotenzialen

Anhang I - Regionale Biomassepotenziale

(FKZ: SF – 10.08.36.2)

DBFZ:
Ulrike Seyfert
Marcel Buchhorn
Katja Bunzel
Claudia Held
Dr. Daniela Thrän

gefördert durch:



begleitet durch:

Bundesinstitut für
Bau-, Stadt- und
Raumforschung
(BBSR) im




Bundesamt
für Bauwesen und
Raumordnung

März 2010

Zuwendungsgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

Invalidenstraße 44
D-10115 Berlin

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

Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn

Zuwendungsnehmer: Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH (DBFZ)

Torgauer Straße 116
04347 Leipzig

Tel.: +49-341 2434-112

Fax: +49-341 2434-133

E-Mail: info@dbfz.de

in Kooperation mit: Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.

Institut für Sozioökonomie
Eberswalder Straße 84
15374 Müncheberg

Tel.: +49 33432 82207

Fax: +49 33432 82308

**und: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD)**

Abteilung DFD-KA
Oberpfaffenhofen
D-82230 Weßling

und: Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre (ILB)

Universität Hohenheim
Schloss, Osthof-Süd
70599 Stuttgart

und: Johann Heinrich von Thünen Institut (vTI)

Bundesforschungsinstitut für ländliche Räume, Wald und Fischerei

Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft
Leuschnerstr. 91
21031 Hamburg

Alleingesellschafterin des DBFZ Deutsches BiomasseForschungsZentrum gemeinnützige GmbH ist die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV).

Aufsichtsrat:
Dr. Rainer Gießübel, BMELV, Vorsitzender
Reinhard Kaiser, BMU, stellvertr. Vorsitzender
Anita Domschke, SMUL
Dr. Bernd Rittmeier, BMVBS
Karl Wollin, BMBF

Geschäftsführung:
Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt (wiss.)
Daniel Mayer (admin.)

Handelsregister: Amtsgericht Leipzig HRB 23991
Sitz und Gerichtsstand Leipzig
Steuernummer: 232/124/01072
Ust.-IdNr. DE 259357620
Deutsche Kreditbank AG
Konto-Nr.: 1001210689
BLZ 120 300 00

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
2	Landwirtschaftliche Biomassen	1
2.1	<i>Methodik</i>	<i>2</i>
2.1.1	Datengrundlage	2
2.1.2	Potenziale 2007	3
2.1.3	Szenarien	4
2.1.4	Grünlandaufwuchs	6
2.2	<i>Ergebnisse</i>	<i>7</i>
2.3	<i>Diskussion.....</i>	<i>10</i>
2.4	<i>Berücksichtigung von Nutzungseinschränkungen beim Energiepflanzenanbau ..</i>	<i>10</i>
2.4.1	Hintergrund	10
2.4.2	Annahmen für die Szenarien.....	16
2.4.3	Ergebnisse	18
3	Forstwirtschaftliche Biomassen	19
3.1	<i>Methodik</i>	<i>21</i>
3.1.1	Ermittlung des Potentials des statisch erfassten Einschlages.....	21
3.1.2	Ermittlung des Potentials des nicht statistisch erfassten Einschlages.....	23
3.1.3	Ermittlung des Potentials des ungenutzten Zuwachses	24
3.2	<i>Ergebnisse</i>	<i>26</i>
3.2.1	Diskussion.....	31
4	Reststoffe	32
4.1	<i>Landwirtschaftliche Reststoffe</i>	<i>32</i>
4.1.1	Stroh	32
4.1.2	Exkrememente aus der Nutztierhaltung	36
4.2	<i>Sonstige Reststoffe</i>	<i>40</i>
4.2.1	Bio- und Grünabfälle	40
4.2.2	Industrierestholz.....	45
4.2.3	Altholz	51
5	Zusammenfassung Technische Brennstoffpotenziale	58
6	Schlussfolgerungen.....	62
6.1	<i>Zusammenfassung - Studien regionale Biomassepotenziale.....</i>	<i>63</i>
7	Übersichtsblätter regionale forstwirtschaftliche Biomassen und regionale Reststoffe	69

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
atro	Absolute Trockenmasse
AVV	Abfallschlüssel
B	Szenario „Bioenergie“
BAU	Szenario „Business as usual“
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BHKW	Blockheizkraftwerk
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BtL	Biomass to Liquid
B & U	Szenario „Bioenergie mit verstärkten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“
BWI ²	Bundeswaldinventur 2
d.h.	das heißt
dt	dezitonne
Efm	Erntefestmeter
EJ	Exajoule
EW	Einwohner
FFH	Flora-Fauna-Habitat
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
Gl.	Gleichung
GIS	Geoinformationssystem
GPS	Getreideganzpflanzensilage
GVE	Großvieheinheiten
ha	Hektar
HBA	Hauptbaumarten
HKW	Heizkraftwerk
HHKW	Holz-Heizkraftwerk
inkl.	inklusive
J	Joule
j.	jährlich
KUP	Kurzumtriebsplantagen
kW	Kilowatt
ffd.	laufend
LSG	Landschaftsschutzgebiet
lutro	Lufttrocken
Mio.	Millionen
MW	Megawatt
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe

NSG	Naturschutzgebiet
PJ	Petajoule
SPA	Vogelschutzgebiet
t	Tonne
Tab.	Tabelle
TM	Trockenmasse
TP 2	Teilprojekt 2
u. a.	unter anderem
Vfm	Vorratsfestmeter
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WSG	Wasserschutzgebiet
z. B.	zum Beispiel

1 EINLEITUNG

Im Rahmen des Projektes werden in Teilprojekt 1 die Biomassepotenziale in Deutschland auf regionaler Ebene untersucht. Bestimmt werden die technischen Brennstoffpotenziale der landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Biomassen sowie von Reststoffen. Zu den landwirtschaftlichen Biomassen zählen Energiepflanzen aus dem Ackerbau und Grünland und aus einer nachhaltigen Forstwirtschaft stammen holzartige Biomassen. Reststoffe sind Stroh, tierische Exkrementen sowie Bio- und Grünabfälle und Reststoffe aus der Holzverarbeitenden Industrie und Altholz.

Das Potenzial wird für das Jahr 2007 ermittelt und Szenarien für 2020 entwickelt. Die Szenarien sollen verschiedene Entwicklungsmöglichkeiten aufzeigen und das daraus resultierende Potenzial darstellen. Es werden drei Szenarien entwickelt, die mögliche Entwicklungen des Potenzials darstellen.

2 LANDWIRTSCHAFTLICHE BIOMASSEN

Zu den landwirtschaftlichen Biomassen werden im Rahmen dieses Projektes ausschließlich die Energiepflanzen aus dem landwirtschaftlichen Anbau und das Grünland gezählt.

Energiepflanzen gehören zu den nachwachsenden Rohstoffen und werden ausschließlich für eine energetische Nutzung angebaut, d.h. sie liefern Biomasse zur Strom- und Wärmeenergieerzeugung sowie zur Herstellung von Kraftstoffen. Nach der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) zählt Biomasse zu den Energiepflanzen, wenn sie:

- nachhaltig produziert werden kann,
- lagerfähig ist,
- die fossilen Ressourcen schont und
- die Abhängigkeit von Energieimporten reduziert /23/.

Hierzu zählen auch die etablierten landwirtschaftlichen Kulturen wie Weizen, Hafer, Roggen oder Kartoffeln. Diese können neben der Nutzung für die menschliche und tierische Ernährung auch energetisch verwertet werden. Eine denkbare Nutzung wäre die Vergärung zu Bioethanol oder die Herstellung von Biogas in Biogasanlagen. Andere Kulturen, die sich für eine energetische Nutzung eignen, sind Raps, Silomais und Energieholz aus Kurzumtrieb. Dabei kann das Öl aus der Rapssaat für die Produktion von Biodiesel eingesetzt werden. Auf Kurzumtriebsplantagen werden schnellwachsende Baumarten wie Pappel und Weide angebaut. Diese werden nach drei bis vier Jahren geerntet und können in Heizkraftwerken zur Wärme- und Strombereitstellung eingesetzt werden. Mittel- bis langfristig wird dieses Biomassepotenzial aber auch als aussichtsreicher Rohstoff für die BtL- Kraftstoffproduktion gesehen.

Die Bestimmung des technischen Brennstoffpotenzials für Energiepflanzen erfolgt für das Jahr 2007. Für 2020 werden drei Szenarien entwickelt, welche die möglichen zukünftigen Entwicklungen abhängig von verschiedenen Annahmen darstellen. Das Szenario „Business as usual“ (BAU) führt die aktuelle Entwicklung bezüglich Landnutzungsänderungen, der landwirtschaftlichen Entwicklung und Bevölkerungsentwicklung bis 2020 fort. Im „Bioenergie“-Szenario (B) hingegen soll eine verstärkte energetische Nutzung forciert werden, indem die Annahmen verändert werden. So führt beispielsweise die Annahme einer erhöhten Investitionsbereitschaft in der Landwirtschaft

zu größeren Ertragsfortschritten bis 2020. Auch werden verstärkt die Kulturen mit den höchsten Erträgen angebaut. Das dritte Szenario „Bioenergie mit verstärkten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ (B & U) schließlich stellt eine Modellwelt dar, in der die Bedeutung des Natur- und Umweltschutzes stärker betont wird.

Neben den Energiepflanzen wird auch Grünland in die Betrachtungen zu den Potenzialermittlungen mit einbezogen. Hier können zwei Arten von Grünland unterschieden werden: Wirtschaftsgrünland, das möglichst hohe Erträge erzielen soll, und Grünland mit Landschaftspflegecharakter, das dem Erhalt der Landschaft und dem Umweltschutz dient /34/. Von beiden Flächenarten wird Grasschnitt geerntet, der zu großen Teilen als Futter für die Tierhaltung oder als Rohstoff für die Biogasproduktion genutzt werden kann. Die Potenziale von Grünland werden für das Jahr 2020 bestimmt.

In den nachfolgenden Abschnitten sollen nun die Methodik und die Ergebnisse der Potenzialbestimmungen dargestellt werden.

2.1 Methodik

2.1.1 Datengrundlage

Zur Berechnung von Biomassepotenzialen in Deutschland für die einzelnen Bundesländer auf Kreisebene werden folgende Daten verwendet:

- Landwirtschaftliche Statistiken
- Boden- und Klimadaten

Diese Daten liegen insgesamt auf Kreisebene vor. Die landwirtschaftlichen Statistiken werden durch die statistischen Landesämter zur Verfügung gestellt und beinhalten Daten zur landwirtschaftlich genutzten Fläche. Diese werden unterteilt in Ackerfläche, Grünlandfläche und Brachfläche. Neben den allgemeinen Flächenangaben werden Statistiken über die Anbauflächen der relevanten Fruchtarten¹ sowie deren Hektarerträge und Erntemengen erfasst. Die Hektarerträge sind für die Jahre 2000 bis 2007 erfasst. Daraus werden die mittleren Hektarerträge der jeweiligen Fruchtart in den Kreisen gebildet. Diese Daten stehen allerdings nur für die etablierten Fruchtarten wie Getreide zur Verfügung, da KUP momentan nur auf sehr kleinen Flächen und teils versuchsweise angebaut wird und daher noch nicht in den Statistiken aufgenommen wurde.

Um die Erträge von KUP in den einzelnen Landkreisen abschätzen zu können, werden daher Daten zu den Böden in den einzelnen Landkreisen verwendet, die durch das Julius-Kühn-Institut zur Verfügung gestellt werden. Diese beinhalten Bodengütedaten für Deutschland basierend auf der Karte „Leitbodenarten Deutschlands“ von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) erstellt. Da diese noch keine Niederschlagswerte beinhalten, fließen auch diese mit in die Arbeit ein. Diese enthalten die Mittelwerte der Niederschläge in der Vegetationsperiode von März bis August auf Gemeindeebene. Da diese Arbeit sonst auf statistischen Daten auf Kreisebene basiert, werden auch die Boden- und Niederschlagswerte auf Kreisebene umgerech-

1 Zu den Fruchtarten, die nachfolgend als Energiepflanzen bezeichnet werden zählen: Weizen, Roggen, Winter- und Sommergerste, Triticale, Winterraps, Silomais, Zuckerrüben, Kartoffeln, Sonnenblumen, Getreideganzpflanzen sowie Weide und Pappel aus Kurzumtrieb.

net. Aus dieser Datengrundlage ergeben sich einige wenige Standorte, die besonders günstig für die Landwirtschaft und damit auch für den Energiepflanzenanbau sind. Die Region um die Magdeburger Börde und Nordwestsachsen zeichnet sich durch hervorragende Böden mit Bodenzahlen von bis zu 70 aus, was eine gute Grundlage für hohe Erträge darstellt.

Als weitere Grundlage werden Daten zu den Naturschutzgebieten in den einzelnen Landkreisen eingesetzt. Diese werden durch die zuständigen Ämter der entsprechenden Bundesländer bereitgestellt.

Als Grundlage zur Ermittlung des technischen Brennstoffpotenzials von Grünland werden die nationalen Berechnungen aus Teilprojekt 2 zu den Grünlandflächen verwendet. Diese geben die zusätzlich frei werdenden Grünlandflächen zwischen den Jahren 2007 und 2020 an. Die Grünlandflächen, die bereits 2007 für die Produktion von Grünlandaufwuchs für die energetische Nutzung verwendet werden, können an dieser Stelle nicht erfasst werden, da hierzu keine Daten vorliegen.

2.1.2 Potenziale 2007

Zur Bestimmung der aktuellen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) und der Ackerfläche zur Produktion von Biomasse (siehe Gl. 1) muss zunächst ermittelt werden, in welchem Umfang die Fruchtarten energetisch genutzt werden. Hierzu werden Annahmen getroffen, basierend auf internen Erhebungen und Expertenwissen, welcher Anteil der gesamten Anbaufläche für die Produktion von Bioenergie genutzt wird. So wird beispielsweise die auf 73 % der gesamten Rapsanbaufläche (1.120.000 ha /23/) in Deutschland geerntete Rapssaat für die Produktion von Biodiesel genutzt. Dieser Anteil wird für alle Landkreise in Deutschland angewendet, so dass in Landkreisen mit einem hohen Anteil an Rapsanbauflächen auch größere Mengen an Biodiesel produziert werden und damit das Potenzial höher ist, als in Regionen mit geringem Rapsanbau.

$$F_{NawaRo} = AF \cdot f_{eN} \quad \text{Gl. 1}$$

F_{NawaRo} - Fläche zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für eine energetische Nutzung [ha]; AF - Anbaufläche [ha]; f_{eN} - Anteil der produzierten Biomasse an der energetischen Nutzung [%]

Neben dem Anbau von Raps zur Produktion von Biodiesel werden 2007 für eine energetische Nutzung noch Biogassubstrate und Rohstoffe für die Herstellung von Bioethanol angebaut. Zu den Biogassubstraten zählen unter anderem die Energiepflanzen Silomais und Getreideganzpflanzen. Rohstoffe für die Bioethanolherstellung sind vor allem Getreide und Zuckerrüben. Durch Erhebungen des DBFZ ist bekannt, dass 2007 für den Anbau von Biogassubstraten 550.000 ha genutzt werden. Die FNR gibt für den Anbau von Bioethanolrohstoffen eine Fläche von 200.300 ha in Deutschland an /23/. Aus der Mengenverteilung der eingesetzten Rohstoffe für Biogas und Bioethanol kann schließlich auf die Anbauflächen der einzelnen Fruchtarten geschlossen werden. So macht Silomais beispielsweise 78 % des Rohstoffeinsatzes in Biogasanlagen aus. Mit Hilfe des durchschnittlichen Hektarertrages von Silomais kann dann die Anbaufläche von etwa 260.000 ha abgeleitet werden, die 2007 für die energetische Nutzung genutzt wurde. Diese macht einen Anteil von etwa 18 % an der gesamten Silomaisanbaufläche aus. Für alle Landkreise wird nun angenommen, dass 18 % der Silomaisfläche für den Anbau von Biogassubstrat verwendet werden. Diese Methodik wird auch für die anderen Fruchtarten durchgeführt, so dass sich schließlich für 2007 eine Ackerfläche von 1,7 Mio. ha ergibt, auf der nachwachsende

Rohstoffe für energetische Zwecke angebaut werden. Kurzumtriebsplantagen werden 2007 noch nicht berücksichtigt, da die Anbauflächen nur etwa 1.000 ha betragen und vor allem zu Versuchszwecken angelegt wurden.

Sind die Anbauflächen der Fruchtarten bekannt, so kann mit Hilfe der landkreisspezifischen Erträge die Erntemenge berechnet werden (siehe Gl. 2). Berücksichtigt werden hier auch die Anteile der Ackerflächen, die in geschützten Gebieten wie Naturparks und Biosphärenreservaten liegen. Auf diesen Flächen werden Ertragsminderungen angenommen, die durch verringerte Düngung und andere Einschränkungen im Anbau auftreten. In Tab. 1 sind die Annahmen zu den Ertragsminderungen für 2007 sowie für die drei Szenarien dargestellt (siehe auch Abschnitt 2.4).

$$EM = AF \cdot E - NS \quad \text{Gl. 2}$$

EM - Erntemenge [t/a]; AF - Anbaufläche [ha]; E - Hektarertrag [t/ha]; N - Ertragsminderungen durch Naturschutzrestriktionen

Aus den Erntemengen wiederum lassen sich schließlich mit Hilfe der spezifischen Heizwerte die Energieerträge in PJ ermitteln (Gl. 3). Zur Bestimmung des technischen Brennstoffpotenzials von Silomais und Zuckerrüben wird der Ertrag an Biogas ermittelt, der aus den anfallenden Mengen die Menge Biogas bestimmt, die sich aus den Rohstoffen gewinnen lassen.

$$P_B = EM \cdot H_u \quad \text{Gl. 3}$$

P_B - technisches Brennstoffpotenzial [t_{TM}/a]; EM - Erntemenge [t]; H_u - unterer Heizwert [MJ/kg]

Tab. 1: Ertragsminderungen auf Schutzgebieten verschiedener Kategorie

Schutzgebiet	Ertragsminderung			
	2007	BAU	B & U	B
Naturschutzgebiete	Kein Anbau von Energiepflanzen			
Nationalpark	Kein Anbau von Energiepflanzen			
Biosphärenreservate	5 %	5 %	10 %	5 %
Natura 2000-Gebiete	5 %	5 %	10 %	5 %
Landschaftsschutzgebiete	-	-	-	-
Naturpark	-	-	-	-
Wasserschutzgebiet-Zone I	Kein Anbau von Energiepflanzen			
Wasserschutzgebiet-Zone II	5 %	5 %	10 %	5 %
Wasserschutzgebiet-Zone III	2,5 %	2,5 %	5 %	2,5 %
Überschwemmungsgebiete	Keine Berücksichtigung - erst ab 2012 relevant	10 %	Kein Anbau von Energiepflanzen	10 %

2.1.3 Szenarien

Zur Ermittlung der Potenziale für das Jahr 2020 werden drei Szenarien entwickelt, die die mögliche Entwicklung in der Landwirtschaft unter bestimmten Annahmen widerspiegeln. Als Grundlage

werden hier die nationalen Flächenberechnungen aus dem Teilprojekt 2 des Projektes verwendet, welche die zusätzlich zu den im Ausgangsjahr bereits existierenden NawaRo-Flächen frei werdenden Ackerflächen für Deutschland 2020 für die drei Szenarien bereitstellen. So ergibt sich im Szenario „BAU“ eine Ackerfläche von 3,3 Mio. ha für den Anbau von Energiepflanzen. Im Szenario „B“ stehen 3,9 Mio. ha und im Szenario „B & U“ immerhin noch 2,7 Mio. ha zur Verfügung. Auf diesen Flächen können Kulturen für die energetische Nutzung angebaut werden. Die Anteile der einzelnen Fruchtarten an der NawaRo-Fläche werden für die Szenarien unterschiedlich festgelegt. So beträgt der Anteil der Kurzumtriebsplantagen im Szenario „Business as usual“ etwa 10 % der Non-Food-Fläche, im Szenario „Bioenergie“ aber immerhin 30 %, da hier verstärkt Kulturen mit hohen Hektarerträgen angebaut werden sollen. Abb. 1 zeigt die prozentuale Verteilung der Fruchtarten im Jahr 2007 und für die Szenarien von 2020. Dabei wird deutlich, dass vor allem der Anteil der Rapsanbaufläche von 2007 zum Szenario „B & U“ stark abnimmt, während der Anteil der KUP-Fläche deutlich zunimmt.

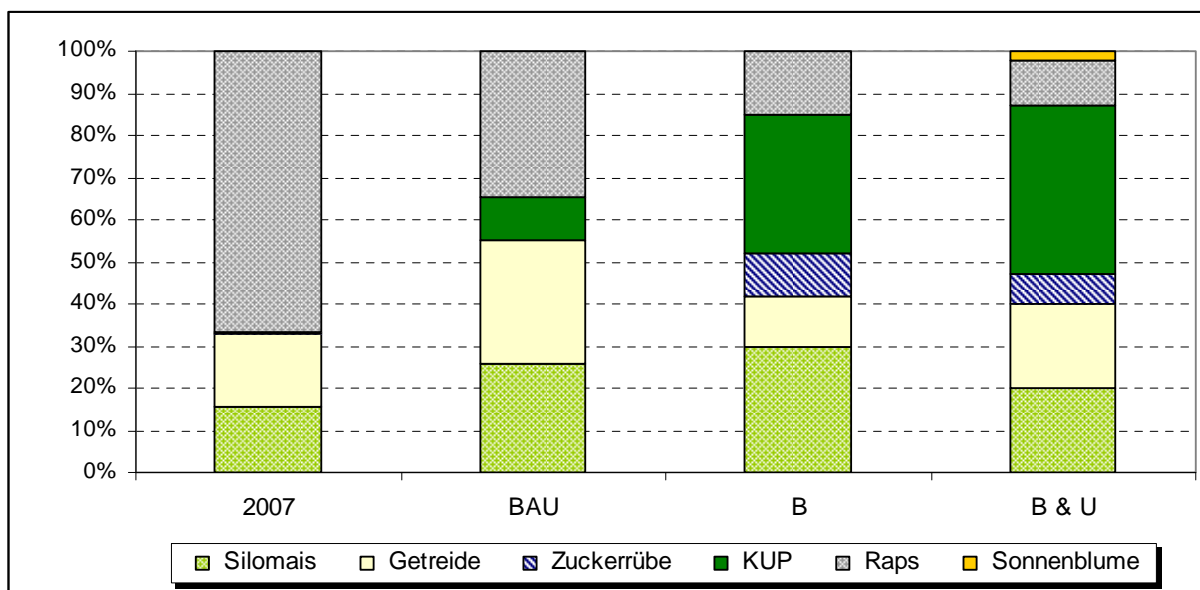


Abb. 1: Prozentuale Verteilung der Fruchtarten auf der Non-Food-Fläche 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: eigene Darstellung)

Zur Berechnung der Erntemengen muss die Anbaufläche mit den spezifischen Erträgen der Fruchtarten verrechnet werden (Gl. 2). Ausgehend von den Durchschnittserträgen wird von verschiedenen Ertragssteigerungen je nach Szenario ausgegangen. Im Szenario „BAU“ wird eine moderate Ertragssteigerung angenommen, die jedoch in den Szenarien „B“ und „B & U“ um 50 % gesteigert wird (siehe Tab. 2). Aus den jährlichen Ertragssteigerungen ergeben sich basierend auf den kreisspezifischen Durchschnittserträgen die Hektarerträge für 2020 (Gl. 4)

$$E_{2020} = E_{2007} \cdot ES \cdot a$$

Gl. 4

E_{2020} - Hektarertrag 2020 [t/ha]; E_{2007} - Hektarertrag 2007 [t/ha]; ES - jährliche Ertragssteigerung [%]; a - Anzahl der Jahre zwischen 2007 und 2020

Tab. 2: Ertragssteigerungen der Fruchtarten in den Szenarien

	BAU	B	B & U
	dt/ha*a	dt/ha*a	dt/ha*a
Getreide	0,65	0,98	0,98
Silomais	8,1	12,1	12,1
Winterraps	0,71	1,1	1,1
Zuckerrüben	8,1	12,1	12,1
KUP	4,3	4,3	4,3
Kartoffel	8,1	12,1	12,1

Mit Hilfe der berechneten Erträge für 2020 werden so nach Gl. 2 die Erntemengen berechnet, unter Berücksichtigung der Ertragsminderungen auf Naturschutzflächen (siehe Tab. 1). Diese Erträge werden analog zum Vorgehen der Potenzialberechnungen für das Jahr 2007 in das technische Brennstoffpotenzial umgerechnet.

2.1.4 Grünlandaufwuchs

Die Grundlage für die Bestimmung des technischen Brennstoffpotenzials von Grünlandaufwuchs ist die Grünlandfläche, die für die Produktion von Grünlandaufwuchs für eine energetische Verwendung eingesetzt werden kann. Dieser Wert wird im Teilprojekt 2 für das Jahr 2020 bestimmt. Da sich aus diesen Berechnungen nur ein Wert für ganz Deutschland ergibt, kann das Potenzial von Grünland nicht regional differenziert bestimmt werden.

Der Ertrag von Grünland wird aufgrund fehlender Angaben an den Hektarertrag von Getreide gekoppelt. So wird zur Bestimmung des Hektarertrages Grünlandaufwuchs der Getreideertrag mit einem Faktor von 0,66 verrechnet (Gl. 5). Das technische Brennstoffpotenzial ergibt sich schließlich aus der Erntemenge von Grünlandaufwuchs (Gl. 6) und dem unteren Heizwert (Gl. 7).

$$E_{GL} = E_{Getr.} \cdot 0,66 \quad \text{Gl. 5}$$

E_{GL} - Hektarertrag von Grünland [t/ha]; $E_{Getr.}$ - Hektarertrag von Getreide [t/ha];

$$EM = GF \cdot E_{GL} \quad \text{Gl. 6}$$

EM - Erntemenge [t/a]; GF - Grünlandfläche [ha]; E_{GL} - Hektarertrag von Grünland [t/ha]

$$P_B = EM \cdot H_u \quad \text{Gl. 7}$$

P_B - technisches Brennstoffpotenzial [t_{TM}/a]; EM - Erntemenge [t]; H_u - unterer Heizwert [MJ/kg]

2.2 Ergebnisse

Die Berechnungen der technischen Brennstoffpotenziale ergeben sehr unterschiedliche Ergebnisse. Abb. 2 zeigt die Erntemengen der einzelnen Fruchtarten für 2007 sowie die drei Szenarien. Dabei wird deutlich, dass Silomais in allen vier Betrachtungen die größten Mengenanteile einnimmt, z. B. können im Szenario „Bioenergie“ 67,3 Mio. t Silomais geerntet werden. Diese großen Mengen sind vor allem durch große Anbauflächen aber vor allem auch aufgrund von sehr hohen Erträgen und Ertragssteigerungen, besonders im Szenario „B“ und „B & U“, möglich.

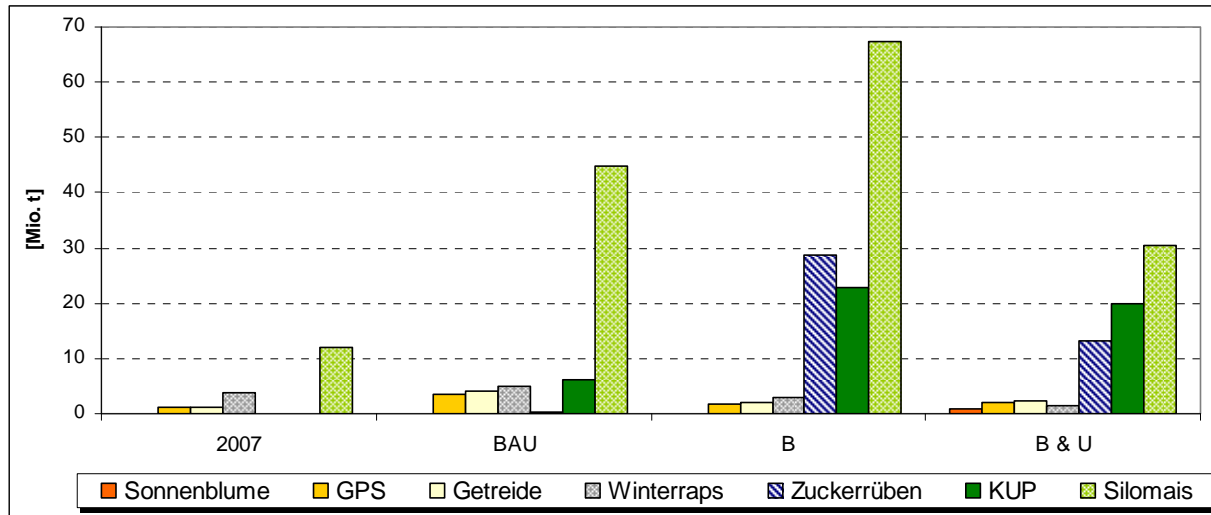


Abb. 2: Erntemengen der betrachteten Energiepflanzen auf den Non-Food-Flächen 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: eigene Berechnungen)

Insgesamt ergeben sich die folgenden technischen Brennstoffpotenziale für Deutschland:

- im Jahr 2007 können aus Energiepflanzen etwa 130 PJ an Energieträgern gewonnen werden,
- für das Szenario „Business as usual“ ergibt sich 2020 ein technisches Brennstoffpotenzial von 420 PJ,
- im Szenario „Bioenergie“ entstehen 790 PJ aus Energiepflanzen und
- im Szenario „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ ergeben die Berechnungen ein technisches Brennstoffpotenzial von 520 PJ.

So ergibt sich eine Steigerung des technischen Brennstoffpotenzials von 2007 bis 2020, die in jedem Szenario klar erkennbar ist (siehe Abb. 3). Diese fällt jedoch im Szenario „Bioenergie“ mit einer Erhöhung des Potenzials um etwa 600 % am deutlichsten aus. Im Szenario „B & U“ ist immerhin noch eine Steigerung um 400 % und im Szenario „BAU“ eine Zunahme von 320 % zu verzeichnen.

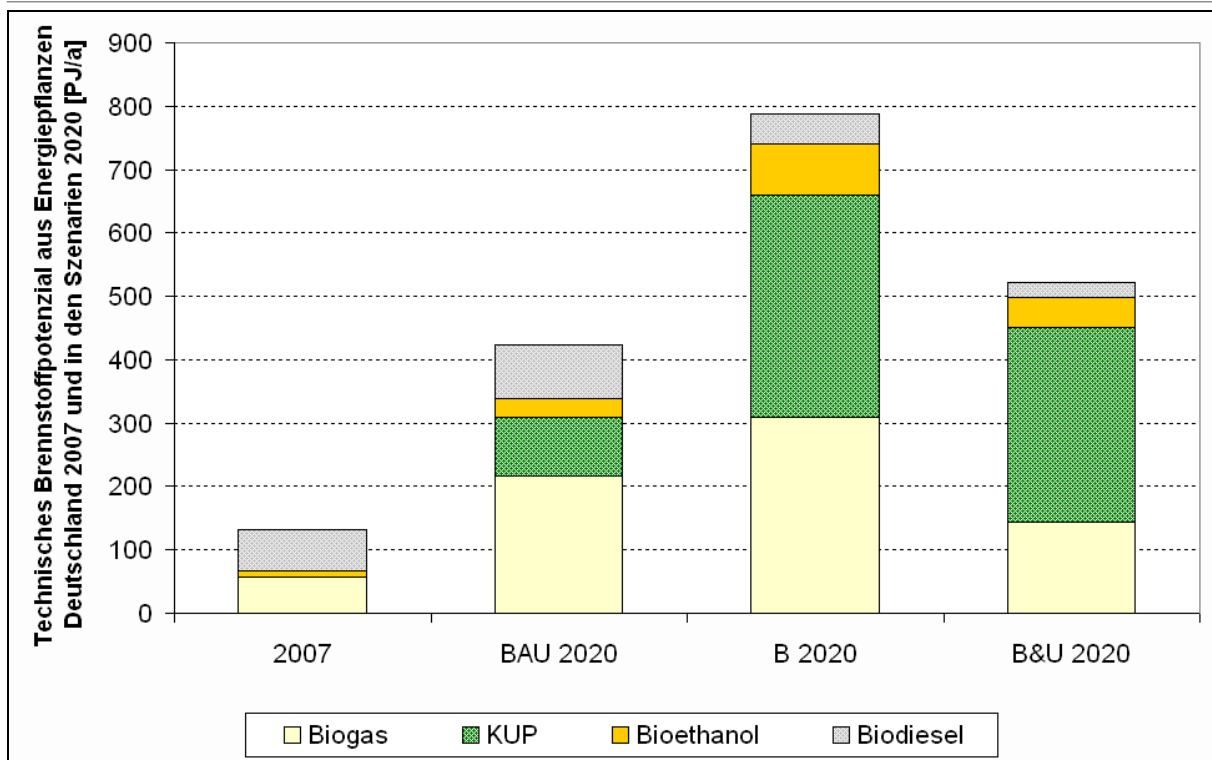


Abb. 3: Technisches Brennstoffpotenzial aus Energiepflanzen 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: eigene Berechnungen)

Die regionale Verteilung und Entwicklung wird in den Karten von Abb. 4 dargestellt. Dabei wird noch einmal 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 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.

Aus den Berechnungen zum technischen Brennstoffpotenzial von Grünlandaufwuchs ergibt sich ein Wert von 99,8 PJ für Deutschland.

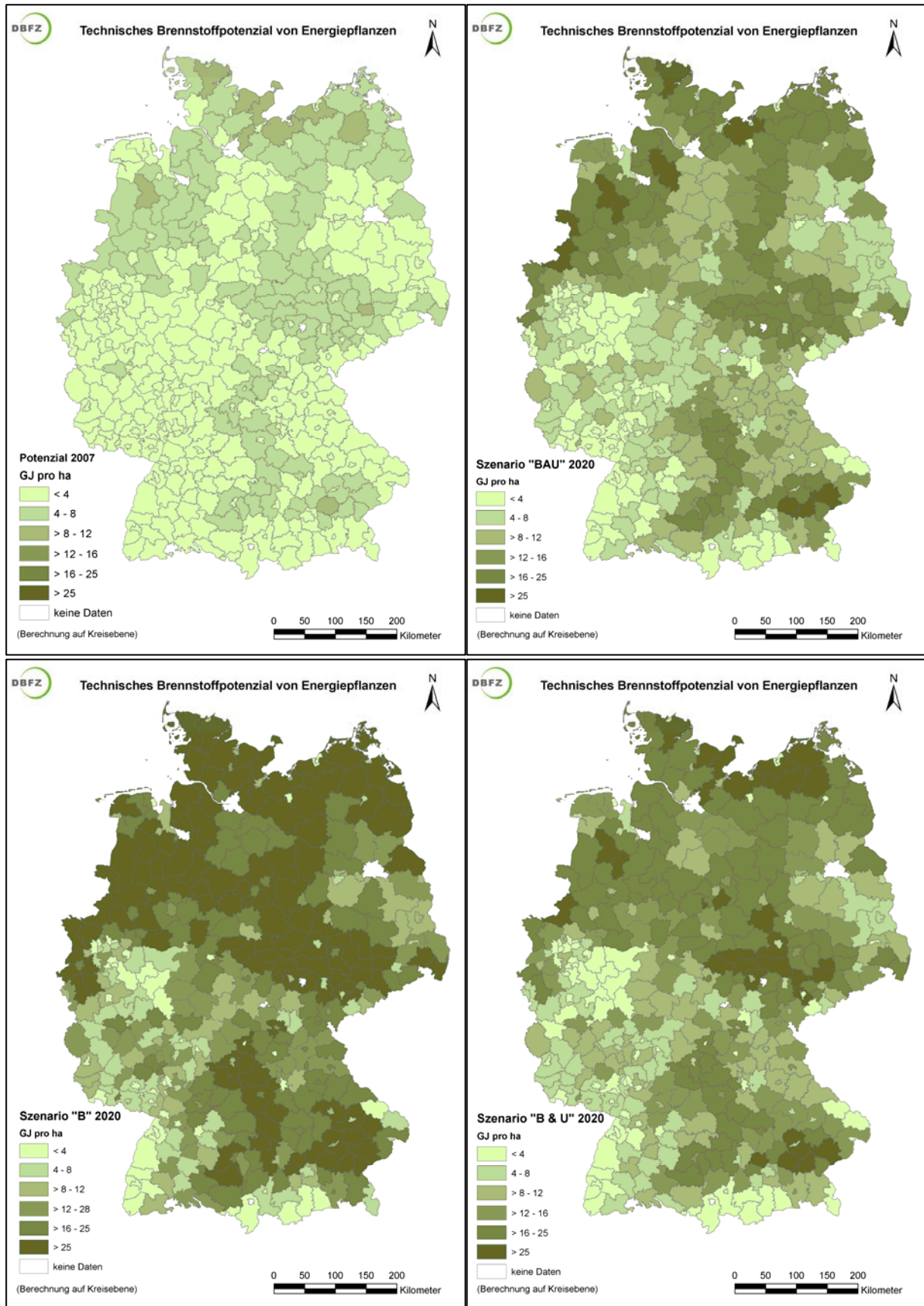


Abb. 4: Technische Brennstoffpotenziale von Energiepflanzen 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: DBFZ)

2.3 Diskussion

Die Methodik zur Berechnung des Potenzials aus Energiepflanzen basiert auf statistischen Daten, die von den statistischen Landesämtern herausgegeben werden. Damit ist eine einheitliche Datenbasis sichergestellt.

Die größten Potenziale ergeben sich wie zu erwarten in den Regionen, die traditionell zu den landwirtschaftlich geprägten Gebieten gehören, wie z. B. Mitteldeutschland und große Teile Niedersachsens. Die hier angebaute Biomasse kann je nach den gewählten Kulturen verschiedenen Nutzungspfaden zugeführt werden und ist damit flexibel einsetzbar.

Die hohen Potenziale in Deutschland 2020 basieren auf den nationalen Flächenberechnungen aus Teilprojekt 2. Dabei werden die Flächen zu Grunde gelegt, die auf den Szenarien ohne internationalen Handelausgleich beruhen. Die globale Welternährung wäre in diesem Szenario daher nicht gesichert. Würde diese zur Vorraussetzung gemacht, müssten die Flächenbetrachtungen mit internationalem Handelausgleich aus TP 2 verwendet werden und so würden sich erheblich geringere Biomassepotenziale ergeben.

2.4 Berücksichtigung von Nutzungseinschränkungen beim Energiepflanzenanbau

Anforderungen des Natur- und Umweltschutzes können die Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen einschränken und müssen daher bei der Ermittlung der technischen Brennstoffpotenziale von landwirtschaftlichen Biomassen berücksichtigt werden.

Es wurde der Einfluss der folgenden Faktoren auf die landwirtschaftliche Flächenausstattung untersucht und wenn möglich in die Berechnungen einbezogen:

- Schutzgebiete des Naturschutzes
- Wasserschutzgebiete
- Überschwemmungsgebiete

2.4.1 Hintergrund

Schutzgebiete des Naturschutzes

Eines der wichtigsten Instrumente des Naturschutzes ist der Gebietsschutz. Die in Deutschland geltenden Schutzgebietskategorien beruhen auf dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) und können hinsichtlich ihrer Größe, ihres Schutzzwecks und ihrer Schutzziele und den daraus abzuleitenden Nutzungseinschränkungen unterschieden werden /16/. Die wichtigsten Schutzgebietskategorien sind: Naturschutzgebiet, Nationalpark, Biosphärenreservat, Landschaftsschutzgebiet und Naturpark (siehe Tab. 3). Sie können sich teilweise überlagern oder sind in Einzelfällen sogar deckungsgleich (siehe Abb. 5). Seit der Verabschiedung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie der Europäischen Gemeinschaft (FFH-Richtlinie, 92/43/EWG) gibt es zudem die im europäischen Schutzgebietsnetz Natura 2000 integrierten Kategorien FFH-Gebiet und EU-Vogelschutzgebiet (SPA) /9/, /19/.

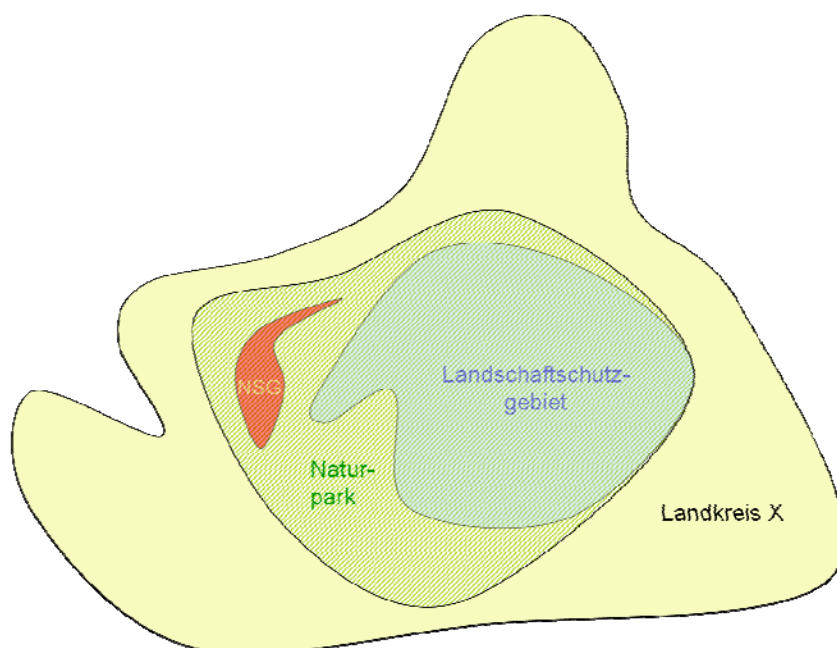


Abb. 5: Beispielhafte Darstellung einer Verteilung von Schutzgebieten verschiedener Schutzkategorien (Quelle: eigene Darstellung)

Tab. 3: Schutzgebietskategorien und ihre wichtigsten Eigenschaften

Schutzkategorie und allgemeine Beschreibung	Nutzungsbeschränkungen
<p>§ 23 BNatSchG Naturschutzgebiete (NSG)</p> <p>Naturschutzgebiete sind die formal strengste Schutzkategorie Deutschlands. Sie dienen hauptsächlich zur Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung von Biotopen oder Lebensgemeinschaften bestimmter wild lebender Tier- und Pflanzenarten. Die Naturschutzschutzgebietsfläche in Deutschland entspricht ca. 3,5 % der Gesamtfläche Deutschlands /10/.</p>	<p>Alle Handlungen, die zu einer Zerstörung, Beschädigung oder Veränderung des Naturschutzgebiets oder seiner Bestandteile oder zu einer nachhaltigen Störung führen können, sind verboten. Nutzungen sind nur soweit zulässig, wie sie dem Schutzzweck nicht entgegenstehen. Eine extensive Landwirtschaft ist zumeist unter Auflagen erlaubt.</p>
<p>§ 24 BNatSchG Nationalparke</p> <p>Nationalparke sind großräumige Landschaften von besonderer Eigenart, die in einem überwiegenden Teil ihres Gebiets die Voraussetzungen eines Naturschutzgebiets erfüllen. Zudem sollte sich ein überwiegender Teil ihres Gebiets in einem vom Menschen nicht oder wenig beeinflussten Zustand befinden oder geeignet sein, sich in einen Zustand zu entwickeln oder in einen Zustand entwickelt zu werden, der einen möglichst ungestörten Ablauf der Naturvorgänge in ihrer natürlichen Dynamik gewährleistet. Derzeit gibt es in Deutschland 14 Nationalparks mit einer Gesamtfläche von 962.051 ha (ca. 2,7 % Gesamtfläche Deutschlands) /10/.</p>	<p>Wirtschaftliche Nutzungen der natürlichen Ressourcen durch Land-, Forst-, Wasserwirtschaft, Jagd oder Fischerei sind weitgehend auszuschließen bzw. nur unter strikten Vorgaben der Naturschutzbehörde möglich.</p>
<p>§ 25 BNatSchG Biosphärenreservat</p> <p>Die Kategorie Biosphärenreservat wurde 1970 weltweit durch die UNESCO ins Leben gerufen. Biosphärenreservate sind großräumige Gebiete, die für bestimmte Landschaftstypen charakteristisch sind und in wesentlichen Teilen ihres Gebiets die Voraussetzungen eines Naturschutzgebiets, im Übrigen überwiegend eines Landschaftsschutzgebiets erfüllen. Sie dienen vornehmlich der Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung einer durch hergebrachte vielfältige Nutzung geprägten Landschaft und der darin historisch gewachsenen Arten- und Biotopvielfalt, einschließlich Wild- und früherer Kulturformen wirtschaftlich genutzter oder nutzbarer Tier- und Pflanzenarten. In Deutschland sind bislang 13 Biosphärenreservate von der UNESCO anerkannt, weitere 3 beantragt (Gesamtfläche 1.873.911 ha, davon 666.960 ha Wasser- und Wattflächen der Nord- und Ostsee) /10/.</p>	<p>Sie sollen beispielhaft der Entwicklung und Erprobung von die Naturgüter besonders schonenden Wirtschaftsweisen dienen. Häufig wird in diesen großen Gebieten bereits jahrzehntelang nach den heutigen Maßstäben des ökologischen Landbaus gewirtschaftet.</p>

<p>§ 26 BNatSchG Landschaftsschutzgebiete (LSG)</p> <p>Landschaftsschutzgebieten obliegt die Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder der Regenerationsfähigkeit und nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter. Es gibt derzeit 7.239 Landschaftsschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von ca. 9,9 Mio. ha (ca. 28 % des Bundesgebietes, Stand 31.12.2007) /10/.</p>	<p>Die Ausweisung von LSGs ist i.d.R. nicht mit Einschränkungen für Landwirtschaft, Forstwirtschaft und bestehendes Gewerbe verbunden, sofern sie nicht den Charakter des Gebietes verändern oder dem Schutzzweck zuwiderlaufen. So können beispielsweise Düngeregulungen oder Festlegung der Mahdtermine erforderlich sein.</p>
<p>§ 27 BNatSchG Naturparke (NRP)</p> <p>Naturparke sind großräumige Kulturlandschaften, in denen der Schutz und die Erhaltung der Biotop- und Artenvielfalt stark mit der Erholungsfunktion der Landschaft für den Menschen verbunden sind. Sie bestehen überwiegend (ca. 60 %) aus Natur- und Landschaftsschutzgebieten. Der Naturschutzgebiets-Flächenanteil in den Naturparks beträgt deutschlandweit etwa 4,5 %, wobei bundesweit Unterschiede bestehen. Es gibt derzeit 99 Naturparke (ca. 25,5 % der Landesfläche Deutschlands, Stand: Januar 2009) /10/.</p>	<p>NRPs sollen umweltverträglichen Tourismus und dauerhaft umweltverträgliche Landnutzungen unterstützen. Im Gegensatz zu Nationalparks und Biosphärenreservaten sind die Schutzbestimmungen in Naturparks relativ milde.</p> <p>Die nicht-geschützten Teile der Naturparke unterliegen keinerlei Einschränkungen. Für die LSG- und NSG-Anteile gelten die entsprechenden Anforderungen</p>
<p>Natura 2000 (FFH- und SPA-)Gebiete</p> <p>Die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie 92/43/EWG von 1992 und die Vogelschutz-Richtlinie 79/409/EWG von 1979 bilden die Grundlagen des europäischen ökologischen Verbundnetzes mit der Bezeichnung "Natura 2000", das die biologische Vielfalt durch Schutz der natürlichen Lebensräume sowie der wild lebenden Tiere und Pflanzen in den Mitgliedsstaaten aufrecht erhalten soll.</p> <p>Die FFH-Richtlinie gibt vor, dass die europäischen Mitgliedsstaaten ganz bestimmte Lebensräume, Tiere und Pflanzen (festgelegt in den Anhängen I und II der FFH-Richtlinie) in einem günstigen Zustand erhalten, so dass sich deren Vorkommen weder in der Fläche noch in der Qualität verringern (Verschlechterungsverbot).</p> <p>Die im Rahmen der FFH- und der Vogelschutzrichtlinie gemeldeten insgesamt 5.263 Gebiete können sich räumlich überlagern und bedecken zusammen ca. 15,3 % der terrestrischen Fläche Deutschlands und 41 % der marinen Fläche (Stand: Ende 2008) /9/.</p>	<p>Bestimmte Vorhaben, die in Natura 2000-Gebieten verwirklicht werden sollen, wie z.B. Verkehrswege, müssen in einem förmlichen Verfahren auf ihre Verträglichkeit mit den Erhaltungszielen der betroffenen Schutzgebiete untersucht werden (Einhaltung Verschlechterungsverbot). Für die Weiterführung der bestehenden Bewirtschaftungsweisen bestehen kaum Einschränkungen.</p> <p>Im Bereich der Landwirtschaft muss die Einhaltung der guten fachlichen Praxis erfolgen, d. h., dass vor allem Stoffausträge in angrenzende Bereiche vermieden werden. Darüber hinaus können weitere Maßnahmen auf den Landwirtschaftsflächen selbst erforderlich werden, um ein Fortbestehen dieser Lebensräume, Tiere und Pflanzen zu ermöglichen (z.B. Einhaltung bestimmter Bewirtschaftungsregimes zur Erhaltung blütenreicher Mähwiesen).</p>

Das BNatSchG beschreibt, was, wie und warum geschützt werden soll, bleibt als Rahmengesetz in seinen Formulierungen allerdings recht allgemein. Daher werden in jedem Bundesland diese Vorgaben wiederum in einem Landesnaturschutzgesetz genauer beschrieben. Die Gesetze beschreiben die Unterschiede der Schutzgebiete, listen die Ausnahmeregelungen auf, erklären die Zuständigkeiten von Behörden und das Verhältnis zu anderen Gesetzen. Prinzipiell ist der Naturschutz Ländersache, wobei sich die Befugnisse auf mehrere Behörden verteilen. Die höchste Fachbehörde ist in der Regel die so genannte „Obere Landschaftsbehörde“, zumeist eine Abteilung im jeweiligen Landesumweltministerium. Sie beschließt Gesetzesänderungen oder koordiniert überregionale Naturschutzmaßnahmen. Die konkrete Arbeit vor Ort wird durch die „Unteren Landschaftsbehörden“ der Kreisverwaltungen durchgeführt: Sie führen Genehmigungsverfahren durch, erledigen praktische Arbeiten wie Baumschnitt oder Pflanzungen und müssen auch Verstöße gegen Verbote verfolgen und Bußgelder verhängen.

Die Ausweisung von Schutzgebieten geschieht mittels gebietsspezifischer Rechtsverordnungen, die neben dem Schutzgegenstand und dem Schutzzweck auch Angaben zu Verboten und zulässigen Handlungen enthalten. Ein bundesweiter Überblick über die verschiedenen Schutzgebiete, der über Flächenstatistiken oder rechtssystematische Darstellungen hinausgeht, fehlt bisher. Nicht nur gibt es große Unterschiede hinsichtlich der Schutzintensität zwischen den verschiedenen Schutzkategorien, auch zwischen Gebieten der gleichen Schutzkategorie kann die Strenge der Schutzbestimmungen variieren.

Grundsätzlich schließen sich Naturschutz und Biomassebereitstellung nur in sehr wenigen Naturschutzflächen aus. Im Großteil der Schutzgebiete können Auflagen der Naturschutzbehörden z. B. hinsichtlich der Anwendung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln zu Einschränkungen der Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen und damit zu sinkenden Erträgen führen.

Wasserschutzgebiete

Laut § 19 Abs. 1 Wasserhaushaltsgesetz können Wasserschutzgebiete (WSG) festgesetzt werden, soweit es das Wohl der Allgemeinheit erfordert,

1. Gewässer im Interesse der derzeit bestehenden oder künftigen öffentlichen Wasserversorgung vor nachteiligen Einwirkungen zu schützen oder
2. das Grundwasser anzureichern oder
3. das schädliche Abfließen von Niederschlagswasser sowie das Abschwemmen und den Eintrag von Bodenbestandteilen, Dünge- oder Pflanzenbehandlungsmitteln in Gewässern zu verhüten /56/.

Die Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes werden durch die Wassergesetze und Verordnungen der Länder erweitert. Einzelgebietliche Schutzbestimmungen werden durch Schutzgebietsverordnungen festgelegt, die für die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten entwickelt wurden.

Zum Schutz können verschiedene Wasserschutzzonen festgesetzt werden:

- Wasserschutzzone I – Fassungsbereich: schützt die Brunnen und Quellen sowie ihre unmittelbare Umgebung. Jegliche anderweitige Nutzung und das Betreten für Unbefugte sind verboten.

- Wasserschutzzone II – Engeres Schutzgebiet: Vom Rand der engeren Schutzzone soll die Fließzeit zu den Brunnen mindestens 50 Tage betragen, um Trinkwasser vor bakteriellen Verunreinigungen zu schützen. Bei sehr ungünstigen Untergrundverhältnissen (z.B. gespannter Grundwasserspiegel) soll die Grenze mindestens 100 m Abstand von der Wasserfassung haben. Die Verletzung der Deckschicht ist verboten, deshalb gelten Nutzungsbeschränkungen u. a. für Landwirtschaft (vor allem bezüglich Düngung), Umgang mit Wasserschadstoffen, Bodennutzung mit Verletzung der oberen Bodenschichten und Bebauung.
- Wasserschutzzone III – Weiteres Schutzgebiet: Sie umfasst das gesamte Einzugsgebiet der geschützten Wasserfassung. Hier gelten Verbote bzw. Nutzungseinschränkungen wie beispielsweise Ablagern von Schutt, Abfallstoffen, wassergefährdenden Stoffen und Anwendung von Gülle, Klärschlamm, Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel.

Einschränkungen der Landwirtschaft können u. a. sein /39/:

- Verbindliche Vorschrift von standortgerecht angepassten Düngefristen
- Keine Ausbringung von klärschlammhaltigen Düngemitteln
- Ausschließlich Verwendung von für Wasserschutzgebiete zugelassene Pflanzenschutzmittel
- Keine Beweidung, Freilandtierhaltung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger in den Zonen I und II
- Umbruchverbot von Grünland

Je nach Ausgestaltung der Anforderungen an eine grundwasserschonende Landbewirtschaftung kann es innerhalb von Wasserschutzgebieten zu Ertragsminderungen kommen /4//29//30/.

Überschwemmungsgebiete

Mit dem Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes vom 10.05.2005 wurden die bundesrechtlichen Vorschriften mit Einfluss auf den Hochwasserschutz geändert (z. B. Wasserhaushaltsgesetz, Baugesetzbuch, Bundes-Raumordnungsgesetz Bundeswasserstraßengesetz) /27/. Diese Änderungen schaffen u. a. die Voraussetzungen zur Festsetzung von Überschwemmungsgebieten.

Laut dem neuen § 31b Absatz 1 WHG sind Überschwemmungsgebiete „Gebiete zwischen oberirdischen Gewässern und Deichen oder Hochufern und sonstige Gebiete, die bei Hochwasser überschwemmt oder durchflossen oder die für die Hochwasserentlastung der Rückhaltung beansprucht werden“ /27/. Bis zum 10.05.2012 müssen die Bundesländer als Überschwemmungsgebiete mindestens die Gebiete festsetzen, in denen ein Hochwasserereignis statistisch einmal in hundert Jahren zu erwarten ist (Bemessungshochwasser – HQ100).

Die am heftigsten umstrittene Regelung des Hochwasserschutz-Artikelgesetzes war das ursprünglich vorgesehene Ackerbauverbot und die Ackerbaueinschränkungen (z. B. Verschreibung einer ganzjährigen Bodenbedeckung) in Überschwemmungsgebieten. Die letztlich verabschiedete Fassung enthält nun lediglich den Auftrag an die Bundesländer, die erforderlichen Vorschriften zur Verhinderung erosionsfördernder Maßnahmen für die Überschwemmungsgebiete zu erlassen (§ 31b Abs. 2 Satz 6 Nr. 2 WHG) /27/. Weiterhin wird durch Landesrecht für landwirtschaftlich genutzte und sonstige Flächen in festgesetzten Überschwemmungsgebieten geregelt, wie mögliche Ero-

sionen oder erheblich nachteilige Auswirkungen auf die Gewässer insbesondere durch Schadstoffeinträge zu vermeiden und zu verringern sind (§ 31b Abs. 3 WHG) /27/. Die in den entsprechenden Rechtsverordnungen festgelegten Regelungen können je nach örtlichen Gegebenheiten unterschiedlichen Inhalts sein.

2.4.2 Annahmen für die Szenarien

Aufgrund der hohen Anzahl der Schutzgebiete in Deutschland kann eine schutzgebietspezifische Auswertung im Rahmen dieses Projektes nicht erfolgen. Daher werden die im Folgenden beschriebenen Annahmen getroffen.

Ausschluss von Flächen

Naturschutzgebiete und Nationalparke legen im Hinblick auf ihre rechtliche Wirksamkeit und damit auf die Erhaltung und Entwicklung von seltenen und gefährdeten Arten und Biotopen strenge Maßstäbe an. Es wird daher davon ausgegangen, dass in diesen vergleichsweise strengen Schutzkategorien kein Anbau von Energiepflanzen erfolgt. Da in den Wassergebietszonen I jegliche Nutzung verboten ist, werden auch diese Flächen aus den Berechnungen ausgeschlossen.

Ertragsminderungen

Aus landwirtschaftlicher Sicht ist eine verringerte Anwendung von Produktionsmitteln (Dünge- und Pflanzenschutzmittel) in den verschiedenen Schutzgebieten meist mit deutlichen Ertragsminderungen verknüpft.

Untersuchungen im EVA-Projekt zu extensiveren Produktionsverfahren zeigten Ertragseinbußen von durchschnittlich 8,4 dt/ha und Fruchtart bei reduzierter Stickstoffdüngung (-30 kg N/ha je Kultur). Der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel, wobei die Herbizide besonders ausschlaggebend sind, führte bei Mais zu gravierenden Ertragsverlusten (-35 %). Bei Mais, aber auch Sudangrashybride und Ganzpflanzengetreide wurde zudem ersichtlich, dass bei der Minimalbodenbearbeitungsvariante in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Fruchtfolgebestellung geringere Erträge im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung erzielt werden. Die Ertragsunterschiede bewegten sich in den folgenden Bereichen: Mais zwischen 2,0 – 21 dt TM/ha, Wintertriticale (GPS) zwischen 9,7 – 12,9 dt TM/ha, Getreide-Artenmischung 15,4 dt TM/ha /22/.

Auch Untersuchungen auf Vergleichsflächenstandorten in Baden-Württemberg zeigten, dass die durch die Nutzungseinschränkungen in Wasserschutzgebieten bedingten Ertragsminderungen naturbedingt zum Teil erheblich bei unterschiedlichen Kulturen, Standorten und Anbaubedingungen schwanken. Es wurden durchschnittliche Ertragsminderungen für Winterweizen von 5,2-7,8 %, für Sommergerste 7,9-12,8 % und für Winterrraps und Mais rund 10 % ermittelt /45/.

Aufgrund der extensiven Bewirtschaftungsweise ist der Anteil des ökologischen Landbaus in Schutzgebieten vergleichsweise hoch. Die durchschnittlichen spezifischen Erträge der ökologischen Landbewirtschaftung sind aufgrund des Verzichts auf chemisch-synthetische Dünge- und Spritzmittel im Vergleich zur konventionellen Landbewirtschaftung ca. 20 – 40 % niedriger /11/, /58/.

Eine bundesweiten Übersicht zur genauen Ausgestaltung der Nutzungseinschränkungen in Biosphärenreservaten, Natura 2000-Gebieten, Wasserschutz- und Überschwemmungsgebieten ist

momentan nicht verfügbar. Aufgrund der Vielzahl der Schutzgebiete in Deutschland (z. B. 5263 Natura 2000-Gebiete /9/) kann eine nach einzelnen Schutzgebieten aufgelöste Auswertung der tatsächlichen Auswirkungen des Vorhandenseins des entsprechenden Schutzstatus auf die Erträge der betroffenen Ackerflächen im Rahmen dieses Projektes nicht erfolgen. Um die reduzierten Erträge gegenüber vergleichbaren Standorten in den Berechnungen berücksichtigen zu können, müssen daher Annahmen getroffen werden (siehe Abschn. „Überblick über Szenarienannahmen“). Dieser Weg wurde auch in der „Datenbank Biomassepotenziale“ gewählt, wo die Ertragsminderungen auf Ackerflächen, welche als FFH/SPA-Flächen gemeldet sind, mit pauschal 5 % angenommen wurden /49/.

Keine Berücksichtigung in den Berechnungen

Aufgrund der sehr geringen Schutzintensität der Kategorien Landschaftsschutzgebiet und Naturpark werden hier keine Nutzungseinschränkungen angenommen (vgl. Tab. 3).

Überblick über Szenarienannahmen

Die Annahmen für die Ertragsminderungen werden in den drei Szenarien variiert. Für das Szenario BAU und das Szenario B werden identische Annahmen getroffen und angenommen, dass die Nutzungseinschränkungen sich bis 2020 nicht ändern. Im Szenario B&U werden weitergehende Restriktionen zur stärkeren Berücksichtigung von Nachhaltigkeit bzw. Nutzungsextensivierungen unterstellt (z. B. Ausweitung ökologischer Anbau, weitere Einschränkungen bei Düngung und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln).

Die Überschwemmungsgebiete werden voraussichtlich erst ab ihrer endgültigen Ausweisung in 2012 relevant und daher in den Darstellungen des Status Quo nicht berücksichtigt. Im Szenario B&U wird angenommen, dass sich das Ackerbauverbot doch noch durchsetzt und daher in diesen Flächen kein Anbau von Energiepflanzen erlaubt ist. Eine Zusammenfassung der Annahmen ist in Tab. 4 dargestellt.

Tab. 4: Überblick über die Annahmen hinsichtlich der Nutzungseinschränkungen durch Natur- und Umweltschutz in den Szenarien

Schutzgebiet	Ertragsminderung			
	2007	BAU 2020	B&U 2020	B 2020
Naturschutzgebiete	kein Anbau von Energiepflanzen			
Nationalpark	kein Anbau von Energiepflanzen			
Biosphärenreservate	5 %	5 %	10 %	5 %
Natura 2000-Gebiete	5 %	5 %	10 %	5 %
Landschaftsschutzgebiete	-	-	-	-
Naturpark	-	-	-	-
Wasserschutzgebiet-Zone I	kein Anbau von Energiepflanzen			
Wasserschutzgebiet-Zone II	5 %	5 %	10 %	5 %
Wasserschutzgebiet-Zone III	2,5 %	2,5 %	5 %	2,5 %
Überschwemmungsgebiete	keine Berücksichtigung - erst ab 2012 relevant	10 %	kein Anbau von Energiepflanzen	10 %

Bei einer Reihe von Schutzkategorien kommt es zu ganzheitlichen bzw. teilweisen Flächenüberlagerungen. Für diese Flächen wurde die negativste Auswirkung auf die landwirtschaftliche Produktion betrachtet (z. B. Überlagerung Naturpark und Naturschutzgebiet – keine Nutzung für den Anbau von Energiepflanzen, siehe Abb. 5).

2.4.3 Ergebnisse

Die Ermittlung des Anteils der landwirtschaftlichen Flächen mit Naturschutzauflagen erfolgte mittels ArcView durch Verschneidung von Corine Landcover Daten mit den GIS-Shapes der bundesweiten Naturschutzflächen /52/, /8/. Als Ergebnis liegen die Anteile der spezifischen Schutzkategorien an der Ackerfläche in den einzelnen Landkreisen vor.

3 FORSTWIRTSCHAFTLICHE BIOMASSEN

Das Ziel besteht in der Ermittlung der technischen Potenziale für die forstwirtschaftliche Biomasse auf Bundeslandebene mit der Option der Berechnung der technischen Potentiale auf Landkreisenebene. Hierzu wird ein Verfahren entwickelt, in dessen Mittelpunkt die Erstellung eines Produktionswaldmodelles steht, welches, mit bundeslandspezifischen gewichteten Faktoren ausgestattet, die forstwirtschaftlichen Biomassepotenziale für die Bundesländer sowie Landkreise aufzeigt.

Das technisch-energetisch forstwirtschaftliche Potential besteht dabei aus drei Fraktionen:

1. Technisch-energetisches Brennstoffpotential des statistisch erfassten Einschlages (inkl. Waldrestholz);
2. Technisch-energetisches Brennstoffpotential des nicht statistisch erfassten Einschlages (inkl. Waldrestholz);
3. Technisch-energetisches Brennstoffpotential des ungenutzten Zuwachses.

Das Potential des statistisch / nicht statistisch erfassten Rohholzeinschlages besteht wiederum aus den Fraktionen bereits energetisch verwendetes und nicht verwendetes Holz aus dem Einschlag, Rindenanteil des Einschlages, Ernteverluste während des Einschlages, Kronen- und Astderbholz, sowie Reisholz. Da die letzten drei Teilfraktionen erntetechnisch bedingter Rückstand des Einschlag sind, werden sie zusammen auch als Waldrestholz bezeichnet.

Waldrestholz ist daher an die Aufkommensmengen der Rohholznutzung geknüpft. Waldrestholz besteht im Detail aus dem Kronenderbholz (gemessen vom Trennschnitt bis zum Mindestschaftdurchmesser von 7 cm), das Reisholz (alle oberirdisch verholzten Teile mit einem Durchmesser von weniger als 7 cm) und kurze Stammabschnitte (X-Holz) sowie Laub, Blüten, Fruchtstände und das Stockholz (unterirdische Holzteile einschließlich des oberirdischen Stammstückes bis zum Fällschnitt). In der vorliegenden Untersuchung der Potenziale an forstwirtschaftlicher Waldrestholzbiomasse werden das Stockholz und Laub, Blüten und Fruchtstände nicht als Potenzial energetisch nutzbarer Biomasse angesehen. Das errechnete technische Brennstoffpotenzial an Waldrestholz wurde daher für die Baumkompartimente Derbholz, Reisholz sowie Ernterückstände erhoben.

Das Potenzial des ungenutzten Zuwachses des Baumholzes ergibt sich aus dem Abzug des Einschlags an Baumholz vom Zuwachs an Baumholz. Daraus werden die Potenziale der ungenutzten Zuwächse für die Baumkompartimente Derbholz und Reisholz abgeleitet.

Unter Berücksichtigung von technischen und ökologischen Restriktionen, wie zum Beispiel Mobilisierungsrate und Bodenerhaltung, müssen dann diese theoretischen Brennstoffpotenziale noch gemindert werden.

Abb. 6 zeigt die Definition der betrachteten Fraktionen und Teilfraktion grafisch.

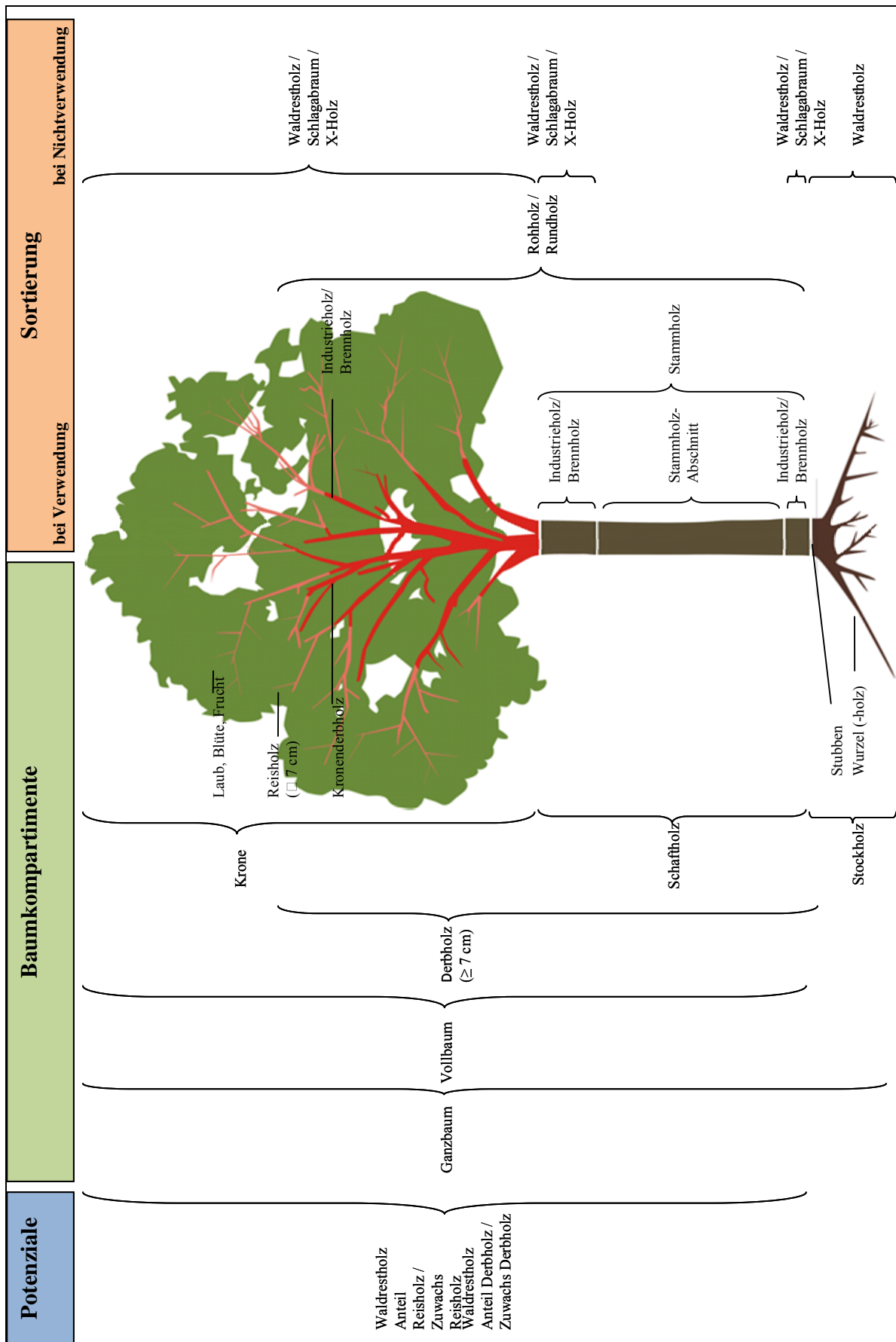


Abb. 6: Arten der Einteilung von Baumkompartimenten (Quelle: eigene Darstellung)

3.1 Methodik

Mit Hilfe einer umfangreichen Literaturrecherche wurde der Stand der derzeitigen Forschung zur forstwirtschaftlichen Biomassepotenzialermittlung ermittelt. Das Hauptaugenmerk der Recherche lag auf der Klärung der dafür verwendeten Grundlagenmaterialien sowie der angewandten Methoden. Aus der Auswertung der erbrachten Ergebnisse folgte die Planung der Vorgehensweise zur Erstellung des Modells. Der Modellwald sollte für jedes Bundesland anwendbar sein. Die Umsetzung der Planvorstellungen erforderte diesbezüglich bundeslandspezifische Angaben zu:

- der Waldfläche
- der Baumartenverteilung
- der Altersklassenverteilung
- den Mischungsverhältnissen
- den laufend jährlichen Zuwächsen
- den Einschlägen und
- den Nutzungseinschränkungen (ökologische und technische Restriktionen).

Zur Berechnung der Forstwirtschaftlichen Biomassepotenziale wurden zudem bundeslandspezifische Produktionsmodellwälder entwickelt, welche jeweils aus einem „Modellwald Laubwald“, einem „Modellwald Nadelwald“ und einem „Modellwald Mischwald“ bestehen. Dies ermöglicht des Weiteren in der Kombination mit einer Landklassifizierung (z. B. CORINE) die Berechnung der Brennstoffpotenziale auf Landkreisebene.

Die Berechnung der forstwirtschaftlichen Potenziale kann auf folgende Formel (Gl. 8) verdichtet werden:

$$P_{FoWi} = P_{stat.erfaßterEinschlag} + P_{nicht_stat.erfaßterEinschlag} + P_{ungenutzterZuwachs} \quad \text{Gl. 8}$$

P_{FoWi} - technisches Brennstoffpotenzial der Forstwirtschaft [PJ/a]; $P_{stat.erfaßterEinschlag}$ - technisches Brennstoffpotential des statistisch erfassten Einschlages (inkl. Waldrestholz) [PJ/a]; $P_{nicht_stat.erfaßterEinschlag}$ - technisches Brennstoffpotential des nicht statistisch erfassten Einschlages (inkl. Waldrestholz) [PJ/a]; $P_{ungenutzterZuwachs}$ - technisches Brennstoffpotential des ungenutzten Zuwachses [PJ/a]

3.1.1 Ermittlung des Potentials des statisch erfassten Einschlages

Das Potential des statistisch erfassten Einschlages kann durch folgende Formel (Gl. 9) zusammengefasst werden:

$$P_{stat.erfaßterEinschlag} = (V_{bereits_genutzt} + V_{WR}) * f_{atro} * H_u$$

$$V_{bereits_genutzt} = V_{bereits_energetisch_verwendet} + V_{Rinde} + V_{nicht_verwendetes_Rohholz} \quad \text{Gl. 9}$$

$$V_{WR} = n_{Ernte} * V_{Ernteverluste} + n_{Kronen/Ast} * V_{Kronen/AstDerb} + n_{Reisig} * V_{Reisig}$$

$$V_{\text{Ernteverluste}} = V_{\text{Einschlag}(E_{fm})} * f_{V_{fm}} * \left(1 - \frac{f_{\text{Rinde}}}{f_{V_{fm}}} \right)$$

$$V_{\text{Kronen / AstDerb}} = V_{\text{Einschlag}(E_{fm})} * f_{V_{fm}} * \left(\frac{1}{f_{\text{StammDerb}}} - 1 \right)$$

$$V_{\text{Reisig}} = V_{\text{Einschlag}(E_{fm})} * f_{V_{fm}} * \frac{f_{\text{Reisig}}}{f_{\text{StammDerb}} * f_{\text{Derb}}}$$

$P_{\text{stat.erfaßterEinschlag}}$ - technisches Brennstoffpotential des statistisch erfassten Einschlag (inkl. Waldrestholz) [PJ/a]; $V_{\text{bereits_genutzt}}$ - Volumen des bereits energetisch genutzten Holzes [m³/a]; V_{WR} - Volumen des Waldrestholzes [m³/a]; $V_{\text{bereits_energetisch_verwendet}}$ - Volumen des bereits energetisch genutzten Rohholzes [m³/a]; V_{Rinde} - Volumen der Rinde des verzeichneten Rohholzeinschlages [m³/a]; $V_{\text{nicht_verwendetes_Rohholz}}$ - Volumen des Rohholzes welches nicht genutzt wurde [m³/a]; $V_{\text{Ernteverluste}}$ - Volumen der Ernteverluste während der Holzernte [m³/a]; $V_{\text{Kronen / AstDerb}}$ - Volumen des Astderbholzes und Kronenderbholzes [m³/a]; V_{Reisig} - Volumen des Reisigs [m³/a]; n_{Ernte} - Nutzungsprozent der Ernteverluste; $n_{\text{Kronen / Ast}}$ - Nutzungsprozent des Kronen-/Astderbholzes; n_{Reisig} - Nutzungsprozent des Reisigs; f_{atro} - Umrechnungsfaktor von m³ Waldrestholz in t_{atro}; H_u - unterer Heizwert von Holz [MJ/kg]; $V_{\text{Einschlag}(E_{fm})}$ - Volumen des statistisch erfassten Holzeinschlages ohne Rinde und mit Ernteverlusten [Efm/a]; $f_{V_{fm}}$ - Umrechnungsfaktor von Erntefestmetern zu Vorratsfestmetern; f_{Rinde} - Rindenabzugsfaktor; $f_{\text{StammDerb}}$ - Anteil des Stammderbholzes am gesamten Derbholz; f_{Reisig} - Anteil des Reisholzes an der oberirdischen Biomasse; V_{Derb} - Volumen des Derbholzes [m³/a]; f_{Derb} - Anteil des Derbholzes an der oberirdischen Biomasse;

Zur Ermittlung des Einschlag wurde auf die Daten der Holzmarktberichte 2002-2008 zurückgegriffen /14/. Da der Einschlag, welcher sich stets auf Derbholz bezieht, in Erntefestmetern (Efm) angegeben wird, d.h. Rindenabzüge und Ernteverluste darin berücksichtigt sind, müssen die Efm in Vorratsfestmeter (Vfm) umgerechnet werden. Hierzu sind baumartenspezifische Umrechnungsfaktoren für die Rindenabzüge und Ernteverluste heranzuziehen /36/. Danach wird mittels Umrechnungsfaktor auf das Gesamtwaldderbholz geschlossen (Faktor für den Anteil des Stammderbholzes am Gesamtderbholz) und die weiteren Fraktionen Reisholz und Laub/Nadelanteil berechnet. Somit kann aus dem Rohholzeinschlag das Volumen der oberirdischen Biomasse ermittelt werden. Grundlage für die Aufteilung der Fraktionen der oberirdischen Biomasse bildet die Untersuchung von KRAMER & KRÜGER /37/.

Die Holzmarktberichte liefern auch die bundeslandspezifischen Anteile des bereits energetisch genutzten und nicht verwendeten Holzes /14/. Da bundeslandspezifisch gerechnet wurde, müssen auch alle Nutzungsprozente sowie Umrechnungsfaktoren bundeslandspezifisch bereitgestellt werden. Hierzu dienen zur Berechnung des Faktors für den unteren Heizwert, der Umrechnung von m³ Holz in t_{atro} sowie den Anteilen der Fraktionen an der oberirdischen Biomasse Daten aus der

BWI² über Altersklassen und Baumartenverteilung in den einzelnen Bundesländern /13/. Das bundeslandspezifische Verhältnis zwischen Stammderbholz und Gesamtderbholz wurde mittels Vergleichsrechnung ermittelt (siehe Abschn. 6.2 globale Berechnungen)

Die bundeslandspezifischen Nutzungsprozente für die einzelnen Fraktionen sind mittels einer Restriktionsmatrix ermittelt worden. Die berücksichtigten Restriktionen sind:

- stoffliche Nutzungskonkurrenzen: Der Einschlag wird getrennt nach stofflicher und energetischer, nicht verwerteter Verwendung betrachtet.
- Flächen deren Nutzung nach dem derzeitigen technischen Stand nicht möglich ist: Hier ist es aufgrund der für Deutschland nicht einheitlichen Standortsansprache und -bewertung nicht möglich, eine konkrete Quantifizierung von nicht nutzbaren Flächen vorzunehmen.
- im Wald zu verbleibende Biomasse (für Nährstoffkreislauf, Lebensraum usw.): Biomasse, welche nach einem Einschlag oder einem natürlichen Ereignis im Wald verbleibt, ist ein wichtiger Beitrag u. a. als Lebensraum oder zum Gesamtnährstoffvorkommen, welches Bäumen zum Wachstum zur Verfügung steht. In der Praxis lohnt sich ökonomisch für den Unternehmer, welcher an der „Restbiomasse“ (Vollbaum minus stoffliche Nutzung) interessiert ist, nur eine vollständige Mitnahme dieser Biomasse von der ihm zugewiesenen Fläche. Das heißt, er nimmt das Reisig und das übrige Derbholz mit den daran befindlichen Nadeln oder Laub und Rinde mit. Würde dies großflächig durchgeführt werden, wären auf Dauer je nach Standort mehr oder weniger Zuwachseinbußen zu verzeichnen; eine künstliche Düngung wäre eventuell nötig. Zahlreiche Erfahrungen dazu wurden in der DDR-Zeit mit der „Aufgeräumten Forstwirtschaft“ gesammelt. Deshalb wird grundsätzlich auf die Nutzung von Laub/Nadeln, Reisig unter 3,5 cm sowie Stockholz verzichtet.

3.1.2 Ermittlung des Potentials des nicht statistisch erfassten Einschlages

Neben dem statistisch erfassten Holzeinschlag existiert in Deutschland auch ein gewisser Anteil an nicht statistisch erfasstem Einschlag. Dieser ist meist auf Privatwaldnutzung zu privaten Zwecken und weiterem nicht verzeichneten Brennholzeinschlag zurückzuführen. Dieser Anteil ist in den letzten Jahren konstant angestiegen /26//18/. Um jedoch einen Durchschnittswert ansetzen zu können, wird in dieser Studie von einem 10 % Anteil ausgegangen (d.h. 10 % der jährlich statistisch erfassten Einschlagsmenge ist noch mal eingeschlagen ohne verzeichnet zu sein).

Da dieser Einschlag meist als Brennholz genutzt wird, ist hier von einer Verteilung zwischen Stammholz und Waldrestderbholz von 70 zu 30 % auszugehen. Die Formel zur Berechnung des Potentials des nicht statistisch erfassten Einschlages (Gl. 10) lautet:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{nicht_stat_erfaßterEinschlag}} &= (V_{\text{Stammholz}} + V_{\text{WR_nichterfaßt}}) * f_{\text{atro}} * H_u \\
 V_{\text{Stammholz}} &= V_{\text{Derb_nichterfaßt}} * f_{\text{Stammholz}} \\
 V_{\text{Derb_nichterfaßt}} &= f_{\text{Anteil_nichterfaßt}} * ((V_{\text{Einschlag (Efm)}} * f_{\text{Vfm}}) + V_{\text{Kornen / AstDerb}}) \\
 V_{\text{WR_nichterfaßt}} &= n_{\text{Kornen / Ast_ne}} * V_{\text{Kornen / AstDerb_ne}} + n_{\text{Reisig_ne}} * V_{\text{Reisig_ne}}
 \end{aligned}
 \tag{Gl. 10}$$

$P_{\text{nicht_stat_erfaßterEinschlag}}$ - technisches Brennstoffpotential des nicht statistisch erfassten Einschlages (inkl. Waldrestholz) [PJ/a]; $V_{\text{Stammholz}}$ - Volumen des Stammholzanteil des nicht

statistisch erfassten Derbholzeinschlages [m^3/a]; $V_{WR_nichterfa\beta t}$ - Volumen des nicht erfassten Waldrestholzes [m^3/a]; f_{atro} - Umrechnungsfaktor von m^3 Waldrestholz in t_{atro} ; H_u - unterer Heizwert von Holz [MJ/kg]; $V_{Derb_nichterfa\beta t}$ - Volumen des nicht statistisch erfassten Derbholzeinschlages [m^3/a]; $f_{Stammholz}$ - Anteil des Stammderbholzes am gesamten nicht statistisch erfassten Derbholzes; $f_{Anteil_nichterfa\beta t}$ - Anteil des statistisch nicht erfassten Holzeinschlages am statistisch erfassten Einschlag; $V_{Einschlag(Efm)}$ - Volumen des statistisch erfassten Holzeinschlages ohne Rinde und mit Ernteverlusten [Efm/a]; f_{Vfm} - Umrechnungsfaktor von Erntefestmetern zu Vorratsfestmetern; $V_{Kronen/AstDerb}$ - Volumen des Astderbholzes und Kronenderbholzes [m^3/a]; n_{Kronen/Ast_ne} - Nutzungsprozent des Kronen-/Astderbholzes des nicht erfassten Einschlages; n_{Reisig_ne} - Nutzungsprozent des Reisigs des nicht erfassten Einschlages; V_{Reisig_ne} - Volumen des Reisigs des nicht erfassten Einschlages [m^3/a]; $V_{Kronen/AstDerb_ne}$ - Volumen des Astderbholzes und Kronenderbholzes des nicht erfassten Einschlages [m^3/a]

Die Nutzungsprozente für die einzelnen Fraktionen wurden wieder mittels einer Restriktionsmatrix bundeslandspezifisch ermittelt.

3.1.3 Ermittlung des Potentials des ungenutzten Zuwachses

Um das Potential des ungenutzten Zuwachses zu ermitteln muss als erstes der Gesamtzuwachs an oberirdischer Biomasse ermittelt und um elementare Restriktionen (Nutzungsverzichte für Naturschutzflächen, Aufbaubetrieb, Totholzanteil im Wald) gemindert werden. Danach wird von diesem Gesamtproduktionswaldzuwachs die oberirdischen Biomassen des statistisch erfassten sowie statistisch nicht erfassten Einschlages abgezogen. Aus dem ermittelten ungenutzten Zuwachs der oberirdischen Biomasse können dann die Fraktionen Derbholz und Reisholz berechnet und mit bundeslandspezifischen Nutzungsprozenten belegt werden (Gl. 11).

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ungenutzte rZuwachs}} &= (V_{\text{Derb_uZ}} + V_{\text{Reisig_uZ}}) * f_{atro} * H_u \\
 V_{\text{Derb_uZ}} &= n_{\text{Derb_uZ}} * (V_{\text{DerbZuwachs}} - (V_{\text{Derb}} + V_{\text{Derb_nichterfa\beta t}})) \\
 V_{\text{Reisig_uZ}} &= n_{\text{Reisig_uZ}} * (V_{\text{ReisigZuwachs}} - (V_{\text{Reisig}} + V_{\text{Reisig_ne}}))
 \end{aligned}
 \tag{Gl. 11}$$

$P_{\text{ungenutzterZuwachs}}$ - technisches Brennstoffpotential des ungenutzten Zuwachses [PJ/a]; $V_{\text{Derb_uZ}}$ - Volumen des Derbholzes des ungenutzten Zuwachses [m^3/a]; $V_{\text{Reisig_uZ}}$ - Volumen des Reisigs des ungenutzten Zuwachses [m^3/a]; f_{atro} - Umrechnungsfaktor von m^3 Waldrestholz in t_{atro} ; H_u - unterer Heizwert von Holz [MJ/kg]; $n_{\text{Derb_uZ}}$ - Nutzungsprozent des Derbholzes des ungenutzten Zuwachses; $n_{\text{Reisig_uZ}}$ - Nutzungsprozent des Reisigs des ungenutzten Zuwachses; $V_{\text{DerbZuwachs}}$ - Volumen des Zuwachses an Derbholz des deutschen Produktionswaldes [m^3/a]; $V_{\text{ReisigZuwachs}}$ - Volumen des Zuwachses an Reisig des deutschen Produktionswaldes [m^3/a]; V_{Derb} - Volumen des sta-

tistisch erfassten Derbholzeinschlages [m^3/a]; $V_{\text{Derb_nichterfa\ss}t}$ - Volumen des nicht statistisch erfassten Derbholzeinschlages [m^3/a]; V_{Reisig} - Volumen des Reisigs [m^3/a]; $V_{\text{Reisig_ne}}$ - Volumen des Reisigs des nicht erfassten Einschlages [m^3/a]

Um den Gesamtwuchs der oberirdischen Biomasse zu bestimmen wurden drei bundeslandspezifische Modellwälder geschaffen: ein "Modellwald Laubwald", ein "Modellwald Nadelwald" und ein "Modellwald Mischwald", welche einen „Modellwald Gesamtwald“ eines Bundeslandes bilden.

Der "Modellwald Laubwald" basiert auf den Werten der Eiche und Buche. Der "Modellwald Nadelwald" basiert auf den Werten der Baumartengruppen Fichte und Kiefer und der "Modellwald Mischwald" basiert auf den Ergebnissen des "Modellwaldes Laubwald" und des "Modellwaldes Nadelwald". Alle Werte der Baumartengruppen, die das Modell unterfüttern, wurden gewichtet:

- die Mischungsverhältnisse (nach Anteil der Hauptbaumartengruppen am Gesamtwald bzw. Laub- und Nadelwald)
- die laufend jährlichen Zuwächse (nach Altersklasse und Hauptbaumarten-Flächenanteil, Mischungsverhältnis).

Auf Basis von Waldflächenangaben aus der Bundeswaldinventur² /13/ sowie prognostizierten Zuwächsen des Derbholzes aus den Ergebnissen der BWI² können die gewichteten laufend jährlichen Zuwächse für die Baumartengruppe Eiche, Buche und Fichte, Kiefer ermittelt werden. Alle anderen Baumartengruppen werden nur insofern berücksichtigt, als dass ihre Flächenanteile anteilig gewichtet den Hauptbaumarten zugeordnet werden. Dabei wird das bundeslandspezifische Mischungsverhältnis der Baumartengruppen Eiche, Buche, Fichte und Kiefer beachtet. Eingang in das Modell findet zudem die bundeslandspezifische Altersklassenverteilung der Baumartengruppen, indem eine Gewichtung der laufenden Zuwächse für jede Altersklasse mit dem prozentualen Anteil der Altersklasse der Baumart an der Waldfläche des Bundeslandes vorgenommen wird. Aus der Summe aller einzelnen gewichteten Zuwächse an Derbholz der Altersklassen werden die jeweiligen Zuwächse für Baumholz und Reisholz berechnet (angepasste bundeslandspezifische Verteilungsfunktionen, welche wiederum die Baumartenverteilung und Altersklassenstruktur der einzelnen Bundesländer widerspiegeln, wurden hierzu abgeleitet) /13/.

Im nächsten Schritt werden die Zuwächse an Baumholz bzw. die seiner Kompartimente Derbholz und Reisholz der Baumartengruppen Eiche, Buche, Fichte, Kiefer unter Beachtung der Mischungsverhältnisse für den „Modellwald Laubwald“, den „Modellwald Nadelwald“ und den „Modellwald Mischwald“ gewichtet. Anschließend werden die Laub-, Nadel- und Mischwaldanteile des Bundeslandes mit den gewichteten Zuwächsen an Baumholz zum gewichteten Zuwachs des Gesamtwaldes des Bundeslandes verrechnet.

Um die Produktionswaldflächen zu ermitteln, auf denen keine oder nur beschränkte Nutzung stattfindet, werden Waldflächen von verschiedenen Naturschutzkategorien mittels eines Geoinformationssystem (GIS) ausgewertet. Berücksichtigt werden jedoch nur Flächen von Nationalparks, Biosphärenreservaten und Naturschutzgebieten. Zum einen ergibt sich dies aus den hohen Schutzwerten der Kategorien. Zum anderen aus der Trennung von Totalverzichtszonen und beschränkten Nutzungszonen. Die Angaben hierzu werden für alle Flächen der jeweiligen Kategorie zusammen ausgewertet. Berücksichtigung findet weiterhin die Entwicklung der Flächenanteile von Totalverzichtszonen und beschränkten Nutzungszonen. Am Ende wird ein prozentualer Wert für

den Nutzungsverzicht ermittelt. Somit kann aus der statistischen Waldfläche jedes Bundeslandes die jeweilige Produktionswaldfläche des Bundeslandes berechnet werden.

Die Summe aus Produktionswaldfläche und den laufend jährlichen Zuwächsen der Baumkompartimente der einzelnen Bundesländer ergibt die Zuwachsmassen an oberirdischer Biomasse und somit an Derbholz, Reisig und Laub/Nadel. Diese muss dann um weitere ökologische Restriktionen (Verbleib von 3 % Totholzanteil im Wald; Verzicht auf 10 % des Zuwächsen um den forstlichen Aufbaubetrieb zu sichern) gemindert werden. Die sich daraus ergebenden Zuwächse an Derbholz und Reisig werden dann in die oben beschriebene Formel eingesetzt und somit das technische Brennstoffpotential des ungenutzten Zuwachses bestimmt.

3.2 Ergebnisse

Aus den Berechnungen zum forstlichen Potenzial in Deutschland ergibt sich insgesamt ein maximales technisches Brennstoffpotential von 546 PJ/a (im Durchschnitt 511 PJ/a). Den größten Anteil am forstwirtschaftlichen Potenzial nimmt das bereits energetisch genutzte Waldholz mit einem technischen Brennstoffpotential von 246 PJ/a ein. Das Waldrestholz weist ein maximales Potenzial von 191 PJ/a auf, wobei der Derbholzanteil am Waldrestholz davon maximal 132 PJ/a (im Durchschnitt 111 PJ/a) und der Reisholzanteil maximal 59 PJ/a (im Durchschnitt 53 PJ/a) einnimmt. Auch der momentan noch ungenutzte Zuwachs des Waldholzes bietet mit maximal 108 PJ/a (im Durchschnitt 101 PJ/a) noch ein großes Nutzungspotenzial (siehe Abb. 7)

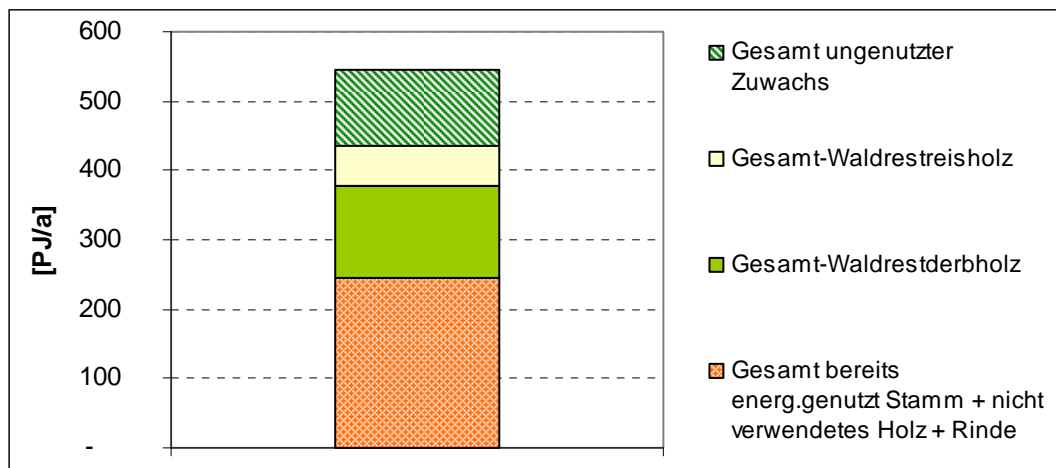


Abb. 7: Zusammensetzung des technischen Brennstoffpotenzials von forstwirtschaftlichen Biomassen (Quelle: eigene Berechnungen)

Betrachtet man die einzelnen Bundesländer im Detail (siehe Abb. 8), so ist zu erkennen, dass die flächenreichsten Bundesländer (Bayern, Baden-Württemberg) die größten technischen Brennstoffpotentiale besitzen. Im Detail, Bayern und Baden-Württemberg zusammen stellen schon über 40% des gesamtdeutschen Potentials. Es ist aber auch erkenntlich, dass die Bundesländer Hessen, NRW, Rheinland-Pfalz, Bayern und Thüringen schon heute Großteile ihrer Nutzungsreserven in Form des ungenutzten Zuwachses nutzen. Die größten Nutzungsreserven befinden sich zurzeit in Niedersachsen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Baden-Württemberg (zusammen ca. 4,7 Millionen Tonnen atro).

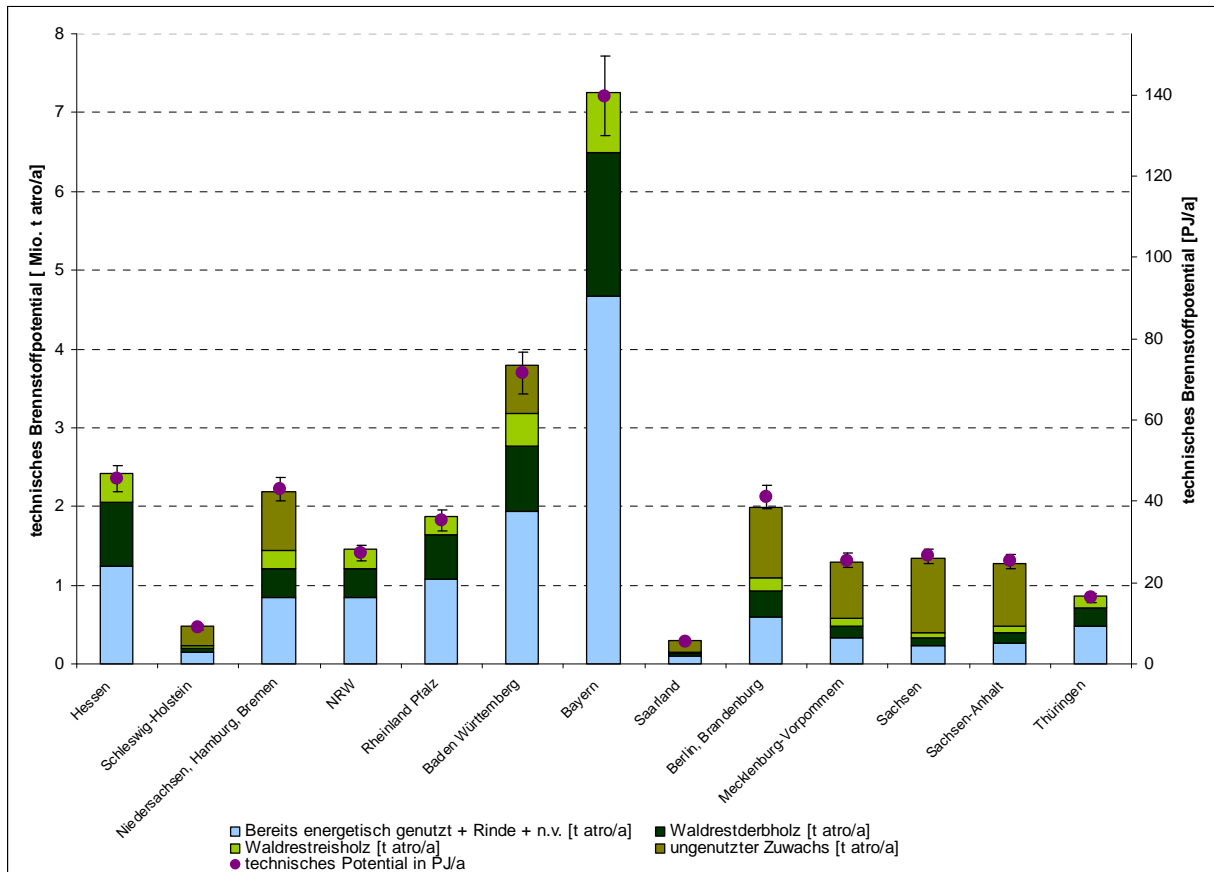


Abb. 8: Verteilung der technischen Brennstoffpotentialen in den Bundesländern pro Jahr (Durchschnitt von 2002 – 2008) (Quelle: eigene Berechnungen)

Abb. 9 und Abb. 10, sowie die Tab. 5 zeigen die Ergebnisse noch einmal in grafischer und tabellarischer Form.

Tab. 5: Technische Brennstoffpotentiale der Forstwirtschaft in t_{atro} und PJ/a (Quelle: eigene Berechnungen)

Bundesland	technisches Potenzial (t_{atro})											
	Einteilung nach Stärke				Einteilung nach Nutzung				Insgesamt			
	Derbholz Min [t atro]	Derbholz Max [t atro]	Reisholz Min [t atro]	Reisholz Max [t atro]	bereits energ. genutztes Stammholz + n.v. + Rinde Min [t atro]	bereits energ. genutztes Stammholz + n.v. + Rinde Max [t atro]	Waldresidenzholz Min [t atro]	Waldresidenzholz Max [t atro]	ungenutzter Zuwachs Min [t atro]	ungenutzter Zuwachs Max [t atro]	Insgesamt Min [t atro]	Insgesamt Max [t atro]
Hessen	1.908.768	2.210.178	319.702	399.627	1.245.076	663.681	965.101	319.702	399.627	0	2.228.460	2.609.805
Schleswig-Holstein	390.804	437.010	59.162	73.953	147.844	40.375	59.589	27.011	33.764	234.737	449.966	510.963
Niedersachsen, Hamburg, Bremen	1.671.752	1.882.771	368.457	460.571	844.539	293.095	432.898	201.946	252.432	700.629	2.040.209	2.343.343
NRW	1.137.663	1.274.846	217.144	271.430	851.403	286.260	423.443	217.144	271.430	0	1.354.807	1.546.277
Rheinland Pfalz	1.533.766	1.741.292	210.852	263.566	1.075.823	457.941	665.467	210.852	263.566	0	1.744.619	2.004.857
Baden Württemberg	2.883.220	3.230.738	655.607	819.509	1.930.651	680.700	991.969	360.590	450.738	566.885	3.538.827	4.050.246
Bayern	6.163.287	6.830.628	668.752	835.941	4.677.812	1.485.476	2.152.816	668.752	835.941	0	6.832.040	7.666.569
Saarland	241.221	271.100	36.422	45.527	97.747	33.389	48.589	15.414	19.267	131.093	277.643	316.627
Berlin, Brandenburg	1.544.098	1.758.063	299.159	373.948	604.049	266.868	391.076	144.072	180.090	828.267	1.843.257	2.132.011
Mecklenburg-Vorpommern	1.022.469	1.156.894	175.037	218.796	332.419	124.953	184.033	78.670	98.338	661.462	1.197.505	1.375.690
Sachsen	1.084.002	1.226.402	170.912	213.641	230.099	87.825	128.081	47.311	59.139	889.679	1.254.914	1.440.042
Sachsen-Anhalt	1.005.835	1.139.962	175.714	219.642	270.745	107.651	158.119	62.310	77.887	740.844	1.181.549	1.359.604
Thüringen	675.326	763.406	118.862	148.578	486.649	188.677	276.757	118.862	148.578	0	794.188	911.984
Deutschland	21.262.202	23.923.291	3.475.782	4.344.728	12.794.859	4.716.890	6.877.919	2.472.637	3.090.796	4.753.598	24.737.984	28.268.018

Bundesland	technisches Potenzial [PJ]											
	Einteilung nach Stärke				Einteilung nach Nutzung				Insgesamt			
	Derbholz Min [PJ/a]	Derbholz Max [PJ/a]	Reisholz Min [PJ/a]	Reisholz Max [PJ/a]	bereits energ. genutztes Stammholz + n.v. + Rinde Min [PJ/a]	bereits energ. genutztes Stammholz + n.v. + Rinde Max [PJ/a]	Waldresidenzholz Min [PJ/a]	Waldresidenzholz Max [PJ/a]	ungenutzter Zuwachs Min [PJ/a]	ungenutzter Zuwachs Max [PJ/a]	Insgesamt Min [PJ/a]	Insgesamt Max [PJ/a]
Hessen	35,9	41,6	6,0	7,5	23,4	12,5	18,2	6,0	7,5	0,0	42,0	49,1
Schleswig-Holstein	7,4	8,3	1,1	1,4	2,8	0,8	1,1	0,5	0,6	4,4	8,5	9,6
Niedersachsen, Hamburg, Bremen	32,8	36,9	7,2	9,0	16,6	5,7	8,0	4,0	4,9	13,7	40,0	45,9
NRW	21,4	24,0	4,1	5,1	16,0	5,4	8,5	4,1	5,1	0,0	25,5	29,1
Rheinland Pfalz	28,9	32,8	4,0	5,0	20,3	8,6	12,5	4,0	5,0	0,0	32,9	37,8
Baden Württemberg	54,4	61,0	12,4	15,5	36,4	12,8	18,7	6,8	8,5	10,7	66,8	76,4
Bayern	118,7	131,6	12,9	16,1	90,1	28,6	41,5	12,9	16,1	0,0	131,6	147,7
Saarland	4,5	5,1	0,7	0,8	1,8	0,6	0,9	0,3	0,4	2,4	5,2	5,9
Berlin, Brandenburg	31,8	36,2	6,2	7,7	12,5	5,5	8,1	3,0	3,7	2,4	38,0	44,0
Mecklenburg-Vorpommern	20,2	22,8	3,5	4,3	6,6	2,5	3,6	1,6	1,9	13,0	23,6	27,1
Sachsen	21,4	24,2	3,4	4,2	4,5	1,7	2,5	0,9	1,2	17,5	24,7	28,4
Sachsen-Anhalt	20,0	22,7	3,5	4,4	5,4	2,1	3,2	1,2	1,6	14,8	23,5	27,1
Thüringen	12,9	14,6	2,3	2,8	9,3	3,6	5,3	2,3	2,8	0,0	15,1	17,4
Deutschland	410	462	67	84	246	91	132	47	59	94	477	546

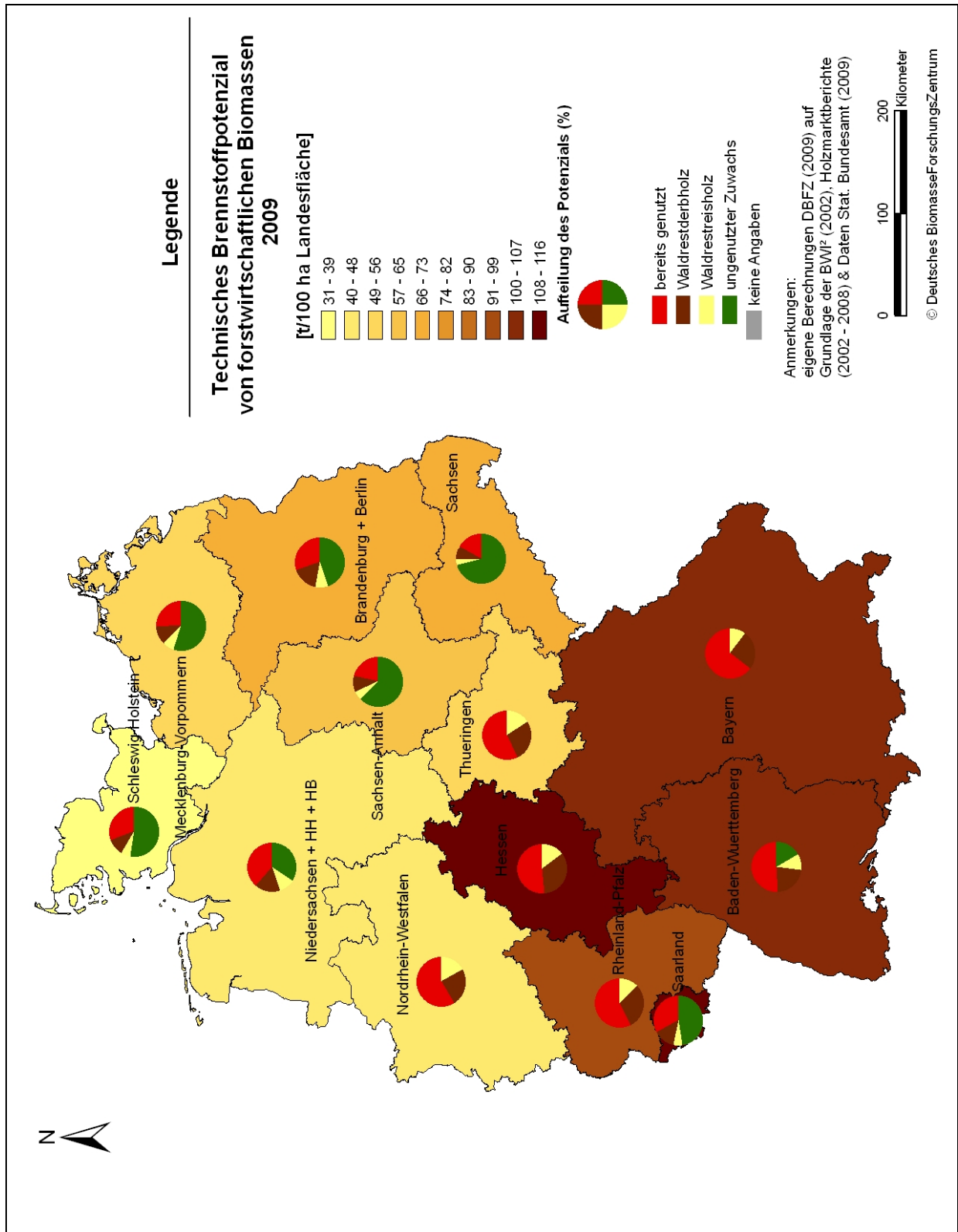


Abb. 9: Technische Brennstoffpotentiale in der Forstwirtschaft in Tonnen atro pro Jahr (Quelle: eigene Berechnung)

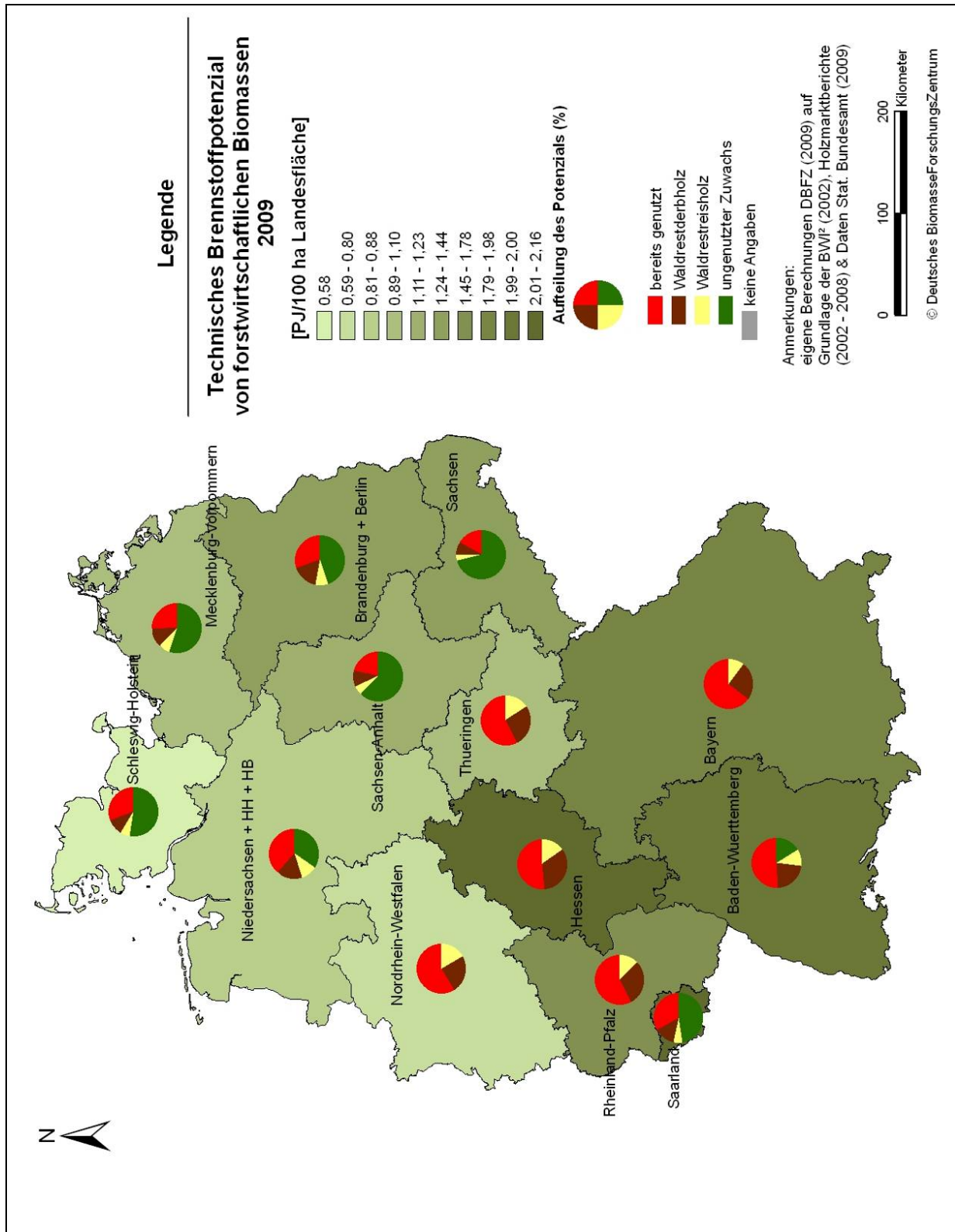


Abb. 10: Technische Brennstoffpotentiale in der Forstwirtschaft in PJ pro Jahr (Quelle: eigene Berechnungen)

3.2.1 Diskussion

Wie bereits erwähnt, wurde zur Ermittlung des gewichteten Zuwachses Daten aus der BWI² genutzt. Zum einen war dies die Waldfläche, zum anderen die prognostizierten Zuwächse. Auch wenn die BWI² bereits 2002 stattfand, wurde auf sie zurückgegriffen, um statistisch abgesicherte und vergleichbare Daten für alle Bundesländer zu erhalten.

Da die hier benutzte Methode neben dem Derbholz auch das Reisig nutzt, muss zur Validierung der Ergebnisse diese Komponente unberücksichtigt bleiben. Zur Validierung wurde auf die Studie von ARETZ & HIRSCHL zurückgegriffen, da diese eine Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse gibt. Darin werden Energiepotenziale für Deutschland von Minimum 322 PJ bis Maximum 450 PJ genannt. /3/

Werden nun nur die Faktionen berücksichtigt, die auch in der Studie von ARETZ & HIRSCHL benannt sind, so ergibt sich ein technisches Brennstoffpotential von 265 bis 317 PJ/a /3/. Somit liegen die Ergebnisse noch unter den dort beschriebenen Minimalwerten für das technische Brennstoffpotential in der Forstwirtschaft.

Abschließend kann gesagt werden, dass mit dem erstellten Modell flexibel auf eine veränderte Datenlage reagiert werden kann. Die neuen Daten werden in das Modell eingegeben, die Berechnungen der neuen Ergebnisse für das energetisch-technische Potenzial erfolgt unkompliziert.

4 RESTSTOFFE

Zu den Reststoffen werden im Rahmen dieser Untersuchungen landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche und sonstige Reststoffe unterschieden. Zu den ersteren zählen Stroh und Exkremate aus der Nutztierhaltung, also Gülle, Einstreu und Festmist. Unter sonstigen Reststoffen werden Industrierestholz, Bio- und Grünabfälle und Altholz verstanden. Zu diesen Biomassefraktionen wird jeweils das jeweilige Mengenaufkommen und daraus resultierend das technische Biomassepotenzial ermittelt.

4.1 Landwirtschaftliche Reststoffe

Unter die landwirtschaftlichen Reststoffe fallen Stroh und Exkremate aus der Nutztierhaltung. Im Folgenden wird die Methodik zur Ermittlung der technischen Brennstoffpotenziale für diese Biomassefraktionen ausführlich dargestellt und die Ergebnisse erläutert.

4.1.1 Stroh

Im Allgemeinen wird der Ernterückstand von Körner liefernden Kulturen wie Getreide, Ölsaaten und Körnermais bezeichnet. In dieser Studie werden Getreide- und Rapsstroh in die Potenzialermittlungen einbezogen. Dabei macht Getreidestroh den deutlich größten Teil aus, da es 2007 in Deutschland auf insgesamt etwa 6 Mio. ha angebaut wird. Hier wiederum nimmt Weizen die größten Flächenanteile ein.

Theoretisch kann das gesamte anfallende Stroh für eine energetische Nutzung eingesetzt werden. Da allerdings ein großer Teil bereits einer stofflichen Nutzung zugeführt wird, bleibt nur noch ein Teil für energetische Verwendungszwecke. Zu großen Teilen verbleibt das Stroh auf dem Acker und wird zur Erhaltung der Nährstoff- und Humusbilanz des Bodens untergepflügt /34/. Andere Konkurrenznutzungen sind der Einsatz in der Tierhaltung als Einstreu und als Bodenverbesserer in Gartenbaubetrieben und Kleingärten.

Es werden nachfolgend die technischen Brennstoffpotenziale von Getreide- und Rapsstroh für Deutschland auf Landkreisebene bestimmt. Dabei wird das Potenzial für das Jahr 2007 berechnet und für 2020 in drei Szenarien in Anlehnung an die Getreide- und Rapsanbauflächen aus Kapitel 2 bestimmt.

Methodik

Als Datenbasis zur Ermittlung des technischen Brennstoffpotenzials von Stroh in Deutschland dienen die Anbauflächen von Getreide und Winterraps. Für das Jahr 2007 werden hier die statistisch ausgewiesenen Flächen verwendet. Für die Szenarien für 2020 werden die Anbauflächen im Non-Food-Bereich, die im Kapitel 2 bestimmt wurden, genutzt. Da das Stroh auch von Getreide und Winterraps genutzt werden kann, die für die Lebensmittelproduktion angebaut werden, wird zusätzlich noch die Anbaufläche im Food-Bereich einbezogen. Als weitere Datenbasis dienen die landkreisspezifischen Hektarerträge der Getreidekörner und von Rapssaat. Wie bereits in Kapitel 2 werden auch an dieser Stelle für die Berechnung der Szenarien Ertragssteigerungen angenommen (siehe Tab. 2 im Kapitel 2).

In einem ersten Berechnungsschritt wird mit Hilfe der Anbauflächen und der Hektarerträge die Erntemenge von Getreidekörnern und Rapssaat bestimmt. Unter Verwendung des Korn-Stroh-Verhältnisses kann daraus schließlich das Strohaufkommen berechnet werden. Dieses Verhältnis

nimmt bis 2020 zu Ungunsten des Strohs aufgrund von Züchtung hin zu höheren Kornerträgen leicht ab (siehe Tab. 6).

$$P_R = AF \cdot E \cdot f_{KS} \cdot f \quad \text{Gl. 12}$$

P_R - technisches Rohstoffpotenzial [t_{TM}/a]; AF - Anbaufläche [ha]; E - Hektarertrag [t/ha]; f_{KS} - fruchtartspezifisches Korn-Stroh-Verhältnis f - Erschließungsfaktor

Tab. 6: Korn-Stroh-Verhältnis 2007 und 2020 /34/

	2007	2020
Weizen	1 : 0,80	1 : 0,72
Gerste	1 : 0,80	1 : 0,72
Roggen	1 : 0,90	1 : 0,81
Hafer	1 : 1,10	1 : 0,99
Triticale	1 : 0,90	1 : 0,81
Raps	1 : 1,70	1 : 1,53

Das so errechnete Mengenaufkommen von Stroh kann jedoch aufgrund von Konkurrenznutzungen (siehe Einleitung) nicht vollständig für energetische Zwecke eingesetzt werden. Es wird daher ein Erschließungsfaktor von 20 % angenommen, der den Anteil des Strohs, das für die Produktion von Bioenergie, also beispielsweise für die Verbrennung, genutzt werden kann, am gesamten Stroh widerspiegelt. Weiterhin wird der Wassergehalt von etwa 15 % vom Strohaufkommen abgezogen.

Das technische Rohstoffpotenzial kann schließlich mit dem spezifischen Heizwert in das technische Brennstoffpotenzial umgerechnet werden.

$$P_B = P_R \cdot TM \cdot H_u \quad \text{Gl. 13}$$

P_B - technisches Brennstoffpotenzial [PJ/a]; P_R - technisches Rohstoffpotenzial [t_{TM}/a]; TM - Trockenmasseanteil; H_u - unterer Heizwert [GJ/ t_{atro}]

Ergebnisse

Aus den Berechnungen im Rahmen dieser Studie ergibt sich 2007 insgesamt ein technisches Rohstoffpotenzial von 6,4 Mio. t_{TM} . Für das Szenario „Business as usual“ liegt die Menge des anfallenden Strohs mit 5,5 Mio. t_{TM} und für das Bioenergieszenario mit 5 Mio. t_{TM} aufgrund geringerer Getreide- und Rapsanbauflächen etwas niedriger. Die Berechnungen aus dem Szenario „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ ergeben eine Strohmenge von 5,8 Mio. t_{TM} . In Abb. 11 ist beispielhaft die Verteilung des technischen Rohstoffpotenzials auf Bundeslandebene für das Jahr 2007 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass Bayern und Niedersachsen über die größten Strohpotenziale verfügen.

Das daraus resultierende technische Brennstoffpotenzial ist in Abb. 12 dargestellt. Im Jahr 2007 ist das Potenzial mit 110 PJ am größten, während das Szenario „Bioenergie“ mit 87 PJ für 2020 das geringste Strohpotenzial ausweist. Die regionale Verteilung des Potenzials entspricht den Getreide- und Rapsanbaugebieten, weshalb große Potenziale in Niedersachsen, im Norden von Mecklenburg-Vorpommern und in Mitteldeutschland auftreten.

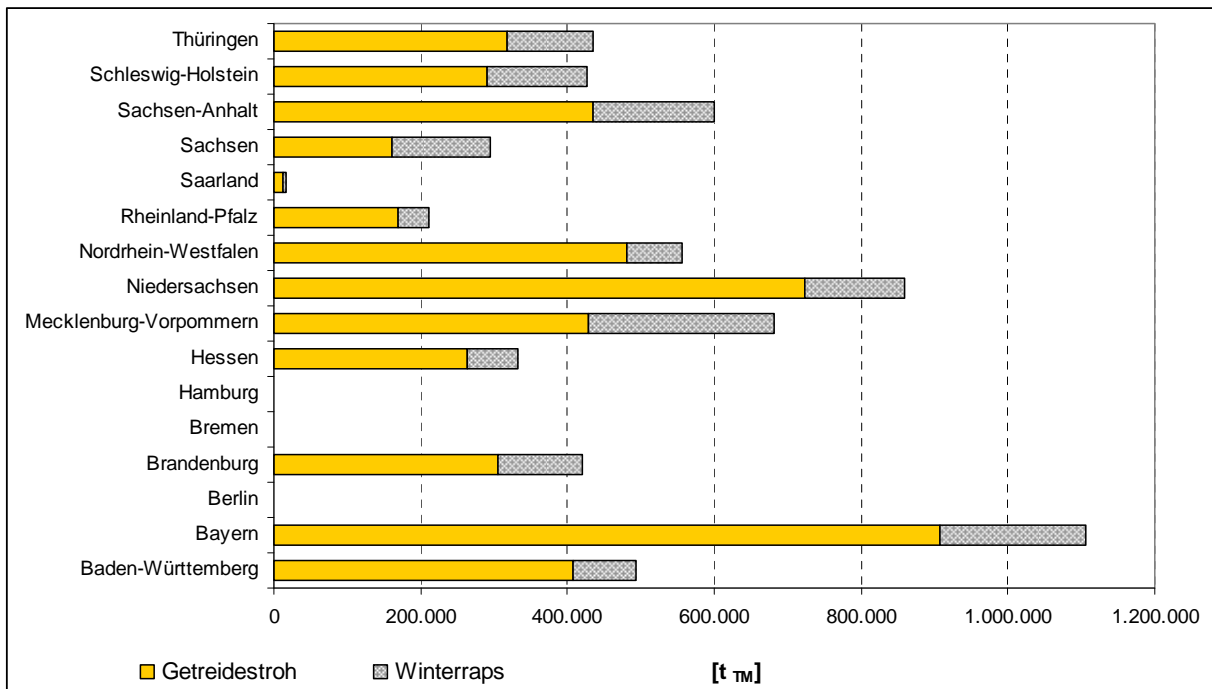


Abb. 11: Technisches Rohstoffpotenzial von Getreide- und Rapsstroh im Jahr 2007 (Quelle: eigene Berechnungen)

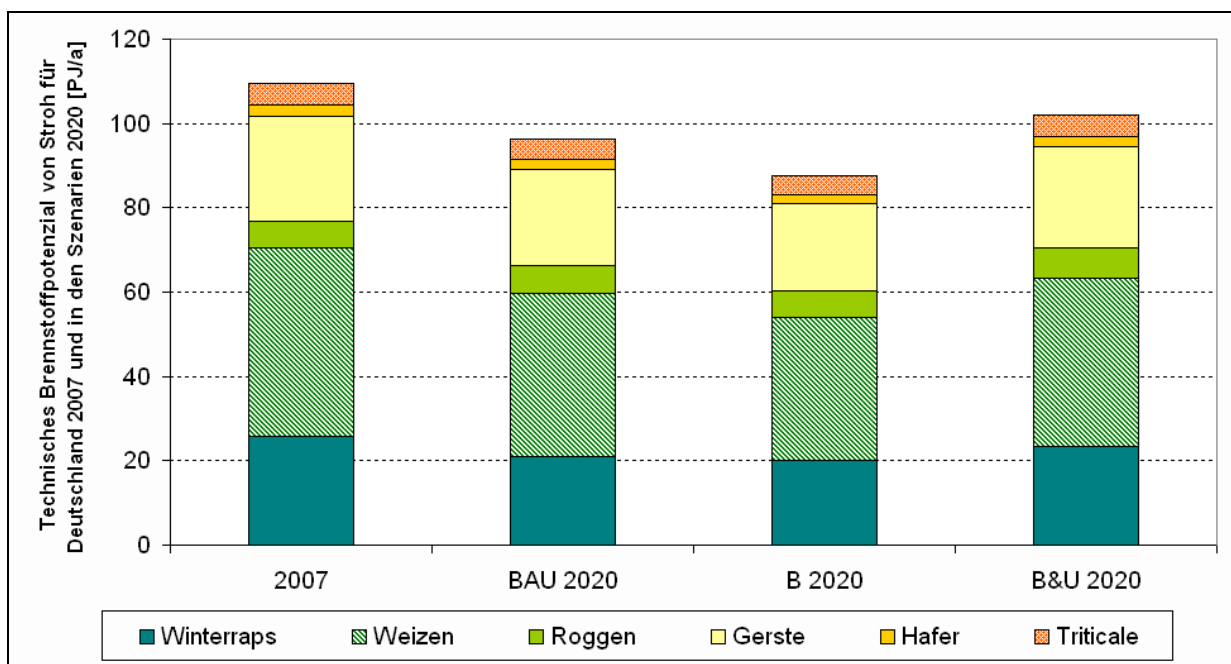


Abb. 12: Technisches Brennstoffpotenzial von Stroh (Quelle: eigene Berechnungen)

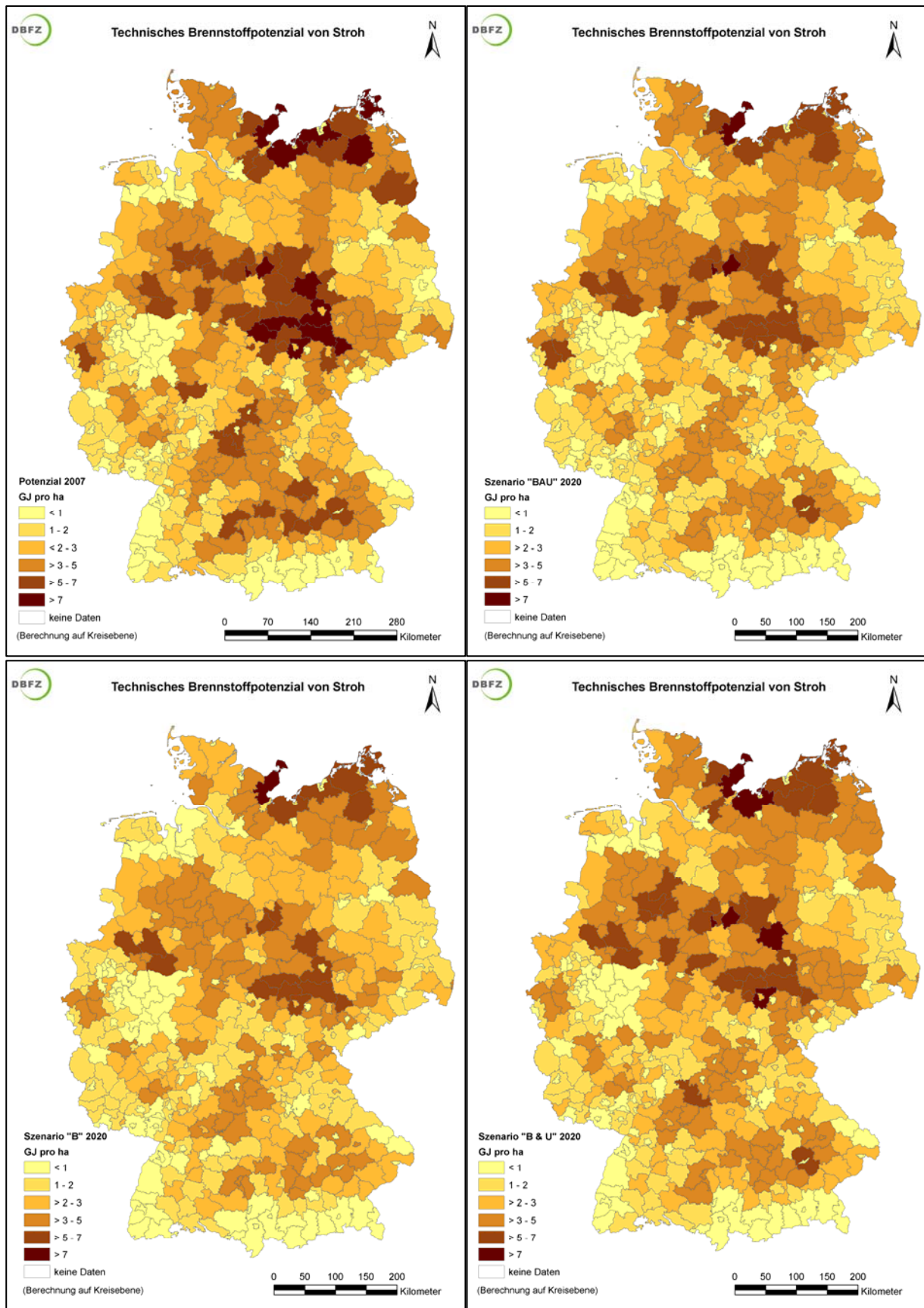


Abb. 13: Technisches Brennstoffpotenzial von Stroh für 2007 und für die Szenarien 2020 (Quelle: eigene Berechnungen)

Diskussion

Das Mengenaufkommen des Stroh hängt dabei direkt von den Anbauflächen von Getreide und Winterraps sowie dem zu Grunde gelegten Korn-Stroh-Verhältnis ab. Wie auch bei der Bestimmung der Energiepflanzenpotenziale liegt daher mit der Datenbasis von den statistischen Landesämtern eine einheitliche und zuverlässige Datengrundlage zur Berechnung der Strohpotenziale vor.

Ausgehend davon liegen die Regionen mit den größten technischen Brennstoffpotenzialen in den Regionen, die einen hohen Anteil an Getreide bzw. Winterraps auf den Ackerflächen aufweisen. Wie in Abb. 13 zu erkennen, sind diese Gebiete vor allem in Niedersachsen, der Küstenregion von Mecklenburg-Vorpommern und in Mitteldeutschland, vor allem Sachsen-Anhalt, zu finden.

Momentan wird Stroh nur in geringen Mengen energetisch genutzt. Eine Verbrennung ist z. B. in Strohkesseln oder in Kraftwerken und Heizwerken möglich. Da dies allerdings mit technischen Problemen, wie einem relativ hohen Aschegehalt verbunden ist, hat eine energetische Strohnutzung bislang in Deutschland nur eine sehr untergeordnete Bedeutung.

4.1.2 Exkremete aus der Nutztierhaltung

Exkremete aus der Nutztierhaltung fallen in der Viehhaltung in relevanten Mengen vor allem bei Rindern und Schweinen an. Die Inhaltsstoffe dieser Biomasse sind der flüssig anfallende Harn und der mehr oder weniger feste Kot. Diese fallen zusammen mit der Einstreu (Stroh oder Späne) an, was dann als Festmist bezeichnet wird. Sind in Kot und Harn keine weiteren Stoffe enthalten, wird von Gülle gesprochen. Die Art und Menge der anfallenden Exkremete schwankt je nach Art der Fütterung. Bei der Fütterung von Flüssigfutter ist die Schweinegülle beispielsweise dünner als bei der Fütterung von trockenerem Futter. Auch ist Rindergülle bei gleichem Trockenmassegehalt deutlich zähflüssiger als Schweinegülle /34/.

Die tierischen Exkremete werden zur energetischen Verwertung ausschließlich in Biogasanlagen eingesetzt und sind aus technischer Sicht leicht zu vergären. Die Gärreste können schließlich als Dünger auf den Acker ausgebracht werden. Dabei sind die Nährstoffe besser pflanzenverfügbar als wenn die Gülle direkt auf das Feld gebracht wird.

Methodik

Zur Bestimmung des energetisch nutzbaren Biogaspotenzials aus Exkrementen und Einstreu werden die Nutztierarten Rinder, Schweine und Hühner berücksichtigt. Auf Grund einer überwiegenden Freilandhaltung bzw. eines ohnehin sehr geringen Anfalls von Exkrementen bleiben andere Tierarten wie Schafe, Ziegen, Pferde, Gänse und Enten bei der Potenzialbestimmung unberücksichtigt. Bestimmt wird das technische Brennstoffpotenzial von Exkrementen von Rindern und Schweinen auf Landkreisebene. Das Potenzial von Hühnerkot und –festmist wird aufgrund einer uneinheitlichen Datenlage auf Bundeslandebene bestimmt.

Dabei wird für Rinder eine Stallhaltung von insgesamt 68 % (85 % Stallhaltung während der vier Wintermonate und 60 % Stallhaltung im übrigen Jahr) und für Schweine eine Stallhaltung von 100 % angenommen. Weiterhin wird unterstellt, dass bei 15 % der Rinder und Schweine Stroh oder Sägespäne eingestreut werden, wobei unberücksichtigt bleibt, dass ein bestimmter Anteil des eingestreuten Stroh von den Tieren gefressen wird. Für Hühner wird angenommen, dass 71 %

der Legehennen im Stall, und 21 % der Legehennen sowie 92 % der restlichen Hühner mit Einstreu gehalten werden (nach /47/ und /33/).

Zur Bestimmung des Mengenaufkommens an Rinder- und Schweinegülle werden die Viehbestände auf Kreisebene in Großvieheinheiten (GVE) umgerechnet. Außerdem werden die Viehbestandsgrößen untersucht, da die Nutzung bzw. Sammlung der Gülle nur für Bestände mit entsprechender Größe rentabel ist. So wird Rindergülle ab einer Bestandsgröße von 50 Tieren und Schweinegülle ab Beständen mit mindestens 100 Tieren in die Berechnungen mit einbezogen. Mit tierartspezifischen Werten für Exkrementanfall je GVE werden die entsprechenden Mengen je Kreis berechnet.

Zur Bestimmung von Potenzialen von Hühnerexkrementen und -einstreu wurden ebenfalls Betriebe mit kleinen Bestandsgrößen ausgeklammert. Im Gegensatz zur Berechnung der Schweine- und Rinderexkremente wird die Anzahl der Hühner nicht in GVE umgerechnet, sondern es werden Exkrementanfall und Stallhaltungsfaktor nach Legehennen, Küken etc. unterschieden. Weiterhin wird angenommen, dass nur Legehennen energetisch nutzbare Gülle produzieren. Tiere unter 6 Monate sowie Schlacht- und Masthühner sind daher nur für den Anfall an Einstreu berücksichtigt.

Mit Hilfe des jeweiligen Biogasertrags je t_{FM} (siehe Tab. 7) wird aus diesen Werten anschließend die entsprechende Menge Biogas ermittelt, die bei Einsatz der Gülle bzw. des Festmistes in einer Biogasanlage entstehen würde. Das Biogas wiederum hat einen spezifischen Heizwert von 21,6 MJ/m³, aus dem schließlich das technische Brennstoffpotenzial abgeschätzt werden kann /24/.

Die folgende Gleichung dient zur Ermittlung des technischen Brennstoffpotenzials von Rinder- und Schweineexkrementen.

$$P_B = GVE \cdot (f_{Gülle} \cdot r_{Gülle} \cdot b_{Gülle} + f_{Einstreu} \cdot r_{Einstreu} \cdot b_{Einstreu}) \cdot H_u \cdot 10^{-9} \quad \text{Gl. 14}$$

P_B - technisches Brennstoffpotenzial von Rinder-/Schweine-Exkrementen [PJ/a], GVE - Großvieheinheiten; f - Erschließungsfaktor (Anteil Stallhaltung bzw. Haltung mit Einstreu); r - Reststoffanfall [$t_{FM}/GVE \cdot a$]; b - Biogasertrag [m^3/t_{FM}]; H_u - unterer Heizwert von Biogas [MJ/m³]

Gl. 15 hingegen dient zu Bestimmung des technischen Brennstoffpotenzials aus Hühnerkot und Festmist aus der Hühnerhaltung.

$$P_B = A \cdot (f_{Gülle} \cdot r_{Gülle} \cdot b_{Gülle} + f_{Einstreu} \cdot r_{Einstreu} \cdot b_{Einstreu}) \cdot H_u \cdot 10^{-9} \quad \text{Gl. 15}$$

P_B - technisches Brennstoffpotenzial von Hühner-Exkrementen [PJ/a], A - Anzahl Tiere; f - Erschließungsfaktor (Anteil Stallhaltung bzw. Haltung mit Einstreu); r - Reststoffanfall [$t_{FM}/GVE \cdot a$]; b - Biogasertrag [m^3/t_{FM}]; H_u - unterer Heizwert von Biogas [MJ/m³]

Tab. 7: Faktoren zur Bestimmung des technischen Potenzials von Tier-Exkrementen /33/, /53/ und /32/)

	Rinder	Schweine	Hühner
Stallhaltung	68%	100%	71%*
Haltung mit Einstreu	15%	15%	21 – 92%
Gülleanfall [t/GVE bzw. Tier]	15	11	0,022*
Festmistanfall [t/GVE bzw. Tier]	1,3	2,0	0,007 - 0,027
Biogasertrag Gülle [m ³ /t _{FM}]	25	36	67*
Biogasertrag Festmist [m ³ /t _{FM}]	100	100	80-169

* nur Legehennen

Ergebnisse

Aus den Berechnungen ergibt sich eine Menge von 139 Mio. t an Gülle bzw. Einstreu, die für eine energetische Nutzung verfügbar sind. Daraus ergibt sich ein Biogasertrag von insgesamt 4.000 Mio. m³/a (siehe Abb. 14), was einem technischen Brennstoffpotenzial von 87,7 PJ/a entspricht. Der größte Teil hiervon wird von Rinderexkrementen mit 54,9 PJ/a eingenommen während Schweinegülle und –einstreu noch einen Anteil von 29,9 PJ/a und Hühnerexkremente 2,9 PJ/a am Potenzial haben.



Abb. 14: Biogasertrag aus Gülle und Einstreu in Deutschland 2007 (Quelle: eigene Berechnungen)

Die regionale Verteilung des technischen Brennstoffpotenzials von Exkrementen aus der Rinder und Schweinehaltung wird in Abb. 15 dargestellt. Dabei zeigen sich die größten Potenziale im nordwestlichen Teil Niedersachsens und im südöstlichen Bayern.

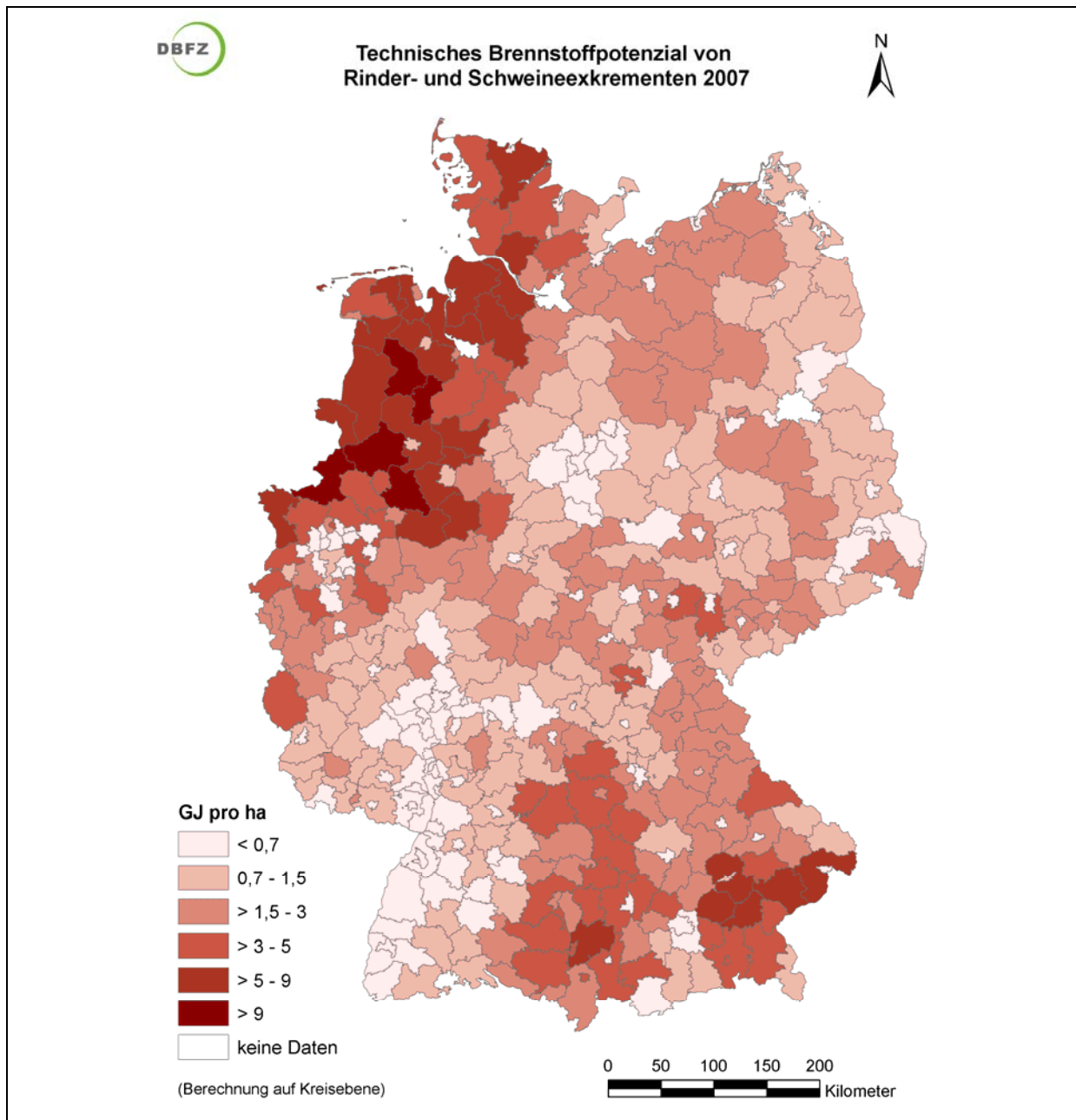


Abb. 15: Regionale Verteilung der Potenziale an Rinder- und Schweineexkrementen aus der Tierhaltung 2007 (Quelle: eigene Berechnungen)

Diskussion

Die technischen Brennstoffpotenziale aus Exkrementen der Viehhaltung werden über einen statistischen Ansatz bestimmt. Dabei können die Potenziale aus der Hühnerhaltung nur auf Bundeslandebene berechnet werden. Das Aufkommen und damit auch das technische Brennstoffpotenzial von Rinder- und Schweinegülle sowie Einstreu kann hingegen auf Landkreisebene für Deutschland dargestellt werden. Da nur die Tierbestände ab einer bestimmten Größe mit aufgenommen werden, entfällt ein Teil des theoretischen Aufkommens an Exkrementen, die wahrscheinlich aufgrund zu geringer Mengen nicht für energetische Zwecke genutzt würde.

Probleme bei der Nutzung in Biogasanlagen könnte es beim Einsatz von Hühnerexkrementen in Biogasanlagen aufgrund von hohen Stickstoffgehalten kommen, die wiederum zu einer erhöhten

Konzentration von Ammonium führen Insgesamt werden die Reststoffe aus der Tierhaltung trotz einer relativ einfachen technischen Umsetzung zu Biogas in Deutschland noch nicht vollständig genutzt, da die Gülle auch ohne Vorbehandlung auf die Felder aufgebracht werden kann. Allerdings verringert eine Vergärung der Exkrememente den Ausstoß von klimawirksamen Gasen bei der Lagerung und die Nährstoffe sind besser pflanzenverfügbar /34/.

4.2 Sonstige Reststoffe

4.2.1 Bio- und Grünabfälle

Unter Bioabfällen werden gemäß der Bioabfallverordnung Abfälle verstanden, die tierischen oder pflanzlichen Ursprungs sind und durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können /5/. 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 fällt es als Grünschnitt bei der Garten-, Landschafts- und Parkpflege an /55/.

Die Bio- und Grünabfälle werden deutschlandweit teils flächendeckend, teils lokal begrenzt über Sammelsysteme getrennt erfasst. Ein Teil der organischen Fraktion wird jedoch unsortiert über die Restmüllfraktion entsorgt.

Die Entsorgung der Bio- und Grünabfälle erfolgt vorrangig in biologischen Behandlungsanlagen in Form der Kompostierung /34/. In den vergangenen Jahren wurden zunehmend Anlagen errichtet, die eine Vergärung von feuchten und leichtabbaubaren biogenen Fraktionen ermöglichen /55/. Weitere Pfade zur energetischen Nutzung der Bio- und Grünabfälle stellen die thermo-chemischen Verfahren Pyrolyse und Vergasung dar /35/. Hierfür werden biogene Abfälle mit einem Trockenstoffgehalt von etwa 90 % benötigt /35/.

Über welches Rohstoffpotenzial an Bio- und Grünabfällen Deutschland verfügt und welches technische Brennstoffpotenzial sich hieraus ergibt, wird nachfolgend ermittelt.

Methodik

Die Vorgehensweise zur Berechnung des deutschlandweiten Aufkommens und technischen Rohstoffpotenzials von Bio- und Grünabfällen sowie das resultierende technische Brennstoffpotenzial auf Landkreisebene zeigt Abb. 16.

Zunächst wird das Aufkommen an Bio- und Grünabfall über die Bevölkerung der Landkreise sowie das Pro-Kopf-Aufkommen für 2007 und 2020 berechnet. Die für die Berechnungen zu Grunde gelegten Bevölkerungszahlen basieren auf Einwohnerstatistiken der Landkreise für das Jahr 2007 sowie auf bundeslandspezifischen Berichten, die die Bevölkerungsentwicklung für das Jahr 2020 wiedergeben. Bei dem verwendeten Pro-Kopf-Aufkommen wird von einem deutschlandweit einheitlichen Wert von 118 kg/EW*a Bio- und Grünabfall ausgegangen und berücksichtigt, dass 25 kg/EW*a biogene Abfallstoffe im Restmüll vermischt vorliegen und nicht verwertet werden können. Somit resultiert eine getrennt erfasste Fraktion von 93 kg/EW*a, wobei angenommen wird, dass sich dieses Stoffgemisch zu jeweils 50 % aus Bio- bzw. Grünabfall zusammensetzt. Infolgedessen wird für die Berechnung des theoretischen Rohstoffpotenzials ein einwohnerspezifisches Pro-Kopf-Aufkommen von 46,5 kg/EW*a sowohl für Bio- als auch für Grünabfall verwendet /47/.

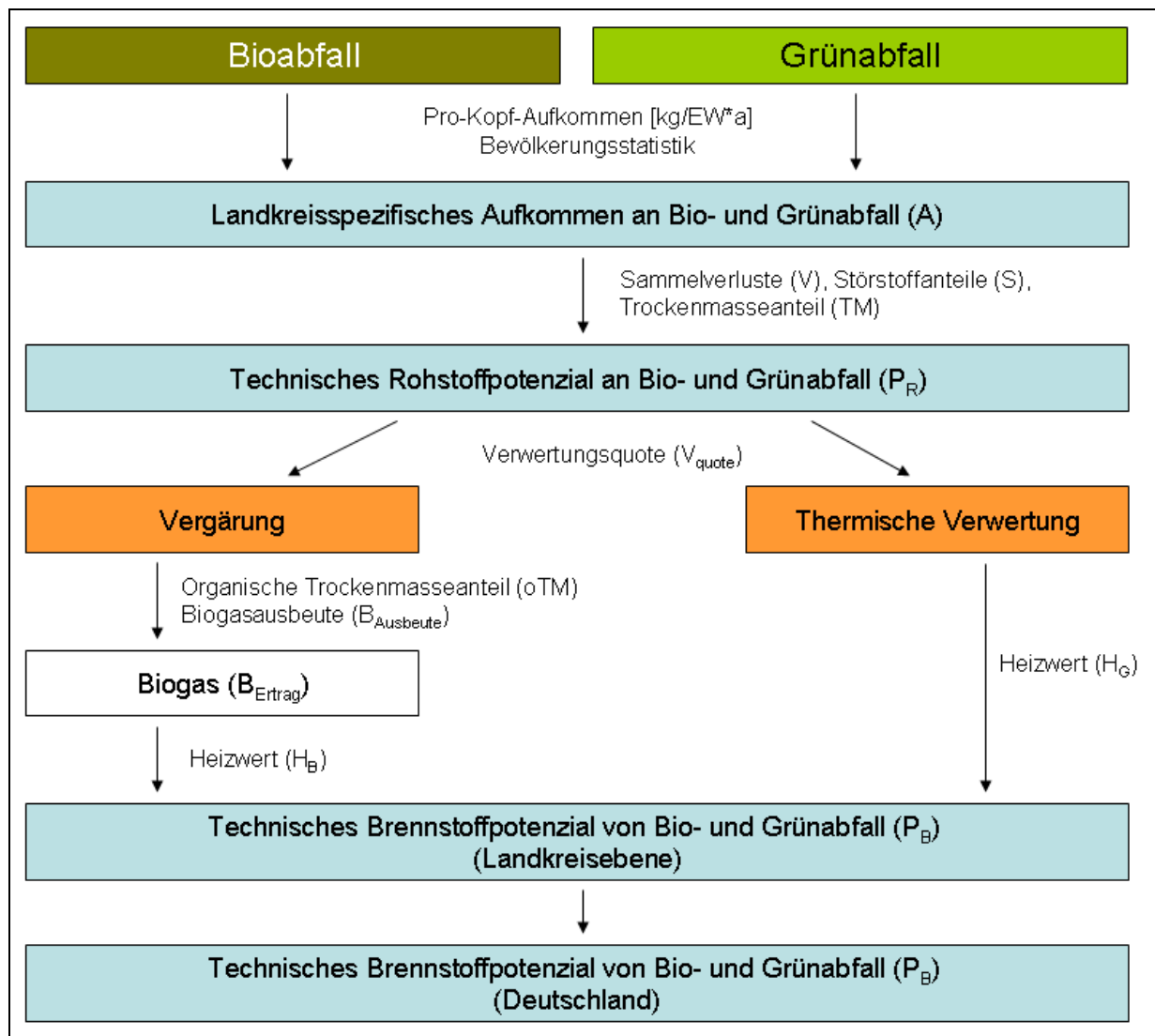


Abb. 16: Vorgehensweise zur Ermittlung des technischen Rohstoff- und Brennstoffpotenzials auf Landkreisebene (Quelle: eigene Darstellung)

Anhand der ermittelten Mengen an Bio- und Grünabfällen werden anschließend die landkreisspezifischen technischen Rohstoffpotenziale in Trockenmasse (40 % TM-Gehalt /55/) berechnet. Zudem werden Verluste (ein Prozent), die bei der Abfallsammlung auftreten sowie ein Störstoffanteil (vier Prozent) angenommen (nach Gl. 16).

$$P_R = (A - V - S) \cdot TM$$

Gl. 16

P_R - technisches Rohstoffpotenzial [t_{TM}/a]; A - Aufkommen [t_{FM}/a]; V - Sammelverluste; S - Störstoffanteil; TM - Trockenmasseanteil

Für die Berechnung des technischen Brennstoffpotenzials von Bio- und Grünabfällen wird nachfolgend zwischen den beiden Verwertungspfaden - Vergärung und thermische Verwertung - unterschieden. Während bei den Bioabfällen das gesamte Aufkommen für die Biogasgewinnung einge-

setzt wird, wird bei den Grünabfällen lediglich 40 % der Abfallmenge vergärt und 60 % thermisch verwertet /44/.

Bei der Vergärung entsteht das für die Energieerzeugung relevante Biogas. Der resultierende Biogasertrag ergibt sich, ausgehend von der ermittelten organischen Trockenmasse (50 % des techn. Rohstoffpotenzial /55/), über die Ausbeute an Biogas, die 390 l/kg_{oTM} Bio- und Grünabfall /44/ beträgt (nach Gl. 17).

$$b_{\text{Ertrag}} = P_R \cdot V_{\text{quote}} \cdot oTM \cdot b_{\text{Ausbeute}} \quad \text{Gl. 17}$$

b_{Ertrag} - Biogasertrag [m³/a]; P_R - technisches Rohstoffpotenzial [t_{TM}/a]; V_{quote} - Verwertungsquote; oTM - Anteil organische Trockenmasse; b_{Ausbeute} - Biogasausbeute [l/kg_{oTM}];

Aus der berechneten Biogasmenge und dem unteren Heizwert von Biogas mit 22,5 MJ/m³ /24/ resultiert das technische Brennstoffpotenzial der Bio- und Grünabfälle auf Landkreisebene (nach Gl. 18).

Bei der thermischen Verwertung, die bei der Betrachtung der Bioabfälle keine Rolle spielt, wird für die Berechnung des technischen Brennstoffpotenzials der mittlere Heizwert von 5 GJ/t /55/ und das technische Rohstoffpotenzial zu Grunde gelegt (nach Gl. 19).

Die Summe des landkreisspezifischen technischen Brennstoffpotenzials aus der Vergärung und der thermischen Verwertung von jeweils des Bio- und Grünabfallaufkommens ergibt letztendlich das gesamte technische Brennstoffpotenzial auf Landkreisebene.

$$P_{B,V} = b_{\text{Ertrag}} \cdot H_B \quad \text{bzw.} \quad \text{Gl. 18}$$

$$P_{B,T} = P_R \cdot V_{\text{quote}} \cdot H_G \quad \text{Gl. 19}$$

$P_{B,V}$ - technisches Brennstoffpotenzial durch Vergärung [TJ/a]; b_{Ertrag} - Biogasertrag [m³/a]; H_B - Heizwert Biogas [MJ/m³]; $P_{B,T}$ - technisches Brennstoffpotenzial durch thermische Verwertung [TJ/a]; P_R - technisches Rohstoffpotenzial [t_{TM}/a]; V_{quote} - Verwertungsquote; H_G - Heizwert Grünabfall [GJ/t]

Ergebnisse

Anhand der landkreisspezifischen Bevölkerungszahlen, die den Statistiken der jeweiligen Bundesländer entnommen sind, lag die Einwohnerzahl von Deutschland im Jahr 2007 bei ca. 82,3 Mio. Einwohnern. Bei einem angenommenen Pro-Kopf-Aufkommen von Bio- bzw. Grünabfällen mit je 46,5 kg/EW*a ergibt sich ein biogenes Abfallaufkommen von etwa 7,6 Mio. t/a. Abzüglich der Sammelverluste, Störstoffanteile sowie dem Wassergehalt folgt ein technisches Rohstoffpotenzial an Bio- und Grünabfällen von rund 2,9 Mio. t_{TM}/a. Unter Verwendung der Gl. 18 und Gl. 19 resultiert für das Jahr 2007 ein deutschlandweites technisches Brennstoffpotenzial aus Bio- und Grünabfällen von etwa 13.300 TJ/a (durch Vergärung und thermischen Verwertung).

Im Jahr 2020 wird die Bevölkerungszahl von Deutschland voraussichtlich etwa 80,5 Mio. Einwohner betragen und ein biogenes Abfallaufkommen von 7,5 Mio. t/a aufweisen. Unter Berücksichtigung von Verlusten und Störstoffen wird sich das technische Rohstoffpotenzial an Bio- und Grünabfällen auf rund 2,8 Mio. t_{TM}/a belaufen. Hieraus ergibt sich für das Jahr 2020 ein technisches Brennstoffpotenzial von Bio- und Grünabfällen von etwa 13.000 TJ/a, resultierend aus den beiden Verwertungswegen der Vergärung und thermischen Verwertung. Der Vergleich mit dem Basisjahr 2007 zeigt eine Reduzierung des technischen Brennstoffpotenzials um ca. zwei Prozent.

Die Darstellung des technischen Brennstoffpotenzials auf Bundeslandebene verdeutlicht (Abb. 17), dass insbesondere Nordrhein-Westfalen und Bayern mit über 2.000 TJ/a sowohl im Jahr 2007 als auch 2020 die größten Anteile zum gesamten Potenzial beitragen. Die Abb. 17 zeigt ebenfalls, dass das technische Brennstoffpotenzial von Bio- und Grünabfällen in Deutschland keinen generellen Rückgang erfährt. Während beispielsweise in Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Sachsen-Anhalt das Potenzial um bis zu 13 % sinkt, ist in Bayern ein Zuwachs von zwei Prozent zu verzeichnen. In einigen Bundesländern beträgt die Änderung des technischen Brennstoffpotenzials weniger als ein Prozent.

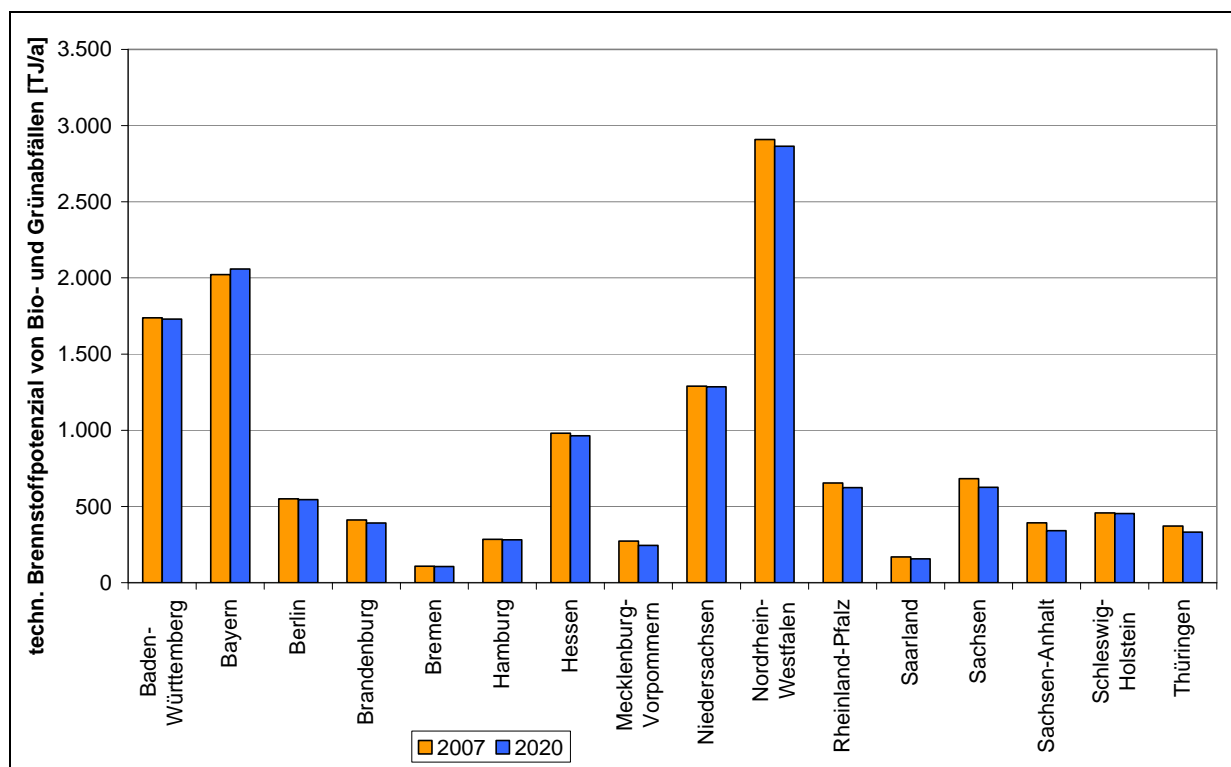


Abb. 17: Technisches Brennstoffpotenzial von Bio- und Grünabfällen [TJ/a] der Bundesländer für die Jahre 2007 und 2020 (Quelle: eigene Berechnungen)

Eine detaillierte Betrachtung der regionalen Verteilung des technischen Brennstoffpotenzials für das Jahr 2020 erfolgt in Abb. 18. Sie stellt das Potenzial von Bio- und Grünabfällen auf Landkreisebene dar. Hierbei wird deutlich, dass vor allem die Großstädte sowie die Regionen entlang des Rheins und das Ruhrgebiet hohe technische Brennstoffpotenziale aufweisen werden. Insbesondere Berlin wird mit 545 TJ/a über das größte technische Brennstoffpotenzial von Bio- und Grünabfällen verfügen. Mit einer voraussichtlichen Einwohnerzahl von rund 3,4 Mio. Einwohnern im Jahr 2020 ergibt sich für die Hauptstadt ein Bio- bzw. Grünabfallaufkommen von jeweils 156.823 t/a. Aus den Berechnungen resultiert das technische Rohstoffpotenzial mit je 59.593 t_{TM}/a Bio- bzw.

Grünabfall. Unter der Annahme, dass 100 % des Bioabfalls einer anaeroben Verwertung zugeführt werden, ist von einem Biogaspotenzial von etwa 1,1 Mio. m³/a auszugehen. Dies entspricht unter Verwendung des Heizwertes 22,5 MJ/m³ einem Energieertrag von 261,5 TJ/a. Im Vergleich zu den Bioabfällen werden die Grünabfälle lediglich zu 40 % vergärt und zu 60 % thermisch verwertet. Demzufolge ergibt sich ein Biogaspotenzial der Grünabfälle von rund 4,7 Mio. m³/a, das einem Energieertrag von 104,6 TJ/a entspricht. Die Grünabfälle, die der thermischen Verwertung zugehen, ergeben bei einem Heizwert von 5 GJ/t einen Energieertrag von 178,8 TJ/a. In Summe resultiert aus der Vergärung und thermischen Verwertung der Bio- und Grünabfälle das oben aufgeführte technische Brennstoffpotenzial von 545 TJ für Berlin im Jahr 2020.

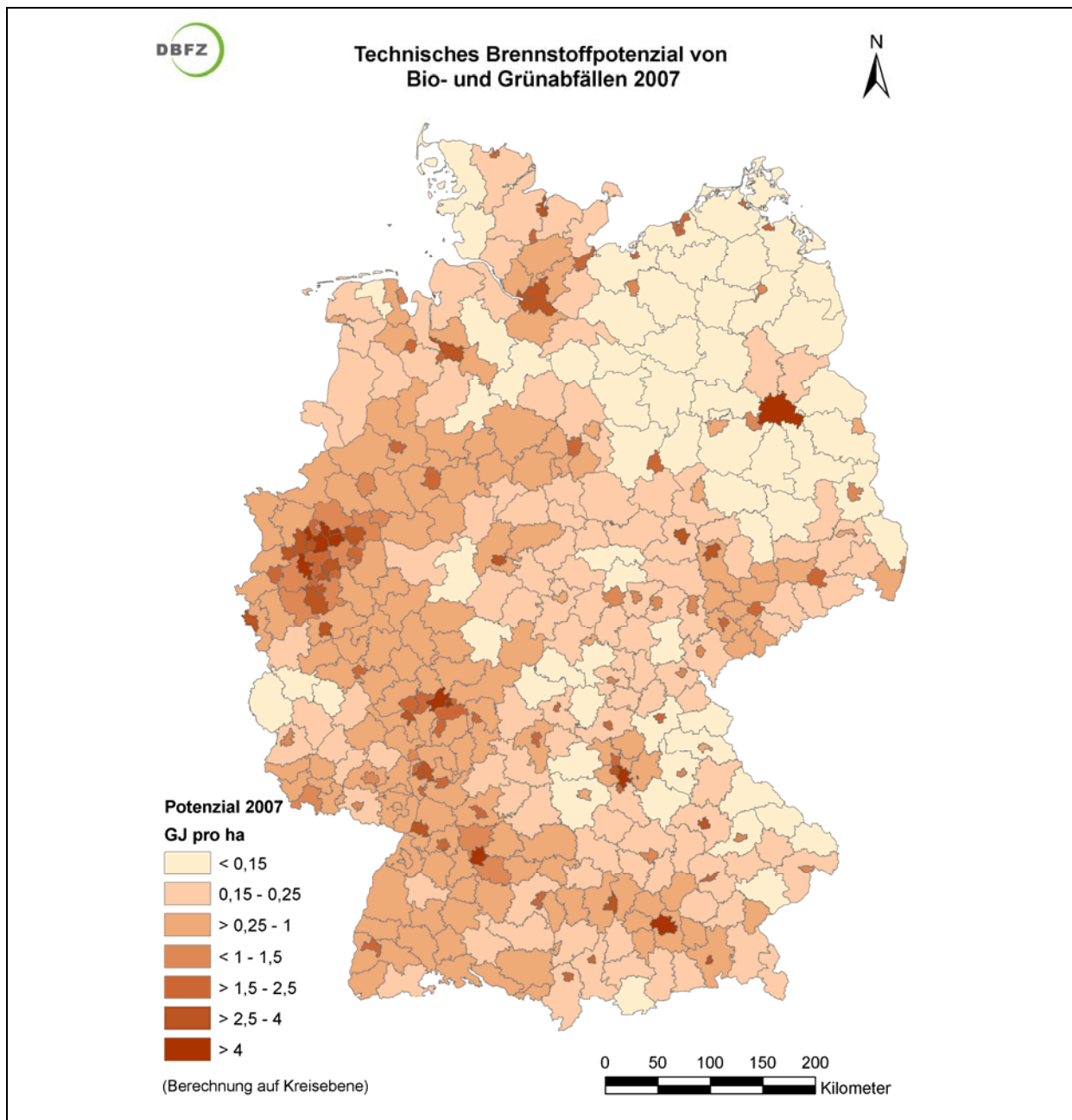


Abb. 18: Technisches Brennstoffpotenzial von Bio- und Grünabfällen 2007 (Quelle: eigene Berechnungen)

Diskussion

Das Aufkommen von Bio- und Grünabfällen ist direkt mit der Bevölkerung verbunden, da von einem spezifischen Pro-Kopf-Aufkommen pro Jahr ausgegangen wird. Somit ergibt sich ein besonders hohes technisches Brennstoffpotenzial in den Ballungsräumen wie Berlin und Hamburg oder auch dem Ruhrgebiet. Nicht mit in die Betrachtungen einbezogen wurde jedoch die Sammelquote der Abfälle, die in jeder Region unterschiedlich ist, da das Einsammeln der Abfälle von verschiedenen Unternehmen organisiert wird. So wird in verschiedenen Regionen auch unterschiedlich viel Bio- und Grünabfall eingesammelt.

Auch die verschieden durchgeführte Trennung der gesamten Siedlungsabfälle wurde nicht in die Potenzialbestimmungen mit einbezogen. So wird in verschiedenen Bundesländern oder Regionen Bio- und Grünabfall nicht von den restlichen Siedlungsabfällen getrennt erfasst und kann daher auch nicht gesondert für eine energetische Nutzung eingesetzt werden.

4.2.2 Industrierestholz

Industrierestholz fällt bei der stofflichen Nutzung von Waldholz an und umfasst alle Holzreste, die in Betrieben der holzbe- und verarbeitenden Industrie aufkommen /2/, /3/. In der Regel handelt es sich hierbei um Hackschnitzel, Späne, Spreißel, Abschnitte, Stäube oder Rindenstücke. Die größten Rückstandsmengen treten vor allem in der Säge- und Holzwerkstoffindustrie auf /3/.

Das in der Holzwirtschaft anfallende Restholzaufkommen wird im Wesentlichen einer stofflichen Verwertung entweder direkt vor Ort oder in anderen Betrieben zugeführt. So werden Sägenebenprodukte (SNP) sowohl in der Holzwerkstoffindustrie als auch in der Zellstoff- und Papierproduktion eingesetzt /43/. Beispielsweise dienen Hackschnitzel als Rohmaterial für die Herstellung von OSB- oder MDF-Platten /34/. Die Rinde der Rundhölzer ist ein Nebenprodukt, welches aufgrund seines hohen Wassergehaltes und Verschmutzungen nur bedingt für die stoffliche Verwertung geeignet ist /34/.

Wie groß das technische Rohstoff- und Brennstoffpotenzial in Deutschland ist, gilt es im Rahmen dieses Projektes zu ermitteln. Hierbei werden die Rückstandsmengen der Säge-, Holzwerkstoff- sowie Zellstoff- und Papierindustrie betrachtet.

Methodik

Die Vorgehensweise zur Ermittlung des Industrierestholzpotenzials in Deutschland ist in Abb. 19 schematisch dargestellt. Zunächst wird das Restholzaufkommen in der Säge-, Holzwerkstoff- sowie Zellstoff- und Papierindustrie erfasst. Die Berechnung erfolgt für jede Holzverarbeitungsindustrie anhand des Rohstoffeinsatzes sowie industriespezifischen Reststofffaktoren (nach Gl. 20), die im Text nachfolgend erläutert werden.

$$A = B \cdot r$$

Gl. 20

A - Restholzaufkommen [m^3/a]; B - Rohstoffbedarf/-input [m^3/a]; r - Reststofffaktor

Der zu Grunde gelegte Rohstoffbedarf basiert für alle betrachteten holzbe- und verarbeitenden Industrien auf deutschlandweiten Erhebungen aus dem Jahr 2006, die in der Clusterstudie Forst und Holz 2007 zusammenfassend dargestellt sind /46//45/.

Bei der Berechnung des Aufkommens an Sägenebenprodukten in der Sägeindustrie (nach Gl. 20) wird von der prozentualen Verteilung der Reststoffströme eines Sägewerkes nach MARUTZKY 2004 ausgegangen /43/:

Input:	Rundholz	115 %
Hauptprodukt:	Schnittholz	60 %
Reststoffe:	Hackgut	30 %
	Sägespäne	10 %
	Rinde	10 %
	Kappholz	5 %

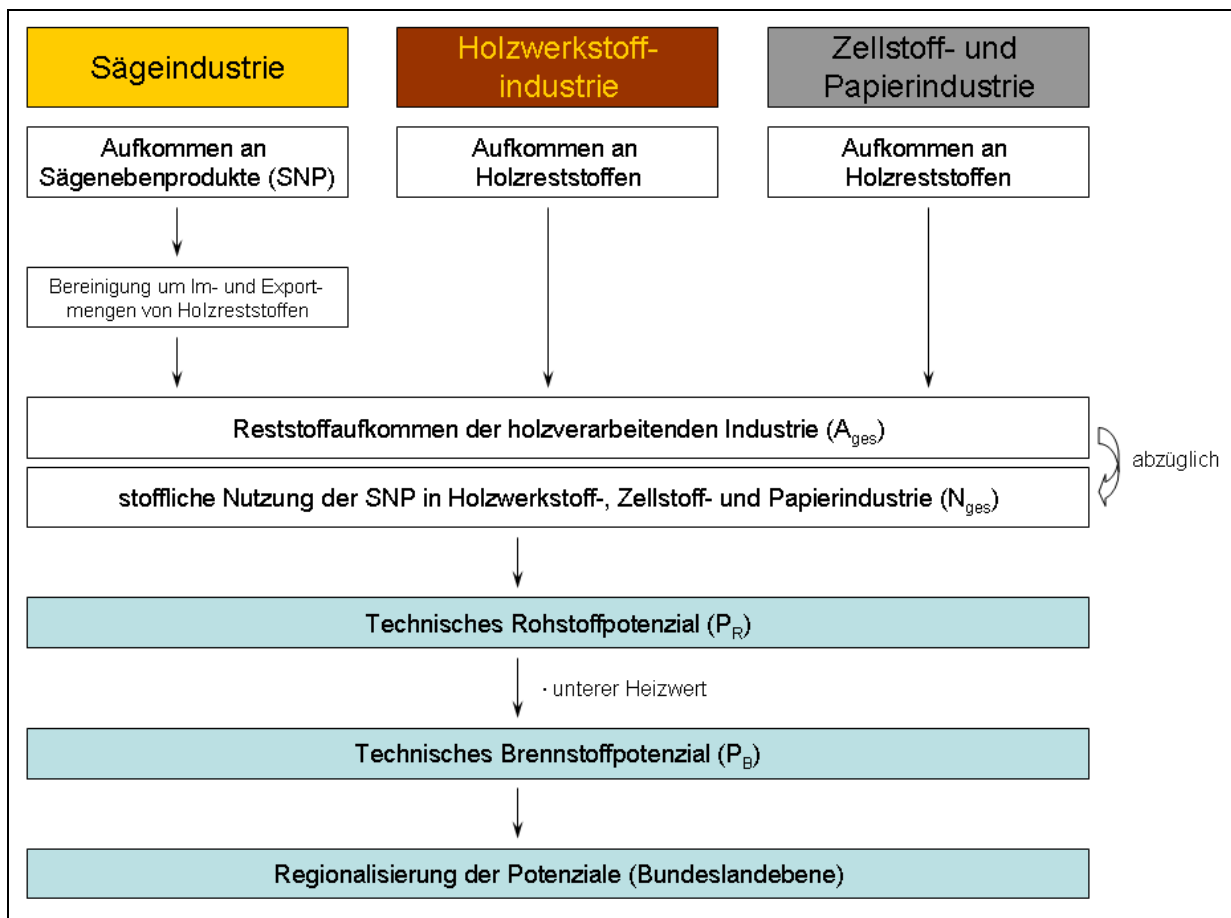


Abb. 19: Vorgehensweise zur Ermittlung des technischen Rohstoff- und Brennstoffpotenzials für Deutschland und auf Bundeslandebene (Quelle: eigene Darstellung)

Der berechnete Anfall der Sägenebenprodukte wird anschließend um die Im- und Exportmengen von Sägespänen, Hackschnitzeln bzw. anderen Holzabfällen bereinigt, sodass das gesamte Restholzaufkommen der Sägeindustrie resultiert (nach Gl. 21). Hierfür werden die Angaben der ZMP-Marktbilanz 2008 /7/ für Deutschland aus dem Jahr 2007 verwendet.

$$A_{SNP} = A_{SI} - E_{SNP} + I_{SNP}$$

Gl. 21

A_{SNP} - bereinigtes Aufkommen an SNP [m³/a]; A_{SI} - Restholzaufkommen in der Sägeindustrie; E_{SNP} bzw. I_{SNP} - Export- bzw. Importmengen der jeweiligen SNP [m³/a]

Weiterhin wird die Restholzmenge in der Holzwerkstoffindustrie berechnet (nach Gl. 20). Laut dem Informationsdienst Holz /28/ fallen bei der Verarbeitung der Einsatzstoffe etwa 20 % Rückstände in Form von Sägespänen, Rinden oder Schleifstäuben an.

In der Zellstoff- und Papierindustrie fallen durch mechanische Entrindung, Zerkleinerung und chemischen Aufschluss des Holzes etwa 15 - 20 % Reststoffe an /51/. Hiervon nimmt der Anteil der Resthölzer lediglich 10 % /51/, neben Schlämmen und anderen Nebenprodukten, ein. Daher wird bei der Berechnung der Holzabfälle (nach Gl. 20) ein Reststofffaktor von 1,8 % eingesetzt.

Für die Berechnung des technischen Rohstoffpotenzials von Industrierestholz werden im Anschluss die berechneten Restholzmengen der jeweiligen Holzverarbeitenden Industrien aufsummiert und der stofflichen Nutzung des Restholzes gegenübergestellt (nach Gl. 22b). Hierbei wird die Nutzung der Sägenebenprodukte in der Holzwerkstoff- sowie Zellstoff- und Papierindustrie berücksichtigt, die sich jeweils aus dem industriespezifischen Rohstoffinput (Datenbasis /46/) und dem prozentualen Anteil der eingesetzten Holzreststoffe ergeben (nach Gl. 22a). In der Holzwerkstoffindustrie handelt es sich bei etwa 50 % des Rohstoffinputs um Sägenebenprodukte /42/. Bei der Herstellung von Zellstoff und Papier dienen etwa 3 Mio. m³ Industrie- und Sägerestholz als Rohmaterial (\triangleq 27,5 % des Inputs) /46/.

$$N = B \cdot n$$

Gl. 22a

$$P_R = A_{ges} - N_{ges}$$

Gl. 22b

N - stoffliche Nutzung [m³/a]; B - Rohstoffbedarf/-input [m³/a]; n - Restholznutzungsfaktor; P_R - technisches Rohstoffpotenzial [m³/a]; A_{ges} - gesamtes Industrierestholzaufkommen [m³/a]; N_{ges} - gesamte stoffliche Nutzung [m³/a]

Anhand der ermittelten Industrierestholzmengen lässt sich im Weiteren das technische Brennstoffpotenzial berechnen. Hierfür wird der untere Heizwert 18,5 GJ/t_{atro} von absolut trockenem Holz verwendet. Da die Einheiten der bisherigen Ergebnisse in Kubikmeter angegeben sind, ist es notwendig den Restholzanfall über den Konversionsfaktor 0,5 (1 m³ = 0,5 t_{atro}) in eine massebezogene Einheit (t_{atro}) umzuwandeln:

$$P_B = A_{ges} \cdot k \cdot H_u$$

Gl. 23

P_B - technisches Brennstoffpotenzial [PJ/a]; A_{ges} - gesamtes Industrierestholzaufkommen [m³/a]; k - Konversionsfaktor m³ in t_{atro}; H_u - unterer Heizwert [GJ/t_{atro}]

Das nach dieser Vorgehensweise berechnete technische Rohstoff- und Brennstoffpotenzial für Deutschland wird anschließend regionalisiert auf Bundeslandebene dargestellt. Hierzu wird ebenfalls die Clusterstudie Forst und Holz 2008 /46/ herangezogen, die die Verteilung des Rohstoffeins

satzes der Sägewerke, der Holzwerkstoff-, Zellstoff- und Papierindustrie der einzelnen Bundesländer wiedergibt. Zur Ermittlung des regionalen Restholzanfalls wird das zuvor berechnete deutschlandweite Restholzaufkommen der jeweiligen Holzverarbeitungsindustrie als Basis verwendet und mit dem entsprechenden bundeslandspezifischen Anteil verrechnet.

Ebenso wird für die Berechnung der Nutzungsmengen sowohl in der Holzwerkstoff- als auch in der Zellstoff- und Papierindustrie verfahren.

Das technische Rohstoffpotenzial eines jeden Bundeslandes ergibt sich entsprechend Gl. 22b als Differenz von Restholzaufkommen und -nutzung. Unter Einbeziehung des Konversionsfaktors von $0,5 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{m}^3$ und dem unteren Heizwert von $18,5 \text{ GJ}/\text{t}_{\text{atro}}$ für absolut trockenes Holz (nach Gl. 23) lässt sich das technische Brennstoffpotenzial auf Bundeslandebene ermitteln.

Ergebnisse

Nach der Clusterstudie Forst und Holz 2007 werden jährlich etwa 35 Mio. m^3 Rundholz in den deutschen Sägewerken zur Schnittholzproduktion eingesetzt /46/. Gemäß MARUTZKY fallen bei der Holzverarbeitung unter anderem ca. 3,0 Mio. m^3/a Sägespäne und 9,1 Mio. m^3/a Hackschnitzel an (nach Gl. 20) /43/. Die entsprechenden Aufkommen an Sägenebenprodukten sowie Im- und Exporte sind in Tab. 8 zusammengefasst.

Tab. 8: Industrierestholzanfall aus Sägewerken in Deutschland, um Im- und Exporte bereinigt (Quelle: eigene Berechnungen nach /43/ unter Verwendung von /7/ und /46/)

		Anteil am Rohstoffinput [%]	SNP-Aufkommen [Mio. m^3/a]
Sägenebenprodukte (SNP) <small>(Rohstoffinput: 35 Mio. m^3/a ± 115 % /46/)</small>	Sägespäne	10	3,03
	Hackgut	30	9,13
	Kapppholz	5	1,52
	Rinde	10	3,03
Summe SNP			16,71
Export von SNP	Sägespäne		0,54
	Hackschnitzel		3,95
	andere Holzabfälle		2,44
Import von SNP	Sägespäne		0,41
	Hackschnitzel		1,22
	andere Holzabfälle		2,97
Differenz Export - Import			2,33
Anfall Sägenebenprodukte			14,38

Unter Berücksichtigung der Im- und Exportmengen an Sägespänen, Hackgut und anderen Holzabfällen (nach Gl. 21) beläuft sich das Industrierestholzaufkommen der Sägewerke auf rund 14,4 Mio. m^3 jährlich (vgl. Tab. 8).

Zur Herstellung von beispielsweise Span- und Faserplatten kommen in der Holzwerkstoffindustrie ca. 17,7 Mio. m³/a Holzrohstoffe zum Einsatz /46/. Bei einem Reststofffaktor von 0,2 /28/ ergibt sich gemäß Gl. 20 ein Restholzaufkommen von 3,5 Mio. m³/a in der Holzwerkstoffindustrie.

Der Rohholzbedarf in der Zellstoff- und Papierindustrie beträgt etwa 10,9 Mio. m³/a /46/. Unter Einbeziehung des Reststoffanteils von 1,8 % liegt das Restholzpotenzial in der Zellstoff- und Papierherstellung im Durchschnitt bei rund 0,2 Mio. m³/a (nach Gl. 20).

Zusammengenommen liegt das Industrierestholzaufkommen in Deutschland bei ca. 18 Mio. m³/a. Hierzu trägt die Sägeindustrie mit 79 % den größten Anteil bei.

Die gesamte stoffliche Nutzung der Resthölzer in der Holzindustrie beläuft sich auf rund 11,9 Mio. m³/a. Dieser Wert basiert einerseits auf einer Restholznutzung von ca. 8,9 Mio. m³/a (nach Gl. 22a) in der Holzwerkstoffindustrie und andererseits auf einer Industrie- und Sägerestholznutzung von 3 Mio. m³/a in der Zellstoff- und Papierindustrie /46/.

Aus der Differenz des Industrierestholzaufkommens (18,1 Mio. m³/a) und der stofflichen Nutzung (11,9 Mio. m³/a) resultiert in Deutschland ein technisches Rohstoffpotenzial von rund 6,3 Mio. m³/a. Unter Verwendung des Heizwertes mit 18,5 GJ/t_{atro} verfügt Deutschland über ein technisches Brennstoffpotenzial von Industrierestholz von rund 58 PJ/a (nach Gl. 23).

Im Folgenden wird das technische Rohstoff- und Brennstoffpotenzial von Industrierestholz auf Bundeslandebene dargestellt. Dies wird nachfolgend exemplarisch für das Bundesland Bayern (BY) gezeigt. Hierfür ist zunächst die bundeslandspezifische Verteilung des Rohstoffbedarfs in der Sägeindustrie in Tab. 9 aufgeführt. Der Rohstoffeinsatz beträgt in Bayern rund 8,8 Mio. m³/a und nimmt einen Anteil von 25 % am deutschlandweiten Gesamteinschnitt ein. Ausgehend vom bereinigten Gesamtaufkommen der Sägenebenprodukte mit 14,4 Mio. m³/a (vgl. Tab. 8) weist Bayern somit ein Restholzaufkommen von rund 3,6 Mio. m³/a in der Sägeindustrie auf.

Ebenso wird für die Ermittlung der länderspezifischen Restholzmengen in der bayrischen Holzwerkstoffindustrie (ca. 0,4 Mio. m³/a) sowie der Zellstoff- und Papierindustrie (ca. 0,03 Mio. m³/a) verfahren. Demzufolge ergibt sich für Bayern ein Industrierestholzanfall von rund 4 Mio. m³/a. Demgegenüber stehen etwa 1,0 Mio. m³/a und 0,5 Mio. m³/a Holzreststoffe, die zum einen in der Holzwerkstoffindustrie und zum anderen in der Zellstoff- und Papierindustrie einer stofflichen Nutzung zu kommen. Das Bundesland Bayern verfügt daher über ein technisches Rohstoffpotenzial von Industrierestholz von 2,5 Mio. m³/a (nach Gl. 22b) und einem technischen Brennstoffpotenzial von 23,4 PJ/a (nach Gl. 23).

Tab. 9: Verteilung des Rohstoffinputs und des Aufkommens an Sägenebenprodukten (SNP) in der Sägeindustrie auf Bundeslandebene (Quelle: eigene Berechnungen nach /46/)

	Einschnitt Sägewerke [Tsd. m ³ /a]	Anteil am Einschnitt [%]	Aufkommen an SNP [Tsd. m ³ /a]
Deutschland	35.074	100	14.380
Hessen (HE)	1.447	4,1	593,3
Schleswig-Holstein (SH)	372	1,1	152,5
Niedersachsen (NI), Hamburg (HH), Bremen (HB)	2.097	6,0	859,7
Nordrhein-Westfalen (NW)	3.548	10,1	1.454,6
Rheinland-Pfalz (RP)	2.605	7,4	1.068,0
Baden-Württemberg (BW)	8.382	23,9	3.436,5
Bayern (BY)	8.778	25,0	3.598,9
Saarland (SL)	6	0,0	2,5
Brandenburg (BB), Berlin (BE)	1.425	4,1	584,2
Mecklenburg-Vorpommern (MV)	1.825	5,2	748,2
Sachsen (SN)	1.456	4,2	596,9
Sachsen-Anhalt (ST)	92	0,3	37,7
Thüringen (TH)	3.041	8,7	1.246,8

Analog wird für alle weiteren Bundesländer und Holzverarbeitungsindustrien verfahren, so dass sich letztendlich die in Abb. 20 gezeigte regionale Verteilung des technischen Brennstoffpotenzials von Industrierestholz in Deutschland ergibt. Negative Potenziale einzelner Bundesländer sind aufgrund einer stärkeren Restholznutzung gegenüber dem Restholzanfall bedingt. Hierzu ist im Vergleich das theoretische Brennstoffpotenzial abgebildet, dass das gesamte Restholzaufkommen ohne stoffliche Nutzung darstellt.

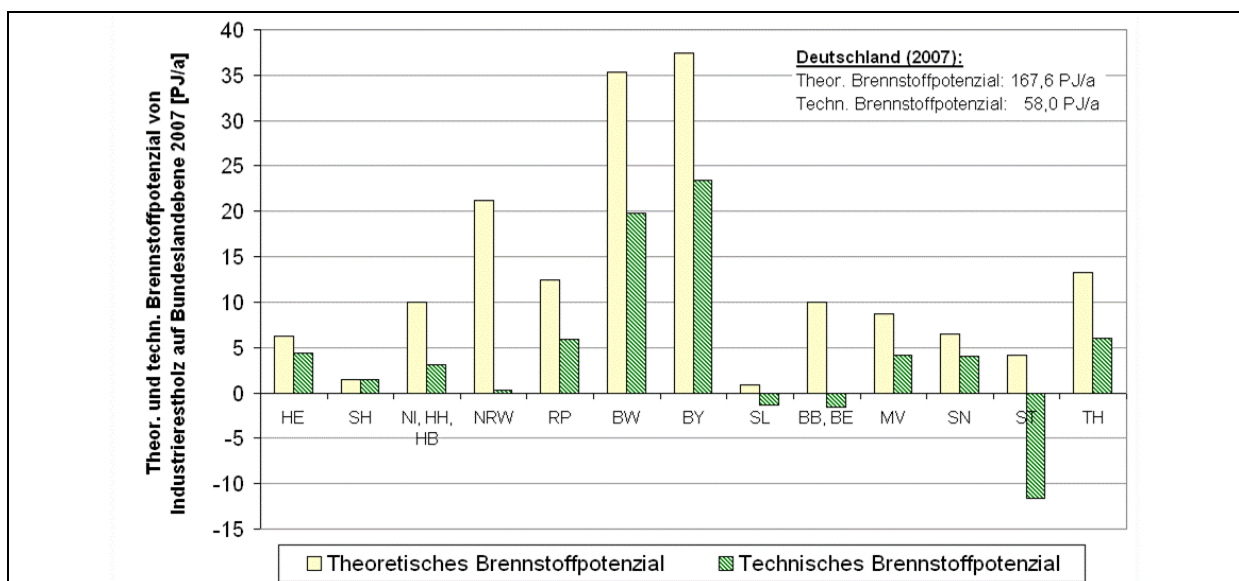


Abb. 20: Theoretisches und technisches Brennstoffpotenzial von Industrierestholz auf Bundeslandebene 2007 (Quelle: eigene Darstellung)

Die Grafik zeigt, dass insbesondere Bayern und Baden-Württemberg über die größten theoretischen sowie technischen Brennstoffpotenziale in Deutschland verfügen. Demgegenüber ergibt sich für Nordrhein-Westfalen zwar ein hohes theoretisches Brennstoffpotenzial, jedoch ein sehr geringes technisches Potenzial. Bundesländer wie das Saarland, Brandenburg / Berlin sowie Sachsen-Anhalt weisen sogar ein negatives technisches Brennstoffpotenzial auf.

Diskussion

Die Betrachtungen zum Potenzial von Industrierestholz zeigen, dass das Aufkommen und die bereits vorhandene stoffliche Nutzung regional sehr verschieden sind. So weist Bayern zwar ein sehr hohes theoretisches Potenzial und damit ein hohes Aufkommen an Industrieresthölzern auf, allerdings wird auch ein großer Teil davon bereits in der Papier- und Zellstoffindustrie bzw. in der Holzwerkstoffindustrie stofflich genutzt. Noch stärker ausgeprägt ist dies in Nordrhein-Westfalen, wo fast das gesamte Aufkommen der holzartigen Reststoffe aus der Industrie weiter verarbeitet wird. In einigen Bundesländern ergibt sich sogar ein negatives technisches Brennstoffpotenzial auf, was auf eine intensive stoffliche Nutzung zurückzuführen ist, die das Aufkommen übersteigt. Somit müssen hier bereits Sägenebenprodukte aus anderen Bundesländern importiert werden. Aufgrund der fehlenden Daten, können die Stoffströme dieser Fraktion zwischen den Bundesländern jedoch nicht mit in die Betrachtungen einbezogen werden.

Bereits heute wird ein großer Teil des Industrierestholzes auch für eine energetische Nutzung eingesetzt. So ist eine energetische Nutzung von Industrierestholz ist denkbar in HKWs, welche auch an einigen Holzverarbeitenden Betrieben zur Energiegewinnung angeschlossen sind. Weiterhin können Sägenebenprodukte auch zu Pellets verarbeitet werden, die wiederum für die Wärmeenergiegewinnung in privaten Haushalten oder in der Industrie zur Produktion von Strom und Wärme verwendet werden können.

4.2.3 Altholz

Altholz fällt dort an, wo Holz aus dem Nutzungsprozess ausscheidet. Die Definition von Altholz und insbesondere die Abgrenzung zu Industrierestholz (vgl. Abschnitt 4.2.2) ist dabei nicht immer einfach. In Anlehnung an die Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (BiomasseV) umfasst Altholz Gebrauchtholz und Industrierestholz, das als Abfall anfällt /6//3/. Gebrauchtholz beinhaltet gebrauchte Erzeugnisse aus Holz, Holzwerkstoffe oder Verbundstoffe mit überwiegendem Holzanteil und fällt dort an, wo Holz aus dem Nutzungsprozess ausscheidet, z.B. bei Baumaßnahmen (Gebäudeabbrüche, Neubauten, Renovierungen) und am Ende einer bestimmten stofflichen Nutzung (Altmöbel, Verpackungsmaterial). Auch ein Teil des Industrierestholzes fällt über Verwertungs- und Entsorgungswege als Altholz an (z. B. Sägespäne einer Tischlerei ohne Verwertung).

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Nutzungsgeschichten kann Altholz vielfältig mit Fremdstoffen belastet sein. Die gesetzlichen Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz ist in der Altholzverordnung durch eine rechtsverbindliche Klassifizierung in Altholzkategorien sowie eine Regelfallzuordnung der gängigen Altholzsortimente zu den Abfallschlüsseln und Altholzklassen geregelt /2/. Dabei werden auf der Basis der Schadstoffbelastung vier Altholzkategorien (A I, A II, A III, A IV) sowie PCB-Holz unterschieden:

- Altholzkategorie A I: naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitete Altholz, dass bei seiner Verarbeitung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde
- Altholzkategorie A II: verleimtes, bestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel
- Altholzkategorie A III: Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung, aber ohne Holzschutzmittel
- Altholzkategorie A IV: mit Holzschutzmitteln belastetes Altholz (z. B. Bahnschwellen, Leitungsmasten, Rebpfähle) sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I bis A III zugeordnet wird
- PCB-Altholz: Altholz, das polychlorierte Biphenyle (PCB) enthält

Althölzer werden in der Regel von Altholzrecyclingunternehmen gegen Entgelt gesammelt und entsprechend den gesetzlichen Vorgaben entsorgt. In Deutschland ist seit Inkrafttreten der Ablagerungsverordnung zum 1. Juni 2005 die Deponierung von Abfällen aus Haushalten und Gewerbe verboten. Das hat zur Folge, dass auch Holz in Mischabfällen nicht mehr deponiert werden kann.

Die stoffliche Verwertung von Altholz erfolgt schwerpunktmäßig in der Holzwerkstoffindustrie. Nach der Altholzverordnung ist der Einsatz von A I-Hölzern uneingeschränkt möglich. Auch der Einsatz von A II/III-Hölzern ist nach einer Vorbehandlung möglich. A IV-Hölzer werden stofflich nicht genutzt. Belastete Althölzer werden in Deutschland vorwiegend in der Spanplattenindustrie und in geringem Maße für die MDF-Herstellung verwendet. Die energetische Nutzung von Altholz erfolgt vor allem in Feuerungsanlagen zur Stromerzeugung und/oder zur Wärmebereitstellung. Die genehmigungsrechtlichen Möglichkeiten des Einsatzes der verschiedenen Altholzklassen schwanken für die unterschiedlichen Feuerungsanlagengrößen. So darf A I-Holz in sämtlichen Kesseln genutzt werden, während der Einsatz von Altholz der Kategorien A II bis A IV nur in Anlagen ab 1 MW Feuerungswärmeleistung erlaubt ist.

Methodik

Detaillierte Ermittlungen des Aufkommens an Altholz am Entstehungsort liegen nicht vor und wären auch schwer zu realisieren. Bisherige Ermittlungen des Altholzaufkommens stützen sich im Wesentlichen auf drei Methodiken:

- Auf mehr oder weniger einfache Schätzungen
- Auf die Erhebungen des Umweltstatistikgesetzes teilweise unter Einbeziehung der Abfallbilanzen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger sowie
- Auf Befragungen von Altholzhändlern.

In allen Fällen erfolgt jedoch nicht die unmittelbare Erfassung des Abfallaufkommens, sondern eine Erhebung der bei den Betreibern von Abfallentsorgungsanlagen jeweils eingesetzten Abfallmengen (auf Basis des Umweltstatistikgesetzes) bzw. die Erfassung der gehandelten Mengen (Händlerbefragungen).

Diese Methoden weisen verschiedene Vor- und Nachteile auf. Besonders problematisch ist die große Gefahr von Doppelzählungen. Diese werden versucht bei bestimmten (allgemeinen) Umweltstatistikdatenaufbereitungen mit einem Rechenmodell herauszurechnen, was jedoch bei Auswertungen einzelner Abfallschlüssel – auch aus Kostengründen – nicht möglich ist.

Die Altholzaufkommensermittlung dieses Projektes stützt sich auf die aktuellsten vorliegenden Erhebungen im Rahmen des Umweltstatistikgesetzes, d.h. auf Daten des Jahres 2006 /54/. Eine Vergleichbarkeit mit früheren Ergebnissen ist insbesondere aufgrund der unterdessen mehrfachen Modifizierung der Abfallschlüssel nur sehr eingeschränkt möglich.

In einem ersten Schritt werden die für Altholz in Frage kommenden AVV-Abfallschlüssel ermittelt (siehe Tab. 10, /1/). Die jeweiligen Holzmengen lassen sich direkt oder indirekt aus den einzelnen Abfallfraktionen (Gewerbeabfall, Sperrmüll etc.) ermitteln. Dabei wird ein aus der Literatur gemittelter prozentualer Holzanteil angenommen, um die absoluten Holzmengen zu berechnen /31/. Eine Differenzierung dieser Mengen nach Altholzklassen ist nicht eindeutig möglich.

Es wird davon ausgegangen, dass das anfallende Altholz zu etwa zwei Drittel energetisch genutzt wird /20//34/. Nach Ermittlung des technischen Rohstoffpotenzials für die energetische Nutzung erfolgt nach Umrechnung in absolut trockenes Holz und Multiplikation mit dem unteren Heizwert von $18,5 \text{ GJ/t}_{\text{atro}}$ die Berechnung des technischen Brennstoffpotenzials.

Tab. 10: Für Altholz relevante AVV-Abfallschlüssel und der entsprechende angenommene Holzanteil (Quelle: /31/)

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Abfallbeispiele	Holzanteil [%]
Abfälle aus der Holzbearbeitung und der Herstellung von Platten, Möbeln, Zellstoffen, Papier und Pappe			
03 01 01	Rinden- und Korkabfälle		100
03 01 04	Sägemehl, Späne, Abschnitte, Holz, Spanplatten und Furniere, die gefährliche Stoffe enthalten		100
03 01 05	Sägemehl, Späne, Abschnitte, Holz, Spanplatten und Furniere mit Ausnahme derjenigen, die unter 03 01 04 fallen	Verschnitt, Abschnitte, Späne von naturbelassenem Vollholz und Holzwerkstoffen	100
03 03 01	Rinden- und Holzabfälle		100
Verpackungsabfälle			
15 01 03	Verpackungen aus Holz	Paletten aus Vollholz, Transportkisten	100
15 01 06 00	Gemischte Verpackungen nicht differenzierbar	Holzpaletten mit Verbundmaterialien	15
15 01 10	Verpackungen, die Rückstände gefährlicher Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	Munitionskisten, Kabeltrommeln aus Vollholz (Herstellung vor 1989)	100
Bau- und Abbruchabfälle			
17 02 01	Holz	Baustellensortimente, Dielen, Bauspanplatten, Türblätter und Zargen von Innentüren	100
17 02 04	Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	Konstruktionshölzer für tragende Teile, Fenster, Außentüren, imprägnierte Bauhölzer aus dem Außenbereich, Bahnschwellen, Leitungsmasten	90
17 09 04	Gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01, 17 09 02 und 17 09 03 fallen		15
Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen (z. B. Sortieren, Zerkleinern, Verdichten, Pelletieren)			
19 12 06	Holz, das gefährliche Stoffe enthält	Feinfraktion aus der Aufarbeitung von Altholz zu Holzwerkstoffen	100
19 12 07	Holz mit Ausnahme derjenigen, das unter 19 12 06 fällt		100
Siedlungsabfälle (Haushaltsabfälle und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen), einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen			
20 01 37	Holz, das gefährliche Stoffe enthält		100
20 01 38	Holz, mit Ausnahme derjenigen, das unter 20 01 37 fällt	Möbel (naturbelassenes Vollholz, verleimt, beschichtet, lackiert)	100
20 03 01 01	Haumüll, haumüllähnliche Gewerbeabfälle, gemeinsam über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt	Holzfraktionen in Abfallgemischen privater, gewerblicher Herkunft	1
20 03 01 02	Haumüllähnliche Gewerbeabfälle, getrennt vom Haumüll angeliefert oder eingesammelt		3,6
20 03 07	Sperrmüll	Bettgestelle, Lattenroste, Stühle, Regale	10

Ergebnisse

Die Abb. 21 zeigt das bundesweite Aufkommen an Altholz in den verschiedenen Bundesländern. Auf Basis der Länderstatistiken lässt sich für 2006 ein Altholzanfall in der Größenordnung von 10,5 Mio. t_{utro} abschätzen, davon liegen rund 1,5 Mio. t_{utro} in gemischten Abfallfraktionen vor.

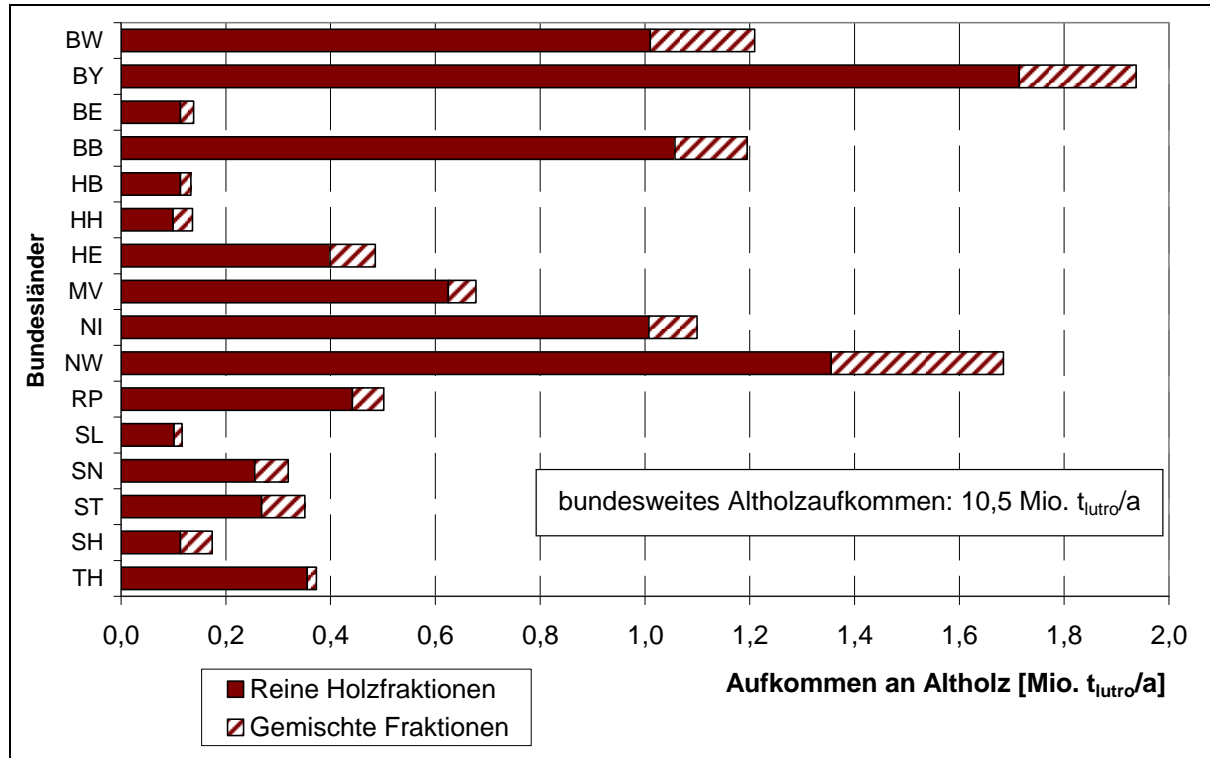


Abb. 21: Aufkommen an Altholz in den einzelnen Bundesländern in 2006 (Quelle: eigene Berechnungen)

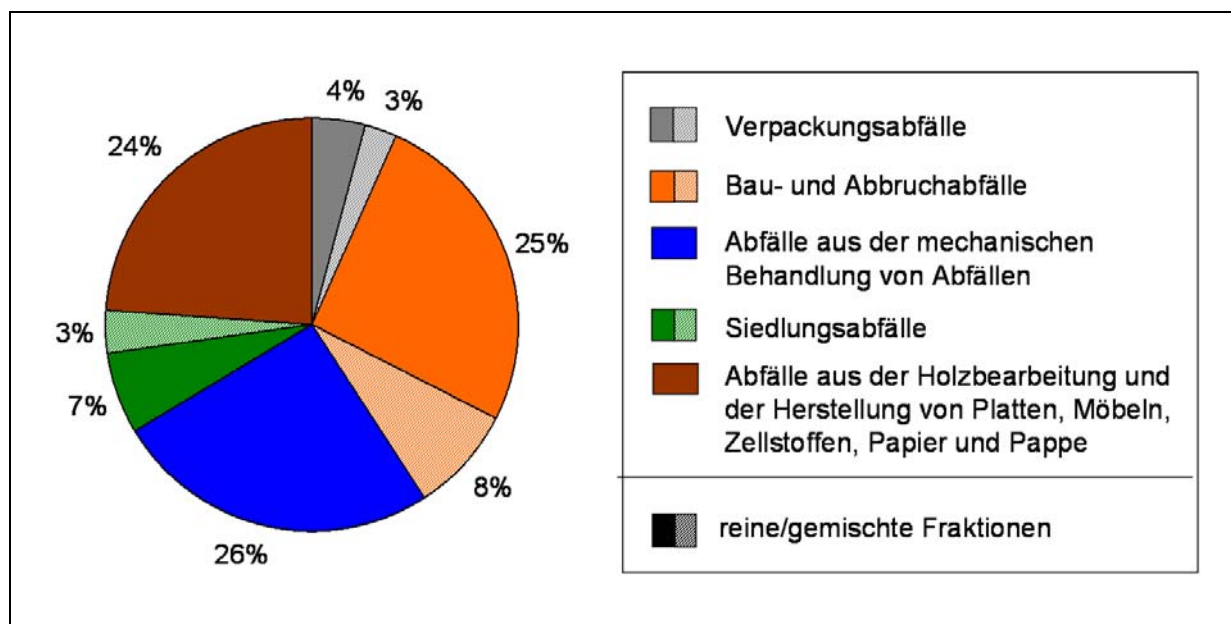


Abb. 22: Altholzaufkommen, aufgeschlüsselt nach Stoffgruppen (Quelle: eigene Berechnungen)

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Bundesländern sind z. T. sehr deutlich (siehe Abb. 21). Das höchste Aufkommen haben Bayern und Nordrhein-Westfalen gefolgt von Baden-Württemberg, Niedersachsen und Brandenburg.

Die Auswertung der Statistiken ergibt die in Abb. 22 dargestellte Verteilung des Altholzes nach Stoffgruppen. Die größten Anteile am Altholzaufkommen haben demnach Abfälle aus dem Bau und Abbruchbereich, aus der mechanischen Behandlung von Abfällen und aus der Holzindustrie, der Holzwerkstoffindustrie sowie der Zellstoffindustrie. Altholz aus Siedlungs- und Verpackungsabfällen ist mengenmäßig vernachlässigbar.

Da davon ausgegangen wird, dass zwei Drittel des deutschen Altholzaufkommens energetisch genutzt werden können, ergibt sich für Altholz ein technisches Rohstoffpotenzial von 7 Mio. t_{utro}/a bzw. 6 Mio. t_{atro}/a und ein technisches Brennstoffpotenzial von 110 PJ/a.

Diskussion

Der mengenmäßige Anfall von Altholz schwankt lokal innerhalb erheblicher Bandbreiten. Er ist abhängig von der Einwohnerdichte und deren jeweiligen Wohlstand, der Industriedichte und einer Vielzahl weiterer Kenngrößen.

Die Aussagekraft der Bundeslandesergebnisse ist aufgrund der großen Datenunsicherheiten stark eingeschränkt. So überrascht das hohe Aufkommen an Altholz in Brandenburg, was jedoch ggf. mit aus Berlin und anderen Bundesländern entsorgten Mengen zu erklären ist. Nur wenig nachvollziehbar, ist die zur vergleichsweise geringen Einwohnerzahl sehr hohe Altholzmenge für Mecklenburg-Vorpommern. Ggf. wird das durch die Altholzverbrennung an den Säge- und Holzwerkstoffindustriestandort Wismar hervorgerufen. Problematisch ist ebenfalls, dass ein Vergleich mit den Ergebnissen früherer Jahre aufgrund der mehrfachen Modifizierung der Abfallschlüssel in den letzten Jahren kaum möglich ist.

Da die tatsächlichen Import- und Exportmengen an Altholz nur schwer erfasst werden können, erfolgt in diesem Projekt für Deutschland keine Korrektur des inländischen Altholzaufkommens mit den entsprechenden Import- und Exportmengen.

Das in diesem Projekt für 2006 ermittelte bundesweite Altholzaufkommen von 10,5 Mio. t_{utro} ist im Vergleich zu anderen Studien relativ hoch. Hinsichtlich der Aufkommensmenge liegen alle Studien in der Größenordnung von rund 7-8 Mio. t /3//41/. So führte WEIMAR et al. /57/ für 2006 basierend auf empirischen Untersuchungen eine Vollerhebung aller Altholz entsorgenden Betriebe in Deutschland durch. Die Studie zeigte, dass das erfasste Altholz- bzw. Handelsvolumen bei 7 Mio. t_{utro} lag und sich damit im Vergleich zur Vorgängerstudie in 2001 nicht vergrößert hatte /57/. Auch SCHEUERMANN et al. ermittelten für 1998/99 ein Altholzaufkommen in der deutschen Abfallwirtschaft von 7,9 Mio. t_{utro} /50/. Im Mai 2009 meldete der Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter (BAV), das die Branche mit einem Aufkommen von 6 bis 7 Mio. Tonnen Altholz pro Jahr rechne /20/.

Die bestehenden Verwertungsmöglichkeiten werden z. B. in Deutschland für das getrennt erfasste Altholz seit einigen Jahren sehr weitgehend genutzt. Die Verwertung erfolgt zu etwa zwei Drittel energetisch und zu einem Drittel stofflich /34/. So schätzte der BAV, dass im Jahr 2007 5,2 Mio. t Altholz energetisch verwertet wurden und der Bedarf der Holzwerkstoffindustrie für die stoffliche Verwertung bei rund 1,2 Mio. t lag /20/.

Nimmt man an, dass von den in den meisten Studien angegebenen 7 Mio. t_{utro} /a Altholz, ca. zwei Drittel energetisch genutzt werden, ergibt sich für Deutschland ein technisches Rohstoffpotenzial von 4,7 Mio. t_{utro} /a Altholz und ein technisches Brennstoffpotenzial von 74 PJ/a. Das Aufkommen an Altholz ist wie bei allen Reststoffen von verschiedenen Faktoren abhängig und lässt sich auch z. B. durch höhere Altholzpreise nicht künstlich vermehren. So meldete der BAV im Mai 2009 einen Rückgang des Alt- und Gebrauchtholzaufkommens um mindestens 20 % aufgrund der starken konjunkturellen Einbrüche in der deutschen Wirtschaft /20/. Es wird davon ausgegangen, dass das Altholzaufkommen bis 2020 relativ konstant bleibt.

Insgesamt ist zu beachten, dass das Altholz aus den gemischten Fraktionen mit sehr unterschiedlichem Aufwand erschließbar ist. Beispielsweise lässt sich der Holzanteil im Hausmüll nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand getrennt erfassen. Laut BAV sollte insbesondere die getrennte Erfassung von Sperrmüll und Altholz weiter ausgebaut werden /20/.

5 ZUSAMMENFASSUNG TECHNISCHE BRENNSTOFFPOTENZIALE

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 (siehe Abb. 23). Das Szenario „B“ weist dabei mit fast 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. Auch das forstwirtschaftliche Potenzial trägt mit 512 PJ einen großen Teil zum Gesamtpotenzial bei.

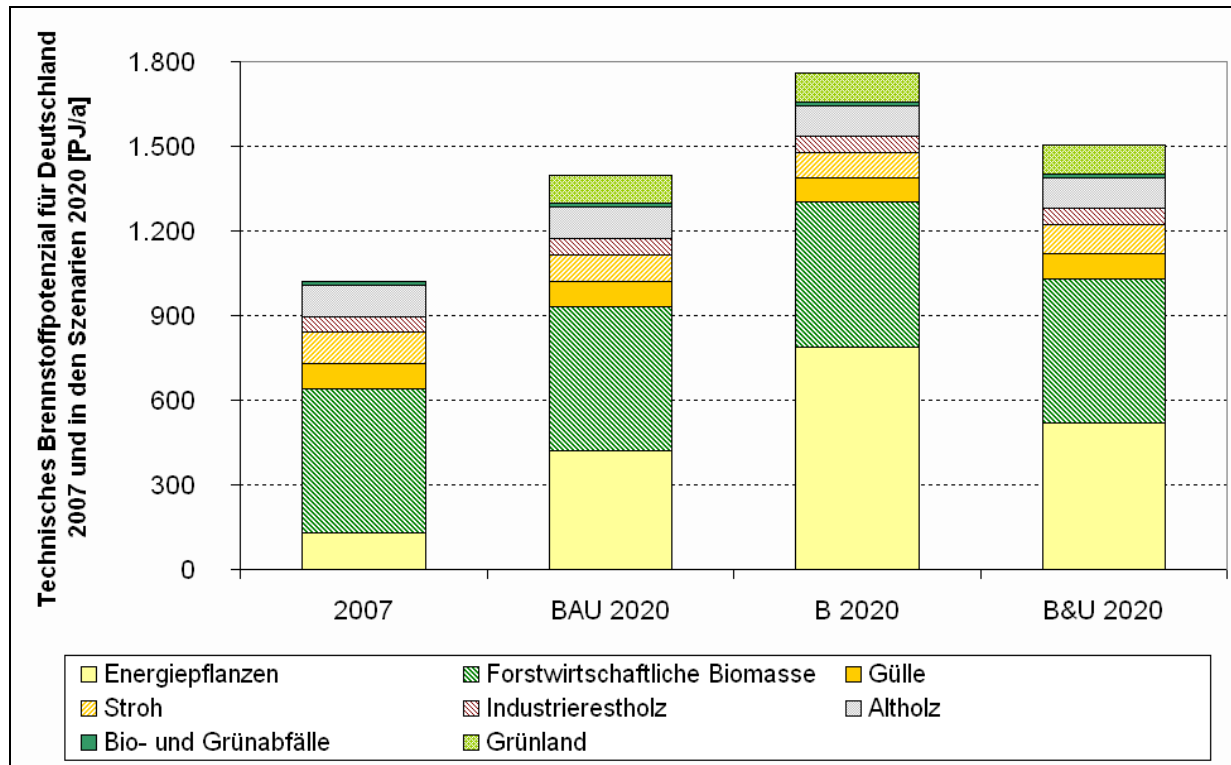


Abb. 23: Summe der technischen Brennstoffpotenziale für Deutschland 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: eigene Berechnungen)

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 /12/ und in der Leitstudie des BMU /15/ verankert. Hier sind auch die Ziele für den Ausbau der energetischen Biomassenutzung bis 2020 genau festgelegt. Im Folgenden sollen nun die Ergebnisse aus den Szenarien den Zielen gegenübergestellt werden.

Nach der Leitstudie 2008 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) besteht im Jahr 2020 ein gesamter Endenergiebedarf von 8.133 PJ, der sich etwa zur Hälfte aus dem Wärmebedarf, zu knapp 30 % aus dem Bedarf an Kraftstoffen und etwa 20 % aus dem Stromverbrauch zusammensetzt.

Die Ziele zum Anteil der Energiebereitstellung aus Biomasse sind (siehe Tab. 1):

- 8 % Anteil von Strom aus Biomasse am gesamten Stromverbrauch
- 9,7 % Anteil von Wärme aus Biomasse an der gesamten Wärmeversorgung
- 12 % Biokraftstoffe /15/.

Tab. 11: Endenergiebedarf 2020 und Anteil der Energie aus Biomasse /15/

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

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 zum Beispiel Biogas im Blockheizkraftwerk (BHKW) zu Strom und Wärme umgesetzt. Unter Beachtung des spezifischen mittleren Wirkungsgrades von 41 % elektrisch und 42 % thermisch können so beispielsweise aus 100 PJ Biogas etwa 41 PJ Strom und 42 PJ Wärme produziert werden.

Die holzartigen Biomassen werden zu großen Teilen einer Verbrennung in Holz-Heizkraftwerken (HHKW) zugeführt. Dazu gehören die forstwirtschaftlichen Biomassen wie auch Altholz und Industrierestholz. Dabei muss beachtet werden, dass ein großer Teil der forstwirtschaftlichen Biomassen bereits als Scheitholz in privaten Haushalten genutzt wird /26/. MARUTZKY gibt hierfür einen Wert von etwa 17 Mio. t Holz an /43/. Hier wird also nur Wärme gewonnen. In HHKWs hingegen wird mit neben Wärme auch Strom produziert. Dabei wird ein Wirkungsgrad von 16 % elektrisch und 68 % thermisch angenommen.

Zur Deckung des Kraftstoffbedarfes werden zum größten Teil Kraftstoffe der ersten Generation produziert. Dabei wird aus Raps Biodiesel und aus Getreide und Zuckerrüben Bioethanol gewonnen. Es wird angenommen, dass aus 2,2 kg Raps 1 l Biodiesel hergestellt werden kann. Aus 2,6 kg Getreide bzw. 9,3 kg Zuckerrüben wird hingegen 1 l Bioethanol produziert.

Tab. 12: Anzahl der notwendigen Bioenergieanlagen zur Gewinnung von Strom, Wärme und Kraftstoff 2020 in den Szenarien (Quelle: eigene Berechnungen)

	BAU	B	B & U
Biogasanlagen (500 kW)	13.000	15.970	10.850
HHKW	4.750	6.000	6.140
Biodieselanlagen	690	448	192
Bioethanolanlagen	188	388	275
Bio-SNG	10	10	10
Bioethanol aus Lignozellulose	1	1	1
BtL	3	3	3

Neben den Kraftstoffen der ersten Generation Biodiesel und Bioethanol werden auch die Kraftstoffe der zweiten Generation in die Betrachtungen mit einbezogen. So wird angenommen, dass bis 2020 insgesamt zehn Anlagen zur Bio-SNG Produktion mit einem Rohstoffbedarf von je 280.000 t/a Holz eingesetzt werden. Weiterhin kommen drei Anlagen zur Erzeugung von BtL zum Einsatz, die jeweils 1 Mio. t/a Holz benötigen und eine Anlage zur Herstellung von Bioethanol auf Basis von Lignozellulose, insgesamt 780.000 t Stroh.

Abb. 24 zeigt den Anteil an Strom, Wärme und Kraftstoff am gesamten Verbrauch für 2020 in den verschiedenen Szenarien, der auf diese Weise bestimmt wurde. In allen Szenarien ist der Ertrag an Wärme deutlich höher als der von Strom und Kraftstoff, wobei das Szenario „Bioenergie“ jeweils den größten Beitrag zur Energieerzeugung leisten kann.

Tab. 12 zeigt die Zahl von Bioenergieanlagen auf, die zur Umsetzung der in den Szenarien produzierten Biomasse benötigt werden. So ergeben sich beispielsweise für das Szenario „BAU“ 13.000 landwirtschaftliche Biogasanlagen (500 kW) (siehe Technologiesteckbriefe), die zur Produktion des Biogases benötigt werden. Im Szenario „B“ werden bereits knapp 16.000 landwirtschaftliche Biogasanlagen und im „B & U“-Szenario immerhin noch etwa 11.000 Anlagen eingesetzt. Auch die Technologie der Holz-Heizkraftwerke (HHKW) wird stark ausgebaut werden müssen, um die holzartigen Biomassen zu Wärme und Strom umzusetzen. Im Szenario „Business as usual“ ergibt sich eine Anzahl von 4750 HHKWs, im Szenario „Bioenergie“ 6.000 HHKWs und im Szenario „Bioenergie mit verstärkten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ sogar 6.140 Anlagen. Die hohe Anlagenzahl in den letzteren Szenarien ergibt sich vor allem aus dem hohen Anteil von KUP an der NawaRo-Fläche, der zu großen Teilen in HHKWs verbrannt wird.

Kraftstoffe werden zu großen Teilen in Biodiesel und Bioethanolanlagen hergestellt. Als Grundlage werden dezentrale Anlagen mit einer Produktion von 3,8 Mio. l Biodiesel bzw. 9 Mio. l Bioethanol. In allen Szenarien werden auch Anlagen zur Produktion von Kraftstoffen der 2. Generation angenommen: 10 Bio-SNG Anlagen, 3 BtL-Anlagen und 1 Anlage zur Produktion von Bioethanol auf Basis von Lignozellulose.

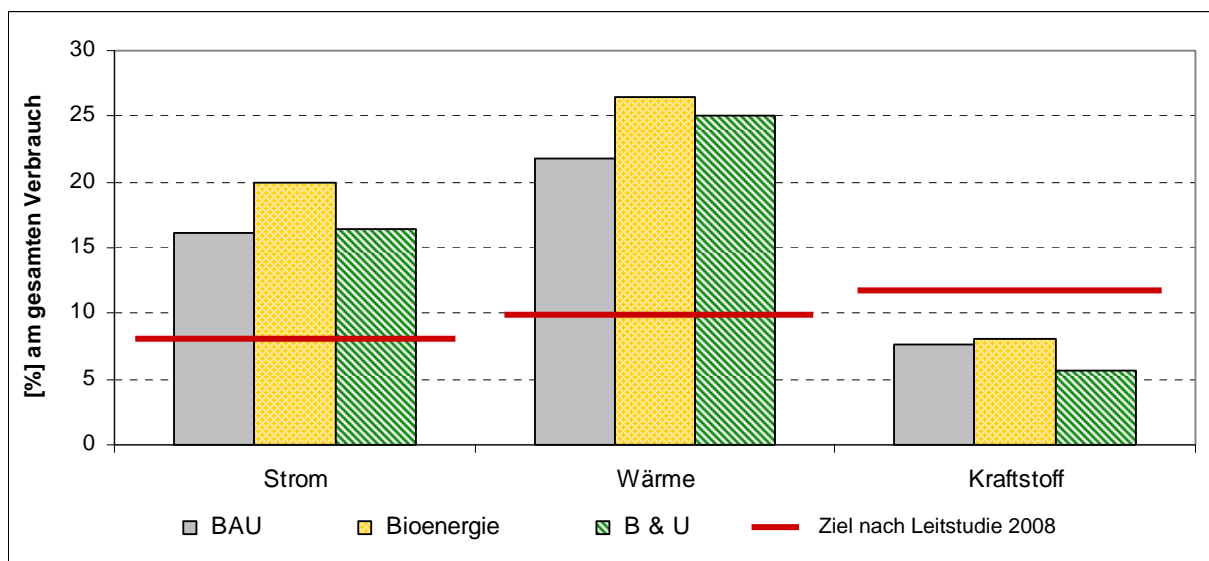


Abb. 24: Möglicher Anteil von Bioenergie am gesamten Endenergieverbrauch in den Szenarien (Quelle: eigene Berechnungen)

In Abb. 24 sind die Anteile der in den Szenarien ermittelten Endenergien am Gesamtverbrauch in Deutschland dargestellt. So kann der Strombedarf in den Szenarien „BAU“ und „B & U“ zu etwa 16 % aus Biomasse bereitgestellt werden. Im Szenario „B“ 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 stehen könnte, am Bedarf 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.

Diese hohen Anteile an der gesamten Energienutzung in Deutschland 2020 können allerdings in den Szenarien nur erreicht werden, da die nationalen Flächenpotenziale ohne internationalen Handelsausgleich für die Berechnungen verwendet werden. Würden die Flächenpotenziale mit internationalem Handelsausgleich als Grundlage genommen, welche sich durch die Priorität der Welternährung ergeben, so ergäbe sich vermutlich ein deutlich niedrigeres Potenzial bei den Energiepflanzen (vgl. auch TP 2) und damit auch vor allem eine deutliche Reduzierung der Kraftstoffproduktion und der Gewinnung von Wärme und Strom aus KUP.

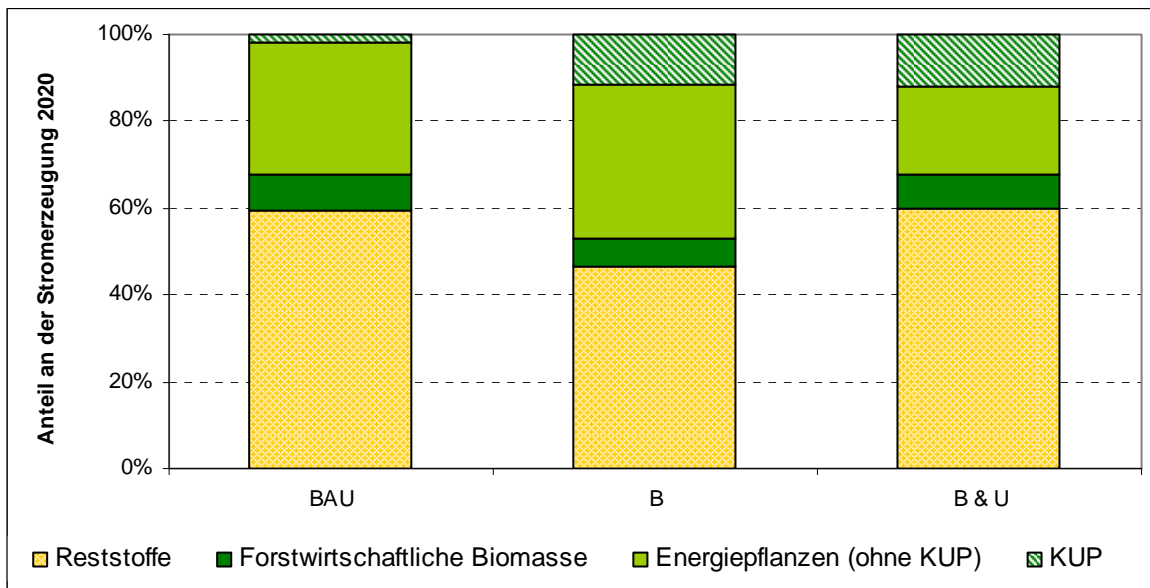


Abb. 25: Anteile der verschiedenen Biomassefraktionen an der Stromerzeugung 2020 (Quelle: eigene Berechnungen)

Die Abb. 25 und Abb. 26 zeigen abschließend noch die Anteile, die die verschiedenen Biomassefraktionen an der Erzeugung von Strom und Wärme haben. Dabei wird deutlich, dass die Reststoffe in beiden Fällen und auch jeweils in allen drei Szenarien mit bis zu 60 % den größten Anteil ausmachen. Bei der Stromproduktion spielt weiterhin die Biomasse aus Energiepflanzen eine große Rolle während die Erzeugung von Wärme eher auf den holzartigen Rohstoffen aus der forstwirtschaftlichen Biomasse und zu einem größeren Teil auf KUP beruht.

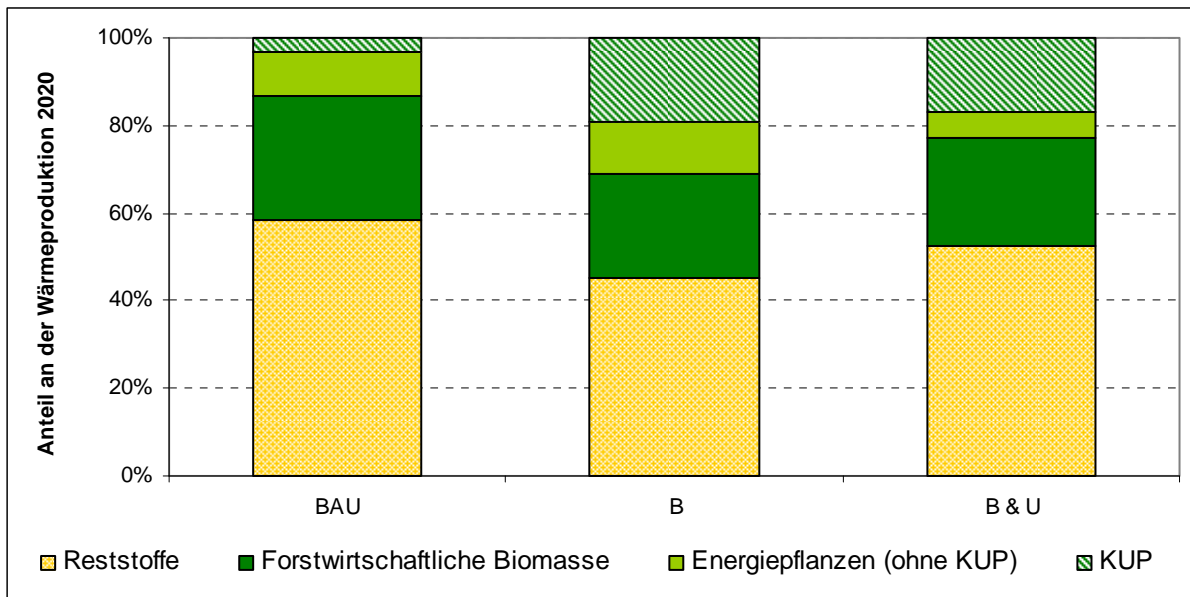


Abb. 26: Anteil der verschiedenen Biomassefraktionen an der Wärmeproduktion 2020 (Quelle: eigene Berechnungen)

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die stoffstrombasierten Berechnungen zu den technischen Brennstoffpotenzialen in Deutschland ergeben ein Potenzial von 1,5 bis 1,9 EJ für das Jahr 2020. So ergibt sich für alle drei Szenarien (Business as usual, Bioenergie, Bioenergie mit verstärkten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen), dass eine Erfüllung des Wärme- und Stromzieles möglich ist. Es ist sogar von einer Übererfüllung der Ziele für Wärme und Strom auszugehen, während das Kraftstoffziel hingegen nicht mit Hilfe einheimischer Biomassen gedeckt werden kann. Es wird nur zu etwa zwei Drittel erfüllt. Da Bio-kraftstoffe jedoch die einzige Alternative zu fossilen Kraftstoffen darstellen, muss hier eine verstärkte Förderung, z.B. durch Förderung innovativer Technologien wie Bio-SNG oder BtL, stattfinden. Weiterhin sollte eine verstärkte Nutzung von Reststoffen muss gefördert werden, da hier ein sehr großes Potenzial zur Strom und Wärmeproduktion liegt.

Die Erfüllung der Ziele muss auch mit einer deutlichen Erhöhung der Anzahl an Bioenergieanlagen gerechnet werden. So wird etwa von einer Verdoppelung des vorhandenen Anlagenparks ausgegangen.

6.1 Zusammenfassung - Studien regionale Biomassepotenziale

Im Laufe der Studie wurden neben den eigenen Berechnungen auch andere Potenzialstudien auf regionaler Ebene betrachtet. Diese Recherche wurde bereits im Ergebnisbericht vom Dezember 2008 mit eingebracht. Die Aktualisierung und Erweiterung der Recherche wurde im Verlaufe der Arbeit durchgeführt und die Ergebnisse sollen nur überblickartig dargestellt werden. So befindet sich im Folgenden eine Tabelle mit aktuellen und bereits älteren Studien zu regionalen Potenzialanalysen, die die Arbeit aus dem Ergebnisbericht ergänzen und den Überblick zu vorhanden Potenzialstudien und deren Inhalten komplettieren sollen.

Bundesland	Titel	Autor, Jahr	Detailliertheit	Betrachtete Biomassefraktionen	Potenzial
Baden-Württemberg	Nachhaltige Biomassepotenziale in Baden-Württemberg	IFEU, 2005	Bundesland	Reststoffe, Energiepflanzen	technisch
	GIS-gestützte Regionalanalyse (Baden-Württemberg) zur Erschließung des energetisch nutzbaren Potentials an Waldrestholz und Überschussstroh für die Gaserzeugung	ITAS, 2005	Gemeinde	Waldrestholz, Überschussstroh (für die Gaserzeugung)	Technisch (energetisch nutzbare TM)
	Entwicklung von Szenarien über die Bereitstellung von land- und forstwirtschaftlicher Biomasse in zwei baden-württembergischen Regionen zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen. Studie im Auftrag von DaimlerChrysler AG	ITAS, 2005	Landkreis	Silomais, Heu von überschüssigen Grünland, Reststroh, Waldrestholz	Technisch (energetisch nutzbare TM)
	Energie aus Biomasse: Potenziale und Empfehlungen für Baden-Württemberg	NBBW, 2008	Bundesland	land- und forstwirtschaftliche Produkte und deren Abfälle, Landschaftspflege	nachhaltig u. wirtschaftlich machbar
	Bilanz und Perspektiven der Holzenergienutzung in Baden-Württemberg	L. Eltrop, L., 2006	Bundesland	forstwirtschaftlich	technisch
	Biomasse in Baden-Württemberg - ein Beitrag zur wirtschaftlichen Nutzung der Ressource Holz als Energieträger	Wolff, F. 2004	Bundesland	forstwirtschaftlich	technisch
Bayern	Biomassepotential für Biogas in den Grünlandregionen Bayerns (LfL)	LfL, 2006			
	Gesamtkonzept Nachwachsende Rohstoffe in Bayern 2007	Ohne Autor, 2007	Bundesland	Biomasse	theoretisch

Brandenburg	Biogas in der Landwirtschaft: Stand und Potenzial der Biogasproduktion in Brandenburg	Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, 2006	Landkreise	Landwirtschaftlich (Silomais-Silage, Roggen-GPS, Gülle)	Potenzial Biogasanlagen
	Ertragsermittlung und Potenziale von Agrarholz	Murach, D.; Murn, Y.; Hartmann, H., 2008	regional	Agrarholz (Weiden, Pappeln)	Regionale Flächenpotenziale
	Energiepotenziale der Wälder in Brandenburg – das theoretisch nutzbare Potenzial	Landesforstanstalt Eberswalde, Fachbereich 2, 2007	Landkreise	forstwirtschaftlich	nutzbar
	DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse: Nachhaltige Potenziale von Dendromasse	Murach, D.; Knur L., Schultze, M. (Hrsg.), 2008	Bundesland bzw. Gemeinde	Forstwirtschaftliche Dendromasse: Stammholz, Industrieholz, Energieholz; landwirtschaftliche Dendromasse (Agrarholz)	(verfügbares) totales naturales, (verfügbares) nachhaltiges naturales; theoretisch nutzbar
	Planning regional bioenergy resource use	Baltic Biomass Network, 2005-2007	Regional/Gemeinde	Biodiesel (Getreide, Stroh), Biogas (Winterroggen-GPS, Silomais, Gülle, Grassilage) Bioethanol, Holzbiomasse	Bio-gas/Biodiesel/Bioethanolpotenzial
	Biomassepotenziale in Brandenburg – vom Biogas aus der Landwirtschaft zu Festbrennstoffen aus dem Wald (Vortrag)	Piorr, H.-P., 2009	Regional/Gemeinde/Bundesland	Landwirtschaftlich, Dendromasse	k. A., Nutzung
	Die Nutzung von Bodenschätzungsdaten zur Modellierung von landwirtschaftlicher Biomasse (Tagungsbeitrag)	Brozio, S. et al, 2008	Landkreis Barnim und Uckermark, nicht flächendeckend	landwirtschaftlich	nutzbare Trockenmasse
	Umweltdaten aus Brandenburg - Bericht 2007	Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz,	Bundesland	Biomasse	Potenzialausnutzung 2020


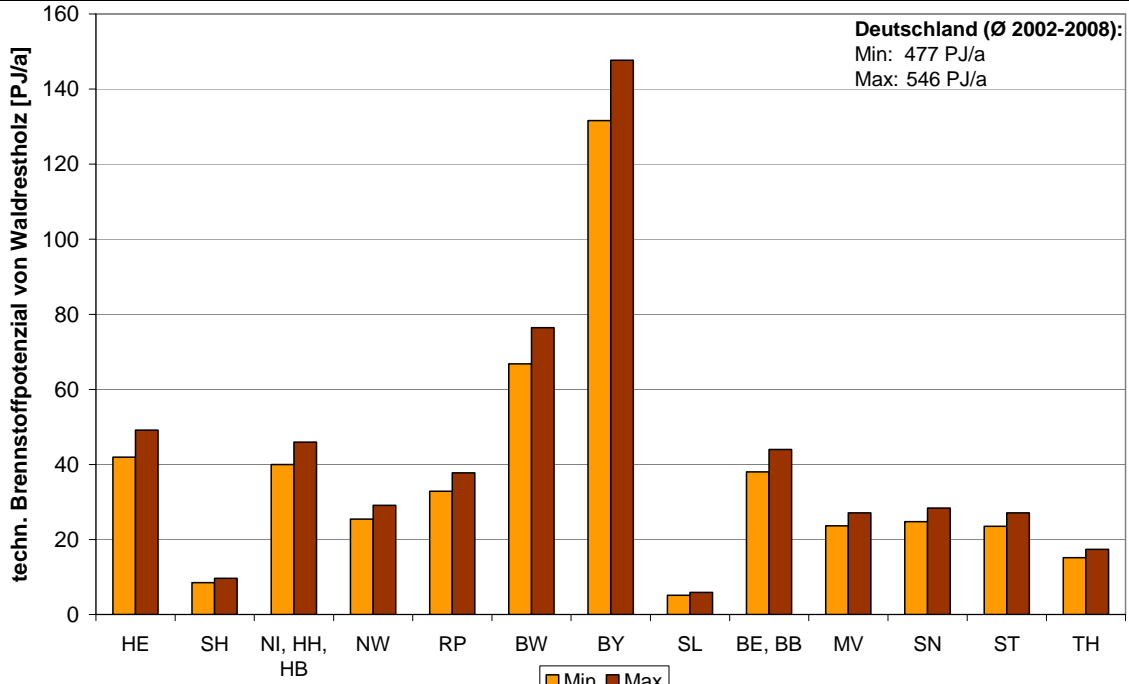
		2007			
Hessen	Biomassepotenzial Hessen und Grunddaten und Modelle zur Biomasse-nutzung und zum Biomassepotenzial in Hessen	Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, 2005	alle Landkreise	alle relevanten Biomassefraktionen	technisches
Mecklenburg-Vorpommern	Potenzial von Biomasse aus der Landschaftspflege am Beispiel ausgewählter Regionen in M-V (Vortrag)	Schüch, A., 2008	2 Beispielregionen	Landschaftspflegeholz	Theoretisch technisch
	(Bio-)Energiewald M-V - von der Vision zur Realität	Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei; Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, 2006	Bundesland	land- und forstwirtschaftliche Biomasse	technisches 2020
Niedersachsen	Studie Bioenergieoffensive Südniedersachsen	ENKOM, 2004	Region Südniedersachsen Landkreisebene bzw. Teilräume	Landwirtschaft Forstwirtschaft kommunal	Theoretisch Verfügbar Bzw. Energieertrag Bzw. mittelfristig/ langfristig erschließbar
Nordrhein-Westfalen	Bestimmung des nachhaltig mobilisierbaren Dendromassepotenzials in Nordrhein-Westfalen anhand der Auswertung von Bundes- und Landeswaldinventur	Wenzlides, M. und Hagemann, M., 2007	Regierungsbezirk	Dendromasse (Derbholz, Reisig für Laub-, Nadel- und Mischwald)	Theoretisch, nachhaltig mobilisierbar
	Zur Lage der Regenerativen Energiewirtschaft in Nordrhein-Westfalen 2006 – Endbericht	MWME, 2007	Bundesland	Forst und Biokraftstoffe	theoretisch, und andere

Schlussfolgerungen

	Biomassestrategie NRW - Biomasse - Entwicklungspotenziale für Erneuerbare Energien,	ohne Autor, ohne Jahr	Bundesland		
Rheinland-Pfalz	Studie zur Weiterentwicklung der energetischen Verwertung von Biomasse in Rheinland-Pfalz	IFAS, 2004	Bundesland Modelllandkreis Kaiserslautern Modellkommune Weilerbach	Holzartige, sonst. Therm. Verwertb., vergärbare, ölhaltige Biomasse	Theoretisch technisch/ ökologisch Verfügbar
	8. Energiebericht Rheinland-Pfalz	MUFV, 2009	Bundesland		
	Abschlussbericht der Region 1 im Projekt BioRegio	IZES und IfaS, 2007			
Saarland	Studie zur Weiterentwicklung der energetischen Verwertung von Biomasse im Saarland Teil 1: Herleitung von Biomasse – Potenzialen in unterschiedlichen Betrachtungsebenen	IZES, 2002	Landkreise	Holzartige, halmgutartige, ölhaltige Biomasse, Grünmasse/Reststoffe	Theoretisch technisch
	Biomasse-Potenziale im Saarland; Projekt RUBIN - Regionale Strategien zur nachhaltigen Umsetzung der Biomassenutzung, Vortrag	IZES, 2007	Bundesland Gemeinden	u. alle relevanten Biomassefraktionen	k.A.
Sachsen	Ermittlung der technischen Potenziale der erneuerbaren Energieträger in Sachsen sowie deren wirtschaftliche Umsetzungsmöglichkeiten für die Stromerzeugung bis zum Jahr 2020	VVE Sachsen e. V., 2008	Bundesland	Landwirtschaft Forstwirtschaft Alt- und Industrierestholz	Theoretisch Technisch nutzbar
	Anbauentwicklung und Potenziale von Bioenergieträgern bis 2020 im Freistaat Sachsen (Vortrag)	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008	alle Landkreise	landwirtschaftliche Biomasse und ausgewählte Reststoffe	nicht angegeben
	Vorstudie – Rahmenbedingungen und Potenziale für eine natur- und umweltverträgliche energetische Nutzung von	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie	Bundesland	Biomasse	technisch nutzbar

	Biomasse im Freistaat Sachsen – Abschlussbericht	2006				
Sachsen-Anhalt	GIS-gestützte Analyse von holzartigen Biomassepotenzialen aus der Landschaftspflege und deren Eignung für die energetische Verwertung – ein Beispiel aus dem Unteren Saaletal	Fachhochschule Anhalt, 2008 (Projektlaufzeit bis Januar 2009)	Region Saaletal	Unteres	Landschaftspflegeflächen	Biomassevorrat
	Durchführung einer Biomassepotenzialstudie 2007 für das Land Sachsen-Anhalt - Derzeitige und zukünftige Potenziale sowie energetische und stoffliche Nutzungsmöglichkeiten	Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt, 2007		Alle Landkreise	alle relevanten Biomassefraktionen	theoretisches u. technisches
Schleswig-Holstein	Potenzial	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, ohne Jahr	Bundesland		Land-, Forst- und Abfallwirtschaft	2010, als Beitrag zum Primärenergieverbrauch 1990
Thüringen	Thüringer Bioenergieprogramm	Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt: k.A. (~2005)	Bundesland		land- und forstwirtschaftliche Produkte und deren Abfälle	technisch nutzbares 2015
	Situation der erneuerbaren Energien in Thüringen - Bestand, Potentiale, Perspektiven	Institut für Geographie Jena, 2009	Bundesland		Gesamt	Nicht angegeben

7 ÜBERSICHTSBLÄTTER REGIONALE FORSTWIRTSCHAFTLICHE BIOMASSEN UND REGIONALE RESTSTOFFE

		Forstwirtschaftliche Biomassen										
Als forstwirtschaftliche Biomassen werden die drei Fraktionen: (1) statistisch erfasster Einschlag, (2) nicht statistisch erfasster Einschlag und (3) ungenutzter Zuwachs betrachtet. Hierbei stellen die Teilfraktionen: Ernteverluste während des Einschlages, Kornen- und Astderholz sowie Reisigholz den erntetechnisch bedingten Rückstand des Einschlages dar, der als Waldrestholz bezeichnet wird.												
Methodik												
siehe Abschn. 3.1												
Faktoren										Quellen		
prozentuale, baumarten- und altersklassenspez. Anteile an der oberirdischen Biomasse (f_{atro}/ha)	Altersklassen											
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
	Fichte	Derbholz m.R.	0	52	75	83	83	87	88	87	/	/
		Reisig m.R.	44	29	16	10	10	6	6	7	/	/
		Nadeln	56	19	9	7	7	7	6	6	/	/
	Kiefer	Derbholz m.R.	0	67	75	81	81	82	85	84	/	/
		Reisig m.R.	69	20	15	11	10	12	10	8	/	/
		Nadeln	31	13	10	8	9	6	5	8	/	/
	Buche	Derbholz m.R.	0	0	61	77	81	84	86	87	85	/
		Reisig m.R.	65	83	36	19	17	13	12	11	12	/
	Nadeln	35	17	3	4	2	3	2	2	3	/	
Eiche	Derbholz m.R.	0	44	79	81	88	89	88	89	92	92	
	Reisig m.R.	53	47	16	15	10	7	9	8	6	6	
	Nadeln	47	9	5	4	2	4	3	3	2	2	
bundesland-, altersklassen und baumartenspez. unterer Heizwert (H_u), Umrechnungsfaktor von m^3 Waldrestholz in t_{atro} (f_{atro}) und von Ernte- zur Vorratsfestmetern (f_{vfm}), Rindenabzugsfaktor (f_{Rinde}):	H_u (wf) [MJ/kg]		f_{atro} m^3/t_{atro}		f_{vfm} Vfm m.R. Efm o.R.			f_{Rinde} m.R. o.R.				
	Fichte	18,8	0,43	1,00	0,85	1,00	0,89					
	Kiefer	21,0	0,51	1,00	0,80	1,00	0,86					
	Buche	18,4	0,68	1,00	0,85	1,00	0,95					
	Eiche	18,4	0,65	1,00	0,75	1,00	0,85					
				1,33	1,00	1,18	1,00					
	bundeslandspez. Anteile des bereits energetisch genutzten und nicht verwendeten Holzes											/14/
	Ergebnisse											
	Deutschland (Ø 2002-2008): Min: 477 PJ/a Max: 546 PJ/a											
												



Stroh

Unter Stroh wird der Ernterückstand von Getreide-, Ölsaaten- und Körnermaiskulturen verstanden.

Untersuchungsgegenstand: Getreide- und Rapsstroh

/48/

Methodik

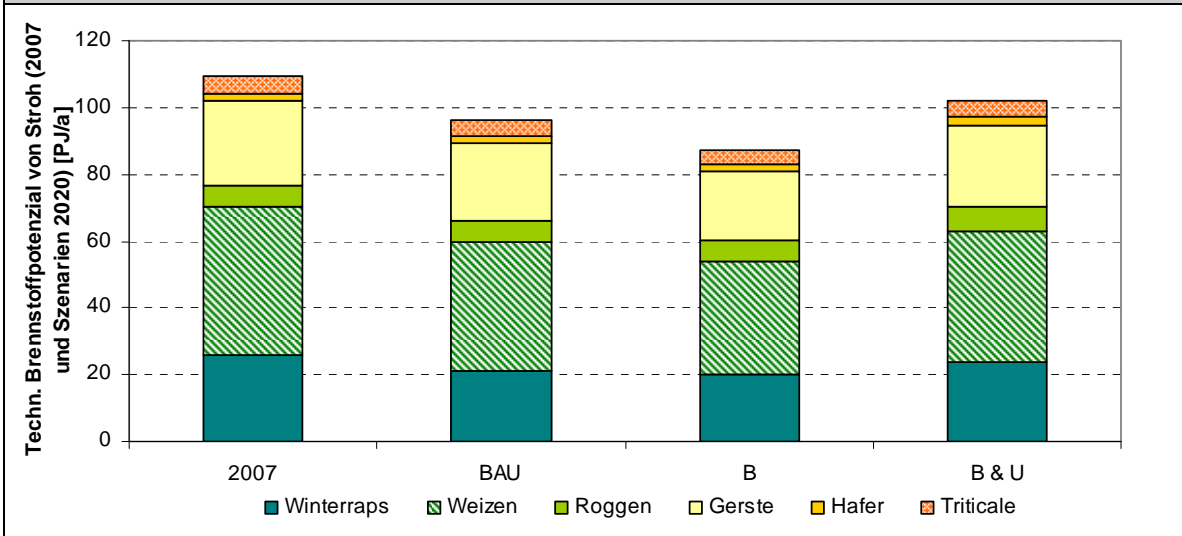
$$P_R = AF \cdot E \cdot f_{KS} \cdot f$$

$$P_B = P_R \cdot TM \cdot H_u$$

P_R - technisches Rohstoffpotenzial [t_{TM}/a]; AF - Anbaufläche [ha]; E - Hektarertrag [t/ha];
 f_{KS} - fruchtartspezifisches Korn-Stroh-Verhältnis; f - Erschließungsfaktor; P_B -
 technisches Brennstoffpotenzial [PJ/a]; P_R - technisches Rohstoffpotenzial [t_{TM}/a]; TM -
 Trockenmasseanteil; H_u - unterer Heizwert [GJ/t_{atro}]

Faktoren		Quellen																					
fruchtartspez. Korn-Stroh-Verhältnis (f _{KS}):	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th></th> <th style="text-align: center;">2007</th> <th style="text-align: center;">2020</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Weizen</td> <td style="text-align: center;">1 : 0,80</td> <td style="text-align: center;">1 : 0,72</td> </tr> <tr> <td>Gerste</td> <td style="text-align: center;">1 : 0,80</td> <td style="text-align: center;">1 : 0,72</td> </tr> <tr> <td>Roggen</td> <td style="text-align: center;">1 : 0,90</td> <td style="text-align: center;">1 : 0,81</td> </tr> <tr> <td>Hafer</td> <td style="text-align: center;">1 : 1,10</td> <td style="text-align: center;">1 : 0,99</td> </tr> <tr> <td>Triticale</td> <td style="text-align: center;">1 : 0,90</td> <td style="text-align: center;">1 : 0,81</td> </tr> <tr> <td>Raps</td> <td style="text-align: center;">1 : 1,70</td> <td style="text-align: center;">1 : 1,53</td> </tr> </tbody> </table>		2007	2020	Weizen	1 : 0,80	1 : 0,72	Gerste	1 : 0,80	1 : 0,72	Roggen	1 : 0,90	1 : 0,81	Hafer	1 : 1,10	1 : 0,99	Triticale	1 : 0,90	1 : 0,81	Raps	1 : 1,70	1 : 1,53	/34/
		2007	2020																				
	Weizen	1 : 0,80	1 : 0,72																				
	Gerste	1 : 0,80	1 : 0,72																				
	Roggen	1 : 0,90	1 : 0,81																				
	Hafer	1 : 1,10	1 : 0,99																				
Triticale	1 : 0,90	1 : 0,81																					
Raps	1 : 1,70	1 : 1,53																					
Erschließungsfaktor (f):	20 %	/34/																					
Trockenmasseanteil (TM):	85 %	/34/																					
unterer Heizwert (H _u):	Weizen: 17,2 MJ/kg	/38/																					
	Gerste: 17,5 MJ/kg																						
	Roggen: 17,4 MJ/kg																						
	Hafer: 17,3 MJ/kg																						
	Triticale: 17,1 MJ/kg																						
	Raps: 17,1 MJ/kg																						

Ergebnisse





Exkrememente aus der Nutztierhaltung

Tierische Exkrememente fallen bei der Viehhaltung in Form von Festmist oder Gülle an. Während Gülle den reinen Anfall von Harn und Kot bezeichnet, wird unter Festmist der Anfall von Harn und festem Kot zusammen mit dem Einstreu verstanden.

Untersuchungsgegenstand: Nutztierarten Rinder, Schweine und Hühner

Methodik

$$P_B = GVE \cdot (f_{Gülle} \cdot r_{Gülle} \cdot b_{Gülle} + f_{Einstreu} \cdot r_{Einstreu} \cdot b_{Einstreu}) \cdot H_u \cdot 10^{-9}$$

$$P_{B,H} = A \cdot (f_{Gülle} \cdot r_{Gülle} \cdot b_{Gülle} + f_{Einstreu} \cdot r_{Einstreu} \cdot b_{Einstreu}) \cdot H_u \cdot 10^{-9}$$

P_B - technisches Brennstoffpotenzial von Rinder-/Schweine-Exkrementen [PJ/a], GVE - Großvieheinheiten; f - Erschließungsfaktor (Anteil Stallhaltung bzw. Haltung mit Einstreu); r - Reststoffanfall [$t_{FM}/GVE \cdot a$]; b - Biogasertrag [m^3/t_{FM}]; H_u - unterer Heizwert von Biogas [MJ/m^3];

$P_{B,H}$ - technisches Brennstoffpotenzial von Hühner-Exkrementen [PJ/a], A - Anzahl Tiere

Faktoren

Quellen

	Rinder	Schweine	Hühner
Stallhaltung (f)	68 %	100 %	71 %*
Haltung mit Einstreu (f)	15 %	15 %	21 - 92 %
Gülleanfall [t/GVE bzw. Tier] (r)	15	11	0,022*
Festmistanfall [t/GVE bzw. Tier] (r)	1,3	2,0	0,007 - 0,027
Biogasertrag Gülle [m^3/t_{FM}] (b)	25	36	67*
Biogasertrag Festmist [m^3/t_{FM}] (b)	100	100	80 -169

/32//33//53/

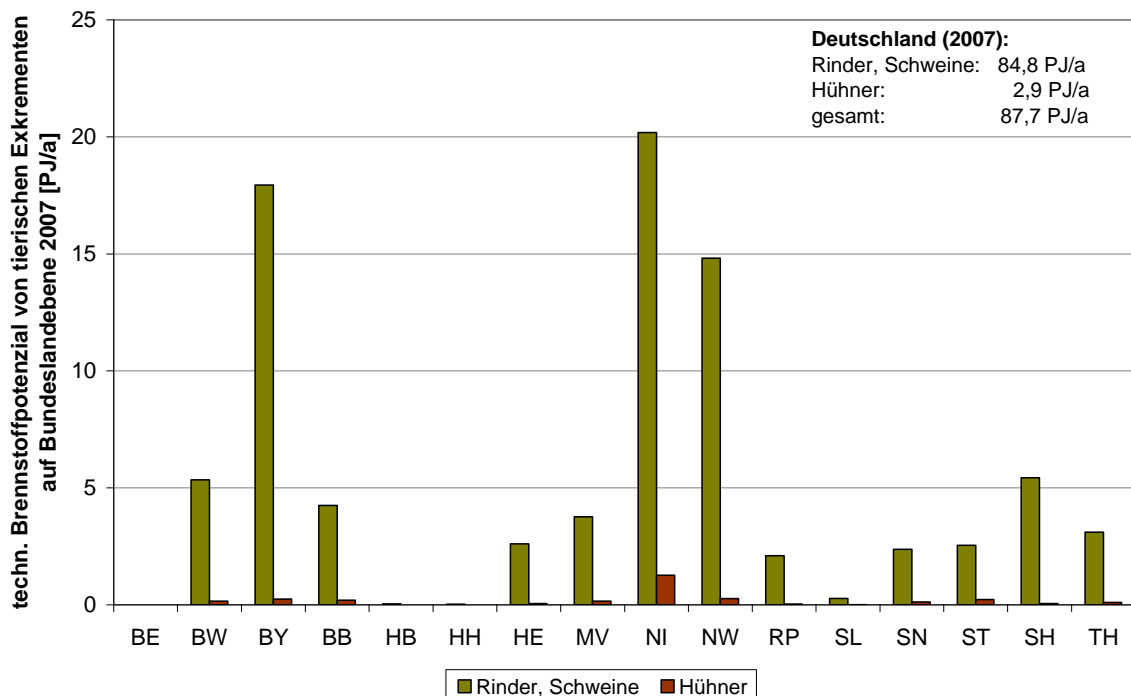
* nur Legehennen

unterer Heizwert Biogas (H_u):

21,6 MJ/m³

Mittelwert nach /24/

Ergebnisse





Bio- und Grünabfall

Als Bio- und Grünabfälle werden Reststoffe verstanden, die tierischen oder pflanzlichen Ursprungs sind und durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können. Hierzu zählt ebenso der anfallende Grünschnitt bei der Garten-, Landschafts- und Parkpflege.

Methodik

$$P_R = (A - V - S) \cdot TM$$

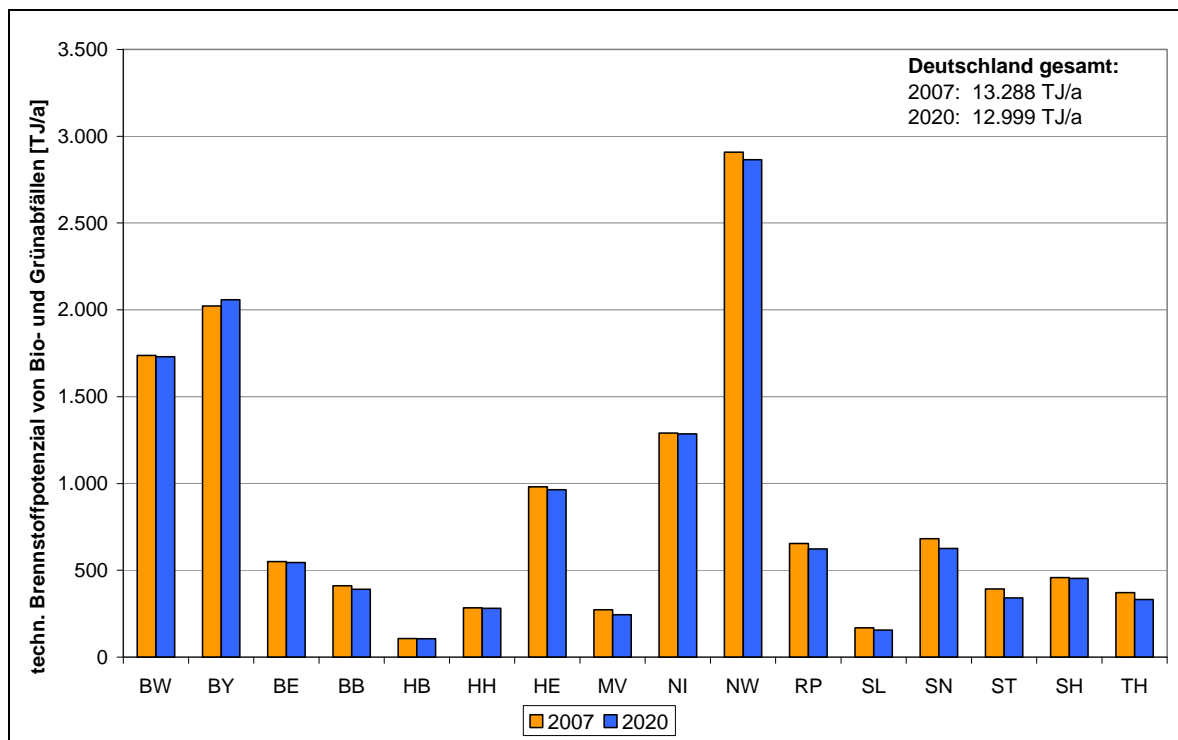
$$b_{\text{Ertrag}} = P_R \cdot V_{\text{quote}} \cdot oTM \cdot b_{\text{Ausbeute}}$$


$$P_{B,V} = b_{\text{Ertrag}} \cdot H_B \quad \text{bzw.} \quad P_{B,T} = P_R \cdot V_{\text{quote}} \cdot H_G$$

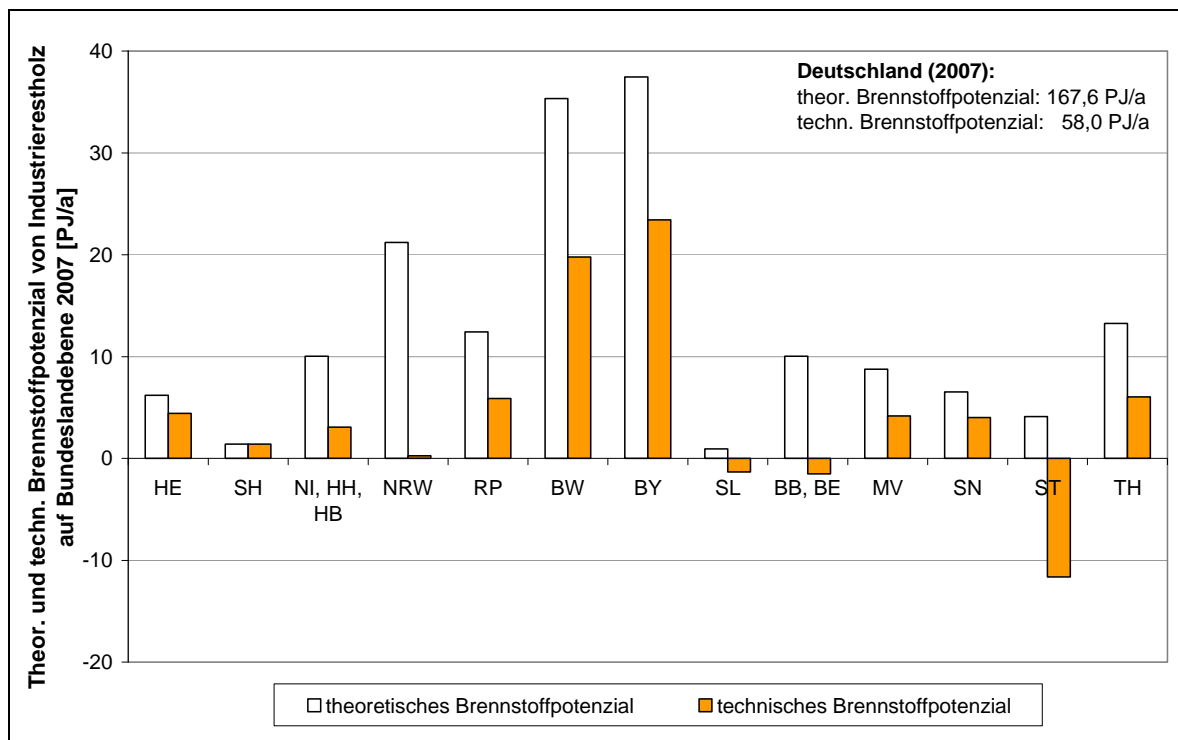
P_R - technisches Rohstoffpotenzial [t_{TM}/a]; A - Aufkommen [t_{FM}/a]; V - Sammelverluste; S - Störstoffanteil; TM - Trockenmasseanteil; b_{Ertrag} - Biogasertrag [m³/a]; V_{quote} - Verwertungsquote; oTM - Anteil organische Trockenmasse; b_{Ausbeute} - Biogasausbeute [l/kg_{oTM}]; $P_{B,V}$ - technisches Brennstoffpotenzial durch Vergärung [TJ/a]; H_B - Heizwert Biogas [MJ/m³]; $P_{B,T}$ - technisches Brennstoffpotenzial durch thermische Verwertung [TJ/a]; H_G - Heizwert Grünabfall [GJ/t]


Faktoren		Quellen
Sammelverluste (V):	1 %	/47/
Störstoffanteil (S):	4 %	/47/
Trockenmasseanteil (TM):	40 %	/55/
Anteil organischer Trockenmasse (oTM):	50 %	/47/
Verwertungsquote (V _{quote}):	Bioabfall: 100 % Vergärung Grünabfall: 40 % Vergärung 60 % thermische Verwertung	/47/
Biogasausbeute (b _{Ausbeute}):	390 l/kg _{oTM}	/44/
mittlerer Heizwert Biogas (H _B):	22,5 MJ/m ³	/25/
Heizwert Grünabfall (H _G):	5 GJ/t	/44/

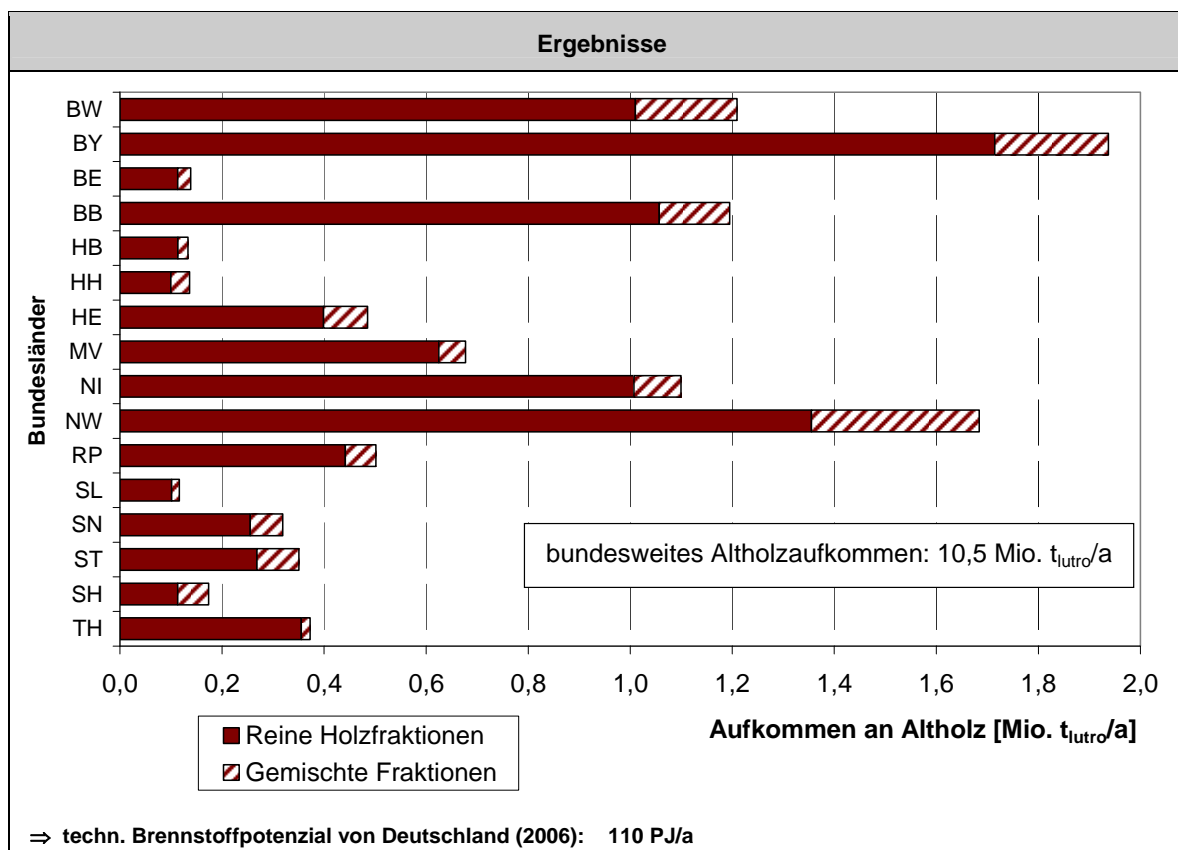
Ergebnisse



	Industrierestholz													
	<p>Industrierestholz fällt bei der stofflichen Nutzung von Waldholz in der Holzbe- und verarbeitenden Industrie an. Hierzu zählen u. a. Hackschnitzel, Späne, Abschnitte oder Rindenstücke.</p> <p>Untersuchungsgegenstand: Rückstände der Säge-, Holzwerkstoff- sowie Zellstoff- und Papierindustrie</p>													
Methodik														
$A = B \cdot r \qquad A_{SNP} = A_{SI} - E_{SNP} + I_{SNP} \qquad N = B \cdot n$ $P_R = A_{ges} - N_{ges}$ $P_B = A_{ges} \cdot k \cdot H_u$ <p><i>A</i> - Restholzaufkommen [m³/a]; <i>B</i> - Rohstoffbedarf/-input [m³/a]; <i>r</i> - Reststofffaktor; <i>A</i>_{SNP} - bereinigtes Aufkommen an SNP [m³/a]; <i>A</i>_{SI} - Restholzaufkommen in der Sägeindustrie; <i>E</i>_{SNP} bzw. <i>I</i>_{SNP} - Export- bzw. Importmengen der jeweiligen SNP [m³/a]; <i>N</i> - stoffliche Nutzung [m³/a]; <i>n</i> - Restholznutzungsfaktor; <i>P</i>_R - technisches Rohstoffpotenzial [m³/a]; <i>A</i>_{ges} - gesamtes Industrierestholzaufkommen [m³/a]; <i>N</i>_{ges} - gesamte stoffliche Nutzung [m³/a]; <i>P</i>_B - technisches Brennstoffpotenzial [PJ/a]; <i>A</i>_{ges} - gesamtes Industrierestholzaufkommen [m³/a]; <i>k</i> - Konversionsfaktor m³ in t_{atro}; <i>H</i>_u - unterer Heizwert [GJ/t_{atro}]</p>														
Faktoren		Quellen												
Reststofffaktor (r):	<p>Sägeindustrie:</p> <table border="0"> <tr><td>Hackgut:</td><td>30 %</td></tr> <tr><td>Sägespäne:</td><td>10 %</td></tr> <tr><td>Rinde:</td><td>10 %</td></tr> <tr><td>Kappholz:</td><td>5 %</td></tr> <tr><td>Holzwerkstoffindustrie:</td><td>20 %</td></tr> <tr><td>Zellstoff- und Papierindustrie:</td><td>1,8 %</td></tr> </table>	Hackgut:	30 %	Sägespäne:	10 %	Rinde:	10 %	Kappholz:	5 %	Holzwerkstoffindustrie:	20 %	Zellstoff- und Papierindustrie:	1,8 %	/43//28//51/
Hackgut:	30 %													
Sägespäne:	10 %													
Rinde:	10 %													
Kappholz:	5 %													
Holzwerkstoffindustrie:	20 %													
Zellstoff- und Papierindustrie:	1,8 %													
Restholznutzungsfaktor (n):	<table border="0"> <tr><td>Holzwerkstoffindustrie:</td><td>50 %</td></tr> <tr><td>Zellstoff- und Papierindustrie:</td><td>27,5 %</td></tr> </table>	Holzwerkstoffindustrie:	50 %	Zellstoff- und Papierindustrie:	27,5 %	/42//47/								
Holzwerkstoffindustrie:	50 %													
Zellstoff- und Papierindustrie:	27,5 %													
Konversionsfaktor (k):	0,5 m ³ /t _{atro}													
unterer Heizwert (Hu):	18,5 GJ/t _{atro}	/34/												
Ergebnisse														



	Altholz																																						
	<p>Unter Altholz ist sowohl Gebrauchtholz als auch Industrierestholz zu verstehen, das als Abfall anfällt und aus dem Nutzungsprozess, z. B. bei Baumaßnahmen, ausscheidet. Altholz beinhaltet hierbei unter anderem Holzwerkstoffe, Verbundstoffe mit hohem Holzanteil, Altmöbel aber auch Sägespäne der Holzverarbeitenden Industrie, die keiner Verwertung zugeführt werden.</p>																																						
	Methodik																																						
	$A_{Holz} = \sum A \cdot h \qquad P_B = A_{Holz} \cdot (1 - \omega) \cdot f \cdot H_u$																																						
	<p>A_{Holz} - Altholzaufkommen [t_{utro}/a]; A - Abfallaufkommen [t_{utro}/a]; h - Holzanteil; f - Erschließungsfaktor; P_B - technisches Brennstoffpotenzial [TJ/a]; H_u - unterer Heizwert [GJ/t_{atro}]</p>																																						
Faktoren		Quellen																																					
bundeslandspez. Abfallaufkommen (A)		/54/																																					
prozentualer Holzanteil (h):	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 35%;">AVV-Abfallschlüssel</th> <th style="width: 35%;">Holzanteil [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">Reine Holzfraktion</td> <td>030101</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>030104</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>030105</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>030301</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>150103</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>150110</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>170201</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>191206</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>191207</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>200137</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>200138</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Gemischte Fraktion</td> <td>15010600</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>170204</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>170904</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>20030101</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>200307</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>		AVV-Abfallschlüssel	Holzanteil [%]	Reine Holzfraktion	030101	100	030104	100	030105	100	030301	100	150103	100	150110	100	170201	100	191206	100	191207	100	200137	100	200138	100	Gemischte Fraktion	15010600	15	170204	90	170904	15	20030101	1	200307	10	/1//31/
		AVV-Abfallschlüssel	Holzanteil [%]																																				
Reine Holzfraktion	030101	100																																					
	030104	100																																					
	030105	100																																					
	030301	100																																					
	150103	100																																					
	150110	100																																					
	170201	100																																					
	191206	100																																					
	191207	100																																					
	200137	100																																					
200138	100																																						
Gemischte Fraktion	15010600	15																																					
	170204	90																																					
	170904	15																																					
	20030101	1																																					
	200307	10																																					
Erschließungsfaktor (f):	2/3	/20//34/																																					
Wassergehalt (ω):	14 %	/34/																																					
unterer Heizwert (H _u):	18,5 GJ/t _{atro}	/34/																																					



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Prozentuale Verteilung der Fruchtarten auf der Non-Food-Fläche 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: eigene Darstellung)	5
Abb. 2:	Erntemengen der betrachteten Energiepflanzen auf den Non-Food-Flächen 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: eigene Berechnungen)	7
Abb. 3:	Technisches Brennstoffpotenzial aus Energiepflanzen 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: eigene Berechnungen).....	8
Abb. 4:	Technische Brennstoffpotenziale von Energiepflanzen 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: DBFZ)	9
Abb. 5:	Beispielhafte Darstellung einer Verteilung von Schutzgebieten verschiedener Schutzkategorien (Quelle: eigene Darstellung).....	11
Abb. 6:	Arten der Einteilung von Baumkompartimenten (Quelle: eigene Darstellung)	20
Abb. 7:	Zusammensetzung des technischen Brennstoffpotenzials von forstwirtschaftlichen Biomassen (Quelle: eigene Berechnungen).....	26
Abb. 8:	Verteilung der technischen Brennstoffpotenziale in den Bundesländern pro Jahr (Durchschnitt von 2002 – 2008) (Quelle: eigene Berechnungen)....	27
Abb. 9:	Technische Brennstoffpotenziale in der Forstwirtschaft in Tonnen atro pro Jahr (Quelle: eigene Berechnung).....	29
Abb. 10:	Technische Brennstoffpotenziale in der Forstwirtschaft in PJ pro Jahr (Quelle: eigene Berechnungen).....	30
Abb. 11:	Technisches Rohstoffpotenzial von Getreide- und Rapsstroh im Jahr 2007 (Quelle: eigene Berechnungen).....	34
Abb. 12:	Technisches Brennstoffpotenzial von Stroh (Quelle: eigene Berechnungen).....	34
Abb. 13:	Technisches Brennstoffpotenzial von Stroh für 2007 und für die Szenarien 2020 (Quelle: eigene Berechnungen).....	35
Abb. 14:	Biogasertrag aus Gülle und Einstreu in Deutschland 2007 (Quelle: eigene Berechnungen).....	38
Abb. 15:	Regionale Verteilung der Potenziale an Rinder- und Schweineexkrementen aus der Tierhaltung 2007 (Quelle: eigene Berechnungen).....	39
Abb. 16:	Vorgehensweise zur Ermittlung des technischen Rohstoff- und Brennstoffpotenzials auf Landkreisebene (Quelle: eigene Darstellung)	41
Abb. 17:	Technisches Brennstoffpotenzial von Bio- und Grünabfällen [TJ/a] der Bundesländer für die Jahre 2007 und 2020 (Quelle: eigene Berechnungen).....	43
Abb. 18:	Technisches Brennstoffpotenzial von Bio- und Grünabfällen 2007 (Quelle: eigene Berechnungen)	44

Abb. 19:	Vorgehensweise zur Ermittlung des technischen Rohstoff- und Brennstoffpotenzials für Deutschland und auf Bundeslandebene (Quelle: eigene Darstellung)	46
Abb. 20:	Theoretisches und technisches Brennstoffpotenzial von Industrierestholz auf Bundeslandebene 2007 (Quelle: eigene Darstellung)	50
Abb. 21:	Aufkommen an Altholz in den einzelnen Bundesländern in 2006 (Quelle: eigene Berechnungen)	55
Abb. 22:	Altholzaufkommen, aufgeschlüsselt nach Stoffgruppen (Quelle: eigene Berechnungen).....	55
Abb. 23:	Summe der technischen Brennstoffpotenziale für Deutschland 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: eigene Berechnungen).....	58
Abb. 24:	Möglicher Anteil von Bioenergie am gesamten Endenergieverbrauch in den Szenarien (Quelle: eigene Berechnungen)	60
Abb. 25:	Anteile der verschiedenen Biomassefraktionen an der Stromerzeugung 2020 (Quelle: eigene Berechnungen).....	61
Abb. 26:	Anteil der verschiedenen Biomassefraktionen an der Wärmeproduktion 2020 (Quelle: eigene Berechnungen).....	62

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Ertragsminderungen auf Schutzgebieten verschiedener Kategorie.....	4
Tab. 2:	Ertragssteigerungen der Fruchtarten in den Szenarien.....	6
Tab. 3:	Schutzgebietskategorien und ihre wichtigsten Eigenschaften.....	12
Tab. 4:	Überblick über die Annahmen hinsichtlich der Nutzungseinschränkungen durch Natur- und Umweltschutz in den Szenarien	17
Tab. 5:	Technische Brennstoffpotentiale der Forstwirtschaft in t_{atro} und PJ/a (Quelle: eigene Berechnungen).....	28
Tab. 6:	Korn-Stroh-Verhältnis 2007 und 2020 /34/	33
Tab. 7:	Faktoren zur Bestimmung des technischen Potenzials von Tier-Exkrementen /33/, /53/ und /32/)	38
Tab. 8:	Industrierestholzanfall aus Sägewerken in Deutschland, um Im- und Exporte bereinigt (Quelle: eigene Berechnungen nach /43/ unter Verwendung von /7/ und /46/)	48
Tab. 9:	Verteilung des Rohstoffinputs und des Aufkommens an Sägenebenprodukten (SNP) in der Sägeindustrie auf Bundeslandebene (Quelle: eigene Berechnungen nach /46/)	50
Tab. 10:	Für Altholz relevante AVV-Abfallschlüssel und der entsprechende angenommene Holzanteil (Quelle: /31/)	54
Tab. 11:	Endenergiebedarf 2020 und Anteil der Energie aus Biomasse /15/	59
Tab. 12:	Anzahl der notwendigen Bioenergieanlagen zur Gewinnung von Strom, Wärme und Kraftstoff 2020 in den Szenarien (Quelle: eigene Berechnungen).....	59

LITERATUR- UND REFERENZVERZEICHNIS

- /1/ ABFALLVERZEICHNIS-VERORDNUNG (AVV): Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis. vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), geändert durch Art. 7 G v. 15.7.2006 (BGBl. I S. 1619)
- /2/ ALTHOLZVERORDNUNG (ALTHOLZV): Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz. vom 15.08.2002 (BGBl. I S. 3302), geändert durch Art. 2a V v. 20.10.2006 (BGBl. I S. 2298)
- /3/ ARETZ, A., HIRSCHL., B.: Biomassepotenziale in Deutschland – Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse und Gegenüberstellung der Methoden. Dendrom-Diskussionspapier Nr. 1, Eberswalde, 2007
- /4/ BERG, M., HAAS, G., KÖPKE, U.: Konventioneller, integrierter oder organischer Landbau: Fallbeispiel Wasserschutzgebiet am Niederrhein. – 8. Gumpensteiner Lysimetertagung, 13. und 14. April 1999, 145-147, 2000
- /5/ BIOABFALLVERORDNUNG (BIOABFV): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Ausfertigungsdatum 21.09.1998, BGBl. I S. 2955, durch Artikel 5 der Verordnung vom 20.10.2006 BGBl. I S. 2298 geändert
- /6/ BIOMASSEVERORDNUNG (BIOMASSEV): Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse. vom 21. Juni 2001 (BGBl. I S. 1234), geändert durch V v. 9.8.2005 (BGBl. I S. 2419)
- /7/ BITTER, W.-G., DÜMMER, R., SCHADE, V.: ZMP-Marktbilanz Forst und Holz 2008 Deutschland. ZMP Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH, Bonn, 2008
- /8/ BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFU): Schutzgebiete des Naturschutzes, Bonn nach Angaben der Länder, 2009
- /9/ BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFU): Zum Stand der Umsetzung von Natura 2000 in Deutschland. http://www.bfn.de/0316_gebiete.html, download 10.07.2009
- /10/ BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFU) (2009): Gebietsschutz/Großschutzgebiete. http://www.bfn.de/0308_nsg.html, download am 15.07.09
- /11/ BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG.OEKOLANDBAU.DE (2009): Ertragssituation Pflanzenbau. <http://www.oekolandbau.de/erzeuger/oekonomie/betriebswirtschaftliche-aspekte-und-betriebsfuehrung/ertragssituation-pflanzenbau/>, download 14.07.09
- /12/ 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
- /13/ BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMELV) (HRSG.): Die zweite Bundeswaldinventur – BWI². 2004
- /14/ BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMELV) (HRSG.): Holzmarktberichte. Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft, 2002-2008
- /15/ BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU): Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas. 2008

- /16/ BUNDESNATURSCHUTZGESETZ (BNATSCHG): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege. Bundesgesetzblatt (2002) Teil I Nr. 22, Bonn 3. April 2002, S. 1193 – 1218, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986)
- /17/ DIETER, M., ENGLERT, H., KLEIN, M.: Abschätzung des Rohholzpotenzials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsbericht des Institutes für Ökonomie, Hamburg, 2001
- /18/ ECLAREON GMBH: Daten des Online-Portals www.biomasseatlas.de, Stand 2009
- /19/ EUROPÄISCHE UNION (EU): Richtlinie 92/43/EWG des Rates zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wild lebenden Tiere und Pflanzen. vom 21. Mai 1992 (ABl. EG Nr. L 206 vom 22.7.1992, S. 7), geändert durch die Beitrittsakte von 1994 (ABl. EG Nr. C 241 vom 29.8.1994, S. 21; ABl. EG Nr. L 1 vom 1.1.1995, S. 1), die Richtlinie 97/62/EG vom 27. Oktober 1997 (ABl. EG Nr. L 305 vom 8.11.1997, S. 42) und die Beitrittsakte von 2003 (ABl. EG Nr. L 236 vom 23.9.2003, S. 667-703).
- /20/ EUROPÄISCHER WIRTSCHAFTSDIENST (EUWID): Neue Energien, Nr. 10 v. 13.05.2009, S. 5, 2009
- /21/ FACHAGENTUR FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e. V. (FNR): Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow, 4. Auflage, 2007
- /22/ FACHAGENTUR FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e. V. (FNR): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. 2008, http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_265index.html, download 10.07.09
- /23/ FACHAGENTUR FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e. V. (FNR): Was sind Energiepflanzen?. 2009, www.fnr.de
- /24/ FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e. V. (FNR): Biogas Basisdaten Deutschland. Stand Oktober 2009, <http://www.bio-kraftstoffe.info/index.php?id=920>
- /25/ FACHAGENTUR FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e. V. (FNR) (HRSG.): Biogas Basisdaten Deutschland. Stand: Oktober 2008. Gülzow, 2008
- /26/ HICK, A., MANTAU, U. (2008): Energieholzverwendung in privaten Haushalten. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente - Abschlussbericht. Hamburg, 2008
- /27/ HOCHWASSERSCHUTZGESETZ: Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes vom 3. Mai 2005, am 10. Mai 2005 in Kraft getreten, (BGBl. Teil I Nr. 26, Seite 1224ff)
- /28/ INFORMATIONSDIENST HOLZ SPEZIAL: Span- und Faserplatten, OSB. Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e. V. (VHI). Mai 2009
- /29/ INGENIEURGEMEINSCHAFT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT (IGLU): Gewässerschonender Betrieb von Biogasanlagen, Untersuchung zur Optimierung des Biomasseanbaus sowie des Betriebs von Biogasanlagen unter den Anforderungen des Gewässerschutzes zur Sicherung einer nachhaltigen Nutzung von Bioenergie. Göttingen, 2008
- /30/ INGENIEURGEMEINSCHAFT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT (IGLU): Jahresbericht 2008 – Modell- und Pilotvorhaben, Untersuchung zur Optimierung des Biomasseanbaus sowie des Betriebs von Biogasanlagen unter den Anforderungen des Gewässerschutzes zur Sicherung einer nachhaltigen Nutzung von Bioenergie. Göttingen, 2009
- /31/ INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT GMBH (IE): Monitoring zur Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) aus Umweltsicht, Endbericht, Leipzig, 2003

- /32/ INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT GMBH (IE): Erhebung der Potenziale von organischen Stoffströmen zur energetischen Verwertung in Biogasanlagen auf dem Gebiet der Neuen Bundesländer und in Berlin. Leipzig, 2003 [unveröffentlicht]
- /33/ INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT GMBH (IE): Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext. Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergeträgern. Leipzig, 2005
- /34/ KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H., HOFBAUER, H. (HRSG.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2. Auflage, 2009
- /35/ KERN, M., RAUSSEN, T.: Energetische Nutzung von Bio- und Grünabfällen. 9. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, 2005
- /36/ KRAMER, H., AKCA, A.: Leitfaden zur Waldmeßlehre. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 3. Aufl., S. 171, 228, 1995
- /37/ KRAMER, H., KRÜGER, H.H.: Vorrat und Nutzungsmöglichkeit forstlicher Biomasse in der Bundesrepublik Deutschland - Der Forst- und Holzwirt. Hannover, 36, S. 33-37, 1981
- /38/ KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT e.V. (KTBL): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 13. Auflage, Darmstadt, 2005
- /39/ LANDESANSTALT FÜR ENTWICKLUNG DER LANDWIRTSCHAFT UND DER LÄNDLICHEN RÄUME BADEN-WÜRTTEMBERG (2009): Wasserschutz. <http://www.hallo-landwirtschaft.de/wassersch.htm>, download 16.07.09
- /40/ LANDKREIS TIRSCHENREUTH (2009): Wasserschutzgebiete – Der beste Schutz für unser Trinkwasser. http://www.kreis-tir.de/p/d3.asp?artikel_id=1237&liste=, download 15.07.09
- /41/ LEIBLE, L. et al.: Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Forschungs-zentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6882, 2003
- /42/ LEPS, T.: Holzwerkstoffe – Stand der Technik - Chancen, Entwicklungen und Trends. Vortrag zum C.A.R.M.E.N Forum. Hochschule Rosenheim. Fakultät Holztechnik, Werkstoffkunde, Produktprüfung und –entwicklung, 30.03.09
- /43/ MARUTZKY, R.: Biomassen auf Basis von Holz in Österreich, der Schweiz und Deutschland. Nutzungssituation – Theoretische und reale Potenziale – Qualitäten – Wettbewerbssituation – Preistendenzen. Referat zum VDI-Wissensforum, Salzburg, 29. und 30. Januar 2004
- /44/ MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT DES LANDES SACHSEN-ANHALT (HRSG.): Projekt Technische Hilfe EFRE 6.12.2.07.00023, Durchführung einer Biomassepotenzialstudie 2007 für das Land Sachsen-Anhalt, Derzeitige und zukünftige Potenziale sowie energetische und stoffliche Nutzungsmöglichkeiten. Endbericht, 2007
- /45/ MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG (1996): Antrag der Fraktion der SPD und Stellungnahme des Ministeriums für Umwelt und Verkehr - Grundwasserschutzkonzeption und Ausgleichszahlungen in Wasserschutzgebieten. Drucksache 12/465. http://www.landtag-bw.de/WP12/Drucksachen/0000/12_0465_d.pdf, download 13.07.09
- /46/ OCHS, T., DUSCHL, C., SEINTSCH, B.: Struktur und Rohstoffbedarf der Holzwirtschaft. In: Holz-Zentralblatt, Nr. 10, S. 269 - 271, 2007
- /47/ ÖKO-INSTITUT & PARTNER: Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Endbericht F&E-Vorhaben i. A. des BMU. Freiburg, Darmstadt, Berlin, 2004
- /48/ PIXELIO MEDIA GMBH: verschiedene Fotografien, <http://pixelio.de>

- /49/ SÄCHSISCHE LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (LFULG): Datenbank Biomassepotenziale. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 12, 2008
- /50/ SCHEUERMANN, A., THRÄN, D.: Energetische Nutzung von Altholz – Rahmenbedingungen, Stand und Perspektiven. Müll und Abfall, Ausgabe 3, 2005
- /51/ SCHWETLICK, W.: Ökologische Sicherheit in der Zellstoff- und Papier-Industrie. OecoNatura AG. IIA International Informatization Academy German Headquarter e.V.. Scientific Publications Nr. 3, Zürich, 2008
- /52/ STATISTISCHES BUNDESAMT: Daten zur Bodenbedeckung. CORINE Land Cover, Datensatz auf CD-ROM, 2000
- /53/ STATISTISCHES BUNDESAMT (HRSG.): Statistisches Jahrbuch 2005 für die Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden, 2005
- /54/ STATISTISCHES BUNDESAMT (HRSG.): Abfallentsorgung 2006 - Input ausgewählter Abfälle in Abfallentsorgungsanlagen nach Bundesländern. 2006
- /55/ UMWELTBUNDESAMT (UBA) (HRSG): Ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Öko-Institut für angewandte Ökologie Darmstadt: Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung der organischen Abfälle. UBA-Texte 04/2007
- /56/ WASSERHAUSHALTSGESETZ (WHG): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts vom 27. Juli 1957, vielfach geändert, aktuelle Bekanntmachung der Gesetzesfassung am 19. August 2002 (BGBl. I Seite 3245), letzte Gesetzesänderung durch Artikel 2 des Gesetzes vom 10. Mai 2007 (BGBl. I Seite 666)
- /57/ WEIMAR, H., MANTAU, U.: Standorte der Holzwirtschaft - Altholz im Entsorgungsmarkt – Aufkommens- und Vermarktungsstruktur. Abschlussbericht. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, Hamburg, 2008
- /58/ WOLTERS, D.: Bioenergie aus ökologischem Landbau – Möglichkeiten und Potentiale. Wuppertal Papers, Nr. 91, Februar 1999