

Ho 2 **Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt:**  
 Ho 3 **Holz - Basisdaten für 100%-Szenarien**

Ho 4 Untersuchung zu Möglichkeiten und Grenzen der energetischen Nutzung von Holz unter den Bedingungen von 100% Erneuerbare Energie-Regionen in Deutschland.

Ho 5 Version: 130306

Ho 7 **1. Holzangebot**

Ho 8 100% Erneuerbare-Energie-Regionen zeichnen sich dadurch aus, dass nicht mehr Holz genutzt wird, als auf den Flächen dieser Region nachwächst, das auf Dauer verfügbare Holzangebot ist somit durch den Zuwachs begrenzt.

Ho 9 Im Vergleich zum jährlichen Holzzuwachs in den Wäldern dürfte es sich beim Landschaftspflegeholz um eher geringe Mengen handeln, die hier nicht mit einbezogen werden.

Ho 10 Die landwirtschaftliche Holzerzeugung in Kurzumtriebsplantagen wird in Basisdaten 'Energiepflanzen' behandelt.

Ho 11 Diese Betrachtung ist daher allein auf forstwirtschaftlich genutzte Waldflächen bezogen (Liste der von Forstwirtschaft ausgenommenen Naturparkflächen siehe Anhang D: Ausschlussflächen).

Ho 12 Sie stützt sich auf die Ergebnisse der zweiten Bundeswaldinventur [139] für den Zeitraum von 1987-2002, Tabelle 2.09.18: 'Zuwachs des Vorrates [m<sup>3</sup>/ha/a] nach Land und Baumartengruppe'.

Ho 13 Es wird hier davon ausgegangen, dass sich der Zuwachs pro Hektar und Jahr in Zukunft nicht wesentlich verändert, über mögliche Einflüsse des Klimawandels liegen bisher keine verwertbaren Erkenntnisse vor.

Ho 14 Demnach beträgt im deutschen Durchschnitt (alte Bundesländer) der jährliche Zuwachs pro Hektar bei Laubbäumen 9,7 m<sup>3</sup>/ha/a und bei Nadelbäumen 14,2 m<sup>3</sup>/ha/a; für einen durchschnittlichen Mischbestand an Laubbäumen und Nadelbäumen ergibt sich ein Wert von 12,1 m<sup>3</sup>/ha/a.

Ho 15 Für den deutschen Baumbestand wird die mittlere Dichte folgendermaßen angesetzt (siehe [105]):

Ho 16 0,53 t atro/m<sup>3</sup> (Laubbaum-Bestand);

Ho 17 0,39 t atro/m<sup>3</sup> (Nadelbaum-Bestand).

Ho 18 Damit ergeben sich für die durchschnittlichen Zuwächse pro Hektar und Jahr folgende Massen: 5,2 t atro/ha/a für Laubbaumbestände, 5,6 t atro/ha/a für Nadelbaumbestände und 5,4 t atro/ha/a für einen durchschnittlichen Mischbestand an Laubbäumen und Nadelbäumen (als gewichtetes Mittel errechnet unter [105]).

Ho 19 Es wird ersichtlich, dass die Massen von Laubbaum- und Nadelbaumbeständen relativ zu den Volumina dicht beieinander liegen. Der Grund liegt darin, dass sich schnellerer Wuchs und geringere Dichte zum guten Teil gegenseitig kompensieren.

Ho 21 Beim Zuwachs bestehen erhebliche regionale Unterschiede (siehe [105]):

Ho 22 Die höchsten und die niedrigsten in den Bundesländern ermittelten Zuwächse weichen bei Laubbäumen 8 % vom deutschen Durchschnitt ab, bei Nadelbäumen liegt das Bundesland mit den geringsten Zuwächsen 16 % unter dem Durchschnitt und das Bundesland mit den höchsten Zuwächsen um 26 % darüber.

Ho 23 Für regionale Energieszenarien können für eine überschlägige Bestimmung des Holzenergie-Potenzials der Durchschnitt des entsprechenden Bundeslandes genutzt werden, allerdings sind nur für die alten Bundesländer Daten verfügbar, ggf. ist ein Bundesland mit ähnlichen Wachstumsbedingungen wählen. Falls für die Zielregion direkt der jährliche Zuwachs bekannt ist, lässt sich die Schätzung präzisieren.

Ho 24 (Siehe [104] - Tabelle 'Massenzuwachs absolut und relativ').

Ho 26 **2. Energetisch nutzbarer Anteil**

Ho 27 Bei weitem nicht der gesamte Zuwachs wird in 100%-Regionen für energetische Nutzung verfügbar sein.

- Ho 28 So wird die Bedeutung von Holz als Baustoff und als Industrierohstoff mit zunehmender Nachhaltigkeit der Wirtschaftsprozesse eher noch steigen, während der vermutete Import-Überhang bei Holz und Holzprodukten heute auf Dauer wohl kaum aufrecht zu erhalten sein dürfte. Im übrigen wäre das mit dem Prinzip der Vollversorgung aus eigenen Quellen nicht vereinbar.
- Ho 29 Es ist davon auszugehen, dass von der Holzernte nur die für anderweitige Nutzung wenig geeigneten Bestandteile wie Schwachholz und Waldrestholz für energetische Verwertung in Betracht kommen.
- Ho 30 In einer Studie der Bundesforschungsanstalt für Holzwirtschaft [142] wird das Energieholzpotenzial in Deutschland bei einer Aufarbeitungsgrenze von 8 cm auf 16,5 Millionen t atro jährlich abgeschätzt.
- Ho 31 Bei einem Zuwachs in Deutschland von jährlich 132,8 Millionen m<sup>3</sup> [139] entsprechend 58,2 Millionen t atro (gemäß Anhang B: Zuwachs) entspricht das einem Anteil von 28,4 Prozent.
- Ho 33 Über das Schwachholz und Waldrestholz hinaus fallen Rückstände bei der Holzverarbeitung und Altholz an, deren stoffliche Nutzung nicht immer sinnvoll ist und die daher zum Teil energetisch verwertet werden können. Belastbares Datenmaterial dazu liegt zur Zeit nicht vor.
- Ho 34 Theoretisch könnte in einem künftigen eingeschwungenen System, in dem nur noch Ersatzbedarf für abgängige Holzprodukte besteht und eine Rückführungs-Quote von 100 Prozent erreicht wird, eine Menge in Höhe des gesamten Zuwachses letztendlich auch energetisch genutzt werden.
- Ho 35 Einiges spricht aber dafür, der Produktion und langfristigen Nutzung von Holzprodukten und deren Export in waldärmere Länder für lange Zeit Vorrang vor der Verbrennung zu geben: Die Notwendigkeit einer Ablösung der petrochemischen Produkte durch solche auf Biomasse-Basis dürfte zu einem lang andauernden Vorrang für stoffliche Holznutzung führen. Und es wäre auch ganz im Sinne des Klimaschutzes, das im Holz gebundene CO<sub>2</sub> so lange wie möglich von der Atmosphäre fern zu halten.
- Ho 36 Unter diesen Gesichtspunkten erscheint es auf absehbare Zeit wenig sinnvoll, insgesamt mehr als 30 % des Holzzuwachses in den Wäldern für energetische Nutzung anzusetzen. Bei einem durchschnittlichen Zuwachs von 5,3 t atro/ha/a (siehe [105]) entspricht das einer Menge Energieholz von 1,6 t atro/ha/a.
- Ho 38 **3. Energieinhalt**
- Ho 39 Für die thermische Verwertung von Holz gibt der Heizwert die nutzbare Energie an. Der Heizwert ist stark vom Wassergehalt des Holzes abhängig, da die für die Verdampfung erforderliche Energie für die Nutzung verloren geht. Ein Wassergehalt von 0 % wäre optimal, könnte aber nur durch energieaufwändige Trocknung erreicht werden. Aus diesem Grund wird im Folgenden von luftgetrocknetem Holz mit einem Wassergehalt von 15 % ausgegangen.
- Ho 40 Bei einem Wassergehalt von 15 % wird der Heizwert bei Laubholz mit 4,15 kWh pro kg Trockengewicht angegeben, bei Nadelholz liegt der Heizwert wegen höherer Lignin- und Harzanteile bei 4,32 kWh/kg atro [152]; die Werte gelten auch für die Dimension MWh/t atro.
- Ho 41 Als Produkt aus Zuwachs [18] und Heizwert ergeben sich durchschnittlich thermisch verwertbare Energieinhalte von 21,4 MWh/ha/a bei Laubholz und 24,2 MWh/ha/a bei Nadelholz.
- Ho 42 Für die weiteren Betrachtungen wird der Durchschnittswert für Mischbestände aus Laub- und Nadelholz gebildet, er beträgt 23,1 MWh/ha/a.
- Ho 43 Zur Anpassung dieses und der folgenden Energieertragswerte an das regionale Mischungsverhältnis von Laub- und Nadelbäumen können Baumart-Korrekturfaktoren verwendet werden, und zwar in folgenden Grenzen (ermittelt aus [41][42]):
- Ho 44 0,93 für reine Laubbaumbestände;
- Ho 45 1,05 für reine Nadelbaumbestände.
- Ho 46 Zur Anpassung dieses und der folgenden Energieertragswerte an regionale Zuwachsraten, die vom deutschen Durchschnitt abweichen, können Zuwachs-Korrekturfaktoren eingeführt werden (siehe [23]).
- Ho 47 Die Energieertragsangaben beziehen sich auf die energetische Nutzung des gesamten Zuwachses. Welcher Teil des Zuwachses tatsächlich energetisch zu nutzen ist, wird gesondert als Nutz-Anteil angegeben (siehe [36]).

## Ho 49 4. Technologien

Ho 50 Holz als ältester von Menschen genutzter Brennstoff kann vielfältig genutzt werden: Zur Erzeugung von Raum- und Prozesswärme mit Öfen oder Kesseln, zur Stromgewinnung mit thermischen Kraftwerken oder zur Herstellung gasförmiger oder flüssiger Treibstoffe.

### Ho 52 4.1. Niedertemperatur-Wärme

Ho 53 In Anlehnung an die heute üblichen Statistiken wird die Endenergie betrachtet. Im Fall von Holzwärme heißt das, dass der Energieinhalt des Brennholzes, der Hackschnitzel bzw. der Holzpellets bewertet wird.

Ho 54 Als Standardansatz für den heutigen Energieertrag bei Holzwärme wird gemäß [42] ein Wert von 23,1 MWh/ha/a im deutschen Durchschnitt vorgelegt.

Ho 55 Als Standardansatz für den künftigen Energieertrag bei Holzwärme wird von gleichbleibenden Bedingungen ausgegangen und ebenfalls ein Wert von 23,1 MWh/ha/a vorgelegt.

### Ho 57 4.2. Prozess-Wärme

Ho 58 Bereits heute werden in erheblichem Umfang biogene Festbrennstoffe, größtenteils Holz, in industriellen Prozessen eingesetzt [91].

Ho 59 In Anlehnung an die heute üblichen Statistiken wird die Endenergie betrachtet. Im Fall von Holzwärme heißt das, dass der Energieinhalt des Brennholzes, der Hackschnitzel bzw. der Holzpellets bewertet wird.

Ho 60 Als Standardansatz für den heutigen Energieertrag bei Holzwärme wird gemäß [42] ein Wert von 23,1 MWh/ha/a im deutschem Durchschnitt vorgelegt, für den künftigen Energieertrag wird von gleichbleibenden Verhältnissen ausgegangen und ebenfalls ein Wert von 23,1 MWh/ha/a vorgelegt.

### Ho 62 4.3. Strom & Abwärme (Vergasung/Gasturbine/Dampfturbine)

Ho 63 Als Referenz für den heutigen Technologiestandard dient ein 2009 in Langelsheim erbautes Biomasse-Heizkraftwerk.

Ho 64 Die jährliche Einsatzmenge ist mit 60.000 Tonnen Holzhackschnitzel angegeben [145], angenommen wird ein durchschnittlicher Wassergehalt von 15%.

Ho 65 Das Trockengewicht (Gt) errechnet sich aus Feuchtgewicht (Gf) und Wassergehalt (Wg) nach  $Gt = Gf / (1+Wg)$  und ergibt 52174 Tonnen jährlich.

Ho 66 Mit einem angenommenen durchschnittlichen Heizwert von 4,24 kWh/kg beträgt die jährliche Energiezufuhr 221.218 MWh/a.

Ho 67 Die elektrische Leistung ist mit 5,6 MW angegeben, die thermische Leistung mit 10 MW [167].

Ho 68 Bei angenommenen 8.100 Volllaststunden pro Jahr beträgt die Stromproduktion 45.360 MWh/a und die Wärmeproduktion 81.000 MWh/a.

Ho 69 Damit liegt der elektrische Wirkungsgrad bei 20,5 %, der thermische Wirkungsgrad bei voller Wärmeabnahme bei 36,6 %.

Ho 70 Die Einsatzmenge an Holzhackschnitzeln entspricht gemäß deutschem Durchschnitt dem Zuwachs [18] auf einer Fläche von 9.575 ha.

Ho 71 Als Standardansatz für den heutigen Energieertrag bei Holzverstromung im deutschen Durchschnitt werden auf dieser Grundlage Werte von 4,7 MWh/ha/a vorgelegt.

Ho 72 Rechnerisch ergibt sich für den Energieertrag von nutzbarer Abwärme aus der Holzverstromung danach ein Wert von 8,5 MWh/ha/a.

Ho 73 Die tatsächliche genutzte Abwärme im Bestand dürfte weit unter dem Wert liegen, weil nur ein Teil der existierenden Kraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung arbeitet und bei diesen vermutlich nicht das gesamte Jahr über volle Wärmeabnahme besteht. Außerdem müssen die Verteilungs-Verluste in den Fernwärme- bzw. Nahwärmesystemen berücksichtigt werden.

Ho 74 Als Standardansatz für den heutigen Energieertrag von tatsächlich genutzter Niedertemperatur-Abwärme bei der Holzverstromung wird auf dieser Grundlage ein Wert von 3 MWh/ha/a vorgelegt.

- Ho 76 Als Referenz für einen künftig erreichbaren Technologiestandard dient ein Holzgas-Kombikraftwerk in IGCC-Technik, das als Demonstrationsanlage 1993 in Värnamo, Schweden, in Betrieb ging.
- Ho 77 Die Anlage bestand aus einer Kombination von Holzvergasung, Gasturbine und Dampfturbine und wurde über mehrere Jahre während 10.000 Stunden mit verschiedenen Biomasse-Brennstoffen betrieben ([150], S. 474 und [161], S. 2).
- Ho 78 Die elektrische Leistung beträgt 6 MW, bei einer Wärmeauskoppelung von bis zu 9 MW wird ein elektrischer Wirkungsgrad zwischen 32 % und 37 % ausgewiesen ([161], S. 2), während an anderer Stelle ([150], S. 474) 32% bei einem Strom-/Wärmeverhältnis von 0,8 bis 1,2 angegeben sind.
- Ho 79 Für größere Kraftwerke dieser Bauart werden elektrische Wirkungsgrade von gegen 45 % erwartet, allerdings wurde bisher kein kommerzielles Kraftwerk in dieser Bauart realisiert ([161], S. 2).
- Ho 80 Für künftige Kraftwerke dürfte eine leichte Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades auf 35 % erreichbar sein, während ein konservativ angesetztes Strom-/Wärmeverhältnis von 1 einem thermischen Wirkungsgrad von 35 % entspricht.
- Ho 81 Als Standardansatz für den künftigen Energieertrag bei Holzverstromung im deutschen Durchschnitt unter Annahme gleichbleibender Zuwächse und Mischbestände wird auf dieser Grundlage ein Wert von 8,1 MWh/ha/a vorgelegt, der sich als Produkt aus Energieinhalt [42] und Wirkungsgrad ergibt.
- Ho 82 Als Standardansatz für den künftigen Energieertrag von Niedertemperatur-Abwärme aus der Holzverstromung im deutschen Durchschnitt wird auf dieser Grundlage ein Wert von 8,1 MWh/ha/a vorgelegt, wobei davon ausgegangen wird, dass die anzustrebende vollständige Nutzbarmachung der verfügbaren Abwärme auch realisierbar ist.

#### Ho 84 **4.4. Treibstoffe (Vergasung/Veredelung)**

- Ho 85 'Die Herstellung von Treibstoffen aus Holz ist technisch grundsätzlich beherrschbar, derzeit stehen die Gewinnung von flüssigem Biotreibstoff oder Methan zur Diskussion. Beide Verfahren basieren auf einer grosstechnischen Vergasung, welche rund 75% Wirkungsgrad erzielt, sowie einer anschließenden Veredelung, welche zusätzlich rund 25% der Verluste verursacht.
- Ho 86 Je nach Verfahren stehen deshalb im Treibstoff noch rund 50% bis 55% des ursprünglichen Heizwertes zur Verfügung.' (Zitat [161], S. 2).
- Ho 87 Aus heutiger Sicht stellt sich wegen der hohen Wandlungsverluste, der sehr begrenzten Potenziale und des hohen Wertes von Holz für anderweitige Verwendungen die Treibstoffgewinnung als wenig sinnvoll dar. Sie könnten ohnehin nur einen kleinen Beitrag zum Energiebedarf im Verkehr leisten. Aus diesen Gründen wird das Thema hier nicht weiter verfolgt.

#### Ho 89 **5. Nutzungs-Status (zu aktualisieren)**

- Ho 90 Folgende Zahlen zur Endenergiebereitstellung aus biogenen Festbrennstoffen in Deutschland 2011 sind einer Publikation des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit entnommen [133][108]:
- Ho 91 11300 GWh Strom, 67.500 GWh Wärme in privaten Haushalten, 23.600 GWh Wärme in der Industrie und 6.800 GWh in Heiz- und Heizkraftwerken.
- Ho 92 Im Folgenden wird angenommen, dass Holz den größten Teil der biogenen Festbrennstoffe ausmachte und andere Stoffe mengenmäßig zu vernachlässigen sind.
- Ho 93 Mit dem Energieertrag für Holzkraftwerke von 4,7 MWh/ha/a [71] entspricht die zur Strombereitstellung eingesetzte Holzmenge dem Zuwachs auf einer Fläche von 2.404.255 ha.
- Ho 94 Mit dem Energieertrag für Wärmeerzeugung von 23,1 MWh/ha/a [54] entspricht die zur Wärmebereitstellung in Haushalten eingesetzte Holzmenge dem Zuwachs einer Waldfläche von 2.922.078 ha, für Heizwerke kommen noch 294.372 ha hinzu, für Niedertemperaturwärme insgesamt also 3.216.450 ha.
- Ho 95 Setzt man für die Prozesswärme-Bereitstellung in der Industrie ebenfalls den Energieertrag für Wärmeerzeugung aus [54] an, entspricht das dem Zuwachs einer Waldfläche von 1.021.645 ha.

Ho 96 Wenn man die heute energetisch genutzten Holzmengen auf den gesamten Zuwachs der deutschen Waldflächen von 10.648.822 ha [147] bezieht, ergeben sich folgende Anteile:

Ho 97	22,6 % für Verstromung (ohne und mit Abwärmenutzung durch KWK);
Ho 98	30,2 % für Heizwärme in privaten Haushalten (ohne Abwärme aus KWK);
Ho 99	9,6 % für Prozesswärme in Industrie und Gewerbe;

Ho 100 62,4 % insgesamt.

Ho 101 Damit wird heute bereits weit mehr Holz energetisch genutzt, als jene maximal 30 %, die in Hinsicht auf eine dauerhaft zukunftsfähige Wirtschaftsweise angeraten erscheinen [36].

## Ho 103 6. Anhang

Ho 104 [Anhang A: Wertetabelle](#)

Ho 105 [Anhang B: Zuwachs](#)

Ho 106 [Anhang C: Flächen](#)

Ho 107 [Anhang D: Ausschlussflächen](#)

Ho 108 [Anhang E: Erneuerbare Energien Deutschland 2011](#)

## Ho 110 7. Glossar

Ho 111 **BWI:**

Ho 112 Bundeswaldinventur

Ho 113 **Derbholz:**

Ho 114 Oberirdische Holzmasse mit einem Durchmesser von über 7 cm mit Rinde. Bäume unter 7 cm Brusthöhendurchmesser sind nicht berücksichtigt. [139]

Ho 115 **IGCC:**

Ho 116 Abkürzung für 'Integrated Gasification Combined Cycle', Holzgas Kombikraftwerk mit Gas- und Dampfturbine. ([164], S. 32)

Ho 117 **Jahresnutzungsgrad:**

Ho 118 Hängt ab vom mittleren Kesselwirkungsgrad während der Betriebszeit des Holzkessels und von den Bereitschaftsverlusten des Holzkessels, die während der jährlichen Standby-Zeit des Holzkessels auftreten. ([164], S. 32)

Ho 119 **Landschaftspflegeholz:**

Ho 120 Holz aus öffentlichem und privatem Baum-, Strauch- und Heckenschnitt. Fällt an bei der Straßenrand- und Gewässerrandpflege, auf Friedhöfen, in öffentlichen Grünanlagen, in der freien Landschaft - z. B. Hecken, Feldgehölze, Obst- und Weinanbau. ([158], S. 63)

Ho 121 **Vorrat:**

Ho 122 Das gegenwärtig vorhandene Derbholz eines Bestandes oder einer Summe von Beständen, gemessen in Vorratsfestmeter oder Erntefestmeter. [139]

Ho 123 **Vorratsfestmaß:**

Ho 124 Mengenbezeichnung für den Holzvorrat mit Rinde. Einbezogen ist das oberirdische Holzvolumen ab 7 cm Durchmesser (Derbholz). Bäume unter 7 cm Brusthöhendurchmesser werden nicht berücksichtigt. [139]

Ho 125 **Zuwachs:**

Ho 126 Zunahme eines Zielmerkmals in einer Periode. Von Bedeutung ist vor allem der Zuwachs des Vorrates. Die Zuwachsangaben der zweiten Bundeswaldinventur beziehen sich auf die Periode von 1987 bis 2002.

Ho 127 Dabei ist auch die zwischenzeitlich ausgeschiedene Holzmenge berücksichtigt (Bruttozuwachs). Je-Hektar-Angaben beziehen sich auf die mittlere Fläche. [139]

Ho 128 **Zuwachs des Vorrates [m<sup>3</sup>/ha/a]:**

Ho 129 Durchschnittlicher jährlicher Zuwachs an Derbholz in Vorratsfestmaß mit Rinde, je Hektar Auswertungsgebiet zwischen BWI1 und BWI2. Als Fläche des Auswertungsgebietes wird deren mittlere Fläche verwendet. [139]

## Ho 131 8. Endnoten / Quellen

- Ho 133 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; "Erneuerbare Energien in Zahlen"; Juli 2012.
- Ho 134 [http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere\\_ee\\_zahlen\\_bf.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_bf.pdf)
- Ho 136 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; "Erneuerbare Energien in Zahlen"; 6.6.2009.
- Ho 137 [http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare\\_energien/downloads/application/pdf/broschuere\\_ee\\_zahlen.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen.pdf)
- Ho 139 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; "Bundeswaldinventur2"; 2001-2002.
- Ho 140 <http://www.bundeswaldinventur.de/>
- Ho 142 Matthias Dieter, Hermann Englert; "Abschätzung des Rohholzpotenzials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland"; Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft; 07.2001.
- Ho 143 [http://www.bfafh.de/bibl/pdf/iii\\_01\\_11.pdf](http://www.bfafh.de/bibl/pdf/iii_01_11.pdf)
- Ho 145 Stefan Freiwald; "Internationale Baustelle im Sültefeld - Das Biomasse-Kraftwerk im Sültefeld soll Ende des Jahres ans Netz gehen - Dampf-Abnehmer noch unklar"; Goslarsche Zeitung vom 03.04.2009.
- Ho 147 Statistische Ämter des Bundes und der Länder; "Regionaldatenbank Deutschland".
- Ho 148 <http://www.regionalstatistik.de>
- Ho 150 Priv.-Doz. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt, Dr. Hans Hartmann; "Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren", 2001.
- Ho 152 Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; "Merkblatt 12: Der Energiegehalt von Holz und seine Bewertung"; 12.2007.
- Ho 153 [http://www.lwf.bayern.de/publikationen/daten/merkblatt/p\\_31579.pdf](http://www.lwf.bayern.de/publikationen/daten/merkblatt/p_31579.pdf)
- Ho 155 MINERGIE / Bundesamt für Energie, Schweiz; "Ermittlung der Heizleistung - Allgemeine Informationen"; Recherche am 19.03.2010.
- Ho 156 [http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?endung=Ermittlung%20der%20Heizleistung&extlang=de&name=de\\_419227968.pdf](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?endung=Ermittlung%20der%20Heizleistung&extlang=de&name=de_419227968.pdf)
- Ho 158 Bene Müller, solarcomplex GmbH; "Erneuerbare Energien in der Region Hegau / Bodensee - Übersicht der technisch verfügbaren Potentiale"; 2001.
- Ho 159 <http://www.solarcomplex.de/info/service/download.php>
- Ho 161 Prof. Dr. Thomas Nussbaumer, ETH Zürich / verenum; "Holzgas-Kombikraftwerk: Chance für die Schweiz"; erschienen in HK-GEBÄUDETECHNIK 8/2006, Seite 32 ff.
- Ho 162 [http://www.verenum.ch/Publikationen/TN\\_HKG\\_8\\_06\\_HGK.pdf](http://www.verenum.ch/Publikationen/TN_HKG_8_06_HGK.pdf)
- Ho 164 Prof. Dr. Thomas Nussbaumer, ETH Zürich / verenum; verenum; "Holzenergie ja, aber wie: Wärme, Strom oder Treibstoff? Substitutionseffekt fossiler Ressourcen durch Energieholznutzung"; erschienen in HK-GEBÄUDETECHNIK 3/2006, Seite 30 ff.
- Ho 165 [http://www.verenum.ch/Publikationen/TN\\_Holzenergie\\_Wie\\_HKG\\_2006.pdf](http://www.verenum.ch/Publikationen/TN_Holzenergie_Wie_HKG_2006.pdf)
- Ho 167 SEEGER ENGINEERING AG; "Heizkraftwerk Standort Langelsheim"; Recherche 10.2009.
- Ho 168 [http://www.seeger.ag/de/referenzen\\_heizkraftwerk.php?text=1143](http://www.seeger.ag/de/referenzen_heizkraftwerk.php?text=1143)

## Anhang A: Wertetabelle

Bedeutung	räumlich	zeitlich	Textbezug	Einheit	Basis/Status	Ziel
<b>Holz - Basisdaten für 100%-Szenarien</b>			Ho5	Version:	130306	
<b>Intensität:</b>						
Massezuwachs des Vorrats in deutschen Wäldern durchschnittlich	Refreg.	2002	Ho18	t <sub>atro</sub> /ha/a	5,45	
Dichte Laubholz durchschnittlich	Refreg.	konst.	Ho16	t <sub>atro</sub> /m <sup>3</sup>	0,531	
Dichte Nadelholz durchschnittlich	Refreg.	konst.	Ho17	t <sub>atro</sub> /m <sup>3</sup>	0,393	
Massenzuwachs von Holz im Referenz-Bundesland relativ zu deutschen Wäldern	Refreg.	konst.	Ho23	Prozent	(extra Tabelle)	
<b>Umfang:</b>						
Vertretbarer Nutz-Anteil = Empfehlung für energetisch nutzbaren Anteil am Holzzuwachs in deutschen Wäldern	Zielreg.	konst.	Ho36	Prozent		30
Heutiger Nutz-Anteil = Umfang der energetischen Holznutzung im Verhältnis zum Holzzuwachs in deutschen Wäldern	Refreg.	Status	Ho100	Prozent	62,4	
Nutzanteil Heizungs-Wärme am Holzzuwachs in deutschen Wäldern	Refreg.	Status	Ho98	Prozent	30,2	
Nutzanteil Holzverstromung am Holzzuwachs in deutschen Wäldern	Refreg.	Status	Ho97	Prozent	22,6	
Nutzanteil Prozess-Wärme am Holzzuwachs in deutschen Wäldern	Refreg.	Status	Ho99	Prozent	9,6	
<b>Leistung:</b>						
Korrekturfaktor für reine Laubbaumbestände	Refreg.	konst.	Ho44		0,93	0,93
Korrekturfaktor für reine Nadelbaumbestände	Refreg.	konst.	Ho45		1,05	1,05
Energieertrag Holz (brutto) Deutschland	Refreg.	Status	Ho42	MWh/ha/a	23,1	
	Refreg.	Zielzeit	Ho42	MWh/ha/a		23,1
Energieertrag Holzbrennstoffe Heizungswärme Deutschland	Refreg.	Status	Ho54	MWh/ha/a	23,1	
	Refreg.	Zielzeit	Ho55	MWh/ha/a		23,1
Energieertrag Holzverstromung Deutschland	Refreg.	Status	Ho71	MWh/ha/a	4,7	
	Refreg.	Zielzeit	Ho81	MWh/ha/a		8,1
Energieertrag an genutzer Abwärme aus Holzverstromung Deutschland	Refreg.	Status	Ho74	MWh/ha/a	3	
	Refreg.	Zielzeit	Ho82	MWh/ha/a		8,1
Energieertrag Holzbrennstoffe Prozess-Wärme Deutschland	Refreg.	Status	Ho60	MWh/ha/a	23,1	
	Refreg.	Zielzeit	Ho60	MWh/ha/a		23,1

**Anhang B: Zuwachs**

**2.09.18: Zuwachs des Vorrates pro Hektar [m³/ha\*a] nach Land und Baumartengruppe für 1987-2002 [BMELV]**

Alte Bundesländer / nur begehbarer Wald / Vereinigungsfl. produktiver Wald einschl. Blöße beider Inventuren / einschl. Lücken im Bestand / Bäume ab 7 cm Bhd des Hb oder Pl / Flächenbez.: Ideell(244/V452k)

Baumartengruppe	Eiche	Buche	andere Lb hoher Lebensdauer	andere Lb niedriger Lebensdauer	alle Laubbäume	Fichte	Tanne	Douglasie	Kiefer	Lärche	alle Nadelbäume	Lücke	Blöße	alle Baumarten
Land														
Baden-Württemberg	8,17	11,95	9,66	7,09	10,33	16,71	16,05	20,21	8,10	12,23	15,57	n.v.	n.v.	13,24
Bayern	8,93	13,25	9,82	7,39	10,48	16,53	15,57	17,20	9,24	12,92	14,31	n.v.	n.v.	12,96
Hessen	7,01	10,37	8,05	6,15	8,92	15,53	12,55	16,61	8,57	12,00	13,39	n.v.	n.v.	10,75
Niedersachsen + Hamburg + Bremen	8,74	11,24	10,38	6,72	9,05	14,67	25,75	15,82	9,78	13,11	11,98	n.v.	n.v.	10,57
Nordrhein-Westfalen	8,73	11,67	11,35	7,82	9,80	16,43	3,08	15,68	8,70	14,07	14,99	n.v.	n.v.	12,11
Rheinland-Pfalz	7,72	11,18	8,60	7,00	9,10	16,76	15,36	23,22	8,11	11,54	14,66	n.v.	n.v.	11,41
Saarland	9,22	12,24	7,76	6,55	9,38	21,92	n.v.	25,28	7,75	15,23	17,98	n.v.	n.v.	11,98
Schleswig-Holstein	8,15	13,00	10,36	7,29	9,75	15,95	14,29	16,48	10,23	12,39	14,02	n.v.	n.v.	11,33
alte Bundesländer	8,25	11,74	9,59	7,13	9,70	16,37	15,95	19,41	9,12	12,75	14,24	n.v.	n.v.	12,12

**Massen-Zuwachs des Vorrates pro Hektar [t<sub>atro</sub>/ha/a] je Baumartengruppe (aus 2.09.18 und Dichte errechnet)**

alte Bundesländer	5,155013	5,5942	5,317
-------------------	----------	--------	-------

**Unterschiede beim Zuwachs des Vorrates pro Hektar je Baumartengruppe in den alten Bundesländern (aus 2.09.18 ermittelt)**

Minimaler Zuwachs [m³/ha/a]	8,92	11,98	10,57
Maximaler Zuwachs [m³/ha/a]	10,48	17,98	13,24
Größte Mittelwert-Unterschreitung [%]:	-8,04	-15,87	-12,79
Größte Mittelwert-Überschreitung [%]:	8,04	26,26	9,24
Standardabweichung [%]:	5,685415	11,45	7,4576

**2.09.9: Zuwachs des Vorrates absolut [1000 m³/a] nach Land und Baumartengruppe für 1987-2002 [BMELV]**

(aus 2.09.9 ermittelt)

Alte Bundesländer / nur begehbarer Wald / Vereinigungsfl. produktiver Wald beider Inventuren / einschließlich Lücken im Bestand / Bäume ab 7 cm Bhd, alle Bestandessichten / Flächenbez.: Reell(239/V451k)

Baumartengruppe	Eiche	Buche	andere Lb hoher Lebensdauer	andere Lb niedriger Lebensdauer	alle Laubbäume	Fichte	Tanne	Douglasie	Kiefer	Lärche	alle Nadelbäume	alle Baumarten	Anteil	
													Laub-%	Nadel-%
Baden-Württemberg	784	3.327	1.189	350	5.650	9.104	1.729	679	806	316	12.634	18.284	30,9	69,1
Bayern	1.326	3.854	1.176	1.214	7.571	18.753	810	201	4.562	660	24.986	32.557	23,3	76,7
Hessen	794	2.784	384	272	4.234	3.472	9	344	858	521	5.204	9.438	44,9	55,1
Niedersachsen + Hamburg + Bremen	971	1.750	316	1.042	4.078	3.245	63	318	3.337	721	7.684	11.762	34,7	65,3
Nordrhein-Westfalen	1.186	1.804	464	831	4.285	5.207	1	124	602	378	6.314	10.599	40,4	59,6
Rheinland-Pfalz	1.233	2.019	444	382	4.079	3.131	52	912	838	217	5.150	9.229	44,2	55,8
Saarland	169	232	90	75	565	394	n.v.	59	56	55	564	1.129	50,0	50,0
Schleswig-Holstein	182	393	124	199	898	553	21	40	141	156	911	1.809	49,6	50,4
alte Bundesländer	6.645	16.163	4.187	4.366	31.361	43.859	2.684	2.678	11.201	3.024	63.446	94.807	33,1	66,9

**Zuwachs des Vorrates absolut [1000 m³/a] in den neuen Bundesländern (aus 2.09.9 und Flächen im Anhang B hochgerechnet)**

neue Bundesländer	37,957
Deutschland gesamt	132,764

**Massen-Zuwachs des Vorrates absolut [1000 t<sub>atro</sub>/a] nach Baumartengruppe (aus 2.09.9 und Holzdichte errechnet)**

alte Bundesländer	3.794	9.019	2.391	1.463	16.667	16.623	1.017	1.154	4.828	1.303	24.925	41.592
neue Bundesländer	(nicht verfügbar)											16.652
Deutschland gesamt												58,243

**Holzdichte [t<sub>atro</sub>/m³] der Baumartengruppen**

übernommen aus [LWF]	0,571	0,558		0,335 (Pappel)	0,379				0,431			
Annahme/Wichtung:			0,571 <sup>1)</sup>	0,335 <sup>2)</sup>	0,531445 <sup>3)</sup>		0,379 <sup>4)</sup>	0,431 <sup>5)</sup>		0,431 <sup>5)</sup>	0,3929 <sup>6)</sup>	0,4387 <sup>7)</sup>

<sup>1)</sup> andere Laubbäume mit hoher Lebensdauer wie Eiche

<sup>2)</sup> andere Laubbäume mit niedriger Lebensdauer wie Pappel

<sup>3)</sup> Durchschnitt aller Laubbäumen, gewichtet nach ihrem Anteil am Zuwachs in alten Bundesländern

<sup>4)</sup> Tanne gleichgesetzt mit Fichte

<sup>5)</sup> Douglasie gleichgesetzt mit Kiefer

<sup>6)</sup> Lärche gleichgesetzt mit Kiefer

<sup>7)</sup> Durchschnitt aller Nadelbaumarten, gewichtet nach ihrem Anteil am Zuwachs in alten Bundesländern

<sup>8)</sup> Durchschnitt aller Baumarten, gewichtet nach ihrem Anteil am Zuwachs in alten Bundesländern

**Massenzuwachs absolut und relativ (aus 2.09.18 und 2.09.9 ermittelt)**

	alle Laubbäume		alle Nadelbäume		Mittel (gewichtet)	
	t <sub>atro</sub> /ha	%	t <sub>atro</sub> /ha	%	t <sub>atro</sub> /ha	%
Baden-Württemberg	5,49	106	6,12	109	5,92	109
Bayern	5,57	108	5,62	100	5,61	103
Hessen	4,74	92	5,26	94	5,03	92
Niedersachsen + Hamburg + Bremen	4,81	93	4,71	84	4,74	87
Nordrhein-Westfalen	5,21	101	5,89	105	5,61	103
Rheinland-Pfalz	4,84	94	5,76	103	5,35	98
Saarland	4,98	97	7,06	126	6,02	111
Schleswig-Holstein	5,18	101	5,51	98	5,35	98
alte Bundesländer	5,16	100	5,59	100	5,45	100

**Anhang C: Flächen**

[GENESIS]

**Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung****- Stichtag 31.12. - regionale Tiefe: Bundesländer**

Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung

Bundesländer		Bodenfläche
		Nutzungsart
		Waldfläche
		ha
<b>31.12.2004</b>		
DG	Deutschland	10.648.822
01	Schleswig-Holstein	157.025
02	Hamburg	4.398
03	Niedersachsen	1.011.427
04	Bremen	772
05	Nordrhein-Westfalen	849.345
06	Hessen	845.479
07	Rheinland-Pfalz	823.612
08	Baden-Württemberg	1.363.025
09	Bayern	2.463.328
10	Saarland	85.884
11	Berlin	16.066
12	Brandenburg	1.035.851
13	Mecklenburg-Vorpommern	494.867
14	Sachsen	494.313
15	Sachsen-Anhalt	487.690
16	Thüringen	515.675
	<b>Summe alte Bundesl.</b>	<b>7.604.295</b>
	<b>Summe neue Bundesl.</b>	<b>3.044.462</b>
	<b>Summe Deutschland</b>	<b>10.648.757</b>

zu 'gesamte Tabelle':

Baden-Württemberg (ab 1996): Landessumme einschl. gemeindefreies Gebiet Rheinau (Ortenaukreis);

Berlin (1996, 2000): bezogen auf den

Gebietsstand 01.01.2001;

Rheinland-Pfalz: Landessumme einschl. des gemeinschaftlichen deutsch-luxemburgischen Hoheitsgebiets;

Saarland (ab 2000): Landessumme einschl. des gemeinschaftlichen deutsch-luxemburgischen Hoheitsgebiets;

Sachsen: durch unabhängiges Runden können Differenzen entstehen;

Thüringen (ab 1996): Gemeinde Neckeroda im Landkreis

Weimarer Land enthalten; Rundungsdifferenzen auf Hektar sind nicht ausgeglichen.

(C)opyright Statistische Ämter des Bundes und der Länder,2009

Stand: 24.10.2009 / 19:45:51

## Anhang D: Ausschlussflächen

In Nationalparks und in Biosphärenreservaten sind Kernzonen ausgewiesen, in denen forstwirtschaftliche Nutzung untersagt ist.

Für Biosphärenreservate existiert keine Übersicht über den Waldanteil in den Kernzonen, wohl aber für die Nationalparke [BFH, S. 18-20]

Nationalpark	Waldflächen in Kernzonen [ha]
Bayerischer Wald	10.690
Hainich	2.267
Hochharz	1.266
Jasmund	1.112
Müritz	1.052
Nationalpark Harz	4.718
Sächsische Schweiz	3.345
Unteres Odertal	175
Vorpommersche Boddenlandschaft	2.300
Berchtesgaden	5.460

## Anhang E: Erneuerbare Energien Deutschland 2011

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 06. Juli 2012:

## Erneuerbare Energien in Zahlen

[http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere\\_ee\\_zahlen\\_bf.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_bf.pdf)

Seite 14

## Beitrag der erneuerbaren Energien zur Energiebereitstellung in Deutschland 2011

	Endenergie 2011 [GWh]	Anteil am Endenergieverbr. [%]	vermiedene THG-Emiss. [1.000 t]	Endenergie 2010 [GWh]	Endenergie	2010-	2007-	
					2007 [GWh]	2011 %/a	2010 %/a	
Stromerzeugung	Wasserkraft <sup>1)</sup>	18.074	3	14.072	20.956	20.700	-13,8	0,4
	Windenergie	48.883	8,1	35.239	37.793	39.500	<b>29,3</b>	<b>-1,4</b>
	an Land	48.315	8	34.830	37.619	39.500	<b>28,4</b>	-1,6
	auf See (offshore)	568	0,09	409	174	0	<b>226,4</b>	
	Photovoltaik	19.340	3,2	12.848	11.729	3.500	<b>64,9</b>	<b>78,4</b>
	biogene Festbrennstoffe	11.300	1,9	8.648	11.204	7.390	0,9	<b>17,2</b>
	biogene flüssige Brennstoffe	1.400	0,2	821	1.676	2.590	-16,5	-11,8
	Biogas	17.500	2,9	9.613	14.454	7.430	<b>21,1</b>	<b>31,5</b>
	Klärgas	1.100	0,2	805	1.101	1.040	-0,1	2,0
	Deponiegas	620	0,1	454	650	1.050	-4,6	-12,7
	biogener Anteil des Abfalls <sup>2)</sup>	4.950	0,8	3.760	4.781	4.250	3,5	4,2
	Geothermie	18,8	0,003	9	28	0,4	-32,9	<b>2300,0</b>
	<b>Summe</b>	<b>123.186</b>	<b>20,3</b>	<b>86.270</b>	<b>104.372</b>	<b>87.450</b>	<b>18,0</b>	<b>6,5</b>
	Wärmeerzeugung	biogene Festbrennstoffe (Haushalte) <sup>3)</sup>	67.500	5,2	20.165	79.435	57.778	-15,0
biogene Festbrennstoffe (Industrie) <sup>4)</sup>		23.600	1,8	7.506	23.339	11.250	1,1	<b>35,8</b>
biogene Festbrennstoffe (HW/HWK) <sup>5)</sup>		6.800	0,5	1.976	6.744	2.300	0,8	<b>64,4</b>
biogene flüssige Brennstoffe <sup>6)</sup>		7.700	0,6	2.139	7.974	4.500	-3,4	<b>25,7</b>
Biogas		17.000	1,3	2.900	13.971		<b>21,7</b>	
Klärgas <sup>7)</sup>		1.090	0,08	305	1.086	3.461	0,4	<b>114,5</b>
Deponiegas		280	0,02	78	294		-4,8	
biogener Anteil des Abfalls <sup>2)</sup>		7.600	0,6	2.252	7.566	4.910	0,4	<b>18,0</b>
Solarthermie		5.600	0,4	1.240	5.200	3.700	7,7	<b>13,5</b>
tiefe Geothermie		307	0,02	21	285	160	7,7	<b>26,0</b>
oberflächennahe Geothermie, Umweltwärme <sup>8)</sup>		5.990	0,5	487	5.300	2.139	<b>13,0</b>	<b>49,3</b>
<b>Summe</b>		<b>143.467</b>	<b>11</b>	<b>39.070</b>	<b>151.194</b>	<b>90.198</b>	-5,1	22,5
Kraftstoff	Biodiesel	24.920	4	3.541	26.095	34.389	-4,5	-8,0
	Pflanzenöl	205	0,03	36	636	8.750	-67,8	-30,9
	Bioethanol	9.091	1,5	1.191	8.714	3.417	4,3	<b>51,7</b>
	<b>Summe</b>	<b>34.216</b>	<b>5,5</b>	<b>4.767</b>	<b>35.444</b>	<b>46.556</b>	-3,5	-8,0
<b>gesamt</b>	<b>300.869</b>	<b>EEV <sup>12)</sup></b>	<b>12,5</b>	<b>130.108</b>	<b>291.010</b>	<b>224.204</b>	3,4	9,9

Zur Stromerzeugung aus Photovoltaik und zur Wärmebereitstellung aus Solarthermie siehe Anhang Absatz 1:

"Die hier veröffentlichten Angaben geben teilweise vorläufige Ergebnisse wieder. Bis zur Veröffentlichung endgültiger Angaben können sich im Vergleich zu früheren Publikationen Änderungen ergeben. Differenzen zwischen den Werten in den Tabellen und den entsprechenden Spalten- beziehungsweise Zeilensummen ergeben sich durch Rundungen."

- 1) bei Pumpspeicherkraftwerken nur Stromerzeugung aus natürlichem Zufluss
- 2) biogener Anteil des Abfalls in Abfallverbrennungsanlagen mit 50 Prozent angesetzt
- 3) überwiegend Holz einschließlich Holzpellets
- 4) Betriebe des Bergbaus, der Gewinnung von Steinen und Erden sowie des verarbeitenden Gewerbes, nach § 8 EnStatG
- 5) nach §§ 3 und 5 EnStatG
- 6) inklusive Pflanzenöl
- 7) enthält Wert zur Wärmenutzung in den Kläranlagen
- 8) durch Wärmepumpen nutzbar gemachte erneuerbare Wärme (Luft/Wasser-, Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen).
- 9) bezogen auf den Bruttostromverbrauch 2011 von 605,8 Terawattstunden, nach AGE B [4]
- 10) EEV für Raumwärme, Warmwasser und sonstige Prozesswärme 2011 von 1.307 Terawattstunden (4.705 Petajoule) nach ZSW [1]
- 11) bezogen auf den Kraftstoffverbrauch (ohne Flugkraftstoff, Militär und Binnenschifffahrt) 2011 von 621,5 Terawattstunden, ZSW [1] nach BAFA [16]
- 12) bezogen auf EEV 2011 von 2.415 Terawattstunden (8.692 Petajoule)