

RENEWS SPEZIAL

NR. 82 / AUGUST 2017

HOLZENERGIE IN DEUTSCHLAND STATUS QUO UND POTENZIALE



AGENTUR FÜR
ERNEUERBARE
ENERGIEN
unendlich-viel-energie.de

AUTOREN

Agentur für Erneuerbare Energien:
Jörg Mühlenhoff, Ryotaro Kajimura, Nils Boenigk
Deutsches Biomasseforschungszentrum (Kap. 5):
Janet Witt, Thomas Horschig

Redaktionsschluss: August 2017
Aktualisierung durch: Alena Müller

ISSN 2190-3581

HERAUSGEGEBEN VON

Agentur für Erneuerbare Energien e. V.
Invalidenstraße 91
10115 Berlin
Tel.: 030 200535 30
Fax: 030 200535 51
E-Mail: kontakt@unendlich-viel-energie.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

INHALT

1	Einleitung	4
2	Überblick: Status Quo der Holzenergie in Deutschland	5
2.1	Anteil der Holzenergie an der Strom- und Wärmebereitstellung	5
2.2	Art und Umfang verschiedener Nutzungsformen von Holzenergie	6
2.3	politische Ziele und Förderung von Holzenergie.....	10
3	Holzvorräte und ihre Nutzung in Deutschland	11
3.1	Holzvorräte	11
3.2	Struktur der Holznutzung.....	11
3.3	Nutzungspfade.....	13
4	Potenziale.....	15
4.1	Forstwirtschaftliche Biomasse.....	15
4.2	Landschaftspflegeholz	16
4.3	Industrierestholz	16
4.4	Altholz	17
4.5	Kurzumtriebsplantagen (KUP)	17
5	Preis- und Kostenentwicklung in der Holzenergie.....	18
5.1	Entwicklung der Brennstoffpreise	18
5.2	Anlagenkosten	23
5.3	Energiebereitstellungskosten	24
6	Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch Holzenergie	26
6.1	Wertschöpfungseffekte berechnen mit dem Online-Wertschöpfungsrechner	28
7	Natur- und Klimaschutz	29
7.1	Holzenergie und Klimaschutz	29
7.2	Holznutzung und Naturschutz	29
8	Fazit	31
9	Literatur	32

1 EINLEITUNG

Mit dem steinzeitlichen Lagerfeuer beginnt die Geschichte der Nutzung von Holz als Energieträger. Heute ist der biogene Festbrennstoff Holz ein wichtiger Teil der Bioenergie. Gemeinsam mit anderen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern leistet er einen signifikanten Beitrag zur Energieversorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Die Bioenergie ist bisher weltweit wie auch in Deutschland die mit Abstand am stärksten genutzte erneuerbare Energiequelle. Während im globalen Maßstab noch traditionelle und oft gesundheitsschädliche Anwendungen der Bioenergie wie offene Herdfeuer dominieren, stehen in Deutschland mit Holzheizkraftwerken, Pelletheizungen und Holzvergasern deutlich effizientere Technologien zur Verfügung, um mit Holz Wärme und Strom zu erzeugen. Als nachwachsender, regional verfügbarer und CO₂-neutraler Rohstoff liegt Holz in Zeiten des Klimawandels und stetig steigender Preise für fossile Brennstoffe hoch im Kurs. Zahlreiche Privathaushalte aber auch zunehmend viele Kommunen und Unternehmen greifen hierzulande auf die Energieversorgung mit Holz zurück, insbesondere im Wärmebereich.

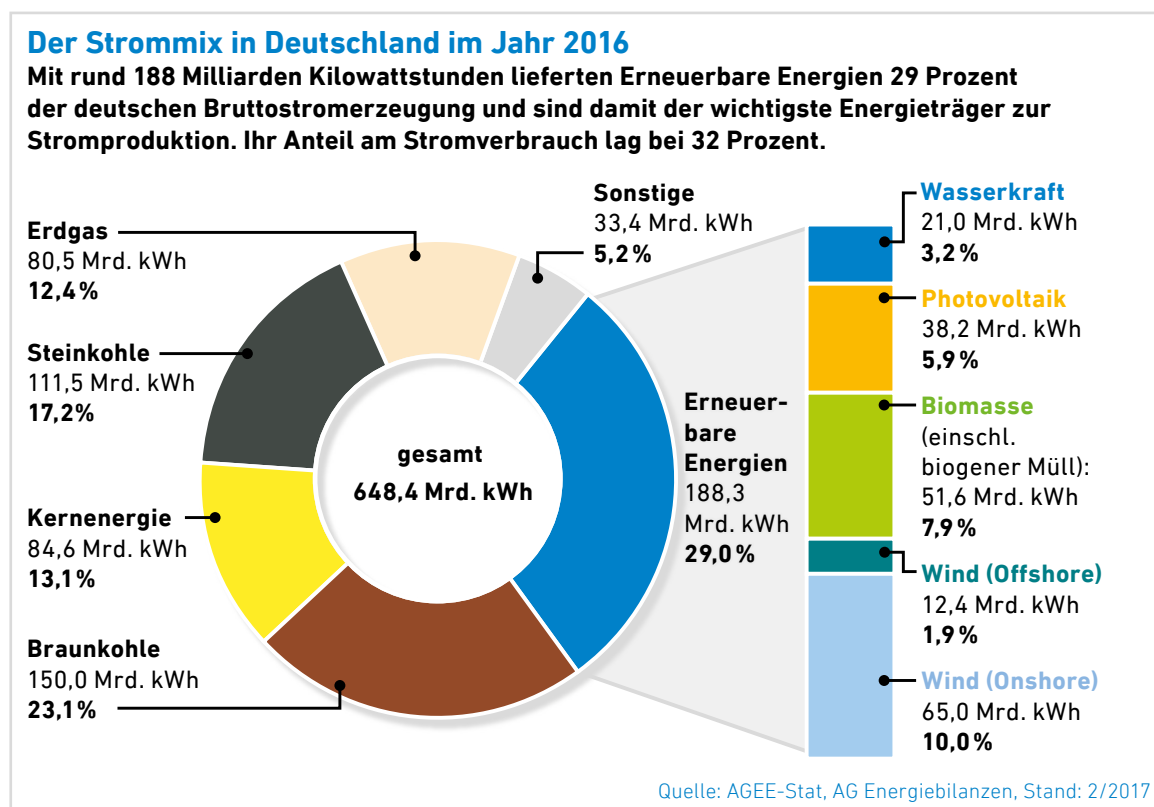
Das vorliegende Hintergrundpapier stellt Bedeutung und Potenziale der energetischen Holznutzung in der Bundesrepublik Deutschland vor und diskutiert etwaige natur- und Klimaschutzbedingte Konflikte. Zunächst wird umrissen, in welchem Umfang, in welcher Art und unter welchen politischen Bedingungen Holzenergie genutzt wird (Kapitel 2). Es folgt eine Darstellung der deutschen Holzvorräte und von deren Nutzungswegen, insbesondere für die energetische Nutzung (Kapitel 3). Kapitel 4 verschafft einen Überblick über die energetischen Potenziale der verschiedenen Holzrohstoffquellen, bevor Kapitel 5 die Preis- und Kostenentwicklung sowie Kapitel 6 die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Holzenergie beleuchten. Kapitel 7 schließlich diskutiert die energetische Holznutzung in Deutschland unter den Aspekten von Klima- und Naturschutz.

2 ÜBERBLICK: STATUS QUO DER HOLZENERGIE IN DEUTSCHLAND

2.1 ANTEIL DER HOLZENERGIE AN DER STROM- UND WÄRMEBEREITSTELLUNG

Holz ist ein bedeutender Wirtschaftsfaktor für Deutschland: 1,1 Millionen Menschen finden Arbeit im Cluster Forst und Holz (Forst-, Holz-, Papierwirtschaft, Handel, Druckgewerbe) und erwirtschaften einen Gesamtumsatz von jährlich rund 180 Milliarden Euro. Größter Abnehmer der Forstwirtschaft ist die Sägeindustrie. Sie verarbeitet das Rundholz in Schnittware und sonstige Holzprodukte, die vor allem im Bausektor genutzt, zu Möbeln oder Verpackungen weiterverarbeitet werden. Sägerestholz ist außerdem für die Holzwerkstoff-, Zellstoff- und Papierindustrie der Hauptausgangsstoff.¹

Holz wird aber nicht nur stofflich, sondern auch energetisch genutzt. Rund die Hälfte (68,3 Millionen Kubikmeter) des jährlichen Rohholzaufkommens (135,4 Millionen Kubikmeter) fließt heute in die Erzeugung von Bioenergie.² Holz wird in Deutschland derzeit vor allem für die Wärmebereitstellung genutzt, wobei Privathaushalte die größten energetischen Verbraucher von Holz darstellen (33,9 Mio. Kubikmeter Holz)³. Holz wird hingegen nur zu einem geringeren Anteil auch zur Stromerzeugung genutzt. An der deutschen Bruttostromerzeugung hatten Erneuerbare Energien 2016 einen Anteil von 29 Prozent.⁴



1 BMEL (2014), BMEL (2015).

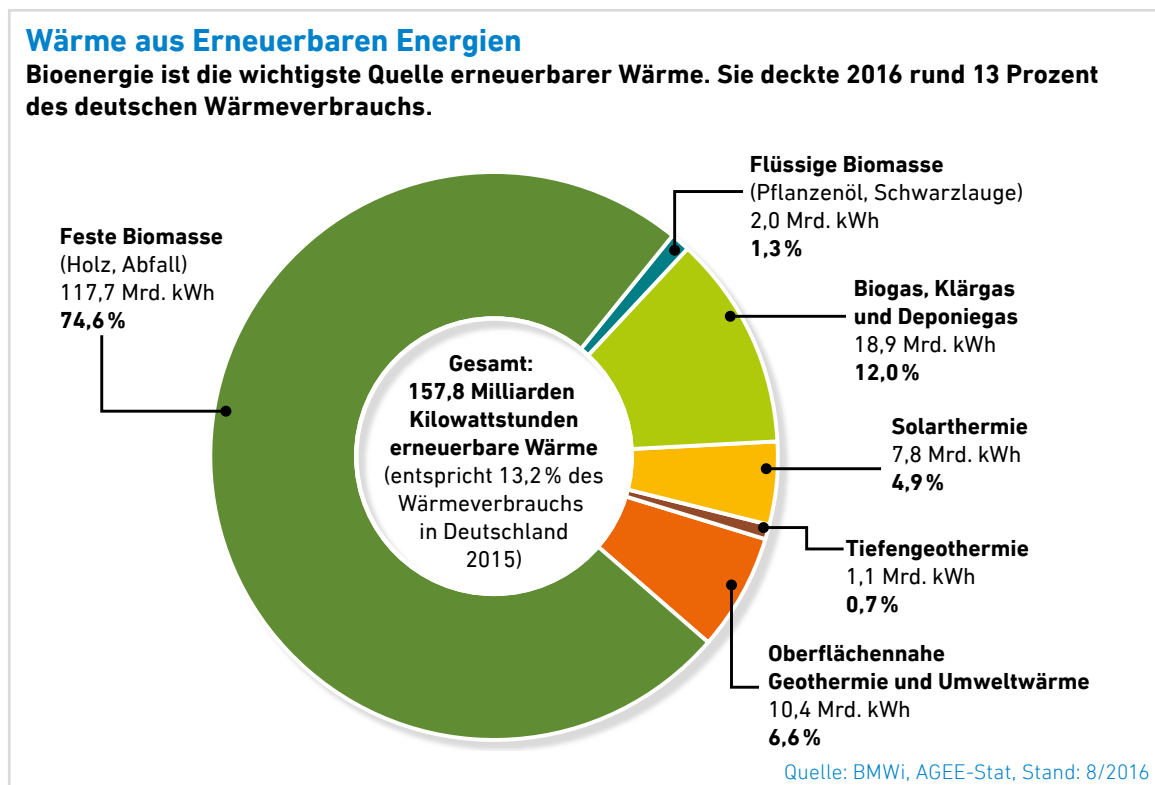
2 Nabu.

3 Thuenen.

4 AGEb.

2016 stammten 7 Prozent der Bruttostromerzeugung aus Bioenergie⁵. Holz alleine machte im Jahr 2016 mit 10,9 Milliarden Kilowattstunden (Mrd. kWh) einen Anteil von 1,7 Prozent aus.⁶ Im Kraftstoffbereich spielt Holz bisher keine Rolle.

Im Wärmebereich ist Holz die wichtigste Quelle Erneuerbarer Energien. Holz lieferte im Jahr 2016 rund 114,5 Milliarden Kilowattstunden (Mrd. kWh) Wärme⁷. Rund neun Prozent des deutschen Wärmeverbrauchs im Jahr 2016 wurde damit durch Holzenergie gedeckt⁸. Zusammen mit dem Biomasse-Anteil im Abfall, der in Müllverbrennungsanlagen verwertet wurde (0,9 Prozent des Wärmeverbrauchs), lieferte feste Biomasse allein 75 Prozent der erneuerbaren Wärme.



2.2 ART UND UMFANG VERSCHIEDENER NUTZUNGSFORMEN VON HOLZENERGIE

Für Holzenergie wird hauptsächlich Restholz genutzt, d.h. Holzreste, die bei der Ernte und Verarbeitung anfallen. Hochwertiges Stammholz dagegen wird in erster Linie geerntet, um es zunächst stofflich, beispielsweise als Baumaterial oder in der Möbelindustrie zu nutzen. In geringerem Umfang wird Waldholz von minderer Qualität direkt für Holzenergie genutzt.

⁵ Ebd.

⁶ BMWi, AGEE Stat.

⁷ AGEE 2017.

⁸ Ebd.

Für die Energieerzeugung kommen verschiedene Nutzungsformen von Holz zum Einsatz

Energetisch genutzte Holzbiomasse	Waldrestholz und Landschaftspflegeholz 	Industrierestholz (Sägespäne, -mehl) 	Altholz (bereits stofflich genutztes Holz) 
	Kurzumtriebsplantagen 	Rohholz 	
Energieträger aus Holzbiomasse	Holz hackschnitzel 	Holzpellets 	Schreddern 
	Scheitholz 	Holzbriketts 	

Bilder: AEE, FNR, BAV, C.A.R.M.E.N, TFZ, wendenenergie.de, energie-pflanzen.info

Insgesamt kommt in rund einem Viertel aller deutschen Privathaushalte Holz als Heizbrennstoff zum Einsatz, in erster Linie in Einfamilienhäusern. Genutzt werden dort ca. 11 Millionen Einzelraumfeuerstätten wie Kamine und Kachelöfen, wobei sie im Normalfall bestehende Zentralheizungsanlagen lediglich zum Zweck der Gemütlichkeit ergänzen. Zunehmend aber greifen Privathaushalte und kleinere Gewerbebetriebe auch auf Zentralheizungen auf Basis von Holz zurück.

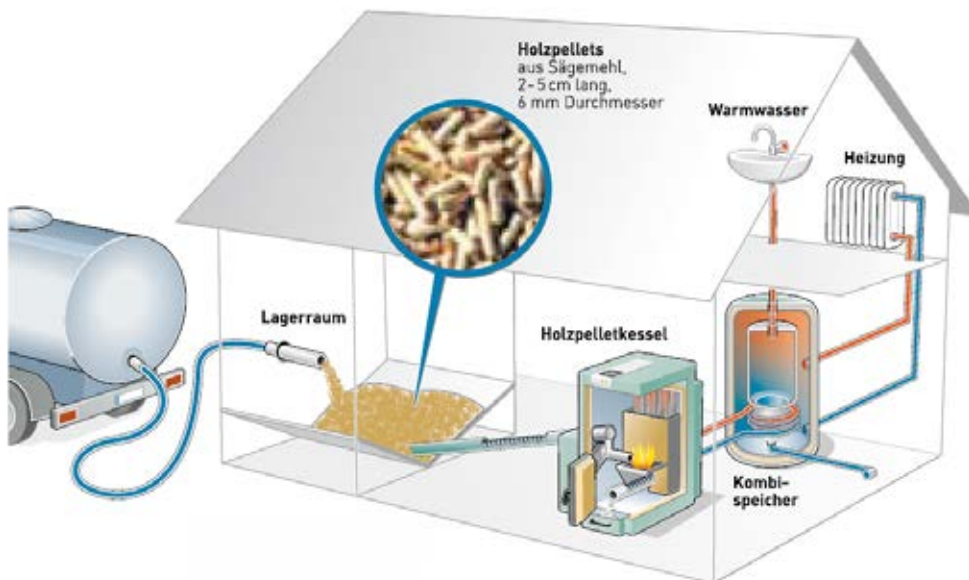
Bestand der Holzzentralheizungen, Scheitholzöfen und -kamine in Deutschland

Anlagenart	MAP-geförderte Holzhackschnitzelheizungen	Holzpellet- heizungen ^a	Scheitholzkessel	Scheitholzöfen und -kamine
Bestand	2015: 1.147 ^b	2016 ^c : Insgesamt: 421.900 149.000 Pelletkaminöfen 12.400 Pelletkessel > 50 kW 260.500 Pelletkessel < 50 kW	2016: rund 135.000 ^d (bis 100 kW)	ca. 11 Mio. Anlagen ^e
Installierte Leistung	–	–	2016: 3.893.000 kW	–
Energie- bereitstellung	–	8.025 GWh	–	–
Genutzter Energieträger	Holzhackschnitzel	Holzpellets	Scheitholz	Scheitholz, Holzbriketts

Quellen: DEPV, DEPI, Bafa, Biomasseatlas

So funktioniert eine Holzpelletheizung

Eine effiziente und saubere Form der Wärmeerzeugung aus Holz für den Bedarf von Ein- und Mehrfamilienhäuser sind Holzpelletheizungen.



Quelle: eigene Darstellung

- a DEPI-Infografiken.
- b Bafa 2016.
- c DEPV.
- d Biomasseatlas.
- e ZIV 2016.

Neben diesen kleineren Holzheizungen, die ausschließlich Wärme erzeugen, finden sich auf dem Markt auch große Holzenergieanlagen mit bis zu mehreren Megawatt Leistung. Während Holzheizkraftwerke dank Kraft-Wärme-Kopplung gleichzeitig Strom und Wärme erzeugen, liefern Holzheizwerke ausschließlich Wärme, z.B. für Nahwärmenetze. In Müllverbrennungsanlagen und in einzelnen konventionellen Kraftwerken (z.B. in Kohlekraftwerken) wird anteilig Biomasse (z.B. Holz, Hausabfall, Klärschlamm u.a.) mit verbrannt, um Strom und/oder Wärme zu erzeugen.

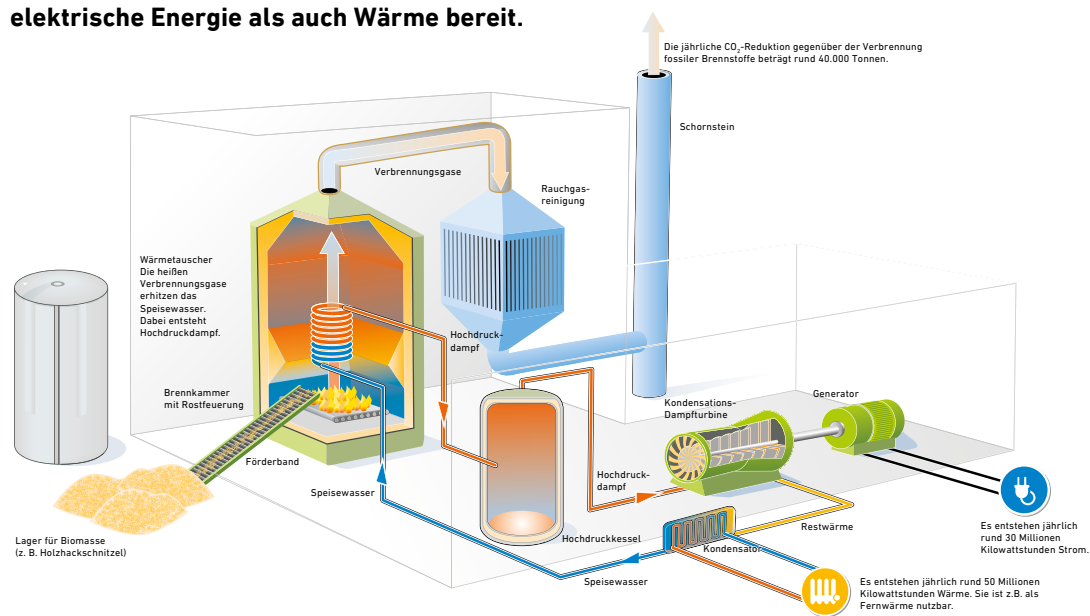
Bestand der Holzenergieanlagen in Deutschland

	Holz(heiz-) kraftwerke (exkl. Holzgas) ^f	Heizkraftwerke mit Beifuerung von Holz (oder Biomasse)
Bestand	2014: 395 ^g	2016: 8 ⁱ , (6) ^j
Installierte Leistung	2014: 1.490 MW elektrisch ^h	2016: 377 MW (297 MW)
Energie- bereitstellung	Schredderholz aus Altholz Holzhackschnitzel aus Waldrestholz, Landschaftspflegeholz oder Kurzumtriebsplantagen Kraftwerke der Zellstoffindustrie: Schwarzlauge, Rinde, Reststoffe der Papierherstellung Holzpellets (kleinere)	Altholz Rinde Holz Holzpellets (Biomasse)

Quellen: DBFZ, Bundesnetzagentur, Biomasseatlas

So funktioniert ein Biomasse-Heizkraftwerk

Ein Biomasse-Heizkraftwerk stellt durch die Verbrennung fester Biomasse sowohl elektrische Energie als auch Wärme bereit.



Quelle: eigene Darstellung

- f DBFZ.
- g DBFZ.
- h BNetzA.
- i BNetzA.
- j Destatis.

2.3 POLITISCHE ZIELE UND FÖRDERUNG VON HOLZENERGIE

Die Bundesregierung hat sich Ziele für den Ausbau der Erneuerbaren Energien gesetzt. Bis 2020 soll der Beitrag der Erneuerbaren Energien zur Stromversorgung bei mindestens 35 Prozent liegen. Mindestens 14 Prozent des Wärmebedarfs sollen durch erneuerbare Wärme gedeckt werden. Im Verkehrssektor sind mindestens 10 Prozent des Energieverbrauchs durch Erneuerbare Energien, d.h. vor allem durch Biokraftstoffe, abzudecken.

Im Strombereich unterstützt das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) die Einspeisung von Strom aus Holzkraftwerken in das Stromnetz. Die Wärmeerzeugung aus Holzenergie wird vor allem durch das Marktanreizprogramm (MAP) gefördert. Es gewährt unter anderem Investitionszuschüsse für Heizungsanlagen, wie beispielsweise automatisch beschickte Holzpellet- oder Holzhackschnitzelheizungen. Für Neubauten regelt das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG), dass der Wärmebedarf zu einem bestimmten Anteil aus Erneuerbaren Energien gedeckt werden muss. Mit Heizungsanlagen, die den Energieträger Holz nutzen, kann diese Nutzungspflicht erfüllt werden. Eine Wärmeversorgung durch eine Holzpellettheizung erfüllt z.B. diese Nutzungspflicht im Sinne einer vollständigen Versorgung mit Erneuerbaren Energien. Auch der Anschluss an ein Nahwärmenetz, das z.B. von einem Holzheizwerk gespeist wird, ist möglich.

3 HOLZVORRÄTE UND IHRE NUTZUNG IN DEUTSCHLAND

3.1 HOLZVORRÄTE

Rund 31 Prozent der Fläche Deutschlands ist mit Wald bedeckt. Neben der Landwirtschaft ist die Forstwirtschaft die flächenmäßig wichtigste Landnutzungsform. In Deutschland entstand vor 300 Jahren das Prinzip der Nachhaltigkeit. Demnach wird nicht mehr Holz genutzt als nachwächst. Zudem sind auch die weiteren Leistungen des Waldes derzeit und für die kommenden Generationen zu erhalten. Dieses Prinzip ist im Bundeswaldgesetz für alle Wälder festgeschrieben. Denn der Wald hat nicht nur eine reine Nutzfunktion, d.h. die Bereitstellung von Holz zur stofflichen und energetischen Nutzung, sondern dient auch dem Klimaschutz, dem Wasser- und Bodenschutz, der Erholung und ist nicht zuletzt auch ein Lebensraum vieler Pflanzen und Tiere. Eine nachhaltige Forstwirtschaft bedeutet also, so zu wirtschaften, dass all diese Funktionen des Waldes erhalten bleiben.

Heute steht im deutschen Wald wegen seiner historisch und regional hohen Vorräte mehr Holz als in jedem anderen Land der Europäischen Union. Der Holzvorrat in deutschen Wäldern betrug laut Inventurstudie 2012 des bundeseigenen von-Thünen-Instituts für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI) mehr als 3,7 Mrd. Kubikmeter (m^3) oder 336 m^3 pro Hektar. Der Holzvorrat hatte 2012 eine Höhe erreicht wie seit Jahrhunderten nicht mehr. Innerhalb von zehn Jahren war er um 7 Prozent angestiegen. Der jährliche Holzzuwachs betrug $11,2 \text{ m}^3$ je Hektar und Jahr oder $121,6 \text{ Mio. m}^3$ pro Jahr und war 2012 weiterhin auf einem hohen Niveau.⁹ Ihm steht eine durchschnittliche Holzernte von jährlich 76 Mio. m^3 gegenüber. Demnach wächst, ganz im Sinne der Nachhaltigkeit, mehr Holz nach als genutzt wird.¹⁰

3.2 STRUKTUR DER HOLZNUTZUNG

52 Millionen Kubikmeter Holz wurden in Deutschland im Jahr 2016 eingeschlagen (gerechnet ohne Rinde). 9,4 Millionen Kubikmeter – das entspricht 18 Prozent des gesamten Holzeinschlags – wurden 2016 als Energieholz genutzt. Zum Vergleich: Im Jahr 2006 lag das Holzvolumen, dass für energetische Zwecke genutzt wurde, noch bei 8,3 Millionen Kubikmeter und einem Anteil am Gesamtholzeinschlag von 13 Prozent.¹¹

9 BMEL 2012.

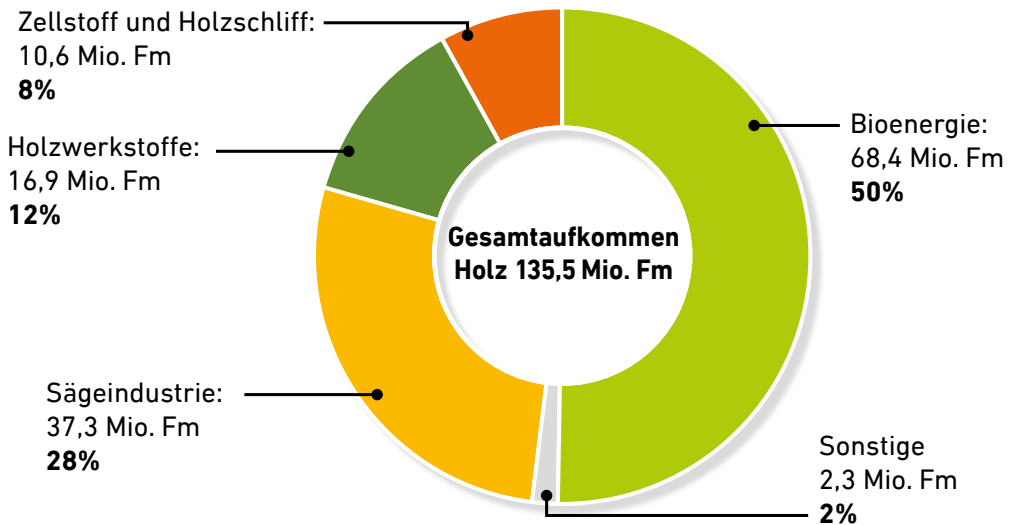
10 forst.fnr.de.

11 Destatis.

Holznutzung in Deutschland

Der Rohstoff Holz findet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten – stoffliche sowie energetische.

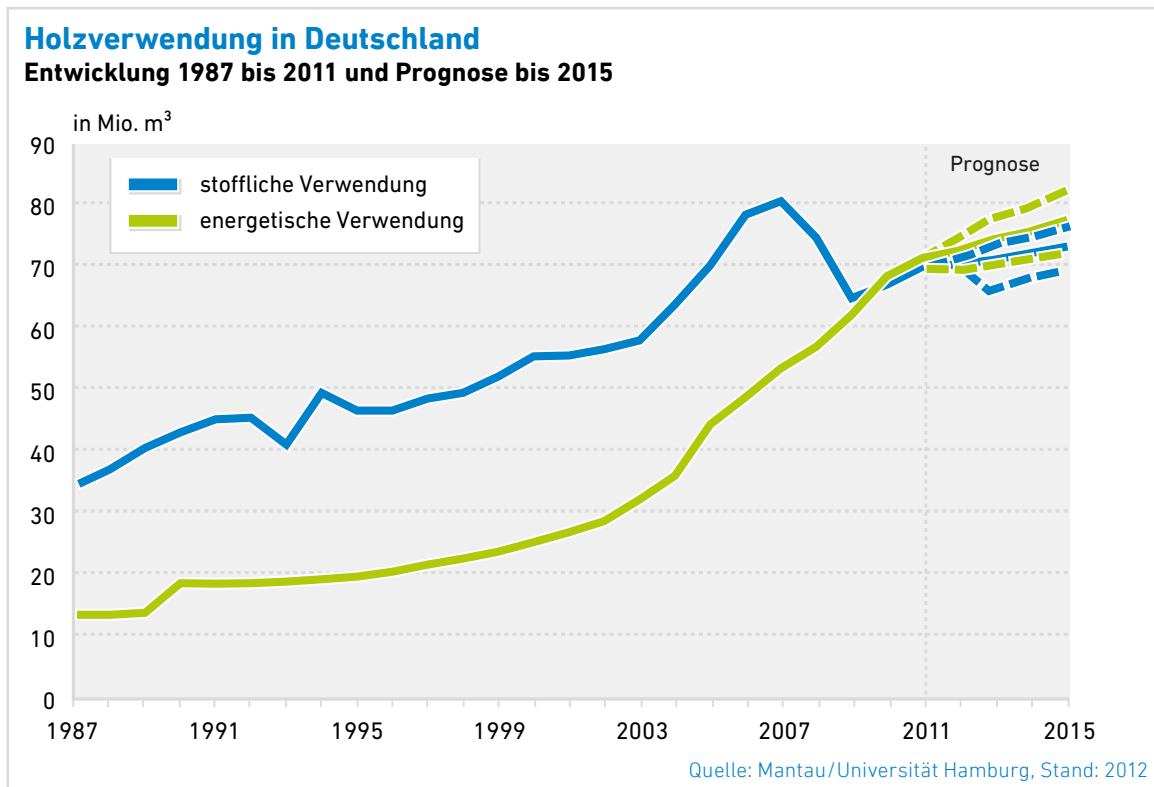
Angaben in Millionen Festmeter (Mio. Fm).



Quelle: Mantau, Stand: 10/2012

Allerdings verändern sich die Größenverhältnisse, wenn nicht die Verwertung des frisch geernteten Waldholzes, sondern die finale Nutzung aller Holzrohstoffe betrachtet wird. Denn bei der Verarbeitung von Waldholz in der Sägeindustrie fallen auch große Mengen Industrierestholz wie z.B. Sägespäne an, welche u.a. in die energetische Nutzung fließen. Auch gehen Altholz und Landschaftspflegematerial (z.B. Baumschnitt) in die energetische Holznutzung, wobei diese nicht als jährlich geerntetes Waldholz erfasst werden. Im Folgenden werden daher im Sinne der Holzrohstoffbilanz (Infro/Universität Hamburg) die energetische und die stoffliche Nutzung verglichen.

Die Holzrohstoffbilanz erfasst, wie viel Holz zu welchen Zwecken genutzt wird. Demnach stieg die energetische Nutzung von Holz von 2005 bis 2010 um 20 Millionen Kubikmeter. 2011 lag sie bei rund 70 Millionen Kubikmeter (inkl. Altholz, Garten- und Landschaftspflegeholz). Damit liegt sie seit 2009 gleichauf mit der stofflich genutzten Menge und hat diese 2010 erstmals geringfügig übertroffen. Grund für den starken Zuwachs waren die gestiegenen Preise für fossile Brennstoffe wie Erdöl und Erdgas. Insbesondere in den Jahren 2008 und 2010 mit ihren lang anhaltenden Wintern setzten Haushalte verstärkt Holz zur Wärmeerzeugung ein. In den Vorjahren hatten die verbesserten Förderinstrumente für Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt zu einer Nachfragesteigerung geführt. Der Rückgang der stofflichen Holznutzung nach 2007 ist auf die konjunkturelle Schwäche infolge der Wirtschafts- und Finanzkrise 2008 zurückzuführen.



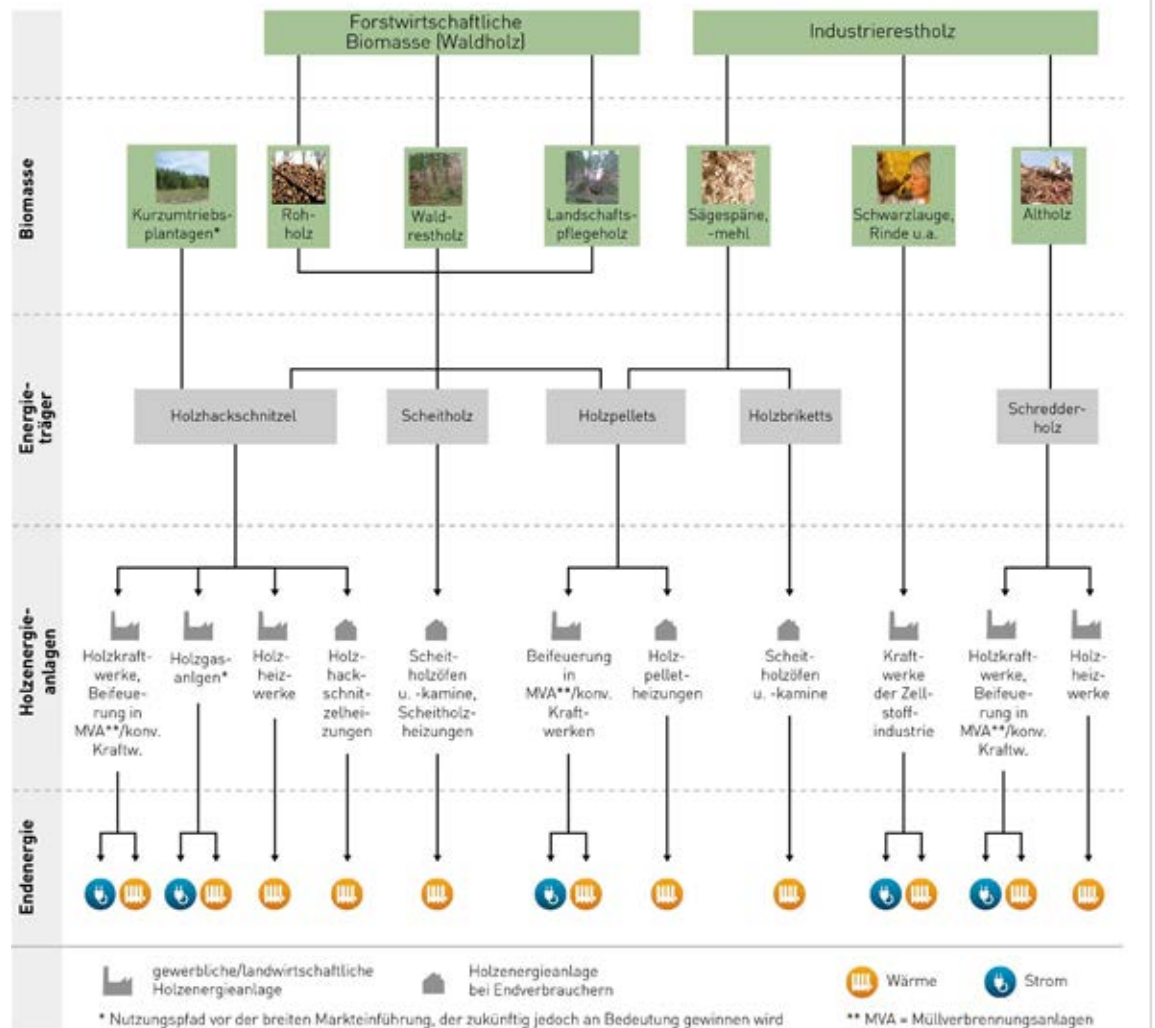
3.3 NUTZUNGSPFADE

Die geerntete oder als Reststoff anfallende Biomasse Holz wird oft nicht unmittelbar in einer Verbrennungsanlage eingesetzt, sondern zunächst zu diesem Zweck zu einem Energieträger verarbeitet. So werden z.B. Sägespäne erst in Holzpellets oder Holzbriketts gepresst.

Dieser Energieträger kann anschließend in Holzenergieanlagen zu Strom und/oder Wärme umgewandelt werden. Damit wird die letzte Stufe des Nutzungspfades erreicht: die Bereitstellung von Endenergie in Form von Strom oder Wärme für Endverbraucher. Welche Nutzungspfade die unterschiedlichen Arten von Energieholz von der Ernte bis zum Endverbraucher typischerweise durchlaufen, zeigt die folgende Übersicht.

Nutzungspfade von Energieholz

Nutzungspfade von Energieholz von der Ernte bis zum Endverbraucher.



Quelle: eigene Darstellung

4 POTENZIALE

Mit zukünftig steigenden Anteilen Erneuerbarer Energien an der Energieversorgung in Deutschland stellt sich auch die Frage, in welchen Anwendungen zukünftig welche biogenen Energieträger genutzt werden. Die Wissenschaft arbeitet dafür mit Szenarien, welche darstellen, wie sich der Energiemix der Zukunft zusammensetzen wird. Zielszenarien sind dabei auf das Erreichen politischer Zielsetzungen ausgerichtet – so untersuchen Klimaschutzszenarien, wie Klimaschutzziele erreicht werden können. Unterschiedliche Zielszenarien geben verschiedene Tendenzen für die Zukunft an: Einige Klimaschutzszenarien rechnen bis 2050 mit einem Wachstum der energetischen Nutzung der festen Biomasse um 21 Prozent ((Nitsch 2016: „Klima 2050“) bis 57 Prozent Prognos/EWI/GWS 2014: Zielszenario).¹² In anderen Zielszenarien, dem Syntheszenario von DBFZ et al. (2015) und dem Klimaschutzszenario KS95 von Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015) stagniert die Bereitstellung von Bioenergie hingegen etwa auf dem Niveau von 2015.

Deutschland besitzt große Holzvorräte und verzeichnet jährlich einen höheren Zuwachs als Abgang. Der Waldbericht der Bundesregierung 2009 prognostiziert, dass sich der Vorratsaufbau auch in den nächsten ca. 15 bis 20 Jahren fortsetzen wird. Dennoch stellt sich die Frage, ob langfristig gesehen ausreichend Holz für die Strom- und Wärmeerzeugung als auch für die stoffliche Nutzung zur Verfügung steht, ohne dass der Baumbestand und das Prinzip der nachhaltigen Forstwirtschaft gefährdet werden. In diesem Kapitel werden die geschätzten Potenziale der verschiedenen energetisch nutzbaren Holzarten wiedergegeben.

4.1 FORSTWIRTSCHAFTLICHE BIOMASSE

Das Potenzial der forstwirtschaftlichen Biomasse umfasst das energetisch nutzbare Waldholz, das nachhaltig von den Waldflächen gewonnen werden kann. Ein Teil der jährlichen Holzernte fließt neben der stofflichen Nutzung bereits jetzt in die Strom- und Wärmeerzeugung. Diese Menge bildet den Grundstock des Potenzials forstwirtschaftlicher Biomasse. Bei der Holzernte und bei der Durchforstung fällt regelmäßig Waldrestholz an.

Nur 58 Prozent der geernteten Holzbiomasse werden direkt genutzt (Stamm- und Industrielholz), 14 Prozent sind dagegen Ernteverluste, 28 Prozent sind Waldrestholz (Äste, Laub/Nadeln, Reisig)¹³. Damit bietet Waldrestholz theoretisch ein hohes Potenzial für die energetische Nutzung, zumal es für die stoffliche Nutzung nicht attraktiv ist. Aus Sicht des Naturschutzes darf das Waldrestholz allerdings nur zum Teil mobilisiert werden, da es wichtige Nährstoffe für den Waldboden liefert.

Ein weiteres Potenzial ergibt sich aus dem ungenutzten Holzzuwachs, d.h. der Biomasse, die im Wald jährlich nachwächst, aber bisher weder stofflich noch energetisch genutzt wird. Der bisher ungenutzte Holzzuwachs kann nur unter bestimmten Bedingungen für die energetische Nutzung in Aussicht gestellt werden. So muss der Zuwachs von Holz auf Schutzflächen und auf nicht oder schwer zugänglichen Flächen abgezogen werden, weil dort keine oder nur eine eingeschränkte Nutzung möglich ist. Zudem beanspruchen Totholzkonzepte einen Teil des Zuwachses. Schließlich ist aus Gründen der Nährstoffnachhaltigkeit auf armen Standorten ein Teil des Waldrestholzes zu belassen.¹⁴

¹² AEE-Metaanalyse 2016.

¹³ BMEL Clusterstudie.

¹⁴ AEE Potenzialatlas.

Technisches Brennstoffpotenzial von forstwirtschaftlicher Biomasse

Technisches Brennstoffpotenzial von forstwirtschaftlicher Biomasse:	511.400 TJ
davon:	
... bereits energetisch genutztes Waldholz:	245.600 TJ
... Waldrestholz:	164.700 TJ
... ungenutzter Holzzuwachs:	101.100 TJ

Quelle: DBFZ

4.2 LANDSCHAFTSPFLEGEHOLZ

Holz kommt nicht immer aus dem Wald. Unter Landschaftspflegeholzern versteht man die gesamte holzhaltige Biomasse aus Pflegearbeiten, die im Rahmen von landespflegerischen oder naturschutzfachlichen Maßnahmen, z.B. bei der Baumpflege sowie im Rahmen von Verkehrssicherungsmaßnahmen anfällt. Diese Hölzer kommen u.a. von Straßenrändern, Bahngeländen und -dämmen oder Wald-, Feld- und Flussufern. Für die stoffliche Nutzung ist Landschaftspflegeholz nicht attraktiv. Allein das Potenzial des sog. Straßenbegleitgrüns (Bäume, Büsche, Hecken) wird auf ca. 300.000 Tonnen (t) jährlich geschätzt. Diese Biomasse ist bisher nur ansatzweise für die energetische Nutzung erschlossen worden.

4.3 INDUSTRIERESTHOLZ

Waldholz fließt – falls es nicht direkt energetisch genutzt wird – üblicherweise zunächst in die stoffliche Nutzung. Sägewerke und andere nachfolgenden Betriebe verarbeiten es weiter z.B. zu Baumaterialien, Möbeln, Holzwerkstoffen oder Papier. Dabei fallen in den Sägewerken, in der Zellstoffindustrie und bei der Möbelproduktion zahlreiche Reststoffe an. Sägespäne und Sägemehl, Holzhackschnitzel, aber auch Schwarzlauge, Rinde und sonstige Reststoffe der Papierherstellung können für die Strom- und Wärmeproduktion genutzt werden, z.B. in den Kraftwerken der Zellstoffindustrie, die selbst einen hohen Wärmebedarf hat, oder z.B. in Holzkraftwerken und Holzpellettheizungen.

Technisches Brennstoffpotenzial von Industrierestholz

Technisches Brennstoffpotenzial von Industrierestholz:	
gesamt:	57.000 TJ

Quelle: DBFZ

4.4 ALTHOLZ

Schätzungen zufolge fallen in Deutschland jährlich rund 8 Mio. t Altholz, beispielsweise aus ausrangierten Möbelstücken, alten Türen, Holzverpackungen oder Bauholz an. Rund zwei Drittel dieses Holzes werden heute energetisch genutzt. Gemäß der 2002 verabschiedeten Altholzverordnung wird das Holz entsprechend der Vorbelastung durch Chemikalien unterschiedlich verwertet. Nicht oder wenig belastetes Altholz eignet sich demnach auch für die stoffliche Verarbeitung, stärker belastetes Altholz darf nur in speziellen Heiz(kraft-)werken mit einer umfangreichen Abgasreinigungstechnologie verbrannt werden. Dies erfolgt vor allem in größeren Anlagen zur Stromerzeugung mit über 10 MW Leistung (elektrisch). Tatsächlich energetisch genutzt wird jedoch vor allem nicht oder wenig belastetes Holz, denn dieses kann in Anlagen jeglicher Größe verfeuert werden. Das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ) beziffert das energetisch nutzbare Potenzial von Altholz in Deutschland auf 116.600 TJ.

Technisches Brennstoffpotenzial von Altholz

Technisches Brennstoffpotenzial von Altholz:

gesamt:

116.600 TJ

Quelle: DBFZ

4.5 KURZUMTRIEBSPLANTAGEN (KUP)

Kurzumtriebsplantagen (KUP) bieten für Landwirte eine Reihe von Vorteilen: Die Nachfrage nach Holz und die Preise hierfür entwickeln sich stabil, d.h. ein Absatzmarkt ist vorhanden. Es werden weniger Düngemittel benötigt als in der konventionellen Landwirtschaft. Außerdem eignen sich diese Plantagen auch für Flächen, die nicht oder nicht mehr landwirtschaftlich genutzt werden können oder lassen sich in konventionell bewirtschaftete Flächen integrieren. Während beim Getreideanbau jährliche Kosten anfallen, ist beim Anlegen der KUP nur einmalig mit relativ hohen Kosten zu rechnen. Für landwirtschaftliche Betriebe ist zudem von Vorteil, dass Hölzer aus KUPs im Winter bei geringerer sonstiger Arbeitslast geerntet werden. Aufgrund der längeren Bodenruhe bieten KUPs einen besseren Erosionsschutz. Auch aus Sicht des Naturschutzes ist die längere Bodenruhe positiv zu bewerten: Die Tier- und Pflanzenvielfalt ist höher als beispielsweise auf Getreide- und Maisfeldern. KUPs können zudem positiv strukturierend und gliedernd auf die vielerorts „aufgeräumte“ Agrarlandschaft wirken, z.B. als Streifen in oder um Grünland und Ackerflächen.

5 PREIS- UND KOSTENENTWICKLUNG IN DER HOLZENERGIE

Im nachfolgenden Kapitel steht die Brennstoffpreisentwicklung ausgewählter Holzsortimente in Deutschland und die Investitionskosten beispielhafter Holzenergieanlagen vom kleinen bis zum großen Leistungsbereich im Vordergrund. Zur Vervollständigung werden zusätzlich die Wärme- und Strombereitstellungskosten verschiedener Holzenergieanlagen dargestellt.

5.1 ENTWICKLUNG DER BRENNSTOFFPREISE

Es wird ein Überblick über die Preisentwicklung verschiedener Holzbrennstoffe in Deutschland (Altholz, Premiumpellets, Hackschnitzel, Scheitholz, Holzbriketts) bzw. Europa (Industriepellets) gegeben. Die Brennstoffdaten beruhen u.a. auf vierteljährlich publizierten Angaben der Europäischen Wirtschaftsdienst (EUWID) GmbH, auf Marktbeobachtungen von C.A.R.M.E.N e.V., DEPV e.V., des Technologie- und Förderzentrums im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) und dem Fachjournal „Brennstoffspiegel“. Für Industriepellets wurden die Daten des CIF Nordic (FOEX)-Index herangezogen.

Ein direkter Vergleich der unterschiedlichen Brennstoffpreise ist aufgrund ihrer unterschiedlichen regionalen Verfügbarkeiten, Einsatzmöglichkeiten/-technologien, ihrer spezifischen Handelsqualitäten und Bezugsmengen nur bedingt möglich. Zur Orientierung soll folgende Einordnung helfen:

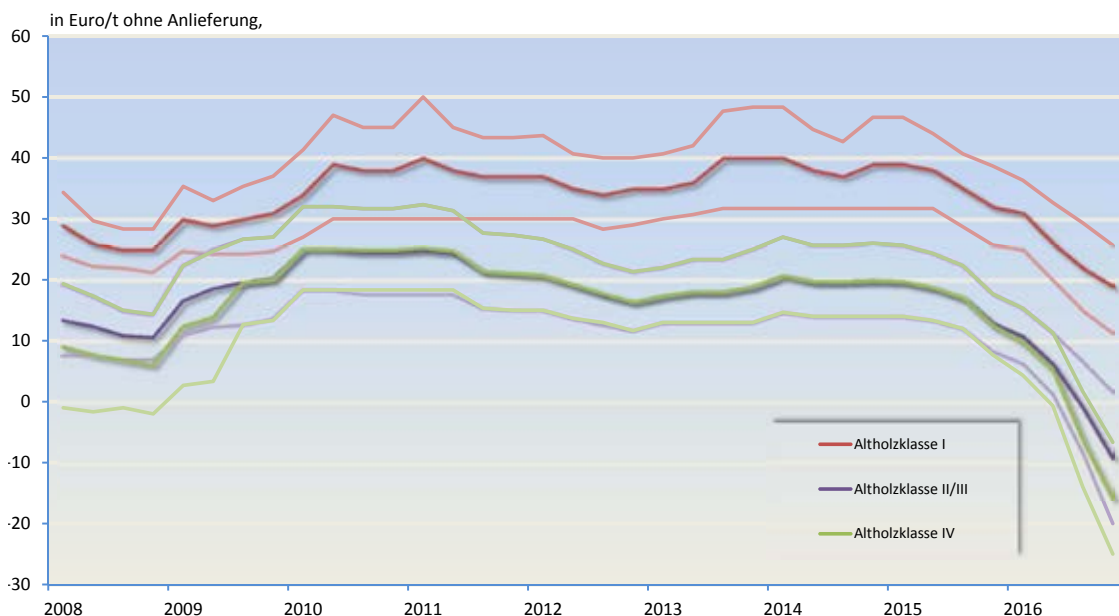
- In Kleinfeuerungsanlagen wie z. B. Scheitholz-, Pellet-, Hackschnitzelheizungen bis etwa 100 kWth kommen als Brennstoffe vor allem Scheitholz, Holzbriketts, naturbelassene Holzhackschnitzel mit eher niedrigem Wassergehalt (etwa 30 Prozent oder kleiner), Holzbriketts sowie Holzpellets in Premiumqualität (vergleichbar mit ENplus / DINplus-Anforderungen) zum Einsatz.
- Anlagen im höheren Leistungsbereich (>100 kWth) werden häufig in industriellen oder gewerblichen Unternehmen eingesetzt und als Holzheizwerke (reine Wärmebereitstellung) oder Holz(heiz)kraftwerke (Strom- und/oder Wärmebereitstellung) bezeichnet; zum Einsatz kommen meist naturbelassene Holzhackschnitzel mit höheren Wassergehalten (50 Prozent) oder Altholz (in Form von Hackgut oder Schredderholz).
- Eine Ausnahme stellen die kleinen Kraft-Wärmekopplungsanlagen auf Holzgasbasis dar (<100 kWel), die entweder relativ hochwertige Holzhackschnitzel mit niedrigen Wassergehalten oder Holzpellets einsetzen (nahezu vergleichbar mit der Premiumqualität von Kleinfeuerungsanlagen).
- Industrieholzpellets werden vor allem im europäischen Ausland zur Mono- oder Mitverbrennung in Kohlekraftwerken eingesetzt. Dabei handelt es sich überwiegend um Holzpellets mit geringeren Anforderungen an die Festigkeit bzw. den Feinanteil. Neben Holz können aber auch alternative Rohstoffe (z. B. auf Basis von Stroh, Reisspelzen oder Sonnenblumenkernschalen) für die Industrieholzpelletproduktion verwendet werden.

Altholz. Abbildung 8 zeigt die Durchschnittspreise von Altholzsortimenten und deren regional bedingte Abweichungen. Nach der Altholzverordnung wird Altholz in vier unterschiedliche Klassen kategorisiert. Während die Altholzklasse A1 lediglich naturbelassenes oder mechanisch bearbeitetes, bei seiner Nutzung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigtes Altholz enthält, nimmt die Schadstoffbelastung mit steigender Altholzklasse stetig zu. In Altholzklasse AIV werden

schließlich auch mit Holzschutzmittel behandelte Hölzer – wie beispielsweise Bahnschwellen oder Leitungsmasten – klassifiziert, die unter bestimmten Voraussetzungen in Biomasse(heiz)kraftwerken mit entsprechender Abgasaufbereitungsanlage eingesetzt werden dürfen.

Über alle Altholzsortimente hinweg ist in den vergangenen Jahren bis etwa zur Jahreswende 2014/15 ein stetiger Preisanstieg erkennbar, wobei dieser besonders deutlich in den Jahren 2009 bis Mitte 2011 ausfiel. Bis dahin fielen für die „Entsorgung“ von Altholz z. T. noch hohe Kosten von bis zu 10–15 Euro pro Tonne an. Nun war es möglich, für die Nutzung dieses Brennstoffsortimentes einen Preis zu erzielen. Witterungsbedingte Preisschwankungen im Jahresverlauf werden meist aufgrund von Kapazitätsengpässen in der Liefer- und Logistikkette begründet. Seit 2014 hat sich die Preisentwicklung jedoch gewandelt. Während im ersten Winter noch hohe Lagerbestände aus den Vorjahren bei den Kraftwerksbetreibern gepaart mit höheren Revisions- und Stillstandszeiten und einer relativ kurzen Kälteperiode im Winter als Ursache für die Preisstagnation ausgemacht wurden, setzte spätestens mit der Jahreswende 2014/15 ein Abwärtstrend in der Preisentwicklung von Altholz ein. Die gute konjunkturelle Lage mit einer boomenden Bauwirtschaft und den damit einhergehenden hohen Altholzmengen, die gehemmte Nachfrage der Kraftwerksbetreiber (schwindende Konkurrenz der Müllverbrennungsanlagen) nach diesem Brennstoffsortiment sowie die relativ kurzen bzw. milden Wintermonate der letzten 2 Jahre, haben dazu geführt, dass aktuell ein deutliches Altholzüberangebot auf dem Markt ist und für dessen Verwertung wieder ein Preis generiert werden kann. Auch wenn sich aktuell die Angebots- und Nachfragesituation im Altholzmarkt wieder stabilisiert hat, wird davon ausgegangen, dass bis Jahresende keine deutlichen Preisänderungen nach oben stattfinden.

Abb. 8: Preisentwicklung von Altholzsortimenten
Durchschnittspreise einschließlich regionalen Abweichungen



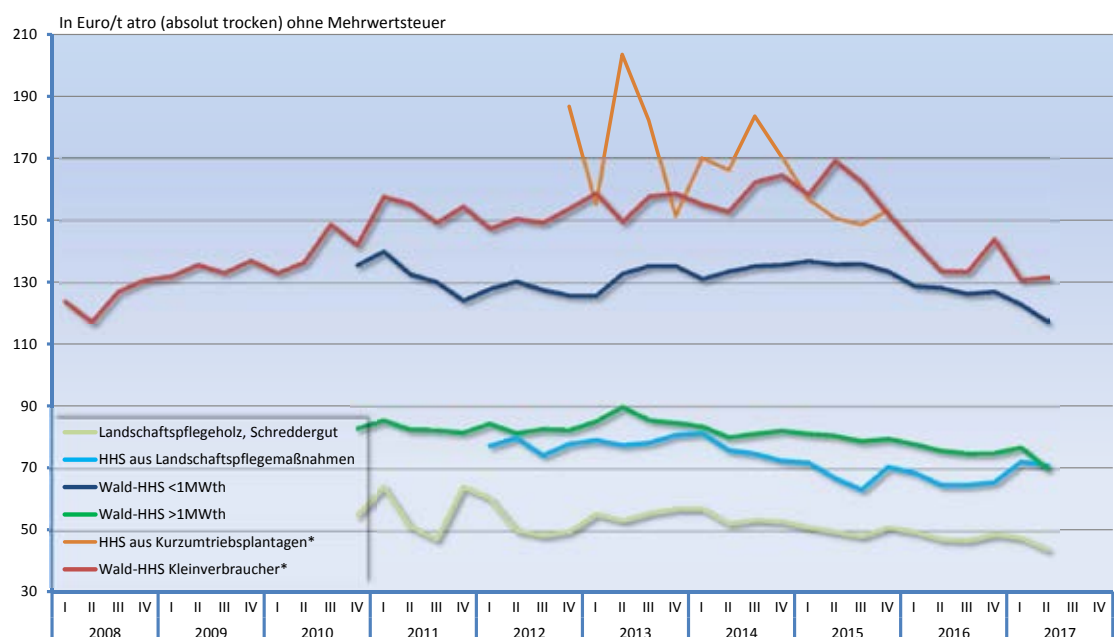
Quelle: DBFZ, EUWID, Stand: 7/2017

Naturbelassenes Hackgut / Schredderholz. Holzhackschnitzel (HHS) werden üblicher Weise bei Durchforstungsmaßnahmen des Waldes aus Waldrest- oder Schwachholz hergestellt und stehen damit nicht in Konkurrenz zur stofflichen Nutzung. Je nach Bedarf produziert der Waldbauer aus dem Durchforstungsholz ausschließlich HHS oder verwertet nur den Teil, der für die Scheitholzproduktion ungeeignet ist (z. B. Reisholz). In deutlich kleineren Mengen fallen HHS auch als Industrierestholz in der Holzverarbeitenden Industrie, in Sägewerken oder bei Landschaftspflegemaßnahmen u. a. an Straßen, in Parks, auf Friedhöfen oder sonstigen kommunalen Erholungsflächen an. Immer noch ein Nischendasein stellt die HHS-Bereitstellung aus Kurzumtriebsplantagenhölzern dar (KUP z. B. Pappeln, Weide). Je nach Menge und Qualität des aufbereiteten Holzes (abhängig vom Wassergehalt, Verunreinigungsgrad, Feinanteil, Abnahmemengen etc.) sowie den Vertragslaufzeiten erfolgt die Preisbildung im Biomassemarkt und kann grob entsprechenden Nutzergruppen zugeordnet werden.

Parallel zur Renaissance der Holznutzung in Strom- und / oder Wärmeanlagen, stieg seit der Jahrtausendwende die Nachfrage nach HHS. Im Kleinverbrauchermarkt war im Zeitraum von 2004 bis 2011 sogar einer Verdopplung der Endkundenpreise zu verzeichnen. In den vergangenen Jahren relativierten sich die Zubauzahlen im Wärmemarkt jedoch und brachen im Markt der KWK-Anlagen seit 2014 nahezu ein. Die Brennstoffangebotsseite professionalisiert sich dagegen zunehmend und profitiert von genossenschaftlich oder kommunal durchgeführten Pflegemaßnahmen bzw. dem gemeinschaftlichen Brennstoffvertrieb, z. B. über sogenannte Biomassehöfe.

Wie in Abbildung 9 dargestellt, ist mit dem Jahr 2016 der Preis für naturbelassene HHS zum Einsatz in Anlagen mit Feuerungswärmeleistung >1 MWth bzw. <1 MWth leicht gefallen. Einem ähnlichen Trend folgten HHS aus Landschaftspflegeholz, welches aufgrund seiner Inhomogenität und des erhöhten Rindenanteils sowie Verunreinigungsgrades qualitativ deutlich unterhalb von HHS aus KUP, Sägebrenprodukten, Industrierestholz oder Waldrestholz liegt. Je nach Mengenanteil der Brennstoffcharge führen ein erhöhter Rindenanteil, mineralische Bestandteile und andere Fremdkörper in Brennstoff-

Abb. 9: Preisentwicklung von Holzhackschnitzeln und Landschaftspflegeholz



Quelle: DBFZ, *C.A.R.M.E.N, EUWID, Stand: 7/2017

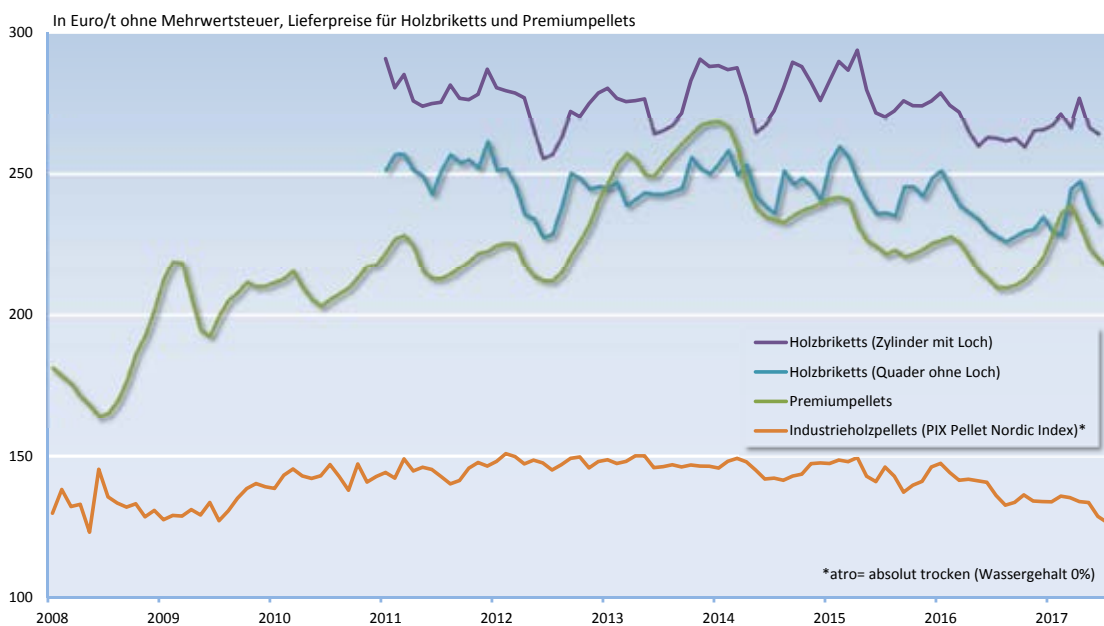
charge zu teilweise problematischen Verbrennungseigenschaften und erfordern somit entsprechend robuste Verbrennungstechnologien (z. B. Rostfeuerung). Wie Abbildung 9 zeigt, lag der Preis sowohl für HHS für den kleinen und großen Leistungsbereich als auch für Landschaftspflegeholz bis 2015 auf einem stabilem Niveau, bis seit etwa 2 Jahren einem leichtem Abwärtstrend folgt. Viele Akteure rechnen in mittel- bis langfristiger Zukunft eher wieder mit leicht ansteigenden Preisen, die jedoch von der regionalen Konkurrenzsituation stark beeinflusst werden.

In der Grafik beziehen sich zur besseren Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Brennstoffqualitäten die Verbraucherpreise für HHS auf eine Lieferung von 80 Schüttraummeter (SRM) im Umkreis von 20 Kilometern ohne Mehrwertsteuer.

Holzpellets / Holzbriketts. Abbildung 10 veranschaulicht die Preisentwicklung von Holzpellets und -briketts. Holzpellets werden erst seit der Jahrtausendwende in Deutschland in nennenswerter Menge gehandelt. Premiumholzpellets für kleine und mittlere Feuerungsanlagen wie Holzpelletzentralheizungen oder Einzelöfen unterlagen bis 2014 einem höheren Preisanstieg als Holzbriketts oder Industrieholzpellets, bevor – vergleichbar mit dem Preiseinbruch bei Holzhackschnitzeln – ab Mitte des Jahres 2015 ein Preisabfall einsetzte. Mittelfristig wird damit gerechnet, dass der Premiumpelletpreis weiterhin Preisschwankungen zwischen 220 bis 250 Euro pro Tonne unterliegt, da die inländischen Produktionskapazitäten den Bedarf deutlich übersteigen und ausländische Brennstoffanbieter ebenfalls auf den Markt drängen. Die deutlichen Preisschwankungen werden von der saisonalen Lagervorratshaltung sowie der konjunkturell bedingte Rohstoffverfügbarkeit im Markt bestimmt.

Der deutliche Preisunterschied zu Industrieholzpellets kommt nicht nur aufgrund der höheren Logistikkosten, sondern auch daher, dass Premiumpellets für kleine und mittlere dezentrale Feuerungs- oder Vergasungsanlagen in der Regel strengere Anforderungen (z. B. Abrieb, Aschegehalt) erfüllen müssen

Abb.10: Preisentwicklung von Holzpellets und Holzbriketts



Quelle: DBFZ, C.A.R.M.E.N, DEPV, *FOEX Indexes Ltd., Stand: 7/2017

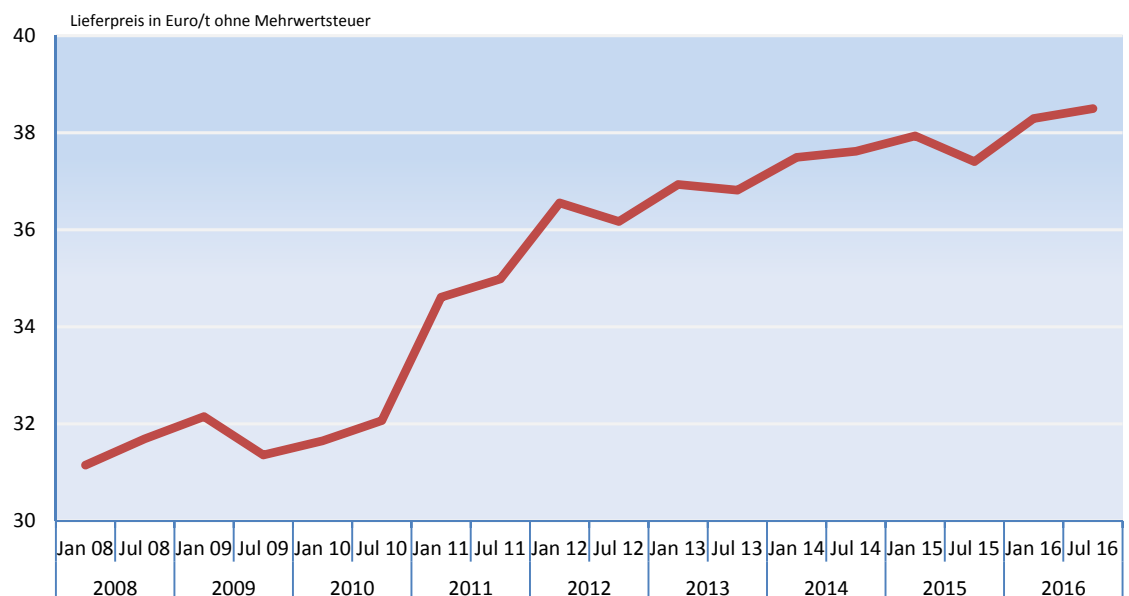
als Industrieholzpellets, welche in Kraftwerken oder Feuerungsanlagen im höheren Leistungsbereich eingesetzt werden und eine robustere bzw. bessere Verbrennungs- und Abgasteknik besitzen.

Die Preisermittlung der Premiumpellets beruht auf Durchschnittswerten zweier separater Marktbeobachter, dem Centralen Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. (C.A.R.M.E.N. e.V.) und dem Deutschen Energieholz- und Pellet-Verband e.V. (DEPV). Dabei werden monatlich deutschlandweit Pelletproduzenten für die Lieferung von 5 bzw. 6 Tonnen losen Pellets im Umkreis von 50 Kilometern einschließlich der Mehrwertsteuer befragt. Erstmals zu Beginn 2013 stieg der Preis von Premiumpellets über den von Holzbriketts ohne Loch. Dieses Verhalten spiegelt die steigende Nachfrage wider.

Holzbriketts werden häufig als Zweitbrennstoff in Scheitholzkesseln oder Einzelöfen sowie in Kaminöfen eingesetzt. Sie konnten ihre Preise in den vergangenen Jahren lange relativ stabil halten. Mit einem Jahr Verzögerung erfolgt seit Mitte 2015 auch hier eine leicht negative Preisentwicklung, deren Schwankungsbreite (typischer Preisanstieg in den Wintermonaten bei steigender Nachfrage) jedoch deutlich geringer ausfällt, als die von Premiumholzpellets. Die Datenaufzeichnung durch das DBFZ wurde zur Vervollständigung durch eine Abschätzung auf Basis des Erzeugerpreisindizes gewerblicher Produkte (Statistisches Bundesamt, GP09-1629 14 908) ergänzt und mit den Daten von C.A.R.M.E.N. e. V. fortgeschrieben.

Scheitholz. Zweimal im Jahr veröffentlicht das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) bundesweite Durchschnittspreise für Scheitholz, bezogen auf die Abnahme von sechs Raummeter, 33 cm langes und ofenfertiges Hartholz, wie z.B. Eiche oder Buche. Enthalten ist eine Anlieferung im Umkreis von 10 km. Baumärkte oder staatliche Forstbetriebe gehören nicht zu den befragten 28 Anbietern (u.a. Waldbesitzer, private Forstbetriebe, Brennstoffhandel). Seit 2005 ist Jahr für Jahr ein moderater aber anhaltender Preisanstieg zu verzeichnen, der aufgrund der weiteren Zunahme von Kamin- und Einzel-

Abb. 11: Preisentwicklung von Scheitholz
Durchschnittspreis für Hartholz, gespalten, 33 cm, 10 km geliefert



Quelle: DBFZ, EUWID, Stand: 7/2017

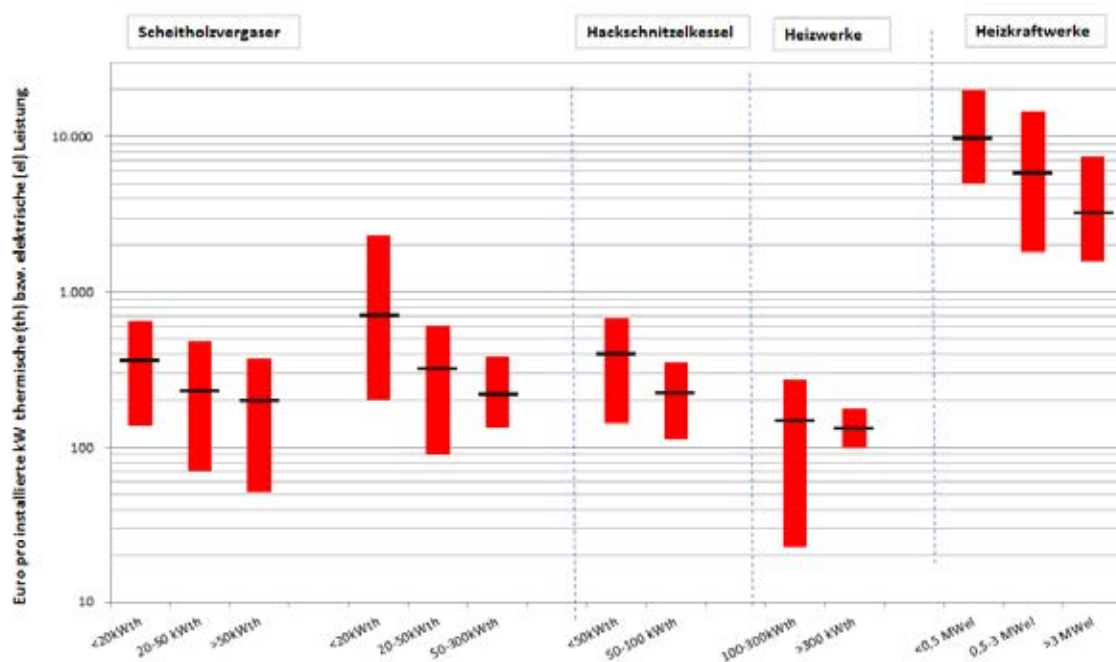
öfen auf Scheitholzbasis auch mittelfristig sich weiter fortsetzen wird (Abbildung 11). Zu beachten ist allerdings, dass neben den hier dargestellten Marktpreisen eine nicht unerhebliche Menge an Scheitholz in Eigenproduktion von Privatleuten bzw. Waldbesitzern hergestellt wird.

5.2 ANLAGENKOSTEN

Die nachfolgend aufgeführte Darstellung zu den Kosten verschiedener Wärme erzeugender Anlagen sowie Strom- und Wärme erzeugender Holzheizkraftwerke stellt eine Marktübersicht frei zugänglicher Preisdaten dar, für die u. a. systematische Listen der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) für Pelletheizungen, Scheitholzvergaserkessel und Hackschnitzelheizungen eingeflossen sind, aber auch aktuelle Preisabfragen, beispielsweise mittels Online-Plattformen, erfolgten. Zusätzlich sind in die Auswertung Daten aus der DBFZ-Datenbank zu Bioenergieanlagen eingeflossen. Wie in Abbildung 12 zu erkennen, umfassen die Investitionskosten für Scheitholzvergaserkessel, Pelletheizungen und Hackschnitzelheizungen für den kleinen bis mittleren Leistungsbereich eine geringere Spannbreite als Anlagenkosten von Heizwerken im mittleren bis großen Leistungssegment. Holzheizkraftwerke, die zusätzlich zur Wärmeerzeugung dank Kraft-Wärme-Kopplung auch elektrischen Strom für den Endverbraucher erzeugen, benötigen, bezogen auf die elektrische Leistung, erhebliche Mehrinvestitionen. Die großen Bandbreiten der Investitionskosten von Heizwerken und Heizkraftwerken liegen darin begründet, dass die Analyse technologieübergreifend durchgeführt wurde. Des Weiteren wurden die Gesamtinvestitionskosten herangezogen, die teilweise sehr starken Schwankungen unterliegen. Dies liegt u.a. daran, dass vor allem größere Anlagen i. d. R. standortangepasste Einzelanfertigungen sind und daher die Planungs-, Genehmigungs- und Baukosten teils stark variieren. Zusätzlich können Peripherie- und / oder sonstige Nebenkosten die Gesamtinvestitionskosten deutlich beeinflussen.

Abb. 12: Investitionskosten für verschiedene Holzenergieanlagen

Mittelwerte und Bandbreiten für Wärme erzeugende Anlagen sowie Strom- und Wärme-erzeugende Holzheizkraftwerke



Quellen: FNR, DBFZ sowie versch. Internetplattformen Stand: 7/2017

In der Übersicht Abbildung 12 werden die Investitionskosten je Anlage pro installierter Leistung angegeben, wobei bei reinen Wärmeanlagen hier die installierte Nennleistung ausschlaggebend ist, während bei Heizkraftwerken der Bezug zur installierten elektrischen Leistung hergestellt wurde. Generell kann über alle betrachteten Anlagensegmente eine Abnahme der durchschnittlichen spezifischen Investitionskosten mit Zunahme der Anlagengröße festgestellt werden.

5.3 ENERGIEBEREITSTELLUNGSKOSTEN

Abbildung 13 zeigt beispielhaft die Energiebereitstellungskosten von Biomasseanlagen zur Wärme- und Stromerzeugung. Für die dargestellten spezifischen Bereitstellungskosten wurden die Jahresgesamtkosten herangezogen. Die setzen sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

- kapitalgebundene Kosten (Investitions- und Instandhaltungskosten)
- verbrauchsgebundene Kosten (Brennstoffkosten, Hilfsstoffe, Reststoffentsorgung)
- betriebsgebundene Kosten (Personalkosten, Wartungsdienst, Emissionsmessung)
- sonstige Kosten (z.B. Versicherung, Verwaltung, Miete, Unvorhergesehenes)

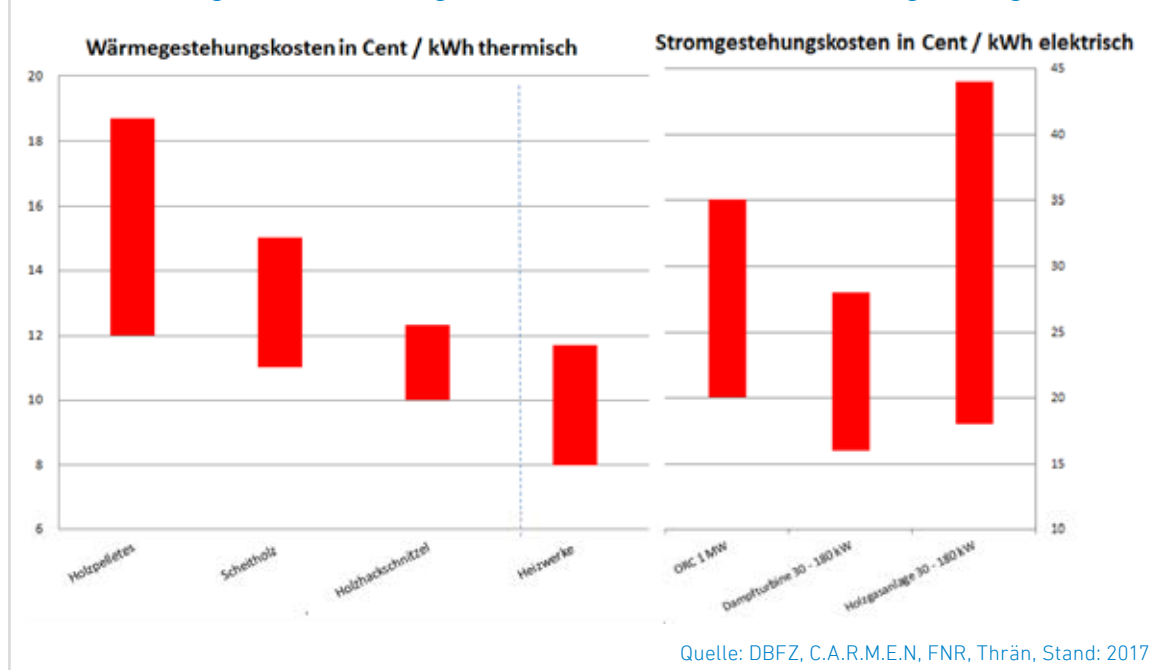
In die Ermittlung der Wärmegestehungskosten für Zentralheizungen mit einer thermischen Leistung von weniger als 50 Kilowatt (kW) flossen mit Pellets, Scheitholz sowie Hackschnitzel befeuerte Anlagen ein. Die größte Bandbreite umfassen Pelletheizungen. Dabei können die Wärmegestehungskosten von ca. 12 bis 16,5 Cent/kWh reichen. Hackschnitzelheizungen weisen hingegen deutlich geringere Wärmeentstehungskosten von 10 bis ca. 12 Cent/kWh auf. Noch geringer fallen die Kosten bei Heizwerken aus. Bei Leistungen von mehreren hundert bis über 1.000 kW sorgen unter anderem Skaleneffekte und technikbedingt höhere Toleranzen bezüglich der Brennstoffqualität und einer somit verbundenen kostengünstigeren Brennstoffbeschaffung für Wärmebereitstellungskosten von unter 10 Cent/kWh.

Die spezifischen Stromgestehungskosten unterschiedlicher Stromerzeugungstechnologien unterliegen weit größeren Schwankungen. So kam eine detaillierte Untersuchung von fünf verschiedenen Holzgasanlagen, die neben kommerziellen Anlagen auch Versuchs- und Demonstrationsanlagen umfasste, auf Werte 18 bis 44 Cent/kWhel. In Abhängigkeit der förderpolitischen Rahmenbedingungen und anderer Kostenfaktoren ist bei einigen Anlagen somit kein betriebswirtschaftlicher Betrieb möglich. Eigene Berechnungen einer Dampfturbine mit einer elektrischen Leistung von vier Megawatt und einer Organic-Rankine-Cycle (ORC-)Anlage mit 1 MW installierter elektrischer Leistung wurden unter schwankenden Jahresvolllaststunden durchgeführt. Als Ursache dafür ist zu erwähnen, dass es sich bei diesen Anlagen generell um Einzelanlagen handelt, die standortspezifisch geplant und an den gegebenen Energiebedarf sowie die Stromeinspeise-/abnahmebedingungen angepasst werden. Deshalb gibt es kaum 1:1 vergleichbare Anlagen im Markt, die real vergleichende Rückschlüsse auf die Strombereitstellungskosten geben könnten. Während die Dampfturbine beispielsweise bei einer Jahresvolllast von 7.700 Stunden eine Kilowattstunde Strom für 18,4 Cent generiert, steigen die Kosten bei einer Absenkung auf 3.500 Betriebsstunden auf 28,9 Cent/kWh. Bei der gleichen Last realisiert die ORC-Anlage die Stromgenerierung zu Kosten von 19 Cent/kWh bzw. 34,9 Cent/kWh.

Hinweis: Die in Abbildung 13 dargestellten Stromgestehungskosten von Biomasseheizkraftwerken basieren auf Anlagen, die während der Geltungsphase des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2012–2014 bzw. 2014–2017 in Betrieb gegangen sind. Seit 2017 gibt es für Biomasseanlagen mit einer elektrischen Leistung über 150 kW keine feste EEG-Einspeisevergütung für Strom. Neuanlagen müs-

sen an einem deutschlandweiten Ausschreibungsverfahren teilnehmen, bei dem die gesicherte Einspeisevergütung in einem Bieterwettbewerb ermittelt wird. Darüberhinaus besteht die Möglichkeit den Strom (ebenso wie die Wärme) selber zu vermarkten und damit die Wirtschaftlichkeit der Anlage zu optimieren.

Abb. 13: Energiebereitstellungskosten verschiedener Holzenergieanlagen



Während für Heizwerke zukünftig nur noch wenige Kostensenkungspotenziale gesehen werden, erwarten Experten bei den noch relativ jungen Technologien wie Holzgasanlagen eine Verringerung der Stromgestehungskosten. Innovationen und Optimierungen, getragen von günstigen energiepolitischen Rahmenbedingungen (z. B. steigende fossile Brennstoffpreise oder höhere Preise für Emissionszertifikate für klimarelevante Treibhausgase), könnten zu teils signifikanten Verbesserungen führen. Jedoch ist ein Großteil der Akteure derzeit aufgrund der aktuellen energiepolitischen Rahmenbedingungen – verbunden mit wenig attraktiven EEG-Einspeisebedingungen für Biomasseanlagenbetreiber – eher verunsichert, verbunden mit einer damit verbundenen deutlich gehemmten Forschungs- und Innovationsbereitschaft.

6 WERTSCHÖPFUNGS- UND BESCHÄFTIGUNGSEFFEKTE DURCH HOLZENERGIE

Knapp ein Viertel der bundesweiten Wertschöpfung – also rund vier Milliarden Euro – ist auf die energetische Nutzung von Biomasse zurückzuführen, die insbesondere in ländlichen Kommunen eine wichtige Rolle spielt. Hierbei sind sowohl Bioenergieanlagen im Bereich Strom und Wärme, als auch die Aufbereitung und Bereitstellung von biogenen Brenn- und Kraftstoffen von Bedeutung.¹⁵ Regionale Wertschöpfung kann als Summe der Einkommen und Einnahmen der beteiligten Akteure in einer Region definiert werden. Dabei setzt sich die Wertschöpfung aus folgenden Bestandteilen zusammen:

- 1. (Netto-)Gewinne der Unternehmen
- 2. (Netto-)Einkommen der Beschäftigten und
- 3. Steuereinnahmen der Kommunen in einer Region

Anlagen wie Holzkraftwerke und Holzheizungen sowie die Brennstoffproduktion tragen unmittelbar zu Wertschöpfung und Beschäftigung bei. Denn die Wertschöpfungskette eines Holzkraftwerkes beispielsweise ist häufig zu großen Teilen in einer Kommune angesiedelt. Die Planung und Installation, die Wartung und Brennstofflieferung sowie die Betreibergesellschaft sind vielerorts im unmittelbaren Umkreis der Anlage ansässig. Die beteiligten Unternehmen erzielen Gewinne, die Beschäftigten erhalten Einkommen und die Kommunen nehmen Gewerbe-, Umsatz- und Teile der Einkommenssteuer ein. Desweiteren fließen Teile von Steuern und Abgaben auch an Bund und Länder.

Diese Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte der Holzenergie hat das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) in einer Studie abgeschätzt. Demnach resultierten aus dem Bau und Betrieb von Holzenergieanlagen im Jahr 2012 deutschlandweit rund eine Milliarde Euro an direkter Wertschöpfung, davon rund 660 Millionen Euro auf kommunaler Ebene (siehe Tabelle 7).

Auf die Produktion von Holzbrennstoffen ist insgesamt eine weitere Milliarde Euro zurückzuführen, davon rund 750 Millionen Euro in den Kommunen (siehe Tabelle 8). Die Zahl der Beschäftigten im Holzenergiesektor beläuft sich der Studie nach auf insgesamt rund 12.800 Vollzeitarbeitsplätze. Zu beachten ist, dass diese Zahlen nur die direkten Effekte berücksichtigen, die unmittelbar durch Errichtung und Betrieb der Anlagen, bzw. die Brennstoffproduktion entstehen. Die dadurch in Anspruch genommenen Vorleistungsketten, die zu weiteren volkswirtschaftlichen Effekten führen, kommen noch hinzu.

Das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung hat die regionalen Wertschöpfungseffekte für drei ausgewählte Bioenergie-Regionen (Bodensee, Mecklenburgische-Seenplatte und Mittelhessen) jeweils für die Betrachtungsjahre 2009, 2012 und 2015 (ex ante und ex post) detailliert untersucht. Der Vergleich kommt u.a. zu dem Ergebnis, dass die regionale Wertschöpfung im Zeitraum 2009 bis 2015 (ex ante) am stärksten in der Bioenergie-Region Mittelhessen zunahm, wobei sich die Bedeutung der Technologiebereiche und Wertschöpfungsstufen über den betrachteten Zeitraum stark verändert hat. So führte einerseits die Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes in den Jahren 2012 und 2014 und den damit einhergehenden Vergütungskürzungen zu Umsatzeinbußen bei den Herstellern mit entsprechenden dämpfenden Effekten für die Wertschöpfung. Andererseits wirkte sich der Ausbau

15 Land in Form 2015.

Tabelle 7: Direkte Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch Holzenergieanlagen in Deutschland 2012

Anlagenart	Gewinne nach Steuern	Nettoeinkommen durch Beschäftigung	Steuern an die Kommunen	Summe Wertschöpfung auf komm. Ebene	Steuern an die Länder	Summe Wertschöpfung auf Landesebene	Steuern u. Abgaben an den Bund	Summe Wertschöpfung bundesweit	Beschäftigungseffekte
	[Mio. Euro]								[VZÄ]
Holzheizkraftwerke	179	144	39	362	47	409	137	546	4.511
Holzheizwerke*	52	145	15	212	21	233	75	307	2.645
Holzzentralheizungen**									
Holzpellettheizungen	15	38	4	57	7	64	30	95	1.238
Scheitholzheizungen	5	16	2	23	4	27	14	41	522
Holzhackschnittelheizungen	2	6	1	9	1	10	5	15	199
Summe	254	349	60	663	80	743	261	1.004	9.115

* Berechnet auf Grundlage des KfW-geförderten Anlagenbestands.
 ** Berechnet auf Grundlage des MAP-geförderten Anlagenbestands, daher konservative Schätzung VZÄ: Vollzeitäquivalent

Quelle: IÖW

Tabelle 8: Direkte Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch die Holzbrennstoffproduktion in Deutschland 2012

Brennstoffart	Gewinne nach Steuern	Nettoeinkommen durch Beschäftigung	Steuern an die Kommunen	Summe Wertschöpfung auf komm. Ebene	Steuern an die Länder	Summe Wertschöpfung auf Landesebene	Steuern u. Abgaben an den Bund	Summe Wertschöpfung bundesweit	Beschäftigungseffekte
	[Mio. Euro]								[VZÄ]
Holzpellets	32	20	7	58	11	69	24	93	871
Holzhackschnittel	33	10	3	46	7	53	14	67	528
Scheitholz	580	38	33	651	102	753	137	890	2.347
Summe	645	68	42	754	120	874	176	1.050	3.746

Quelle: IÖW

der Bioenergie insgesamt – u.a. bedingt durch die Installation mehrerer Nahwärmenetze mit hohen Effekten im Bereich Wärme im Jahr 2012 sowie die Inbetriebnahme eines Pelletwerkes – positive auf die Wertschöpfung aus und kompensierte die Verluste auf der Stromseite. Dies trifft jedoch nur für die Wertschöpfung zu. Bei den Beschäftigungseffekten zeigte sich zwischen 2012 und 2015 ein Rückgang. Gründe waren die deutlich reduzierten Aktivitäten der Hersteller im Bereich Bioenergie aber auch ein geringerer Zubau an Bioenergie-Anlagen. Dazu lässt sich festhalten, dass die Arbeiten im Zusammenhang mit der Planung und Installation von Anlagen im Vergleich zum Betrieb und der Wartung i. d. R. deutlich beschäftigungsintensiver sind.¹⁶

16 FNR 2016.

6.1 WERTSCHÖPFUNGSEFFEKTE BERECHNEN MIT DEM ONLINE-WERTSCHÖPFUNGSRECHNER

Mit dem Online-Wertschöpfungsrechner steht ein Online-Instrument zur Verfügung, welches die direkten kommunalen Wertschöpfungseffekte durch Erneuerbare Energien anhand von bundesdeutschen Durchschnittswerten errechnen kann. Dabei werden die Wertschöpfungseffekte für Planung, Installation, Betrieb und Wartung berücksichtigt und in Beschäftigung, Gewinn und Steuern an die Kommune berechnet. Daneben kann der OWR auch die vermiedenen Treibhausgasemissionen darlegen.

Die Entwicklung der lokalen Stoffströme lässt sich anhand der Zahlen zu den Brennstoffen aufzeigen, welche vor Ort bereitgestellt werden. In den Bioenergie-Regionen stieg die kommunale Wertschöpfung durch die Bereitstellung von Scheitholz 2012 nach den Berechnungen des Online-Wertschöpfungsrechners um fast 50 Prozent auf fast 120 Millionen Euro gegenüber 2011. Es lässt sich ein Zusammenhang mit dem Zubau der Einzelfeuerungsanlagen in den Bioenergie-Regionen, der im Zeitraum von 2011 bis 2013 nach den Angaben der Bioenergie-Regionen mehr als 200 Megawatt umfasste, annehmen.

7 NATUR- UND KLIMASCHUTZ

Der Beitrag der Holzenergie zu Klima- und Naturschutz setzt voraus, dass die Prinzipien der Nachhaltigen Forstwirtschaft nicht in Frage gestellt werden. Im Folgenden werden daher die Klimabilanz der Holzenergie und die Herausforderungen des Waldnaturschutzes erörtert.

7.1 HOLZENERGIE UND KLIMASCHUTZ

Deutsche Wälder sind ein wichtiger Kohlenstoffspeicher und leisten somit einen unverzichtbaren Beitrag zum Klimaschutz. In den Wäldern Deutschlands sind etwa 2,5 Mrd. Tonnen Kohlenstoff gespeichert. Über die Hälfte davon befindet sich in Waldböden¹⁷. Die Senkungsleistung deutscher Wälder betrug im Jahr 2015 rund 57,8 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente¹⁸.

Die Nutzung von Holzenergie auf Basis einer nachhaltigen Forstwirtschaft erhält einerseits diese Waldbestände und trägt andererseits unmittelbar dazu bei, die hohen CO₂-Emissionen von fossilen Brennstoffen zu vermeiden. Denn Holz gibt nicht mehr Kohlenstoffdioxid ab, als gleichzeitig durch das Wachstum des Waldes wieder gebunden wird. Die geringen Treibhausgasemissionen je Kilowattstunde Holzenergie – ob als Strom oder Wärme – sind auf Anlagenbau, Transport und Verarbeitung zurückzuführen. Holzenergie hat in der Wärmeversorgung 2016 insgesamt 24,8 Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente vermieden¹⁹.

7.2 HOLZNUTZUNG UND NATURSCHUTZ

Angesichts steigender Ansprüche an den Wald, ehrgeiziger energiepolitischer Ziele und angesichts des Klimawandels stellt sich die Frage, wie eine nachhaltige Waldwirtschaft auf Dauer gewährleistet werden kann. Der Wald in Deutschland wird von Fichte, Kiefer, Buche und Eiche geprägt. Dabei hat sich laut Inventurstudie der Wechsel von Nadelbäumen zu Laubbäumen fortgesetzt, das Durchschnittsalter ist gestiegen. Gleichwohl wird gefordert, dass im Sinne des Naturschutzes und der Biodiversität, überwiegend aus Laubbäumen bestehende Waldbestände erhalten werden, da insbesondere die alten Bäume und das Totholz für die Artenvielfalt im Wald und den Nährstoffgehalt wichtig sind. Auch eine überzogene Mobilisierung von Waldrestholz wird in dieser Hinsicht kritisch betrachtet.

Als Strategie für den Natur- und Wirtschaftsraum Wald hat die Bundesregierung die Waldstrategie 2020 initiiert. Vor dem Hintergrund der Definition des Waldes als Ökosystem, Kohlenstoffspeicher, Erholungsraum und Rohstofflieferant beschreibt die Strategie in insgesamt neun Handlungsfeldern Herausforderungen und Chancen, analysiert mögliche Zielkonflikte und formuliert Lösungsansätze. Ziel ist es, Wege zu einer tragfähigen Balance zwischen den steigenden Ansprüchen an den Wald und seiner nachhaltigen Leistungsfähigkeit aufzuzeigen. So soll z.B. einerseits die nachhaltige Bereitstellung von Rohstoffen für die Holz-, Papier und Energiewirtschaft verbessert werden. Der steigende inländische Holzbedarf soll auch nach 2020 überwiegend aus heimischer Erzeugung und durch die nachhaltige Erschließung weiterer Rohstoffquellen gedeckt werden. Andererseits soll die biologische Vielfalt im Wald verbessert werden, indem ein Teil der Flächen nicht bewirtschaftet, die Totholzanteile erhöht, Naturwaldzellen vermehrt und Natura 2000-Flächen weiter vernetzt werden²⁰.

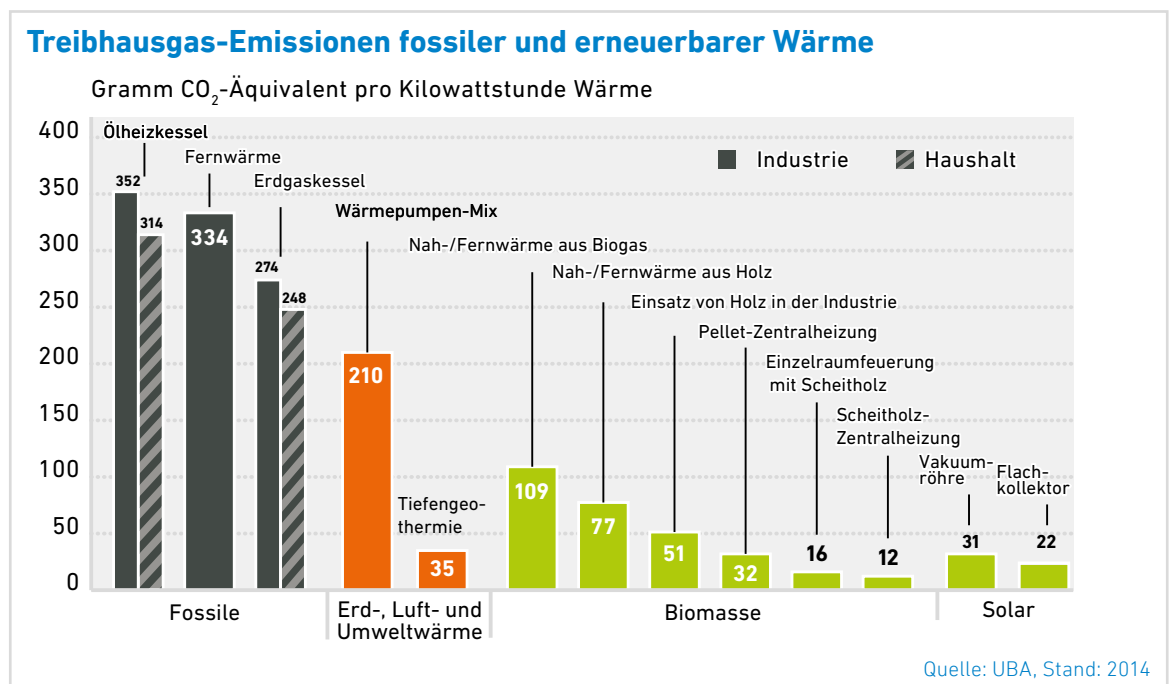
17 BMEL 2016.

18 UBA 2017.

19 UBA 2017.

20 BMEL.

Um die biologische Vielfalt zu schützen, setzt der Bund seit 2007 auf die „Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt“. Die Strategie enthält ein Indikatorenset, mit dessen Hilfe Fortschritte bei der Umsetzung der Maßnahmen und Erfolge bei der Erreichung der Ziele der Strategie gemessen werden²¹. Enthalten ist u.a. den Indikator „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“, welcher Informationen zur Entwicklung der Artenvielfalt, Landschaftsqualität und Nachhaltigkeit der Landnutzungen liefert. Er fasst hierfür Angaben über die bundesweiten Bestandsgrößen ausgewählter repräsentativer Vogelarten der wichtigsten Landschafts- und Lebensraumtypen Deutschlands in einer einfachen Maßzahl zusammen²². Der Indikatorenbericht 2014 beschreibt, dass sich der Wert für den Indikator „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ in den Beobachtungsjahren 2001 bis 2011 verschlechtert hat. Im Jahr 2011 lag er nur noch bei 63 Prozent des Zielwertes und ist damit auf den tiefsten Wert der dargestellten Zeitreihe gesunken. Dieser negative Trend des Gesamtindikators wird wesentlich durch den Teilindikator für das Agrarland beeinflusst. Dieser ist in 2011 bis auf 56 Prozent des Zielwertes abgesunken. Im Gegensatz dazu verzeichnet der Teilindikator für Wälder mit 76 Prozent des Zielwertes in 2011 den günstigsten Wert unter den Teilindikatoren. Wälder und die Waldnutzung beeinflussen die Artenvielfalt demnach also positiv, können aber die negativen Effekte der Agrarwirtschaft nicht kompensieren.



²¹ bfn.de.

²² bfn.de.

8 FAZIT

Neben der Nutzfunktion, d.h. der Bereitstellung von Holz zur stofflichen und energetischen Nutzung, hat der Wald noch eine Reihe anderer Funktionen: er dient dem Klimaschutz, dem Wasser- und Bodenschutz sowie der Erholung. Nicht zuletzt ist er auch ein Lebensraum vieler Pflanzen und Tiere. Diese Funktionen müssen in Einklang gebracht und nicht gegeneinander ausgespielt werden.

Heute steht im deutschen Wald wegen seiner historisch und regional hohen Vorräte mehr Holz als in jedem anderen Land der Europäischen Union. Derzeit wächst in deutschen Wäldern, ganz im Sinne der Nachhaltigkeit, mehr Holz nach als genutzt wird. Der Vorratsaufbau wird sich auch in den nächsten 15 bis 20 Jahren fortsetzen.

Holz wird heute im Verhältnis 1:1 sowohl stofflich, als auch energetisch genutzt. Bei der energetischen Verwendung von Holz steht vor allem die Wärmebereitstellung im Vordergrund; nur ein geringer Anteil wird auch zur Stromerzeugung genutzt. Im Kraftstoffbereich spielt Holz bisher keine Rolle. Im Wärmebereich ist Holz die wichtigste Quelle Erneuerbarer Energien.

Damit Deutschland seine internationalen Verpflichtungen im Klimaschutz erfüllen sowie die Ausbauziele für Erneuerbare Energien erreichen kann, muss die energetische Holznutzung auch in den kommenden Jahren zunehmen. In Deutschland steht genügend Holz für den Ausbau der Strom- und Wärmeerzeugung zur Verfügung. Potenziale bestehen in der Anlage von Kurzumtriebsplantagen sowie in der Nutzung von Hölzern bzw. Holzresten aus der Landschaftspflege. Ein weiteres Potenzial besteht in der verstärkten Nutzung von Waldrestholz, wobei hier ein Teil aus ökologischen Gründen im Wald verbleiben sollte. Durch Effizienzsteigerungen auf der Verbraucherseite, d.h. durch energetische Gebäudesanierung und den Ersatz alter, ineffizienter Holzheizungen in Privathaushalten kann mit derselben Menge Holz mehr Strom und Wärme bereitgestellt werden.

Die stoffliche und die energetische Nutzung lassen sich auch in Zukunft gut vereinbaren. Beide Nutzungspfade greifen zunächst auf unterschiedliche Holzrohstoffe zurück, die entlang der Produktionsketten anfallen. In Teilbereichen kann es zu direkten Konkurrenzen kommen. Unterschiedliche Holzqualitäten und -preise führen jedoch zu eigenständigen Marktsegmenten, die in ihrer jeweiligen Dynamik von unterschiedlichen Einflussgrößen unterschiedlich stark berührt werden können. So bleibt die verstärkte energetische Nutzung von Landschaftspflegeholz oder bestimmter Waldresthölzer für die stoffliche Nutzung weitgehend ohne Folgen, da für die stoffliche Nutzung hochwertigere Holzrohstoffe benötigt werden. Die Holzwerkstoffindustrie, z.B. die Hersteller von Spanplatten, konkurrieren jedoch verstärkt mit den Produzenten von Holzpellets, da beide auf Industrierestholz wie Sägespäne zurückgreifen. Die trotz Ausbau der Holzenergie lange stagnierenden Industrieholzpreise zeigen allerdings, dass kein echtes Versorgungsproblem der Holzwerkstoffindustrie besteht. Mögliche Nutzungskonflikte lassen sich durch gezielte Ausschöpfung der vorgestellten Potenziale vermeiden, ohne die Grundlagen nachhaltiger Forstwirtschaft zu gefährden.

Holzenergie hat sich zu einem wichtigen wirtschaftlichen Standbein der deutschen Forst- und Holzbranche entwickelt, deren Umsatz- und Beschäftigungsentwicklung lange stagnierte. Die Arbeitsplätze in der deutschen Forstwirtschaft und Holzindustrie, die in ländlichen Regionen von großer wirtschafts- und sozialpolitischer Bedeutung sind, dürften in Zukunft noch stärker durch die energetische Nutzung gesichert werden.

9 LITERATUR

ANDERLOHR, THOMAS / GRASSMANN, ANJA: Flexibilisierung der Betriebsweise von Heizkraftwerken durch Wärmespeicher und Elektrokessel, Juni 2014.

ALLGEMEINE FORST ZEITSCHRIFT FÜR WALDWIRTSCHAFT UND UMWELTVORSORGE: AFZ – Der Wald: Inventurstudie 2008, Nr. 20/2009. 2009.

AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (AEE): Metaanalyse. Perspektiven fester, flüssiger und gasförmiger Bioenergieträger. Berlin, 2016.

AEE: Potenzialatlas Bioenergie in den Bundesländern. Berlin, 2013.

AEE: Renew's Spezial Ausgabe 66. Holzenergie. Bedeutung, Potenziale, Herausforderungen. Berlin, 2013.

BIENGE, KATRIN (WUPPERTAL INSTITUT FÜR KLIMA, UMWELT UND ENERGIE, WI): Kaskadennutzung: Optimierte Nutzung nachwachsender Rohstoffe zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Vortrag, Iserlohn, 2010

BMELV: Cluster Forst und Holz. Sonderdruck der im Holz-Zentralblatt von 2006–2008 veröffentlichten Ergebnisberichte der Teilstudien. Bundesweite Clusterstudie des BMELV im Rahmen der „Charta für Holz“. Berlin, 2008

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL): Bundeswaldinventur 2012. 2014.

BMEL (HRS6.): Waldböden in Deutschland Ausgewählte Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung 2016.

C.A.R.M.E.N.: www.carmen-ev.de/infoteh/preisindizes/hackschnitzel

C.A.R.M.E.N.: www.carmen-ev.de/infoteh/preisindizes/holzpellets

C.A.R.M.E.N.: Wärmegestehungskosten: www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe/biomasseheizwerke/wirtschaftlichkeit/474-waermegestehungskosten

DEUTSCHES BIOMASSE FORSCHUNGSZENTRUM (DBFZ) ET AL.: Meilensteine 2030. Elemente und Meilensteine für die Entwicklung einer tragfähigen und nachhaltigen Bioenergiestrategie. Schriftenreihe des Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Band 18. Leipzig, 2015.

DBFZ: Globale und regionale räumliche Verteilung von Biomassepotenzialen. Status Quo und Möglichkeit der Präzisierung. Anhang I – Regionale Biomassepotenziale. Leipzig, 2010.

DBFZ: Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der energetischen Biomassenutzung. Leipzig, 2009.

DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR)/INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG (IFEU)/WI: Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien. Stuttgart / Heidelberg / Wuppertal, 2004.

DLR/FRAUNHOFER IWES/INGENIEURBÜRO FÜR NEUE ENERGIEN (IFNE): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Stuttgart/Kassel/Teltow, 2012.

EUWID NEUE ENERGIEN: EUWID Neue Energien 03/2011 Bd. 03/2011.

EUWID NEUE ENERGIEN: Marktbericht für Altholz Bd. 2004–2013.

EUWID NEUE ENERGIEN: Marktberichte für LPH und HHS 2010–2013.

FOEX: Preis Index PIX Pellet Nordic CIF, www.foex.fi

INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG (IÖW)/ZENTRUM FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN DER UNIVERSITÄT FREIBURG (ZEE): Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien. Berlin, September 2010.

MANTAU, UDO (INFRO/UNIVERSITÄT HAMBURG, ZENTRUM HOLZWIRTSCHAFT): Holzrohstoffbilanz Deutschland. Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015. Hamburg, 2012.

MANTAU, UDO (INFRO/UNIVERSITÄT HAMBURG, ZENTRUM HOLZWIRTSCHAFT): Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2010. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Hamburg, Mai 2012.

MANTAU, UDO (UNIVERSITÄT HAMBURG, ZENTRUM HOLZWIRTSCHAFT): Holz – Potenzial und Verfügbarkeit. Konferenzbeitrag, 3. BtL-Kongress, Berlin, 15. Oktober 2008.

NITSCH: Die Energiewende nach COP 21 – Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung. Stuttgart, 2016.

ÖKO-INSTITUT / FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEM- UND INNOVATIONSFORSCHUNG ISI: Klimaschutzszenario 2050. 2. Modellierungsrunde. Berlin/ Karlsruhe, 2015.

OEHMICHEN, KATJA, ET AL (VON-THÜNEN-INSTITUT): Inventurstudie 2008 und Treibhausgasinventar Wald. Landbauforschung. vTI Agriculture and Forestry Research. Sonderheft 343.

SEINTSCH, BJÖRN (VON-THÜNEN-INSTITUT, VTI): Holzbilanzen 2009 und 2010 für die Bundesrepublik Deutschland. Hamburg, 2011.

SEINTSCH, BJÖRN (VTI): Entwicklungen des Clusters Forst und Holz zwischen 2000 und 2007. Hamburg, 2010.

THRÄN, D. (HRSG.), PFEIFFER, D. (HRSG.), M. ZEYMER, M. , HERRMANN, A. , OEHMICHEN, K. : Effizient, umweltverträglich, dezentral – Neue Konzepte für die Nutzung von biogenen Festbrennstoffen, Teil 1. Leipzig, 2013.

UBA: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2017. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2015. 2017.

WUPPERTAL INSTITUT FÜR KLIMA, UMWELT, ENERGIE: Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Ein Konzept zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und Optimierung der Landnutzung. Wuppertal, 2009.

IMPRESSUM

Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

Invalidenstraße 91

10115 Berlin

Tel.: 030 200535 30

Fax: 030 200535 51

E-Mail: kontakt@unendlich-viel-energie.de

Aktuelle Informationsangebote finden Sie im Internet:

www.unendlich-viel-energie.de

www.kommunal-erneuerbar.de

www.foederal-erneuerbar.de

www.forschungsradar.de

www.kombikraftwerk.de

www.waermewechsel.de



AGENTUR FÜR
ERNEUERBARE
ENERGIEN
unendlich-viel-energie.de