

Die Rolle von Holz in der Energiewende

Bernhard Wern, Harald Thorwarth, Frank Scholl, Patrick Matschoss, Cornelia Vogler und Frank Baur

Holz hat in Deutschland derzeit den im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern weitaus höchsten Anteil an der Wärmeerzeugung und leistet zudem Beiträge zur erneuerbaren Stromerzeugung. Der Artikel beschreibt anhand aktueller energiewirtschaftlicher und rohstoffbezogener Studien die Notwendigkeit sowie die heutigen Herausforderungen und Grenzen des Einsatzes von Holz in der Energiewende.

Meist wird Holz in Privathaushalten verfeuert, was angesichts der Alternativen großer Fernwärmeverbünde oder der Prozessenergie zunehmend kritisch diskutiert wird [1]. Bei Holz ist die Herkunft – von Waldholz (Primärholz) bis hin zu Altholz (Abfall) oder Importen – ausschlaggebend für Aspekte der Nachhaltigkeit und der Rohstoffkosten. Zur Nachhaltigkeit der Holzenergienutzung herrscht in der Forstwissenschaft Einigkeit, sofern es sich um Reststoffe (Altholz, holzartiger Grünschnitt, Holzpellets) oder nachhaltig genutzte Wälder Mitteleuropas handelt [2]. Letzteres ist bei einigen Ökologen umstritten [3], die jedoch in der Politik und der medialen Debatte sehr präsent sind. In diesem Spannungsfeld bewegen sich die folgenden Ausführungen.

Hintergrund

Durch die sichtbaren Folgen des Klimawandels ist der Begriff Energiewende nicht mehr nur in den Köpfen Einzelner präsent. Worum es dabei geht, ist der Umbau des Energiesystems mit dem Ziel einer nachhaltigen Energieversorgung. Viele Jahre lag der Fokus dabei auf dem Stromsektor. Bei der Energiewende geht es jedoch um den gesamten Energiebedarf, also um die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität.

Auf dem Weg zu diesem Ziel stehen wir in Deutschland, auch nach 25 Jahren Energiewende, noch immer am Anfang. Die Abb. zeigt, dass die Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen im Jahr 2019 auf 14,9 % ausgebaut wurde [4]. Damit liegen aber noch 85,1 % der Energiewende vor uns.

Der größte Teil der erneuerbaren Energie über alle Sektoren hinweg stammt mit einem Anteil von 58,8 % aus Biomasse [5]. Ungefähr die Hälfte des Beitrags der Biomasse entfällt auf die biogenen Festbrennstoffe inkl. Klär-



Die durch neueste Gesetzgebung vorgegebene Mindernutzung des Waldes stellt eine Diskrepanz zwischen der aktuellen Verwertung, den künftigen Notwendigkeiten im Energiesystem sowie der gesetzgeberischen Realität dar

Bild: B. Wern

schlamm [6]. Zum Hauptteil sind dies Holzbrennstoffe. Die Holzenergie hat bezogen auf den Primärenergieverbrauch einen Anteil von rund 25 % an den Erneuerbaren in Deutschland. Die Rolle von Biogas wurde in einem separaten Artikel in et [7] beleuchtet, die Rolle des Holzes in der Energiewende ist Thema des vorliegenden Artikels.

Trotz oder gerade wegen dieses hohen Beitrages an der Defossilisierung des Energiesystems ist der Energieträger Holz in den letzten Monaten in den Fokus der öffentlichen Aufmerksamkeit gekommen. So wurde in Ingolstadt ein Holzheizkraftwerk durch einen Bürgerentscheid verhindert, weil Holzenergie angeblich nicht nachhaltig sei [8]. Auch in den öffentlich-rechtlichen Medien wie dem ZDF wurden in der Vergangenheit Aussagen getroffen, nach denen Holz „schlimmer ist fürs Klima“ als Heizöl (siehe [9]). Die Gegendarstellung etablierter Wissenschaftler in Form einer förmlichen Programmschwerde [10] sowie aktuelle gegensätzliche

Veröffentlichungen [2, 3] wurde hingegen nicht öffentlich präsentiert.

Der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) hat eine Studie vorgelegt aus der hervorgeht, dass Holzenergie künftig eine unverzichtbare, erneuerbare Energiequelle v.a. für die Prozessenergie ist und Heizöl, Kohle und Erdgas in der Industrie teilweise ersetzen kann [11]. Gleichzeitig kommen Regionalstudien zur Transformation der regenerativen Hauswärmeerzeugung zu dem Schluss, dass bei Privathaushalten der Heizöl- und Erdgasausstieg ohne eine zumindest vorübergehende Nutzung von Holzenergie nur schwer zu erreichen ist und ein sehr hohes Maß an regenerativem Strom gebraucht würde [12].

Holzenergie – was ist das?

Bei der Holzenergie spielt die Holzherkunft neben dem Energiegehalt und dem Schadstoffgehalt eine entscheidende Rolle in der

Nachhaltigkeitsbewertung. Holzenergie wird aus Waldholz, Restholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz sowie aus Importholz gewonnen.

Holz aus dem in Deutschland nachhaltig bewirtschafteten Wirtschaftswald – z.B. Industrieholz sowie Waldrestholz – kann meist stofflich und energetisch genutzt werden [1]. Resthölzer sind Koppelprodukte, die bei der weitergehenden Produktion in der Holzverarbeitenden Industrie anfallen und z.B. der Produktion von Holzpellets dienen. Am Ende des Lebenszyklus steht Holz in Form von Altholz qualitätsabhängig zur stofflichen oder energetischen Verwertung zur Verfügung. Darüber hinaus wird Energieholz im Kurzumtrieb (max. 20 Jahre) auf landwirtschaftlichen Flächen angebaut oder entlang von Verkehrswegen bei der Landschaftspflege gewonnen. Trotz sehr hoher Nachhaltigkeitsanforderungen [13] wird auch noch importiertes Energieholz in Europa eingesetzt.

Maßgebliche Qualitätsparameter für die energetische Nutzung von Holz sind der Heizwert, der Aschegehalt, der Wassergehalt und mögliche Kontaminationen (z.B. bei Altholz). Der Heizwert liegt üblicherweise bei ca. 18-19 MJ/kg (waf= wasser- und aschefrei) und wird im Wesentlichen durch den Asche- und den Wassergehalt beeinflusst. Mit höherem Aschegehalt (z.B. durch höhere Rindenanhaftung), vor allem aber mit höherem Wassergehalt verringert sich der Heizwert auf unter 10 MJ/kg. Neben dem Asche-

gehalt ist auch die Aschezusammensetzung bzgl. der Brennstoffqualität von Bedeutung. Je nach Zusammensetzung verändert sich z.B. die Verschlackungsneigung eines Brennstoffs und beeinflusst so den Instandhaltungsaufwand der Anlage oder die Staubentstehung. Bei der Verbrennung von Altholz entsteht eine erhöhte Halogen- und Schwermetallkonzentration, die eine spezielle Anlagentechnik (insbesondere Rauchgasreinigung) erfordert [14, 15].

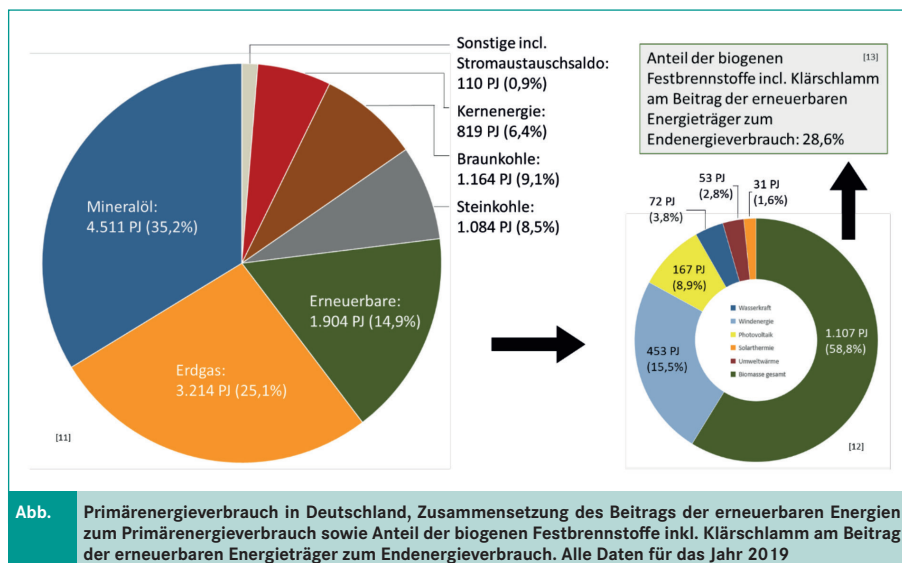
Zumeist werden in kleinen Anlagen zur Beheizung von Ein- und Mehrfamilienhäusern qualitativ hochwertige Holzbrennstoffe eingesetzt. Diese Anlagen bis 1 MW_{th} Feuerungswärmeleistung (FWL) unterliegen der 1. BImSchV und werden mit Emissionsminderungstechnologien betrieben, welche den Staubgehalt im Abgas stark reduzieren [16, 17]. Mit steigender Anlagengröße können auch qualitativ schlechtere Brennstoffe mit geringeren Brennstoffkosten und aufwändigerer Anlagentechnik eingesetzt werden. Solche Anlagen werden für die Versorgung von industriellen Prozessen sowie Nah- und Fernwärmenetzen eingesetzt und unterliegen bis zu einer FWL von <1 MW der 1. BImSchV und bis zu einer FWL von 50 MW der 4. BImSchV. Altholz darf – abhängig vom Ort des Anfalls und vom Grad der Kontamination – nur in Anlagen mit einer Genehmigung nach 1. BImSchV, 4. BImSchV oder 17. BImSchV eingesetzt werden. Alle genannten Parameter haben einen Einfluss auf die Holzpreise, die derzeit sehr volatil sind.

Künftige Bedeutung der Holzenergie – Studienreview

Eine bedeutende Eigenschaft der Holzverbrennung ist die Erzeugung hoher Temperaturen. Deshalb wurde bereits 2015 von Öko-Institut und Fraunhofer ISI [18] die Verschiebung der Biomassenutzung hin zur industriellen Wärme und zu einzelnen Industrieprozessen (Metall, Glas und Keramik) im Vergleich zur Raumwärmeerzeugung mit dem höheren systemischen Nutzen begründet. Im defossilisierten Energiesystem kann diese Prozesswärme ansonsten nur durch Strom oder Wasserstoff bereitgestellt werden. In der genannten Studie [18] wird v.a. feste Biomasse als Option der Prozessenergieerzeugung genannt. Danach reduziert sich der Einsatz fester Biomasse in Kraftwerken der öffentlichen Versorgung und in Industriekraftwerken bis 2050 auf 10 % des 2010er-Wertes und dient überwiegend der Absicherung in Reservekraftwerken. Im zweitgrößten Verbrauchssektor der privaten Haushalte sinkt nach [18] die Biomassenutzung auf 51 % des 2010er-Wertes, im deutlich kleineren GHD-Sektor verdoppelt sie sich. Insgesamt werden 2050 36 % der Biomasse im Bereich industrieller Wärme und Prozesse eingesetzt, im Bereich Kraftwerke (inkl. Industrie) noch 5 %, die Sektoren Haushalte und GHD machen zusammen 22 % aus [18].

In den Szenarien der Deutschen Energieagentur [19] wird jedoch angenommen, dass der Einsatz fester Biomasse in den Industriesektoren nur wenig ansteigt. Im Gebäudesektor geht die Nutzung fester Biomasse nach dieser Studie jedoch gleichfalls zurück [19].

In der o. g. BDI-Studie „Klimapfade für Deutschland“ [11] wird ähnlich wie in [18] der aktuelle Einsatz von Biomasse in der Erzeugung von Strom und Heizwärme aufgrund der geringen Wirkungsgrade nicht mehr als sinnvoll angesehen. Stattdessen soll feste Biomasse vor allem Nieder- und Mitteltemperaturwärme in der Industrie erzeugen. Das Hochtemperatursegment soll neben Rückverstromung durch Biomethan bedient werden. Insgesamt bedeutet der Ersatz von Erdgas und Kohle durch Biomasse für die industrielle Prozesswärme mit 28 Mt CO₂-Äqu. die größte THG-Reduktion in diesem Sektor. Holzheizungen im Wohnungssektor



sind nur noch als Nischenlösungen enthalten (3 % Wärmemarktanteil). Umfangreiche Importe (fest, gas) sind aus Akzeptanzgründen nicht vorgesehen [11].

Auch die neuere Studie „*Klimaneutrales Deutschland*“ von prognos [20] sieht die Hochtemperaturwärme- und Dampferzeugung in der Stahl- und Chemieindustrie als die zentralen Anwendungsfelder fester Biomasse der Zukunft. Da in diesen Bereichen „keine guten Alternativen bereitstehen“, soll das begrenzte Potenzial dort konzentriert werden. Gleichzeitig eignen sich „die hohen kontinuierlichen und räumlich konzentrierten Wärmebedarfe der Stahl- und chemischen Industrie“ gut für Carbon Capture and Storage (CCS), sodass nicht vermeidbare Restemissionen ausgeglichen werden können. Nach Annahmen von Prognos dienen Holzhackschnitzel 2050 zusammen mit Wasserstoff in der Rohstahlproduktion zur Synthesegasproduktion. In der chemischen Grundstoffindustrie wird feste Biomasse ab 2040 der Hauptenergieträger zur Dampferzeugung sein. Aufgrund des begrenzten Potenzials fester Biomasse kommt es in diesem Szenario zu einer signifikanten Verschiebung der Nachfrage zwischen dem Energie- (Absenkung 2016 bis 2050 von 35 % auf 7 %) und dem Industriesektor (Anstieg 2016 bis 2050 von 19 % auf 61 %) [20].

Basierend auf [20] wird im Rahmen der durch Agora Energiewende beauftragten Studie „*Klimaneutrales Deutschland 2045*“ [21] ein beschleunigtes Szenario vorgestellt, mit dem Klimaneutralität bereits im Jahr 2045 erreicht werden kann. Im Wesentlichen müssen einige der Maßnahmen früher einsetzen und Umstrukturierungen schneller als im ursprünglichen Szenario stattfinden, v.a. „in Bereichen mit prozessbedingten Kohlenstoffflüssen und sehr konzentrierter Energienachfrage an Standorten, die für CCS geeignet sind (vor allem Chemie- und Stahlindustrie)“. Dementsprechend muss auch „die Versorgung der großen Wärmebedarfe im Industriebereich mit Biomasse“ gegenüber der Basisstudie schneller erfolgen [21].

Auch in den Szenarien der RESCUE-Studie des Umweltbundesamtes [22] wird von einem Ausstieg aus der dezentralen Biomassenutzung im Wohn- und GHD-Bereich und einer Verschiebung hin zur industriellen Wärme-

erzeugung im Temperaturbereich bis 500 Grad ausgegangen. Danach wird im Jahr 2050 die gesamte energetische Wald- und Altholznutzung in diesem Bereich stattfinden. Insgesamt werden hier die Potenziale aber als sehr gering erachtet, da die Nutzung von Waldrestholz bis 2050 ausläuft und das Altholzaufkommen konstant mit 8 Mt/a angenommen wird. Die Nutzung von Anbaubiomasse läuft demnach bis 2030 aus. Grund für diese Annahmen sind Bedenken in Bezug auf die Nachhaltigkeit [22]. Das Auslaufen der Nutzung von Waldholz wird jedoch in der Studie *BioRest* des Umweltbundesamtes [1] nicht gesehen. Somit widersprechen sich diese zwei durch das Umweltbundesamt veröffentlichten Studien.

Holzenergie und Klimaschutz

Vor dem Hintergrund der heutigen Waldschäden und des Klimaschutzes ist aufgrund des z.B. in der RESCUE-Studie [22], aber auch in Veröffentlichungen von Ibsch et al. [23] geführten Diskurses, die Nachhaltigkeit der Holzenergienutzung zu bewerten, was im Rahmen dieses Beitrages nur in Bezug auf Klimanachhaltigkeit möglich ist.

Unter der Prämisse einer stofflichen und anschließenden energetischen Nutzung von Altholz („Kaskadennutzung“) wird die Klimanachhaltigkeit von Holzenergie in den untersuchten Studien überwiegend nicht in Frage gestellt, da Altholz immer ein Teil des Energiesystems ist. Die Zweifel in Bezug auf die energetische Waldholznutzung werden in einer aktuellen Veröffentlichung von 28 internationalen renommierten Wissenschaftlern [3] aufgegriffen und bewertet. So weisen viele Holzheiz(kraft)werke danach einen höheren CO₂-Ausstoß pro MJ erzeugte Energie auf als fossile Kraftwerke. Grund dafür ist u.a. die Verdampfungsenthalpie des im Holz vorhandenen Wassers.

Die Einheit CO₂/MJ als führendes Kriterium für die Klimanachhaltigkeit ist jedoch irreführend, solange noch 85 % fossile und nukleare Brennstoffe im Energiesystem vorhanden sind. Vielmehr muss das Gesamtsystem Pedosphäre, Biosphäre, Atmosphäre und Technosphäre betrachtet und die Frage beantwortet werden, ob zusätzliche CO₂-Äqu. in dieses Gesamtsystem einfließen oder nicht.

Innerhalb dieses Gesamtsystems wird durch die Verbrennung von Holz kein zusätzlicher Kohlenstoff freigesetzt, durch die Verbrennung fossiler Energie hingegen sehr wohl [3]. Dieser zusätzliche fossile Kohlenstoff muss durch technisches CCS von künftigen Generationen gespeichert werden, ohne dass hierzu Techniken bestehen, die bisher marktreife erlangt haben. Dies bedeutet also eine hohe Belastung künftiger Generationen, die nicht zuletzt das Bundesverfassungsgerichtsurteil [24] als nicht grundgesetzkonform angesehen hat.

In Bezug auf die Waldholznutzung wird in [28] behauptet, es sei besser, das Holz im Wald zu belassen, als es zu nutzen, um den Kohlenstoffspeicher im Wald stärker aufzubauen [23, 25]. Diese Position verkennt die Tatsache, dass ältere Wälder weniger schnell wachsen als jüngere. Insbesondere [25] wurde in diesem Zusammenhang wegen falscher Annahmen vom Sachverständigenrat für Waldpolitik des BMEL als „nicht für eine validierte Politikberatung geeignet“ kritisiert. Wird der Wald also in einem nachhaltig bewirtschafteten Wald durch Holzernte stetig verjüngt, ist der Zuwachs und damit die jeweils jährliche Kohlenstoffspeicherung am höchsten [26, 27]. Durch diese jährliche Kohlenstoffspeicherung wird wiederum Holz produziert, das stofflich oder energetisch genutzt werden kann und fossile Rohstoffe ersetzt. Der deutsche Wald hat bereits den Kulminationspunkt der maximalen Kohlenstoffspeicherung überschritten, da die Wälder in Deutschland zu alt sind und daher weniger Kohlenstoff absorbieren können [27].

Stoffliche Nutzung von Holz ist daher zwar in den meisten Fällen besser für das Klima als energetische Nutzung. Aber auch eine energetische Nutzung von Holz ist im Kontext einer nachhaltigen Forstwirtschaft immer noch vorteilhafter fürs Klima als die Verwendung fossiler Energien [28].

Fazit und Ausblick

Wenn Wissenschaftler überlegen, wie das Energiesystem der Zukunft aussehen kann, bilden sie Szenarien, also Wenn-Dann-Beziehungen. In den wichtigsten wissenschaftlichen Szenarien [11, 18, 20, 21] ist Holz ein bedeutender Bestandteil der zukünftigen Energieversorgung. Dies ist begründet in

der durch Holz möglichen, schnellen Erreichbarkeit von Klimaschutzzielen und den geringen Kosten im Energiesystem. Derzeit leistet Holz einen Beitrag von etwa 25 % der erneuerbaren Energien bezogen auf den Primärenergieverbrauch. Eine starke Ausweitung der Holznutzung ist jedoch aus Nachhaltigkeitsaspekten nicht möglich. Holz muss daher aus Sicht der Wissenschaft in Zukunft anders eingesetzt werden als heute, nämlich in der systemisch relevanten und höherwertigen Prozessenergie. Zur Abdeckung der Wärme in Privathaushalten kann Holzenergie, möglichst in Fernwärmenetzen, nur einen Übergang darstellen, bis der Gebäudebestand nach Effizienzkriterien überarbeitet wurde oder in Gebäuden, in denen keine Möglichkeit zur erneuerbaren Wärmeerzeugung besteht (z.B. wegen Denkmalschutz) [29]. Dieser Übergang kann jedoch noch lange dauern, da die Transformation des Gebäudebestandes sehr zeit-, ressourcen- und kostenintensiv ist und auch bis 2050 nicht umfassend realisiert sein wird [12].

Die Frage ist jedoch, wie der wissenschaftlich begründete, notwendige Wechsel des Einsatzes von Holz aus dem Gebäudesektor hin zur Prozessenergieversorgung funktionieren kann. Ein Treiber hierfür könnten die im Rahmen des EU-Emissionshandels gestiegenen CO₂-Preise auf aktuell bereits über 55 €/t CO₂ sein [30]. Können diese Kosten an die Wärmekunden weitergegeben werden, so wäre die Industrie als Abnehmer kaufkräftiger als der private Endkunde.

Eine grundlegende Herausforderung im Rahmen des Ausblicks bildet die Umsetzung der Beschlüsse des neuen Klimaschutzgesetzes [31], das durch die Bundesregierung im Juli 2021 geändert wurde. Der § 3a dieses Gesetzes führt aus, dass im Sektor der „Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft“ (Englisch „land use, land use change and forestry“ – LULUCF) die CO₂-Senkenwirkung bis 2030 25 Mio. t CO₂-Äqu betragen soll. Diese Senke sei v.a. durch den Verbleib von Holz im Wald zu erreichen. Durch diese vorgesehene Erhöhung des Waldspeichers droht der deutschen Forstwirtschaft zweierlei:

■ Perspektivisch wird der Wald durch eine faktische teilweise Stilllegung noch älter und daher weniger schnell wachsen.

■ Gleichzeitig verringert sich die Substitution von Heizöl, Kohle und Erdgas, aber auch die Produktion von Bauholz und Holzwerkstoffen, die der Wald eigentlich liefern könnte. Durch den Wegfall dieser Holzmenen droht der Holzbedarf durch (nicht nachhaltig erzeugte) Importhölzer gedeckt zu werden, der Holzpreis wird weiter steigen und das Bauen mit Holz wird unattraktiver gestaltet.

Die durch diese Gesetzgebung vorgegebene Mindernutzung des Waldes stellt eine Diskrepanz zwischen der aktuellen Nutzung, den künftigen Notwendigkeiten im Energiesystem sowie der gesetzgeberischen Realität dar. So lautet auch der Titel der Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirates für Waldpolitik des BMEL vom 22.06.2021 „Geplante Änderung des Klimaschutzgesetzes riskiert Reduktion der potenziellen Klimaschutzbeiträge von Wald und Holz“ [32]. Es wird darin ausgeführt, dass „Ein weiterer Anstieg der Biomassevorräte [...] vor dem Hintergrund der regelmäßig auftretenden Störungen eher unrealistisch“ sei. Somit kann es passieren, dass Holz, welches eigentlich als Substitution von Heizöl, Kohle und Erdgas genutzt werden könnte, als Totholz im Wald liegen bleibt, verrottet und somit Kohlenstoff ohne einen gesellschaftlichen Nutzen (stofflich und energetisch) direkt in die Atmosphäre abgegeben wird.

Insgesamt betrachtet kann aktuell eine sehr starke Polarisierung festgestellt werden, welche auf der einen Seite die Holznutzung per se in Misskredit stellt. Hier muss wieder ein Weg gefunden werden, die aus vielerlei Gründen sinnvolle Holznutzung bei Einhaltung leistbarer naturschutzfachlicher Leitplanken zu ermöglichen. Eine Zukunft mit zunehmenden Holzimporten aus forstwirtschaftlich weniger nachhaltigen Regionen der Welt sollte nicht angestrebt werden.

Literatur

[1] Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Köppen, S.; Wern, B.; Pertagnol, J.; Baur, F.; Hünecke, K.; Dehoust, G.; Bulach, W.; Wiegmann, K.: BioRest – Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor), FKZ 3716 43 102 0. Abschlussbericht, UBA 115/2019, ISSN 1862-4804.

[2] Schulte, D. S.; Sierra, C.A.; Egenwolf, V.; Woerdehoff, R.; Irlsinger, R.; Baldamus, C.; Stupak, I.; Spellmann, H.: The climate change mitigation effect of bioenergy from sustainably managed forests in Central Europe. *Global Change Biology. Bioenergy*, 2020. DOI: 10.1111/gcbb.12672.

[3] Cowie, A. L.; Berndes, G.; et al.: Applying a science-based systems perspective to dispel misconceptions about climate effects of forest bioenergy. *GCB Bioenergy* 2021; 00:1-22.

[4] AG Energiebilanzen e.V.: Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland. Stand 03/2021.

[5] AG Energiebilanzen e.V.: Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre von 1990 bis 2019. Stand September 2020.

[6] Arbeitsgruppe Erneuerbare Energie-Statistik: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Stand Februar 2021.

[7] Matschoss, P.; Wern, B.; Baur, F.: Die Rolle des Biogases in der Energiewende. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 70. Jg. (2020), Heft 10: 37-41.

[8] energie&management: Holz: „Bürgerentscheid kippt Audis Pläne für ein Holzkraftwerk“, online abgerufen am 22.07.2021 unter www.energie-und-management.de

[9] „Klimaschutz auf dem Holzweg: Wird unser Wald verheizt?“, *Frontal 21* vom 31.03.2020, ZDF, Abrufbar unter ZDF, <https://www.zdf.de/politik/frontal/holzverbrennung-100.html>, abgerufen am 22.07.2021

[10] Irlsinger, R.; Bemann, A.; Schulze, E.-D.: Förmliche Programmbeurteilung betr. *Frontal21* vom 31.03.2020.

[11] Boston Group & Prognos: Klimapfade für Deutschland. Abschlussbericht im Auftrag des BDI, 2018, downloadbar unter bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/

[12] Wern, B.; Baur, F.; Noll, F.; Vogler, C.; Mees, M.; Steinert, M.; Wiedemeyer, N.; Beyer, S.; Hill, A.; Gebauer, M.; Paschinger, T.; Kornmann, A.; Menke, C.; Barton, M.: Wärmestudie Region Eifel und Trier. Abschlussbericht im Auftrag des rheinland-pfälzischen Umweltministeriums, 2016. DOI: 10.13140/RG.2.2.19140.58242.

[13] IEA Bioenergy Margin potential for a longterm sustainable wood pellet supply chain. IEA Bioenergy Task 40: 5/2019.

[14] DIN EN ISO 17225-1: Biogene Festbrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO 17225-1:2014).

[15] Kollmann, F.: Holz und Feuchtigkeit Teil 2: Freies Wasser, Schwinden und Quellen, Eigenschaftsänderungen, Holzfeuchtigkeit und Schädlinge, *Heizwert. Holz-Zentralblatt*, 1982, S. 1428–1429.

- [16] Baumgarten, B.; Grammer, P.; Ehard, F.; Winkel, O.; Vogt, U.; Baumbach, G.; Scheffknecht, G.; Thorwarth, H.: Evaluation of a metal mesh filter prototype with wet regeneration. Biomass Conversion and Biorefinery, 2021.
- [17] Berhardt, A.; Letzsovits, F.; Groß, B.: Integrated Electrostatic Precipitator for Small-Scaled Biomass Boilers. Chemical Engineering & Technology, 40(2) 2017, 278-288.
- [18] Öko-Institut und Fraunhofer ISI: Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht. Studie im Auftrag des BMU. Berlin, 18.12.2015.
- [19] Dena (Hg.): Dena-Leitstudie integrierte Energiewende. Stand: 07/2018.
- [20] Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut: Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität, 2020.
- [21] Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut: Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Ziele schon vor 2050 erreichen kann. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, 2021.
- [22] UBA: Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE-Studie. Umweltbundesamt 36/2019. Dessau/Roßlau 2019.
- [23] Ibisch, P.; Welle, T.; Blumroeder, J.; Sturm, K.: „Wie das Klimanarrativ die Wälder bedroht.“ In: Der Holzweg. Wald im Widerstreit der Interessen, Dezember 2020.
- [24] Bundesverfassungsgerichtsurteil im Rahmen der „Verfassungsbeschwerden gegen das Klimaschutzgesetz“, BVerfG, Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021. – 1 BvR 2656/18 –, Rn. 1-270, http://www.bverfg.de/rs20210324_1bvr265618.html, Abruf 12.08.2021.
- [25] Böttcher, H.; Hennenberg, K.; Winger, C. (Öko-Institut e.V. im Auftrag von Greenpeace): „Waldvision Deutschland: Beschreibung von Methoden, Annahmen und Ergebnissen, Berlin, 26. Februar 2018.
- [26] Rütters, S.; Rock, J.; Köthke, M.; Dieter, M.: Wieviel Holznutzung ist gut fürs Klima? AFZ-DerWald15/2011, S. 19-21.
- [27] Hennig, P.; Schnell, S.; Riedel, T.: Produktivität der Wälder. AFZ-DerWald 14/2019. Themenbereich Waldökologie und Kohlenstoffinventur, 2017.
- [28] Wern, B.; Kay, F.; Vogler, C.; Baur, F.; Gärtner, S.; Hienz, G.; Keller, H.; Müller-Lindenlauf, M.; Stockmann, F.; Wenzelides, M.; Hagemann, H.; Schulte, A.: Regionale Konzepte zum Ausbau der Bioenergieerzeugung aus Holz – nachhaltige und energieeffiziente Strategieentwicklung unter besonderer Berücksichtigung der Holzkaskadennutzung. Abschlussbericht, Saarbrücken, Münster, Heidelberg, 2014. DOI: 10.13140/RG.2.2.28750.61764.
- [29] Wern, B.; Lenz, V.; Sperber, E.; Saadat, A.; Schmidt, D.; Engelmann, P.; Hering, D.; Xhonneux, A.; Giovannetti, F.; Schmidt, F.; Jordan, M.; Strunz, S.; Ebert, H.-P.: Wärmebereitstellung in Privathaus-
- halten – Lösungen für eine CO₂-freie Energiebereitstellung. In: Tagungsband der FVEE Tagung „Lösungsbeiträge zur Energiesystemtransformation“, Hrsg.: ForschungsVerbund Erneuerbare Energien, Berlin 2020.
- [30] <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/auction-market>, ausgelesen für die Market Area Deutschland am 06.08.2021, Abruf am 10.08.2021
- [31] BMU: „Lesefassung des Bundes-Klimaschutzgesetzes 2021 mit markierten Änderungen zur Fassung von 2019“, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/ksg_aendg_2021_3_bf.pdf, Abruf: 12.08.2021.
- [32] Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirates für Waldpolitik des BMEL vom 22.06.2021: „Geplante Änderung des Klimaschutzgesetzes riskiert Reduktion der potenziellen Klimaschutzbeiträge von Wald und Holz.“

Prof. Dr. H. Thorwarth, Hochschule für Forstwirtschaft, Rottenburg; Prof. F. Baur, wiss. Leiter IZES gGmbH, Saarbrücken; Dr. P. Matschoss, wiss. Mitarbeiter IZES gGmbH, Berlin; F. Scholl, ehemaliger Holzeinkäufer für Kraftwerke; C. Vogler, wiss. Mitarbeiterin, B. Wern, Arbeitsfeldleiter Stoffströme des Instituts für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) gGmbH, Saarbrücken wern@izes.de

NEWS | MAGAZINE | JOBS | MARKTPARTNER | TERMINE



www.energie.de/marktpartner

Mit interaktiver Map

Das Portal der Energiewirtschaft

energie.de