TEXTE
15/2023

Abschlussbericht

Energetischer Holzverbrauch der privaten Haushalte

Projektkurztitel: Energieholz PHH

von:
Dr. Dominik Jochem, Christian Morland, Dr. Sebastian Glasenapp, Dr. Holger Weimar
Thünen-Institut für Waldwirtschaft

Herausgeber:
Umweltbundesamt

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

TEXTE 15/2023

EVUPLAN des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz

Forschungskennzahl FKZ 37EV 20 101 1

FB000993

Abschlussbericht

Energetischer Holzverbrauch der privaten Haushalte

Projektkurztitel: Energieholz PHH

von

Dr. Dominik Jochem, Christian Morland, Dr. Sebastian Glasenapp, Dr. Holger Weimar

Thünen-Institut für Waldwirtschaft

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

Durchführung der Studie:
Thünen-Institut für Waldwirtschaft
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg

Abschlussdatum:
April 2022

Redaktion:
Fachgebiet V 1.5 - Energiedaten, Geschäftsstelle der Arbeitsgruppe
Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat.)
Sven Schneider

Publikationen als pdf:
http://www.umweltbundesamt.de/publikationen

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Januar 2023

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Energetischer Holzverbrauch der privaten Haushaltenergetischer Holzverbrauch der privaten Haushalte

Das Vorhaben hat zum Ziel, den Holzverbrauch zur Wärmeerzeugung in Privathaushalten im Jahr 2020 empirisch zu ermitteln. Die Datenerhebung basiert auf einer Befragung von ca. 10.000 Haushalten. Zudem soll, ausgehend von den Ergebnissen zum Jahr 2020 und den bisherigen Detailerhebungen des „Rohstoffmonitoring Holz“ zum Energieholzverbrauch in Privathaushalten für die Jahre 2005, 2010, 2014 und 2018 eine Zeitreihe für den Zeitraum 2005 bis 2020 erstellt werden. Die Ergebnisse werden anschließend umfassend in bestehende Daten eingeordnet, plausibilisiert und in das bestehende Modell der Einschlags-Rückrechnung (ESRR) des Thünen Institut für Waldwirtschaft (TI-WF) einbezogen.

Abstract: Wood energy consumption in private households

The main objective of the project is to empirically determine the wood consumption for heat generation in private households in 2020. About 10,000 households were enquired to report their annual consumption of wood energy. Based on the results for the year 2020 and previous surveys of the "wood resource monitoring" on wood energy consumption in private households for the years 2005, 2010, 2014 and 2018, a time series was created for the period 2005 to 2020. Results were evaluated and discussed as well as included in an existing model developed at the Thünen Institute of Forestry (TI-WF) to estimate fellings based on roundwood consumption in Germany.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 9
Tabellenverzeichnis 9
Abkürzungsverzeichnis 12
Zusammenfassung 13
Summary 20
1 Einleitung 26
1.1 Hintergrund und Literatur 26
1.2 Abgrenzung des Energieholzverbrauchs der privaten Haushalte zu anderen Nutzungen 27
2 Haupteinflussfaktoren auf den Umfang der Brennholznutzung 29
2.1 Anzahl der Energieholzverwender 29
2.2 Nutzerverhalten 29
2.3 Witterung 30
2.4 Energiepreise 32
2.5 Ausprägung des Wohngebäudes 35
2.6 Sonstige Einflussfaktoren 35
2.7 Wechselwirkungen der Einflussfaktoren 36
3 Methodik 37
3.1 Grundgesamtheit 2020 37
3.2 Befragungs- und Stichprobendesign 40
3.3 Erhebungsdurchführung, Datenaufbereitung, Gewichtung und Hochrechnung 42
3.4 Datenaufbereitung, Extremwertbereinigung und Imputation 45
3.5 Einzelfallbereinigung 46
3.6 Umrechnungsfaktoren 49
3.7 Statistiken zur Berechnung der Brennholznutzer und -verwendung 51
4 Ergebnisse 54
4.1 Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen 54
4.1.1 Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen nach Hochrechnungsgruppen 54
4.1.2 Anzahl der Brennholznutzer nach Holzsortimenten 55
4.1.3 Unterscheidung von Waldscheitholz nach Holzarten und Derbholzanteil 55
4.1.4 Verbreitung nach Art der Holzheizung 56
4.1.5 Verbreitung nach Gebäudeart und Brennholzsortimenten 58
4.2 Spezifischer und absoluter Brennholzverbrauch 59
4.2.1 Brennholzverbrauch nach unterschiedlichen Holzsortimenten 59

4.2.2 Brennholzverbrauch nach Waldscheitholzarten ... 60
4.2.3 Brennholzverbrauch nach Hochrechnungsgruppen ... 61
4.2.4 Brennholzverbrauch nach Art der Holzheizung ... 62
4.3 Weitere Aspekte der energetischen Brennholzverwendung ... 63
4.3.1 Brennholzverbrauch nach Ortsgruppen ... 64
4.3.2 Brennholzverbrauch nach sozio-ökonomischen Aspekten ... 64
4.3.3 Bezugsquellen des Waldscheitholzverbrauches ... 67
5 Modellierung einer Zeitreihe und Diskussion ... 69
5.1 Modellierung der Zeitreihe von 1994 bis 2020 ... 69
5.1.1 Bestehendes Teilmodell der Thünen-ESRR zur Schätzung des Brennholzverbrauchs in privaten Haushalten ... 69
5.1.1.1 Abhängige und unabhängige Variablen ... 70
5.1.1.2 Modellspezifikationen ... 73
5.1.1.3 Modellergebnisse (inkl. der empirischen Daten) vor Implementierung der neuen Ergebnisse für das Jahr 2020 ... 73
5.1.2 Implementierung der Ergebnisse für 2020 in das Thünen-Modell ... 74
5.1.2.1 Abhängige Variablen und Modellanpassung ... 74
5.1.2.2 Modellergebnisse mit neuem Datenpunkt im Vergleich zum Vormodell ohne neuen Datenpunkt ... 75
5.1.3 Mögliche Modifikationen des bestehenden Modells ... 77
5.1.3.1 Hintergrund ... 78
5.1.3.2 Witterung ... 78
5.1.3.3 Preisindex der konventionellen Energieträger ... 80
5.1.3.4 Modellparameter nach Modifikationen ... 82
5.1.4 Vergleich der Modelle ... 82
5.1.5 Quantifizierung des Modellfehlers ... 84
5.2 Diskussion ... 86
5.2.1 Methodendiskussion ... 86
5.2.2 Ergebnisdiskussion und -einordnung in der Zeitreihe ... 87
5.2.2.1 Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen im Zeitverlauf ... 87
5.2.2.2 Durchschnittlicher Brennholzverbrauch von Brennholzverbrauchern im Zeitverlauf ... 91
5.2.2.3 Brennholzverbrauch im Zeitverlauf ... 93
5.2.2.4 Corona-Pandemie als möglicher Einflussfaktor auf den Holzverbrauch ... 95
6 Ausblick ... 98
7 Quellenverzeichnis ... 100

8 Danksagung 103
A Anhang (Fragebogen) 104
B Anhang 111

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Jährliche Heizgradtage in Deutschland im Zeitraum 2011 bis 2020 31
Abbildung 2: Jährliche Eistage und Frosttage für Deutschland im Zeitraum 2011 bis 2020 32
Abbildung 3: Preisindex Holzprodukte zur Energieerzeugung 34
Abbildung 4: Verbraucherpreisindizes verschiedener Energieformen 35
Abbildung 5: Entwicklung des Holzzentralheizungsanteils nach Bewohnergruppen 39
Abbildung 6: Verteilung der Hochrechnungsfaktoren 45
Abbildung 7: Von den Rohdaten bis zur Einzelfallprüfung 47
Abbildung 8: Datenpunkte zur energetischen Verwendung hölzerner Biomasse in privaten Haushalten im Zeitraum von 1994 bis 2020 70
Abbildung 9: Modellergebnisse (inkl. der empirischen Daten) zur Verwendung hölzerner Biomasse in privaten Haushalten vor Implementierung der neuen Ergebnisse 74
Abbildung 10: Modellergebnisse (inkl. der empirischen Daten) im Vergleich 76
Abbildung 11: Modellergebnisse im Vergleich 83
Abbildung 12: Modellergebnisse (inkl. empirische Ergebnisse) im Zeitverlauf von 1994 bis 2020 sowie Modellunsicherheiten und Stichprobenfehler 2020 85
Abbildung 13: Energetischer Brennholzverbrauch in den Jahren 2010, 2014, 2018 und 2020 in Mio. m³ 94
Abbildung 14: Heizgradtage im Jahr 2020 pro Monat sowie Maßnahmen zur Eindämmung der Corona-Pandemie 96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grundgesamtheit für 2018 und 2020 nach Hochrechnungsgruppen 40
Tabelle 2: Beobachtungen aus der Erhebung nach Sortimenten 48
Tabelle 3: Beobachtungen aus der Erhebung nach Hochrechnungsgruppen 49
Tabelle 4: Umrechnungsfaktoren Originaleinheit zu Kubikmeter 50
Tabelle 5: Anzahl der angegebenen Einheiten in der Befragung nach Energieholzsortimenten 50
Tabelle 6: Verbreitung der Energieholznutzung nach den Hochrechnungsgruppen (Anzahl Wohnungen) 54
Tabelle 7: Verbreitung der Brennholznutzer nach verwendetem Brennholzsortiment 55
Tabelle 8: Verbreitung nach Waldscheitholzart 56

Tabelle 9: Verbreitung der Brennholznutzung nach Art der Holzheizung (in Mio. Wohnungen) 57
Tabelle 10: Verbreitung der Energieholznutzung (in Mio. Wohnungen) nach verwendetem Brennholzsortiment und Art der Holzheizung 57
Tabelle 11: Verbreitung der Brennholznutzung nach Gebäudeart und Brennholzsortimenten....58
Tabelle 12: Gesamter Brennholzverbrauch und durchschnittlicher Brennholzverbrauch pro Wohnung mit Brennholznutzung 59
Tabelle 13: Brennholzverbrauch nach Brennholzsortimenten 60
Tabelle 14: Verbrauch nach Waldscheitholzarten 61
Tabelle 15: Brennholzverbrauch nach Hochrechnungsgruppen....61
Tabelle 16: Brennholzverbrauch nach Hochrechnungsgruppen und Art der Heizung (in Mio. m³)....62
Tabelle 17: Absoluter und spezifischer Brennholzverbrauch nach verwendetem Sortiment und Feuerungsanlage (in Mio. m³) ..63
Tabelle 18: Brennholzverbrauch nach Ortsgruppen....64
Tabelle 19: Brennholzverbrauch nach Lebenszyklen/ Familienstand....64
Tabelle 20: Brennholzverbrauch nach Nettoeinkommensgrößenklassen..65
Tabelle 21: Brennholzverbrauch nach Altersgrößenklassen (Haupteinkommensbezieher)....66
Tabelle 22: Brennholzverbrauch nach Berufsgruppen....66
Tabelle 23: Brennholzverbrauch nach Haushaltsgröße 67
Tabelle 24: Brennholzverbrauch nach Waldbesitztyp 67
Tabelle 25: Brennholzverbrauch nach Bezugsquelle 68
Tabelle 26: Abhängige und unabhängige Variablen im bestehenden Modell der TI-ESRR 72
Tabelle 27: Modellparameter: Modell der TI-ESRR (ohne den neuen empirischen Datenpunkt für 2020) 73
Tabelle 28: Abhängige Variable von 1994 bis 2020 75
Tabelle 29: Modellparameter: Modell der Thünen-ESRR (mit dem neuen Datenpunkt für 2020)....75
Tabelle 30: Modellergebnisse (inkl. der Ergebnisse aus emp. Erhebungen) im Vergleich....76
Tabelle 31: Neue unabhängige Variable für die Witterung 79
Tabelle 32: Neue unabhängige Variable für den gewichteten Preisindex konventioneller Brennstoffe 81
Tabelle 33: Modellparameter: Angepasstes Modell der TI-ESRR 82
Tabelle 34: Modellergebnisse (inkl. Ergebnisse empirischen Erhebungen) im Vergleich....83
Tabelle 35: Modellparameter: Angepasstes Modell der Thünen-ESRR mit Konfidenzintervallen....85

Tabelle 36: Anzahl der Brennholzverbraucher nach verwendeten Brennholzsortimenten von 2010 bis 2020 (in Mio. Wohnungen) 88
Tabelle 37: Anzahl der Brennholzverbraucher nach Gebäudeart und Art der Feuerungsstätte von 2018 bis 2020.....88
Tabelle 38: Pelletkessel und Pelletöfen nach Studienergebnissen und DEPV 90
Tabelle 39: Brennholzverbrauch von 2018 bis 2020 pro Wohnung mit Brennholzverbrauch je Hochrechnungsgruppe (in Mio. m³)....91
Tabelle 40: Brennholzverbrauch von 2018 bis 2020 pro Wohnung mit Brennholzverbrauch je Sortiment (in m³) 91
Tabelle 41: Durchschnittlicher Brennholzverbrauch von Wohnungen mit Brennholzverbrauchnach Hochrechnungsgruppen in m³ 92
Tabelle 42: Durchschnittlicher Brennholzverbrauch von Wohnungen mit Brennholzverbrauch nach Brennholzsortimenten in m³.....92
Tabelle 43: Verbrauch von Brennholzsortimenten in den Jahren 2010, 2014, 2018 und 2020 (in Mio. m³).....94

Abkürzungsverzeichnis

AGEE-Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
atro	Absolut trocken
EFA	European Forest Accounts
ESRR	Einschlagsrückrechnung des TI-WF
Eurostat	Statistisches Amt der Europäischen Union
EG	Europäische Gemeinschaft
EU	Europäische Union
ERF	Einzelraumfeuerungen
FM	Festmeter
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
IRENA	International Renewable Energy Agency
IEA	International Energy Agency
JWEE	Joint Wood Energy Enquiry
JFSQ	Joint Forest Sector Questionnaire
JAQ	Joint Annual Energy Questionnaire for Renewables and Wastes
KI	Konfidenzintervall
lutro	Lufttrocken
PHH	Privathaushalte
TI-WF	Thünen-Institut für Waldwirtschaft
TWh	Terawattstunde
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
ZIV	Der Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband

Zusammenfassung

Im Wärmesektor spielt Biomasse eine wichtige Rolle. Der Holzverbrauch macht dabei den größten Anteil an der Biomasse zur Wärmeproduktion in Deutschland aus. Es ist anzunehmen, dass Holzrohstoffe und Brennholzprodukte auch in Zukunft eine bedeutende Rolle bei der Versorgung der Bundesrepublik Deutschland mit erneuerbarer Wärme spielen. Dabei kann die energetische Nutzung von regional gewonnenen Holzrohstoffen einen Beitrag zur Versorgungssicherheit und Wertschöpfung im ländlichen Raum leisten. Zudem kann Holzenergie einen positiven Klimaschutzbeitrag leisten, wenn der Rohstoff aus nachhaltiger Erzeugung (insb. von stofflich nicht verwertbaren Holzreststoffen) stammt und durch dessen Verwendung andere Brennstoffe mit nachteiliger Treibhausgasbilanz ersetzt werden. Umso wichtiger ist die vollumfängliche Erfassung der Verwendung von Holz (einschl. der energetischen Nutzungen) in Statistiken und nationalen sowie internationalen Berichterstattungen. Dies dient zum einen der Vollständigkeit der Statistiken und zum anderen dient es dazu im internationalen Vergleich die Entwicklungen der Holznutzung und erneuerbaren Energien detailliert beschreiben zu können. Auf Grundlage einer guten Datenbasis können dann Entwicklungsziele definiert und mögliche Fehlentwicklungen bei der Zielerreichung analysiert bzw. darauf reagiert werden.

Einflussfaktoren auf den energetischen Holzverbrauch

Der Energieholzverbrauch in Privathaushalten wird durch eine Vielzahl direkter und indirekter Faktoren beeinflusst. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird der Einfluss ausgewählter Faktoren untersucht. Hierzu zählen u. a. die Anzahl der Energieholzverwender, das Nutzerverhalten, die Witterung sowie die Energieholzpreise und Preise für konventionelle Energieträger. Die genannten und ggf. auch weitere, unbekannte Einflussfaktoren beeinflussen gemeinsam die Höhe der Brennholzverwendung in privaten Haushalten.

Einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf den gesamten Energieholzverbrauch in privaten Haushalten in Deutschland ist die Anzahl der Wohnungen, in denen Brennholzsortimente zu Heizzwecken verwendet werden. Grundlegende Annahme ist, dass der Holzverbrauch steigt, je mehr Menschen Brennholzsortimente für Heizzwecke verwenden.

Neben der Anzahl der Energieholzverwender spielt auch deren Nutzungsverhalten eine wesentliche Rolle für die Höhe der Brennholzverwendung. Das Heizverhalten wird u. a. durch die technische Auslegung von Feuerungsanlagen bestimmt. Holzzentralheizungen sind für das Heizen der gesamten Wohnfläche ausgelegt, wohingegen Einzelraumfeuerungen eher einen einzelnen Raum sowie evtl. angrenzende Bereiche heizen sollen. Ferner kann das individuelle Wärmeempfinden des Bewohners bzw. der Bewohner und die Möglichkeit mit verschiedenen Energieträgern Wärme zu erzeugen, die Nutzung von Holzfeuerungsanlagen beeinflussen. Dies führt zu teilweise deutlichen Unterschieden beim durchschnittlichen Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen. Ein weiterer Haupteinflussfaktor auf die Energieholzverwendung in privaten Haushalten ist die Witterung. Allgemein gilt, je niedriger die Außentemperatur, desto höher ist der Brennholzverbrauch. Ebenfalls Einfluss haben sowohl die Preise konventioneller Brennstoffe als auch die Preise der verschiedenen Energieholzsortimente. Die theoretische Wirkung des Brennholzpreises auf die Nutzung von Brennholzsortimenten sollte negativ sein, d. h. wenn die Preise für Brennholz steigen, sollte die Nachfrage in privaten Haushalten sinken.

Neben den beschriebenen Faktoren hat auch die bauliche Beschaffenheit bzw. die Ausprägung des Wohngebäudes einen Einfluss auf die Höhe der Brennholzverwendung. Dies betrifft insbesondere die Wärmedämmung der Außenwände, der Fenster und des Daches. Bei konstanten sonstigen Einflussfaktoren (d. h. *ceteris paribus*) gilt: Je besser die Wärmedämmung

der genannten Gewerke, desto geringer ist der Brennholzeinsatz. Ferner hat auch die Größe der zu beheizenden Wohnung einen relevanten Einfluss. Der Holzverbrauch steigt *ceteris paribus* mit zunehmender Wohnfläche. Neben diesen beschriebenen Einflussfaktoren gibt es zahlreiche weitere Faktoren, wie z. B. die Größe des Haushaltes, die Höhe des Haushaltseinkommens, das Alter des Haupteinkommensbeziehers und bspw. der Zugang zu Brennholz. Ferner gibt es auch besondere temporäre Einflussfaktoren, wie die Corona-Pandemie im Jahr 2020 und die daraus resultierenden Maßnahmen, wie z. B. die Homeoffice-Pflicht und Kontaktbeschränkungen, die den Energieholzverbrauch im Jahr 2020 beeinflusst haben könnten. In Ermangelung an empirischen Daten im Zeitverlauf kann dieser Faktor allerdings nur theoretisch betrachtet werden. Grundsätzlich ist anzunehmen, dass die Reduktion von sozialen Kontakten und der vermehrte Aufenthalt in Innenräumen während der Lockdown-Phasen zu einem erhöhten Heizbedarf in privaten Haushalten führte, wenn unter regulären Bedingungen bzw. in Vor-Pandemie-Zeiten von einem effizienten Nutzerverhalten ausgegangen wird (d. h. Reduktion der Heizlast beim Verlassen der Wohnung). Sofern diese Annahme Bestand hat, könnte auch der Brennholzbedarf, insbesondere für Holzzentralheizungen, pandemiebedingt höher ausgefallen sein. Da sich u. a. die Witterungsbedingungen der Jahre 2020 und 2019 unterscheiden und keine empirischen Daten für das Jahr 2019 vorliegen, ist eine detaillierte Bewertung des Einflussfaktors „Corona-Pandemie“ nicht möglich. Einen indirekten Effekt könnten die Entwicklungen der Preise für konventionelle Energieträger (insb. Rohölpreise) haben. Der Rohölpreis sank durch den Beginn der weltweiten Maßnahmen zur Eindämmung der Corona-Pandemie sehr stark, da die Nachfrage nach Rohöl bedeutend zurück ging. Dies wiederum ließ auch den Preis für leichtes Heizöl ab April 2020 erheblich sinken und hatte zur Folge, dass konventionelle Energieträger im Jahr 2020 aus finanzieller Sicht an Attraktivität gewannen. Im gleichen Zuge fielen allerdings auch kalamitätsbedingt die Rohholzpreise deutlich.

Ziel und Methodik der vorliegenden Studie

Vor dem Hintergrund der hohen Relevanz der energetischen Holzverwendung im Haushaltssektor für den gesamten Wärmesektor bei gleichzeitig hoher Volatilität in der Verwendung, besteht das Ziel der hier durchgeführten Studie darin, den energetischen Holzverbrauch in privaten Haushalten, der über amtliche Statistiken nicht ermittelt wird, für das Jahr 2020 möglichst genau empirisch zu erfassen. Damit schließt die Studie an Vorarbeiten aus dem Projekt Rohstoffmonitoring Holz sowie Untersuchungen, die auf diesem Projekt basieren, an. Im Rohstoffmonitoring Holz werden die Verwendung und Aufkommen des Rohstoffs Holz (z. B. Waldholz, Landschaftspflegeholz, Restholz und Altholz) fortlaufend und überwiegend empirisch erfasst.

Als methodische Grundlage zur Erfassung des energetischen Holzeinsatzes in privaten Haushalten diente eine zufällige Stichprobenbefragung von ca. 10.000 Haushalten. Da der Fokus der vorliegenden Studie auf der energetischen Verwendung von Brennholzsortimenten in privaten Haushalten liegt, wurden bei der Befragung die privaten Haushalte von den gewerblichen oder kommunalen Brennholznutzern getrennt. Befragte, die nicht den privaten Haushalten zuzuordnen sind, wurden über geeignete Fragen in der Auswertung der Ergebnisse ausgeschlossen. Problematisch waren bislang insbesondere Mischnutzungen, d. h. die gleichzeitige Nutzung von Holzenergie für private und gewerbliche Zwecke (z. B. bei landwirtschaftlichen Betrieben). Sofern Befragte keine eindeutige Abgrenzung vornehmen konnten, wurden im Rahmen dieser Studie jegliche Mischnutzungen mit Hilfe von Zusatzfragen aus den Ergebnissen ausgeschlossen. Schlussendlich wurden ausschließlich Wohnungen in Wohngebäuden erfasst, da nur für diesen Sektor eine ausreichende Datenbasis zur Hochrechnung vorliegt.

Die Stichprobenbefragung der Haushalte in Deutschland wurde von einem Dienstleister (Kantar GmbH) durchgeführt. Der dafür verwendete Fragebogen wurde in Anlehnung an die bisherigen Studien des Rohstoffmonitorings Holz und dem Mikrozensus entwickelt. Insgesamt wurden bis zu 45 Merkmale abgefragt. Diese können in vier Kategorien zusammengefasst werden: (1) Informationen zum Haushalt, (2) Informationen zur Wohnung, (3) Informationen zum Heizungssystem, (4) Informationen zur Brennholznutzung. Um den Befragten die Frage nach dem konkreten Holzverbrauch zu erleichtern, wurde die Möglichkeit im Fragebogen platziert, gebräuchliche Einheiten zum Holzverbrauch zu wählen. Um im Nachhinein eine vergleichbare Grundlage über alle Sortimente zu erhalten, wurden alle Angaben in Kubikmeter umgerechnet.

Die online-Befragung fand vom 30. April bis zum 20. Mai 2021 statt. Es wurden insgesamt über 10.500 Zielpersonen befragt, die Angaben zu über 12.000 Wohnungen machten. Die Rekrutierung der Zielpersonen lief über ein Payback-Online-Panel. Bei der Stichprobenziehung wurden folgende Merkmale berücksichtigt und ausgesteuert, um bereits in der Nettostichprobe diverse Häufigkeitsverteilungen aus der Grundgesamtheit abzubilden: Bundesland, siedlungsstrukturelle Kreistypen gemäß Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Altersgruppen, Geschlecht und Haushaltsgröße. Nach der Befragung nahm der Dienstleister eine erste Datenbereinigung zur Eliminierung offensichtlich unplausibler Angaben von Befragten sowie eine erste Imputation fehlender Angaben mittels Hot-Deck Verfahren vor. Hierbei werden die fehlenden Werte durch die zufällige Ziehung eines beobachteten Wertes aus einer ähnlichen Gruppe ersetzt. Da der Holzverbrauch maßgeblich von der Wohnungsfläche abhängt, war zunächst jedoch für alle Beobachtungen der Verbrauch pro Quadratmeter zu berechnen, damit dieser Wert später auf die jeweilige Wohnungsfläche umgerechnet werden konnte. Nach dieser ersten Datenbereinigung wurden weiterhin unplausible Ergebnisse in einer detaillierten Einzelfallprüfung von Experten analysiert und ggf. durch Imputation ersetzt. Abschließend folgte die Hochrechnung der Ergebnisse auf die Grundgesamtheit in Deutschland. Zur Sicherstellung der Repräsentativität der Ergebnisse, wurden die Befragungsergebnisse dabei auf Basis von Informationen zur Grundgesamtheit gewichtet.

Informationen zur Grundgesamtheit leiten sich aus dem Mikrozensus mit dem Zusatzprogramm „Wohnen in Deutschland“ ab. Definiert ist die Grundgesamtheit als alle bewohnten Wohnungen in Wohngebäuden (ohne Wohnheime) in Deutschland. Im Jahr 2018 lag dieser Wert bei 36,927 Millionen Wohnungen. Da offizielle Daten zur Grundgesamtheit für das Jahr 2020 noch nicht vorlagen, wurden die Daten aus dem Mikrozensus zum Jahr 2018 u. a. mithilfe der Bautätigkeitsstatistik bis zum Jahr 2020 fortgeschrieben. Frühere Studien haben bereits gezeigt, dass der Brennholzverbrauch nicht homogen über alle Wohnungen verteilt ist. So ist beispielsweise der Brennholzeinsatz in Wohnungen mit Zentralheizung, die Holz als primäre Energiequelle nutzen, höher als der Brennholzeinsatz in Wohnungen ohne Holzzentralheizungen. Um die Unterschiede der Brennholzverwendung besser zu berücksichtigen, wurde die Grundgesamtheit in Anlehnung an die früheren Studien in fünf Gruppen (Hochrechnungsgruppen) unterteilt und entsprechend hochgerechnet.

Hauptergebnisse

Ein wesentliches Ergebnis der vorliegenden Studie ist, dass im Jahr 2020 in insgesamt 5,5 Mio. Wohnungen Brennholzsortimente zum Heizen verwendet wurden. Im Vergleich zur Vorstudie zum Jahr 2018 liegt dieser Wert niedriger. So wurden im Jahr 2018 etwa 6,6 Mio. Wohnungen vollständig oder teilweise mit Holz beheizt. Auch beim Vergleich zu den Daten des Mikrozensus von 2018 ist ein Rückgang der mit Holz beheizten Wohnungen zu beobachten. Es zeigt sich ferner, dass 1,08 Mio. Wohnungen bzw. rund jede fünfte mit Holz beheizte Wohnung über eine Holzzentralheizung verfügte. Die übrigen 4,4 Mio. mit Holz beheizten Wohnungen verfügten über keine Holzzentralheizung. Bei dieser Gruppe kann zwischen Wohnungen in Ein-/Zwei- und

Mehrfamilienhäusern unterschieden werden, die von Eigentümern und Mietern bewohnt werden. In 4,0 Mio. Wohnungen in Ein- oder Zweifamilienhäusern (73 %) wurde Brennholz verwendet. Hiervon lassen sich mit 3,46 Mio. Wohnungen die meisten Brennholznutzer den Eigentümern zuordnen, während etwas über eine halbe Millionen Wohnungen ohne Holzzentralheizung in Ein- oder Zweifamilienhäusern von Mietern bewohnt wurden. Im Vergleich dazu waren Brennholznutzer in Mehrfamilienhäusern, ohne Holzzentralheizung, mit insgesamt 400.000 Wohnungen, weniger stark verbreitet. Mit 280.000 Wohnungen wurde dabei der Großteil der mit Holz heizenden Wohnungen von Mietern bewohnt, während 120.000 Wohnungen von Eigentümern bewohnt wurden.

Ein weiteres Ergebnis der Studie ist, dass im Jahr 2020 in jeder mit Holz beheizten Wohnung im Durchschnitt 5,08 m^3 Holz eingesetzt wurden. Wird der Einsatz differenziert nach Brennholzsortimenten betrachtet, zeigen sich teilweise große Unterschiede. So ist der durchschnittliche Einsatz pro Wohnung mit 5,46 m^3 bei den Holzpellets aufgrund des häufigen Einsatzes in Zentralheizungen am größten, gefolgt von Waldscheitholz mit Rinde (4,14 m^3). Der Verbrauch pro Wohnung in den restlichen Brennholzsortimenten liegt jeweils zwischen 2,35 m^3 für Waldscheitholz ohne Rinde und 0,38 m^3 für Anzündholz. In Wohnungen mit Holzzentralheizungen (9,03 m^3) wurde durchschnittlich deutlich mehr Holz genutzt, als in mit Holz beheizten Wohnungen ohne Holzzentralheizung (4,19 m^3).

Insgesamt wurden im Jahr 2020 in den Wohnungen 26,95 Mio. m^3 Holzbrennstoffe eingesetzt. Dieser Wert ist mit einem statistischen Fehler behaftet. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt der „wahre“ Wert zwischen 23,76 Mio. m^3 und 30,14 Mio. m^3. Von den 26,95 Mio. m^3 Holzbrennstoffen wurden 18,10 Mio. m^3 in mit Holz beheizten Wohnungen ohne Holzzentralheizung und 8,85 Mio. m^3 in Wohnungen mit Holzzentralheizung eingesetzt. Im Jahr 2010 lag der empirisch erhobene Holzverbrauch vermutlich aufgrund der kalten Witterung bei 31,99 Mio. m^3, im Jahr 2018 bei 28,2 Mio. m^3. Absolut betrachtet war der Einsatz von Waldscheitholz mit Rinde im Vergleich zu allen anderen Brennholzsortimenten am größten (13,7 Mio. m^3, ca. 51 % am Gesamtverbrauch), gefolgt von Holzpellets (3,79 Mio. m^3, ca. 14 % am Gesamtverbrauch) und Waldscheitholz ohne Rinde (2,55 Mio. m^3, ca. 10 % am Gesamtverbrauch). Gartenscheitholz (2,17 Mio. m^3, ca. 8 % am Gesamtverbrauch) und Gebrauchtholz (1,63 Mio. m^3, ca. 6 % am Gesamtverbrauch) wurde ebenfalls in großen Mengen eingesetzt.

Der Brennholzverbrauch kann auch regional (nach Ortsgruppen) differenziert betrachtet werden. So zeigt sich, dass die Hälfte des Brennholzeinsatzes, aber auch der Wohnungen, die Holz zum Heizen nutzten, in ländlich geprägten Regionen verortet war. Hierzu werden die Ortsgruppen ‚Dünn besiedelte ländliche Kreise‘ und ‚Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen‘ gezählt. 54,6 % des insgesamt verwendeten Brennholzes in Wohnungen wurde in diesen Regionen eingesetzt. Der Anteil der Brennholznutzer in ländlichen Regionen lag bei 49 %, 38 % des Brennholzeinsatzes und 41 % der Brennholznutzer in Deutschland befanden sich in ‚Städtischen Kreisen‘. Brennholznutzer in Großstädten machten 7 % des gesamten Brennholzeinsatzes in Deutschland aus. Der Anteil an den deutschen Brennholznutzern lag dabei bei 10 %. Zu den wichtigsten Bezugsquellen der Holzbrennstoffe zählten mit 18 % Forstämter bzw. Forstbetriebe, mit 15 % Baumärkte sowie ähnliche kommerzielle Einzelhändler und mit 14 % sonstige kommerzielle Bezugsquellen.

Ergebniseinordnung

Einer von vielen möglichen Gründen für die Unterschiede in den Ergebnissen der vorliegenden Studie und den Ergebnissen der Studie zum Jahr 2018 findet sich in den klimatischen Entwicklungen der letzten Jahre. So zeigt sich, dass das Jahr 2020 wärmer war als das Jahr 2018.

Die Heizgradtage sanken von 2.775 auf 2.741, die Anzahl der Frosttage von 77,35 im Jahr 2018 auf 62,51 im Jahr 2020 und die Eistage von 14,64 auf 3,71. Auch im Vergleich zum Durchschnitt der letzten zehn Jahre fällt auf, dass das Jahr 2020 eher mild war, sowohl in Bezug auf Heizgradtage als auch in Bezug auf Frost- und Eistage. Der beobachtete leichte Rückgang des Brennholzkonsums von 2018 zu 2020 aber auch die stark gesunkene Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen könnte – neben erhebungsbedingten Einflüssen - dementsprechend durch mildere klimatische Bedingungen bedingt sein. Einen weiteren möglichen Erklärungsansatz für die beobachteten Entwicklungen liefern die Preise verschiedener Energieträger. So sank vor allem der Verbraucherpreis von leichtem Heizöl im Jahresdurchschnitt sehr stark, was dazu geführt haben könnte, dass Haushalte mit Ölheizungen mehr Heizöl und dementsprechend weniger Holz zum Heizen nutzten. Durch die hohen Kalamitäten im Jahr 2020 fielen allerdings auch die Rohholzpreise. Ob die Corona-Pandemie Einfluss auf den Brennholzkonsum in privaten Haushalten genommen hat, lässt sich mit den vorliegenden Daten nicht bestimmen. Dies könnte unter anderem auch darin begründet sein, dass die Maßnahmen gegen die Pandemie nicht vollständig während der Heizperiode stattgefunden haben und der Einfluss dementsprechend von anderen Faktoren wie Witterung und Preise überlagert wurde. Bei der Ergebniseinordnung bzw. dem Vergleich der Ergebnisse mit Vorstudien ist generell anzumerken, dass Unterschiede in der Methode sowie zumeist fehlende Stichprobenfehler einen Vergleich erschweren.

Modellierung einer Zeitreihe

Zwecks Ableitung einer konsistenten Zeitreihe des Energieholzverbrauchs in Privathaushalten (von 1994 bis 2020) wurde das am Thünen-Institut eingesetzte Regressionsmodell (Teilmodell der Thünen-Einschlagsrückrechnung, Thünen-ESRR) verwendet, untersucht und weiterentwickelt bzw. angepasst. Das aktuelle Teilmodell der Thünen-ESRR basierte bislang auf acht empirisch erhobenen Datenpunkten über einen Zeitraum von 1994 bis 2018. Die zeitlichen Abstände zwischen den Erhebungen sind nicht konstant. Ferner ist zu beachten, dass sich die Methodik der verschiedenen Erhebungen teilweise voneinander unterscheidet. Das aktuelle Regressionsmodell als Teilmodell der Thünen-ESRR zur Schätzung der Zeitreihe des Energieholzverbrauchs in Privathaushalten hat seine Grundlage in Jochem et al. (2015) und nutzt aktuell zwei unabhängige Variablen, um den gesamten Holzverbrauch im Haushaltssektor als abhängige Variable zu schätzen. Zu den beiden unabhängigen Variablen gehört zum einen eine Variable, die die Witterung beschreibt und zum anderen eine Variable, die den Preis konventioneller Brennstoffe abbildet. Grundlegende Idee ist, dass ein besonders kalter Winter zu einem besonders hohen Brennholzverbrauch in privaten Haushalten führt. Das zu erwartende Vorzeichen des Schätzers ist somit positiv. Die zweite unabhängige Variable ist ein gewichteter und gemittelter Preisindex konventioneller Energieträger, wie z. B. Heizöl und Gas. Grundlegende Annahme ist, dass ein hoher Preis der konventionellen Energieträger (z. B. ein hoher Gaspreis) zu einer verstärkten Nachfrage nach Brennholz führt. Es ist belegt, dass neben der Witterung und Preisen für konventionelle Energieträger, weitere Einflussfaktoren auf den Brennholzverbrauch wirken. So könnten beispielsweise auch das Einkommen, das Umweltbewusstsein, die Möglichkeit überhaupt mit Holz zu heizen (Geräteanzahl) und viele weitere Einflussfaktoren eine Rolle für die Verwendung von Brennholz spielen. Ein Modell zur Schätzung des Holzeinsatzes ist allerdings immer nur ein vereinfachtes Abbild der Realität. Für das bestehende Modell gab es bislang lediglich acht verwertbare Beobachtungen im Zeitverlauf seit dem Jahr 1994. Die empirische erhobenen Einzeldaten konnten für weitere Analysen bislang nicht genutzt werden, sondern lediglich der Brennholzverbrauch der jeweiligen Studie als Aggregat. Ferner sind viele weitere mögliche erklärende Variablen im Zeitverlauf unbekannt. Es ist beispielsweise nicht bekannt, wie sich das durchschnittliche Umweltbewusstsein im Zeitverlauf und ggf. auch regional geändert hat oder wie viele mit Holz betriebene Heizungen in

diesem Zeitraum tatsächlich genutzt wurden. Besondere Einflussfaktoren, wie z. B. die Corona-Pandemie oder Wirtschaftskrisen, können sich - trotz der Lagerhaltung - ebenfalls auf den Verbrauch von Brennholz auswirken. Es fehlen jedoch die empirischen Daten, um die Wirkung zu bemessen. Zwecks Verbesserung der Modellierung wurden die genannte abhängige und die unabhängigen Variablen trendbereinigt. Durch diese Bereinigung des Trends wird das Risiko von Verzerrungen der Koeffizienten oder Scheinregressionen, also eine Regression bei denen die Koeffizienten signifikant sind, obwohl die Variablen eigentlich voneinander unabhängig sind, reduziert. Mit Hilfe des Modells, das diese beiden Variablen nutzt, kann eine gute Schätzung der Entwicklung als Abbild der Realität erreicht werden. Dies gilt insbesondere auch, da die Modellergebnisse lediglich für die Jahre genutzt werden, für die keine empirischen Daten vorliegen. Die Werte aus den empirischen Studien verbleiben in der Zeitreihe. Die Modellparameter zeigen u. a., dass mit Hilfe des Modells 78,1 % (angepasstes R^2) der Streuung erklärt werden kann. Beide unabhängigen Variablen (Witterung und Alternativpreise) sind im 95 % Konfidenzintervall signifikant von 0 verschieden. Das bedeutet, dass diese Variablen mit der abhängigen Variablen, dem Holzeinsatz, korreliert sind. Die Vorzeichen der beiden Schätzer sind - wie zu erwarten war - positiv. Das heißt, dass eine höhere Gradtagszahl (bzw. ein kälterer Winter) zu einer erhöhten Brennholznutzung führt. Höhere Heizöl- und Gaspreise führen ebenfalls zu einer verstärkten Brennholzverwendung. Aufgrund des im Rahmen dieser Studie neu erhobenen Datenpunktes für die Brennholzverwendung in privaten Haushalten im Jahr 2020 und der methodischen Ähnlichkeit zu den genannten Vorstudien ist es möglich, die Studienergebnisse zum Jahr 2020 im bestehenden Modell zu berücksichtigen. Die Anzahl der verwendeten Datenpunkte im Modell erhöht sich somit von acht auf neun. Durch die Aufnahme des neuen Datenpunktes ergeben sich neue Modellparameter. Das angepasste R^2 verbessert sich um 1,7 Prozentpunkte. Ähnliches gilt für den P-Wert des Modells sowie für die P-Werte der erklärenden Variablen. Der Einfluss der Alternativpreise verringert sich etwas.

Wie bereits erwähnt, wurde geprüft, ob Modifikationen am bestehenden Modell, das heißt an den unabhängigen Variablen, zu Verbesserungen des Modells bzw. der Modellparameter führen können. Im aktuellen Modell wird eine über drei Wetterstationen gemittelte Gradtagszahl als erste unabhängige Variable verwendet. Hier stellt sich zum einen die Frage, ob die Auswahl der Wetterstationen das Witterungsgeschehen in ganz Deutschland hinreichend genau abbildet oder eine andere regionale Gewichtung (z. B. auch nach Schwerpunkten der energetischen Holzverwendung in privaten Haushalten) das Modell verbessern könnte. Ferner stellt sich die Frage, ob die Gradtagszahl, im Vergleich zu weiteren Maßzahlen für die Witterung wie z. B., Heizgradtage, Frost- oder Eistage, wirklich am besten zur Erklärung der energetischen Holzverwendung in privaten Haushalten geeignet ist. Es wurden verschiedene Maßzahlen getestet. Der Vergleich der verschiedenen Modellparameter zeigt, dass die Gradtagszahl ermittelt aus Klimafaktoren auf PLZ-Ebene gewichtet nach regionalen Schwerpunkten der Holzverwendung die besten Modellparameter liefert.

Wie auch für die Witterung wurde geprüft, welche Modifikation des bestehenden Modellansatzes hinsichtlich der unabhängigen Variablen „Preisindex der konventionellen Energieträger“ eine Verbesserung des Modells sowie der Modellparameter herbeiführen kann. Die zweite unabhängige Variable ist ein gewichteter und gemittelter Preisindex für konventionelle Energieträger, wie z. B. Heizöl und Gas. Gewichtet werden die vom Statistischen Bundesamt bereitgestellten Preisindizes konventioneller Brennstoffe (d. h. Heizöl, Gas, Strom und Fernwärme) mit Hilfe von Daten des BDEW zur Heizstruktur in Deutschland. Dahinter steht die Annahme, dass der Preis für konventionelle Energieträger entsprechend der Verteilung der Nutzung der Energieträger gewichtet werden muss, um eine einzelne Preis-Variable für die Modellierung zu generieren. Preisindizes von Heizöl und Gas haben einen größeren Erklärungsgehalt für das Heizverhalten im Wohnungsbestand als der Preisindex von Strom, da

in Deutschland nur wenig mit Strom geheizt wird. Es stellt sich jedoch die Frage, ob diese Gewichtung die echten Substitutionsbeziehungen richtig darstellt. Nicht jeder Haushalt hat die Möglichkeit mit mehr als einem Brennstoff zu heizen. Daher sollte die Gewichtung die tatsächlichen Substitutionsmöglichkeiten möglichst realitätsnah abbilden. Zu diesem Zweck wurde auf Zeitreihendaten des UBA zurückgegriffen, die im Vergleich zu den Informationen des BDEW realistischere Substitutionsbeziehungen abbilden. Die Implementierung der neu ermittelten erklärenden Variablen im Modell führt zu einer Änderung der Modellparameter. Dabei zeigt sich, dass mit Hilfe des angepassten Modells 81,7 % der Streuung erklärt werden kann (angepasstes Bestimmtheitsmaß). Die beiden modifizierten erklärenden Variablen (Witterung und Alternativpreise) sind weiterhin im 95 % Konfidenzintervall signifikant von 0 verschieden. Das bedeutet, dass diese Variablen mit der abhängigen Variablen bzw. dem Holzeinsatz korreliert sind. Die Vorzeichen der beiden Schätzer sind wie erwartet positiv. Somit zeigt sich, dass die Anpassung der erklärenden Variablen das Schätzmodell verbessert.

Ausblick

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) hat dem Thünen Institut für Waldwirtschaft (TI-WF) die Durchführung des Rohstoffmonitorings in der Holzwirtschaft (Rohstoffmonitoring Holz) als Daueraufgabe übertragen. Die aktuelle Planung des TI-WF sieht vor, dass die Studien zur Energieholzverwendung in privaten Haushalten zukünftig im zweijährigen Rhythmus durchgeführt werden. Das würde die allgemeine Bedeutung modellierter Werte in der Zeitreihe reduzieren, da sich der zu schätzende Zeitraum zwischen den empirischen Erhebungsjahren verringert. Zudem ist durch die Übernahme des Rohstoffmonitorings Holz als Daueraufgabe am Thünen-Institut für Waldwirtschaft davon auszugehen, dass empirische Daten zur Brennholzverwendung im Haushaltssektor zukünftig auch für längere Zeiträume vorliegen werden. Dadurch würde eine verbesserte Modellierung des Brennholzeinsatzes in privaten Haushalten (insb. durch neue unabhängige Variablen, getrennt nach Heizungstypen) für die Zwischenjahre möglich werden, in denen keine empirischen Daten vorliegen.

Summary

Biomass plays an important role in the heating sector. The use of wood accounts for the largest share of biomass for heat production in Germany. It can be assumed that wood based raw materials and fuelwood products will continue to play an important role in supplying renewable heat to the Federal Republic of Germany in the future. In this context, the energetic use of regionally obtained wood based raw materials can contribute to security of supply and value creation in rural areas. In addition, wood energy can make a positive contribution to climate protection if the wood based raw material comes from sustainable production (especially from wood residues that cannot be recycled) and its use replaces other fuels with a disadvantageous greenhouse gas balance. It is therefore more important that the use of wood (including energy use) is fully documented in statistics and national and international reports. This serves on the one hand the completeness of the statistics and on the other hand it serves to be able to describe the developments of the wood use and renewable energies in detail in the international comparison. On the basis of a good database, development targets can then be defined and possible undesirable developments in the achievement of targets can be analysed or reacted to.

Factors influencing energetic wood consumption

The use of fuelwood in private households is influenced by a variety of direct and indirect factors. In this study, the influence of selected factors is investigated. These include the number of users of fuelwood, user behaviour, weather conditions, and fuelwood prices and prices for alternative energy sources. The above-mentioned factors, and possibly other unknown factors, together influence the amount of fuelwood use in private households.

One of the most important factors influencing total fuelwood use in private households in Germany is the number of dwellings in which fuelwood assortments are used for heating purposes. The basic assumption is that wood consumption increases the more people use fuelwood assortments for heating purposes.

In addition to the number of energy wood users, their usage behaviour also plays a significant role in the level of fuel wood use. Heating behaviour is determined, among other things, by the technical design of combustion systems. Wood-fired central heating systems are designed to heat the entire living space, whereas single-room furnaces are designed to heat a single room and possibly adjacent areas. Furthermore, the individual heat sensation of the occupant(s) and the possibility to generate heat with different energy sources can influence the use of wood-burning systems. This leads to sometimes significant differences in the average use of wood in wood-burning systems. Another major factor influencing wood energy use in private households is the weather. In general, the lower the outdoor temperature, the higher the consumption of fuelwood. Also influential are both the prices of alternative fuels and the prices of the various fuelwood assortments. The theoretical effect of the price of fuelwood on the use of fuelwood assortments should be negative. That is, if the price of fuelwood increases, the demand in private households should decrease.

In addition to the factors described above, the structural condition or characteristics of the residential building also has an influence on the amount of fuelwood used. This concerns in particular the thermal insulation of the outer walls, the windows and the roof. With other influencing factors remaining constant (i.e. ceteris paribus), the better the thermal insulation of the above-mentioned trades, the lower the amount of fuelwood used. Furthermore, the size of the dwelling to be heated also has a relevant influence. Wood consumption increases ceteris paribus with increasing living space. In addition to these described influencing factors, there are numerous other factors, such as the size of the household, the level of household income, the age

of the main income earner and, for example, access to fuelwood. Furthermore, there are also specific temporary influencing factors, such as the Corona pandemic in 2020 and resulting policies, such as mandatory home offices and contact restrictions, that may have affected fuelwood consumption in 2020. However, in the absence of empirical data over time, this factor can only be considered theoretically. In principle, it can be assumed that the reduction of social contact and the increased stay indoors during the lockdown periods led to an increased heating demand in private households, if efficient user behaviour is assumed under regular conditions or in pre-pandemic times (i.e., reduction of the heating load when leaving the dwelling). If this assumption holds, the demand for fuelwood, especially for wood-fired central heating systems, could also have been higher due to the pandemic. Since, among other things, the weather conditions of 2020 and 2019 differ and no empirical data are available for 2019, a detailed assessment of the "Corona pandemic" influence factor is not possible. Developments in the prices of alternative energy sources (esp. crude oil prices) could have an indirect effect. The price of crude oil fell very sharply as a result of the start of global measures to contain the Corona pandemic, as demand for crude oil fell significantly. This, in turn, also caused the price of light heating oil to fall significantly from April 2020 and meant that alternative energy sources became more attractive from a financial perspective in 2020. At the same time, however, roundwood prices also fell significantly due to calamity.

Aim and methodology of the present study

Considering the high relevance of fuelwood use in private households for the entire heating sector and at the same time high volatility in its use, the objective of this study is to empirically determine the energetic wood consumption in private households, which is not recorded via official statistics, as precisely as possible for the year 2020. Thereby, this study follows up on preliminary work from the Wood Resource Monitoring project and studies based on it. In the Wood Resource Monitoring, the use and occurrence of wood based raw material (e. g. forest wood, landscape wood, residual wood and waste wood) are recorded continuously and predominantly empirically.

A random sample survey of approximately 10,000 households served as methodological basis for recording the use of wood for energy in private households. Since the focus of this study is on the energetic use of fuelwood assortments in private households, the survey separated private households from commercial or municipal fuelwood users. Respondents who could not be classified as private households were excluded from the evaluation of the results by means of suitable questions. Mixed uses, i.e. the simultaneous use of wood energy for private and commercial purposes (e.g. on farms), have been particularly problematic to date. Where respondents were unable to make a clear distinction, this study used supplementary questions to exclude any mixed uses from the results. Finally, only dwellings in residential buildings were included, as only for this sector there is a sufficient database for extrapolation. However, in addition to dwellings in residential buildings, there is also an unknown number of privately used fireplaces in non-residential buildings. The private use of fuelwood in these fireplaces cannot be determined using the current database and is therefore excluded from the analyses and considerations.

The sample survey of households in Germany was conducted by a service provider (Kantar GmbH). The questionnaire used for this purpose was developed on the basis of the previous studies of the Wood Resource Monitoring and the Microcensus. A total of up to 45 characteristics were queried. These can be grouped into four categories: (1) household information, (2) dwelling information, (3) heating system information, (4) fuelwood use information. In order to make it easier for respondents to answer the question about specific wood consumption, the option to choose common units for wood consumption was placed in the questionnaire. In order

to obtain a comparable basis over all assortments all data were then converted into cubic meters.

The online survey took place from April 30 to May 20, 2021. A total of over 10,500 target respondents were surveyed, providing information on over 12,000 homes. Recruitment of the target respondents ran through a payback online panel. In the sampling process, the following characteristics were considered and screened out in order to reflect diverse frequency distributions from the population already in the net sample: State, settlement structure county types according to the Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs, and Spatial Development, age groups, gender, and household size. After the survey, the service provider performed an initial data cleaning to eliminate obviously implausible information from respondents as well as an initial imputation of missing information. The hot-deck method was applied for the imputation of missing data on wood consumption. This implies replacing the missing values by randomly drawing an observed value from a similar group. However, since wood consumption depends significantly on the apartment area, the consumption per square meter had to be calculated for all observations first, so that this value could be converted to the respective apartment area later. After this initial data cleaning, implausible results were analysed by experts in a detailed case-by-case examination and, if necessary, replaced by imputation. Finally, the results were extrapolated to the base population in Germany. To ensure the representativeness of the results, the survey results were weighted on the basis of information on the population.

Information on the population is derived from the microcensus with the supplementary program "Wohnen in Deutschland" ("Living in Germany"). The population is defined as all occupied dwellings in residential buildings (excluding dormitories) in Germany. In 2018, this figure was 36.927 million dwellings. Due to a lack of official data on the population for 2020, the data from the microcensus as of 2018 are extrapolated to 2020 with the help of construction activity statistics, among others. Previous studies have already shown that fuelwood consumption is not homogeneously distributed across all dwellings. For example, fuelwood use in dwellings with central heating systems that use wood as a primary energy source is higher than fuelwood use in dwellings without wood central heating systems. To better account for differences in fuelwood use, the population was divided into five groups (extrapolation groups) following previous studies and extrapolated accordingly.

Key findings

A key finding of this study is that a total of 5.5 million homes used fuelwood assortments for heating in 2020. Compared to the preliminary study on the year 2018, this value is lower. Thus, in 2018, about 6.6 million dwellings were fully or partially heated with wood. Compared to the 2018 microcensus data, the number of dwellings heated with wood decreased as well. 1.08 million dwellings (about one in five dwellings heated with wood), had wood-fired central heating. Within the group of dwellings without wood central heating, a distinction can be made between dwellings in single/two-family houses and those in multi-family houses occupied by owners and tenants. Fuelwood was used in 4.0 million dwellings in one- or two-family houses (73%). Of these, most fuelwood users, 3.46 million dwellings, can be attributed to owners, while just over half a million dwellings without wood central heating in single- or two-family dwellings were occupied by tenants. In comparison, fuelwood users were less prevalent in multifamily dwellings, without wood central heating, totalling 400,000 dwellings. In this regard, the majority of apartments heated with wood, 280,000, were occupied by tenants, while 120,000 apartments were occupied by owners.

Another result of the study is that in 2020, each dwelling heated with wood used an average of 5.08 m^3 of wood. If the use is differentiated according to firewood assortments, large differences can be seen in some cases. For example, the average use per dwelling is highest for wood pellets (5.46 m^3) due to their frequent use in central heating systems, followed by forest logs with bark (4.14 m^3). The consumption per dwelling in the remaining firewood assortments ranges in each case between 2.35 m^3 for forest logs without bark and 0.38 m^3 for kindling. On average, significantly more wood was used in dwellings with wood central heating (9.03 m^3/dwelling) than in dwellings heated with wood without wood central heating (4.19 m^3/dwelling).

In total, 26.95 million m^3 of wood fuels were used in private households in Germany. This value is subject to statistical error. With a probability of 95 %, the "true" value is between 23.76 million m^3 and 30.14 million m^3. Of the 26.95 million m^3 of wood fuel, 18.10 million m^3 were used in wood-heated dwellings without wood central heating and 8.85 million m^3 were used in dwellings with wood central heating. In 2010, empirical wood consumption was 31.99 million m^3, probably due to cold weather, and in 2018 it was 28.2 million m^3. In absolute terms, the use of forest logs with bark was the largest compared to all other firewood assortments (13.7 million m^3, approx. 51 % of total consumption), followed by wood pellets (3.79 million m^3, approx. 14 % of total consumption) and forest logs without bark (2.55 million m^3, approx. 10 % of total consumption). Garden logs (2.17 million m^3, approx. 8 % of total consumption) and used wood (1.63 million m^3, approx. 6 % of total consumption) were also used in large quantities.

The use of fuelwood can also be viewed in a regionally differentiated manner. Thus, it can be seen that half of the fuelwood use, but also of the dwellings that used wood for heating, was located in rural areas. This includes the local groups 'Sparsely populated rural counties' and 'Rural counties with densification approaches. 54.6 % of the total residential fuelwood was used in these regions. The share of fuelwood users in rural regions was 49 %, 38 % of fuelwood use and 41 % of fuelwood users in Germany were in 'Urban counties'. 10 % of all Fuelwood users were situated in large cities accounted, they accounted for 7 % of total fuelwood use in Germany. The most important sources of wood fuel included forestry offices or forestry operations with 18 %, DIY stores as well as similar commercial retailers with 15 %, and other commercial sources with 14 %.

Classification of the results

A possible rationale for the results of this study is provided by climatic trends in recent years. For example, 2020 was warmer than 2018, with heating degree days decreasing from 2,775 to 2,741, frost days decreasing from 77.35 in 2018 to 62.51 in 2020, and ice days decreasing from 14.64 to 3.71. Moreover, when compared to the average of the last ten years, 2020 was rather mild, both in terms of heating degree days and frost and ice days. Accordingly, the observed slight decrease in fuelwood consumption from 2018 to 2020 but also the sharp decrease in the number of dwellings heated with fuelwood could - in addition to survey-related influences -be due to milder climatic conditions. Another possible explanation for the observed developments is provided by the prices of various energy sources. In particular, the consumer price of light heating oil fell very sharply on average over the year, which could have led to households with oil-fired heating systems using more heating oil and correspondingly less wood for heating. However, the high calamities in 2020 also caused roundwood prices to fall. Whether the Corona pandemic had an influence on the consumption of fuelwood in private households cannot be determined with the available data. This could be due, among other things, to the fact that the measures against the pandemic did not take place entirely during the heating period and the influence was accordingly overshadowed by other factors such as weather and prices. When classifying the results or comparing the results with previous studies, it should generally be

noted that differences in the method and the lack of sampling errors make a comparison difficult.

Modelling a time series

For the purpose of deriving a consistent time series of energy wood consumption in private households (from 1994 to 2020), the regression model used at the Thünen Institute (sub-model of the Thünen Impact Restatement, Thünen ESRR) was used, examined and further developed or adapted. The current sub-model of the Thünen ESRR was previously based on eight empirically collected data points over a period from 1994 to 2018. It can be seen that the temporal intervals between the surveys are not constant. It should also be noted that some of the methodologies used in the different surveys differ. The current regression model as a sub-model of the Thünen ESRR for estimating the time series of household energy wood use has its basis in Jochem et al. (2015) and currently uses two independent variables to estimate total wood use in the household sector as the dependent variable. The two independent variables include, on the one hand, a variable describing the weather and, on the other hand, a variable depicting the price of alternative fuels. The basic idea is that a particularly cold winter leads to a particularly high consumption of fuelwood in private households. The expected sign of the estimator is thus positive. The second independent variable is a weighted and averaged price index of alternative energy sources, such as heating oil and gas. The basic assumption is that a high price of alternative energy sources (e.g., a high price of gas) leads to an increased demand for fuelwood. There is evidence that, in addition to weather and prices for alternative energy sources, other factors influence fuelwood consumption. For example, income, environmental awareness, the ability to heat with wood at all (number of appliances), and many other influencing factors could also play a role in the use of fuelwood. However, a model for estimating wood use is always only a simplified representation of reality. For the existing model, there have so far been only eight usable observations over time since 1994. The empirically collected individual data could not be used for further analyses so far, but only the fuelwood consumption of the respective study as an aggregate. Furthermore, many other possible explanatory variables over time are unknown. For example, it is not known how average environmental awareness has changed over time and possibly also regionally, or how many wood-fired heating systems were actually used during this period. Special influencing factors, such as the Corona pandemic or economic crises, may also have an impact on the consumption of fuelwood, despite stockpiling. However, there is a lack of empirical data to measure the effect. For the purpose of improving the modelling, the aforementioned dependent and independent variables were trend-adjusted. This adjustment for trend reduces the risk of bias in the coefficients or spurious regressions, that is, a regression in which the coefficients are significant even though the variables are actually independent. With the help of the model that uses these two variables, a good estimate of the trend as a reflection of reality can be achieved. This is especially true since the model results are used only for the years for which no empirical data are available. The values from the empirical studies remain in the time series. The model parameters show, among other things, that 78.1 % (adjusted R^2) of the scatter can be explained with the help of the model. Both independent variables (weather and alternative prices) are significantly different from 0 at the 95% confidence interval. This means that these variables are correlated with the dependent variable, logging input. As expected, the signs of the two estimators are positive. This means that a higher number of degree-days (or a colder winter) leads to increased fuelwood use. Higher fuel oil and gas prices also lead to increased fuelwood use. Due to the new data point collected in this study for fuelwood use in private households in 2020 and the methodological similarity to the aforementioned preliminary studies, it is possible to incorporate the 2020 study results in the existing model. The number of data points used in the model thus increases from eight to nine. The inclusion of the new data point results in new model parameters. The adjusted R^2 improves by 1.7

percentage points. The same applies to the P-value of the model as well as to the P-values of the explanatory variables. The influence of alternative prices decreases somewhat.

As mentioned above, it was examined whether modifications to the existing model, i.e. to the independent variables, could lead to improvements in the model or in the model parameters. In the current model, a degree-day number averaged over three weather stations is used as the first independent variable. On the one hand, this raises the question of whether the selection of weather stations sufficiently accurately represents the weather patterns throughout Germany, or whether a different regional weighting (e.g., also according to the focus of wood energy use in private households) could improve the model. Furthermore, the question arises whether the number of degree days, in comparison to other measures of weather such as heating degree days, frost or ice days, is really best suited to explain the use of wood for energy in private households. A number of different measures were tested. The comparison of the different model parameters shows that the degree days determined from climate factors at the zip code level weighted according to regional focal points of wood use provides the best model parameters.

It was also tested which modification of the existing model approach with respect to the independent variable "price index of alternative energy sources" can improve the model as well as the model parameters. The second independent variable is a weighted and averaged price index for alternative energy sources, such as heating oil and gas. The price indices of alternative fuels (i.e., heating oil, gas, electricity and district heating) provided by the Federal Statistical Office are weighted using data from the BDEW on the heating structure in Germany. The underlying assumption is that the price of alternative fuels must be weighted according to the distribution of fuel use in order to generate a single price variable for modelling. Price indices of heating oil and gas have a greater explanatory power for heating behaviour in the housing stock than the price index of electricity, since little heating is done with electricity in Germany. The question arises, however, whether this weighting accurately represents the true substitution relationships. Not every household has the possibility to heat with more than one fuel. Therefore, the weighting should represent the actual substitution possibilities as realistically as possible. For this purpose, time series data from the UBA were used, which presumably represent somewhat more realistic substitution relationships compared to the information from the BDEW. The implementation of the newly determined explanatory variables in the model leads to a change in the model parameters. This shows that the adjusted model can explain 81.7% of the dispersion (adjusted coefficient of determination). The two modified explanatory variables (weather and alternative prices) are still significantly different from 0 at the 95% confidence interval. This means that these variables are correlated with the dependent variable and logging use, respectively. The signs of the two estimators are positive, as expected. Thus, it can be seen that the adjustment of the explanatory variables improves the estimation model.

Outlook

The Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL) has assigned the Thünen Institute of Forestry (TI-WF) the implementation of the Wood Resource Monitoring in the wood industry (Wood Resource Monitoring) as a permanent task. The current planning of the TI-WF envisages that the studies on the use of energy wood in private households will be carried out every two years in the future. This would reduce the overall importance of modelled values in the time series by reducing the time period to be estimated between empirical survey years. In addition, by taking over the Wood Resource Monitoring as a permanent task at the Thünen Institute of Forestry, it can be assumed that empirical data on fuelwood use in the household sector will also be available for longer periods in the future. This would enable improved modelling of fuelwood use in private households (especially through new independent variables, separated by heating types) for the years in which no empirical data are available.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Literatur

In Deutschland hat der Holzverbrauch zur Energieerzeugung einen bedeutenden Anteil an der Bereitstellung von erneuerbaren Energien. Im Bereich „Elektrizität“ wurden im Jahr 2020 251 TWh durch erneuerbare Energien gedeckt, das entspricht ca. 45,2 % des gesamten Bruttostromverbrauchs. Der überwiegende Teil (132 TWh bzw. knapp 53 %) wird dabei von Windkraftanlagen bereitgestellt. Etwa 51 TWh (20 %) stammen aus der Verstromung von „Biomasse“. Der Anteil biogener Festbrennstoffe (inkl. Klärschlamm) liegt mit etwa 11 TWh bei knapp 5 %. Im Wärmesektor ist der Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte mit 15,3 % (181,7 TWh) vergleichsweise gering. Biomasse spielt dabei mit etwa 85 % jedoch die größte Rolle (UBA 2022).

Die privaten Haushalte sind die mengenmäßig wichtigsten energetischen Verwender von Brennholzsortimenten[1]. Etwa 50 % der energetisch genutzten Brennholzsortimente werden in diesem Sektor verwendet (Mantau 2018). Im Jahr 2018 nutzten ca. 6 Millionen der insgesamt ca. 37 Millionen Wohneinheiten[2] in Deutschland diverse Brennholzsortimente zur Wärmeerzeugung. Davon sind rund eine Million Wohnungen mit Holzzentralheizungen ausgestattet. In der Mehrzahl der Wohnungen werden Einzelraumfeuerungen genutzt. 1,4 Million Wohneinheiten nutzten Holz als Primärenergieträger (Statistisches Bundesamt 2019). Die restliche energetische Verwendung von Brennholzsortimenten (insb. auch Altholz) erfolgt in Biomassefeuerungsanlagen zur Erzeugung von Strom und/oder Wärme.

Es ist anzunehmen, dass Holzrohstoffe und Brennholzprodukte auch in Zukunft eine bedeutende Rolle bei der Versorgung der Bundesrepublik Deutschland mit erneuerbarer Energie spielen. Dabei kann die energetische Nutzung von regional gewonnenen Holzrohstoffen einen Beitrag zur Versorgungssicherheit und Wertschöpfung im ländlichen Raum erbringen. Zudem kann Holzenergie einen positiven Klimaschutzbeitrag leisten, wenn der Rohstoff aus nachhaltiger Erzeugung (insb. von stofflich nicht verwertbaren Holzreststoffen) stammt und durch dessen Verwendung andere Brennstoffe mit nachteiliger Treibhausgasbilanz ersetzt werden. Allerdings müssen bei der Bewertung der energetischen Verwendung von Holzrohstoffen auch immer mögliche Risiken z. B. durch Emissionen bei der Verbrennung oder in Bezug auf das Waldökosystem berücksichtigt werden.

Umso wichtiger ist die vollumfängliche Erfassung der Verwendung von Holz einschließlich der energetischen Nutzungen in nationalen und internationalen Statistiken. Im Allgemeinen wird die energetische Holzverwendung in der Energiestatistik und den Statistiken der Forst- und Holzwirtschaft berücksichtigt. Der Joint Annual Questionnaire für Erneuerbare Energien und Abfälle (JAQ) von IEA/Eurostat/UNECE[3] und das Berichtsystem von IRENA (International Renewable Energy Agency) erfassen die energetische Holzverwendung für die internationalen Energiestatistiken. Zudem wurde der energetische Holzeinsatz bis ins Jahr 2020 alle zwei Jahre über die Fortschrittsberichte nach Vorgabe der EU-Richtlinie 2009/28/EG an die europäische Kommission berichtet. Der Joint Wood Energy Enquiry (JWEE) von UNECE/FAO erfasst den

[1] In der Studie wird die Verwendung verschiedener Brennholzsortimente erfasst. Brennholzsortimente umfassen unter anderem Holzrohstoffe, wie z. B. Waldholz, Holz aus der Landschaftspflege, Holz aus dem eigenen Garten und Resthölzer aus der Holzbe- und verarbeitung. Außerdem werden Energieholzprodukte, wie z. B. Holzpellets und Holzbrikettes berücksichtigt. Holzkohle ist von der Betrachtung ausgeschlossen.

[2] bewohnten Wohnungen in Wohngebäuden

[3] International Energy Agency/Statistische Amt der Europäischen Union/United Nations Economic Commission for Europe

energetischen Holzeinsatz in Ländern der nördlichen Hemisphäre sehr detailliert und verbindet damit die Energiestatistik mit der Statistik der Forst- und Holzwirtschaft. Der Joint Forest Sector Questionnaire (JFSQ) ist das zentrale internationale Berichtssystem für die Forst- und Holzwirtschaft. Hier wird die Produktion und der Handel von einigen Holzprodukten zur energetischen Verwendung erfasst (Glasenapp und Weimar, 2020).

Die Berichterstattung an internationale Organisationen dient zum einen der Vollständigkeit der Statistiken und zum anderen dient es dazu im internationalen Vergleich die Entwicklungen der Holznutzung und erneuerbaren Energien detailliert beschreiben zu können. Auf Grundlage einer guten Datenbasis können dann beispielsweise Emissionen berechnet, Entwicklungsziele definiert und mögliche Fehlentwicklungen bei der Zielerreichung analysiert bzw. darauf reagiert werden.

Daher ist es das Ziel der hier durchgeführten Studie den energetischen Holzverbrauch in privaten Haushalten, der amtlich nicht ermittelt wird, für das Jahr 2020 zu erfassen. Als methodische Grundlage einer solchen Abschätzung dient dabei eine Befragung von ca. 10 000 Haushalten. Damit schließt die Studie an Vorarbeiten aus dem Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“ (früher: „Standorte der Holzwirtschaft“) an. Im Rohstoffmonitoring Holz werden die Verwendung und Teile des Aufkommens des Rohstoffs Holz (z. B. Waldholz, Landschaftspflegeholz, Restholz und Altholz) fortlaufend und überwiegend empirisch erfasst. Mantau und Sörgel (2006), Mantau (2012), Döring et al. (2016) und Döring et al. (2020) führten in diesem Rahmen die früheren Befragungen zum energetischen Holzverbrauch in Privathaushalten durch. Die bislang aktuellste Untersuchung ist die Studie von Döring et al. (2020), in der der Energieholzverbrauch privater Haushalte für das Jahr 2018 erfasst wurde.

Unabhängig von den Befragungen im Rahmen des Rohstoffmonitorings Holz gab es auch ähnlich gelagerte Studien von Rheinbraun (1994), DIW (1996) und Frondel et al. (2007, 2011, 2013, 2015). Auch hier wurde der energetische Holzeinsatz im Haushaltssektor ermittelt. Das methodische Vorgehen weicht allerdings zum Teil von dem Vorgehen im Rohstoffmonitoring Holz ab.[4]

Die aktuellste Untersuchung zu den Einflüssen auf den Energieholzverbrauch in Privathaushalten (PHH) in Deutschland ist die Studie von Glasenapp et al. (2019). Die Untersuchungen von Jochem et al. (2015) hatten u. a. zum Ziel, eine fortschreibungsfähige Methodik zur Zeitreihenerstellung zur Nutzung von Holzrohstoffen (insb. Waldrohholz) in Privathaushalten zu entwickeln.

1.2 Abgrenzung des Energieholzverbrauchs der privaten Haushalte zu anderen Nutzungen

Im Rohstoffmonitoring Holz und den zugehörigen Studien wird bei der Einordnung der energetischen Holzverwendung grundsätzlich zwischen drei verschiedenen Nutzungssektoren unterschieden. Hierzu zählen Feuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung (FWL) ab 1 Megawatt (MW)[5], kommunale und gewerbliche Feuerungsanlagen mit einer FWL unter 1 MW sowie private Haushalte. Die Differenzierung der Feuerungsanlagen bei einer FWL von 1 MW hat ihren Ursprung in der Gesetzgebung zum Immissionsschutz. Von diesen gewerblichen und

[4] Abweichungen gibt es beispielsweise bei der Stichprobengröße, der Befragungsgesamtheit und der Art der Hochrechnung.
[5] In Anlehnung und zwecks Anschlussfähigkeit an die bisherigen Studien im Rohstoffmonitoring Holz wird der Begriff „Großfeuerungsanlagen“ verwendet. Es handelt sich hierbei um Feuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung größer 1 MW.

kommunalen Feuerungsanlagen in Nicht-Haushalten werden Anlagen und Feuerstätten unterschieden, die ausschließlich in privaten Haushalten betrieben werden.

Die Differenzierung der energetischen Holzverbraucher im Rohstoffmonitoring Holz stellt lediglich eine Möglichkeit der Strukturierung dar. In der Energiestatistik werden Brennholznutzer beispielsweise nach Wirtschaftszweigen bzw. Sektoren (z. B. Haushalts-, GHD-, Industrie- oder Umwandlungssektor) unterschieden (vgl. dazu auch Glasenapp und Weimar, 2020).

Zwecks Einordnung der energetischen Holzverwendung der privaten Haushalte in die gesamte energetische Holzverwendung in Deutschland werden im Folgenden die wichtigsten Informationen der verschiedenen Verwendungssektoren gegenübergestellt. In der Studie von Döring et al. (2021b) wurden 409 Holzfeuerungsanlagen ab 1 MW FWL im Jahr 2019 erfasst; möglicherweise umfasst die Grundgesamtheit jedoch mehr Anlagen. Für das gleiche Jahr wurden nach Döring et al. (2021a) rund 43.000 gewerbliche und kommunale Holzfeuerungsanlagen bis 1 MW FWL ermittelt. Nach dem Mikrozensus von 2018 nutzten im Jahr 2018 ca. 6 Millionen Wohnungen Holz für energetische Zwecke. Der gesamte Holzverbrauch der einzelnen Nutzungsarten wurde im Jahr 2019 mit 16,5 Millionen m^3 für Feuerungsanlagen ab 1 MW und 8,2 Millionen m^3 für Feuerungsanlagen bis 1 MW FWL sowie für das Jahr 2018 mit 28,2 Millionen m^3 für private Haushalte angegeben (Döring et al. 2021a, b). Die drei Gruppen unterscheiden sich dementsprechend in der durchschnittlichen Holzverwendung. So lag der durchschnittliche Holzeinsatz bei Feuerungsanlagen mit einer FWL ab 1 MW im Jahr 2019 bei ca. 40.000 m^3, bei Feuerungsanlagen mit einer FWL bis 1 MW bei ca. 191 m^3 und bei privaten Haushalten im Jahr 2018 bei 4,3 m^3 (vgl. Döring et al. (2021b), Döring et al. (2021a), Döring et al. (2020)).

In der vorliegenden Studie liegt der Fokus auf der energetischen Verwendung von Brennholzsortimenten in privaten Haushalten. Daher wurden bei der Befragung private Haushalte und gewerbliche oder kommunale Brennholznutzer voneinander getrennt, bzw. Befragte, die nicht den privaten Haushalten zuzuordnen sind, über geeignete Fragen in der Auswertung der Ergebnisse ausgeschlossen (vgl. Anhang A). Problematisch waren bislang insbesondere Mischnutzungen, d. h. gleichzeitige Nutzung von Holzenergie für private und gewerbliche Zwecke (z. B. bei landwirtschaftlichen Betrieben). Sofern Befragte keine eindeutige Abgrenzung vornehmen konnten, konnten im Rahmen dieser Studie jegliche Mischnutzungen mit Hilfe von Zusatzfragen aus den Ergebnissen ausgeschlossen werden (vgl. Anhang A, z. B. Frage H11).

Ferner ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen dieser Studie ausschließlich Wohnungen in Wohngebäuden erfasst wurden, da nur für diesen Sektor eine ausreichende Datenbasis zur Hochrechnung vorliegt. Neben den Wohnungen in Wohngebäuden gibt es jedoch auch eine unbekannte Anzahl privat genutzter Feuerstätten in Nichtwohngebäuden. Die private Verwendung von Brennholz in diesen Feuerstätten kann mit Hilfe der aktuellen Datenbasis jedoch nicht ermittelt werden und wird daher in den Analysen und Betrachtungen ausgeschlossen.

Im folgenden Kapitel 2 werden zunächst die Haupteinflussfaktoren auf die Höhe der Brennholznutzung in privaten Haushalten beschrieben. Danach wird in Kapitel 3 die Methodik der Befragung und Hochrechnung detailliert erläutert. In Kapitel 4 folgt die Vorstellung der Ergebnisse. Das anschließende Kapitel 5 ist untergliedert in die Modellierung der Zeitreihe und die Diskussion der Ergebnisse. Abschließend folgt ein Ausblick, in dem u. a. auch mögliche Änderungen zukünftiger Erhebungen beschrieben werden.

2 Haupteinflussfaktoren auf den Umfang der Brennholznutzung

Im Folgenden werden ausgewählte direkte und indirekte Einflussfaktoren auf den Energieholzverbrauch in Privathaushalten, unter ansonsten gleichen Bedingungen (d. h. *ceteris paribus*), beschrieben und erläutert. Zu den hier betrachteten Faktoren zählen u. a. die Anzahl der Energieholzverwender, das Nutzerverhalten, die Witterung sowie die Energieholzpreise und die Preise für konventionelle Energieträger. Die genannten und ggf. auch weitere unbekannte Einflussfaktoren beeinflussen gemeinsam die Höhe der Brennholzverwendung in privaten Haushalten, zum Teil überlagern sich diese. Eine detailliertere Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Witterung sowie alternativen Energiepreisen und dem Holzeinsatz findet sich in Kapitel 5.1.

2.1 Anzahl der Energieholzverwender

Einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf den gesamten Energieholzverbrauch in privaten Haushalten in Deutschland ist die Anzahl der Wohnungen, in denen Brennholzsortimente zu Heizzwecken verwendet werden. Grundlegende Annahme ist, dass der Holzverbrauch steigt, je mehr Menschen Brennholzsortimente für Heizzwecke einsetzen.

Bei den Brennholznutzern ist dabei die Anzahl an Bestandsanlagen von der Anzahl der tatsächlichen Brennholznutzer zu unterscheiden. Die Bestandszahl ist unabhängig davon, ob die Anlage genutzt wird oder nicht. Sie ist daher nicht zwingend identisch mit der Anzahl der tatsächlichen Nutzer. Es ist davon auszugehen, dass die Bestandszahl von Holzzentralheizungen und weiteren Verbrennungsmöglichkeiten wie Einzelraumfeuerungen (z. B. Kamine) weniger von jährlichen Schwankungen betroffen ist. In der Regel ist die Entscheidung eines Verbrauchers eine Zentralheizung vollständig zu wechseln keine kurzfristige Entscheidung, da üblicherweise technische und teilweise auch bauliche Veränderungen am Wohngebäude erforderlich werden. Ferner ist aufgrund der damit verbundenen hohen finanziellen Aufwendungen nicht zu erwarten, dass Nutzer in kurzen Zeitabständen (z. B. jährlich) zwischen Heizsystemen wechseln. Daher ist von einer geringen Volatilität in der Anzahl der Wohnungen, in denen in Holzzentralheizungen Brennholz zur Wärmeerzeugung verwendet wird, zu erwarten.

Davon abzugrenzen sind Haushalte, die ihren Wohnraum sowohl mit dem Brennstoff Holz als auch mit einem konventionellen Brennstoff, wie z. B. Gas oder Öl, beheizen. Häufig haben Haushalte mit einer heizöl- oder gasbetriebenen Zentralheizung zusätzlich eine Einzelraumfeuerung (z. B. Kaminofen), die mit Holz befeuert werden kann (Döring et al. 2020).

Theoretisch kann ein Haushalt mit Einzelraumfeuerungsanlage für Brennholzprodukte in einem Jahr aktiver Brennholzverwender sein und in einem anderen Jahr – wenn die Einzelraumfeuerung ungenutzt bleibt - nicht. Dieses Verhalten kann zu jährlichen Variationen in der Anzahl der Brennholzverwender führen (siehe auch Kapitel 2.2). Es ist jedoch anzunehmen, dass solche Haushalte in der Regel eher einen geringen Brennholzverbrauch haben, sodass dieser Effekt zwar die Anzahl der Brennholznutzer beeinflusst, die absolute Höhe der Gesamtbrennholzverwendung in privaten Haushalten sich dadurch jedoch kaum ändert.

2.2 Nutzerverhalten

Neben der Anzahl der Energieholzverwender spielt auch deren Nutzerverhalten eine wesentliche Rolle für die Höhe der Brennholzverwendung. Das Heizverhalten wird zudem durch die technische Auslegung von Feuerungsanlagen bestimmt. Holzzentralheizungen sind für das Heizen der gesamten Wohnfläche ausgelegt, wohingegen Einzelraumfeuerungen eher einen

einzelnen Raum sowie evtl. angrenzende Bereiche heizen sollen. Ferner kann das individuelle Wärmeempfinden des Bewohners bzw. der Bewohner und die Möglichkeit mit verschiedenen Energieträgern Wärme zu erzeugen, die Nutzung von Holzfeuerungsanlagen beeinflussen. Dies führt zu teilweise deutlichen Unterschieden beim durchschnittlichen Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen. Aus Döring et al. (2020) ist bekannt, dass in Wohnungen mit einer Zentralheizung und der Nutzung von Holz als Primärenergieträger pro Jahr durchschnittlich 8,5 m^3 Holz zum Heizen verwendet werden. In allen übrigen mit Holz beheizten Wohnungen wurden im Jahr 2018 im Durchschnitt 3,4 m^3 Holz pro Wohnung eingesetzt.

Eine vorgenommene Charakterisierung der Brennholznutzer ist die Unterscheidung zwischen sogenannten „Nutz-“ und „Lustheizern“. Zu den „Nutzheizern“ zählen alle Haushalte, die ihre Wohnung primär mit Holz beheizen. Das sind zum einen Haushalte, die eine Holzzentralheizung betreiben, zum anderen können es aber auch Haushalte mit Einzelraumfeuerungen sein, die diese zur Wärmeerzeugung nutzen. Zu den sog. „Lustheizern“ können die in Kapitel 2.1 erwähnten Haushalte zählen, die zusätzlich zur primären Energiequelle eine holzbetriebene Einzelraumfeuerung (z. B. Kaminofen) betreiben, um dadurch an vereinzelten Tagen ihr Wohlbefinden nicht nur durch die Wärmebereitstellung, sondern auch durch ein angenehmes Wohnambiente zu steigern. Das unterschiedliche Verhalten dieser Nutzertypen äußert sich durch unterschiedlich hohe durchschnittliche Verbräuche der Brennholznutzer. Bei den Nutzern von Einzelraumfeuerungen finden sich sowohl „Nutz-“ als auch „Lustheizer“.

Nach Köhrer et al. (2018) lassen sich die Nutzertypen von sekundären Heizsystemen noch detaillierter als die beiden vorher genannten Gruppen (d. h. „Nutz-“ und „Lustheizern“) differenzieren und Anteile im Bestand quantifizieren. Demnach ist der „gemütliche Zuheizer“ mit einem Anteil von 54 % an den Nutzern von sekundären Heizsystemen der häufigste Nutzertyp, gefolgt von dem sogenannten „sparsamen Substituierer“ (ca. 21 %). 11 % der Nutzer nach Köhrer et al. (2018) haben erhöhten Zugriff auf den Brennstoff Holz (z. B. als Waldbesitzer), ca. 7 % nutzen Holz im dringenden Bedarfsfall und ca. 6 % der Nutzer werden als „gelegentliche Romantiker“ charakterisiert. Generelle Hauptmotive der Nutzung der Zusatzheizung über alle Gruppen sind die Reduktion des Verbrauchs der Hauptheizung, die geringeren Kosten des alternativen Brennstoffes sowie das Wohlbefinden durch die zusätzliche Wärme (Köhrer et al. 2018).

2.3 Witterung

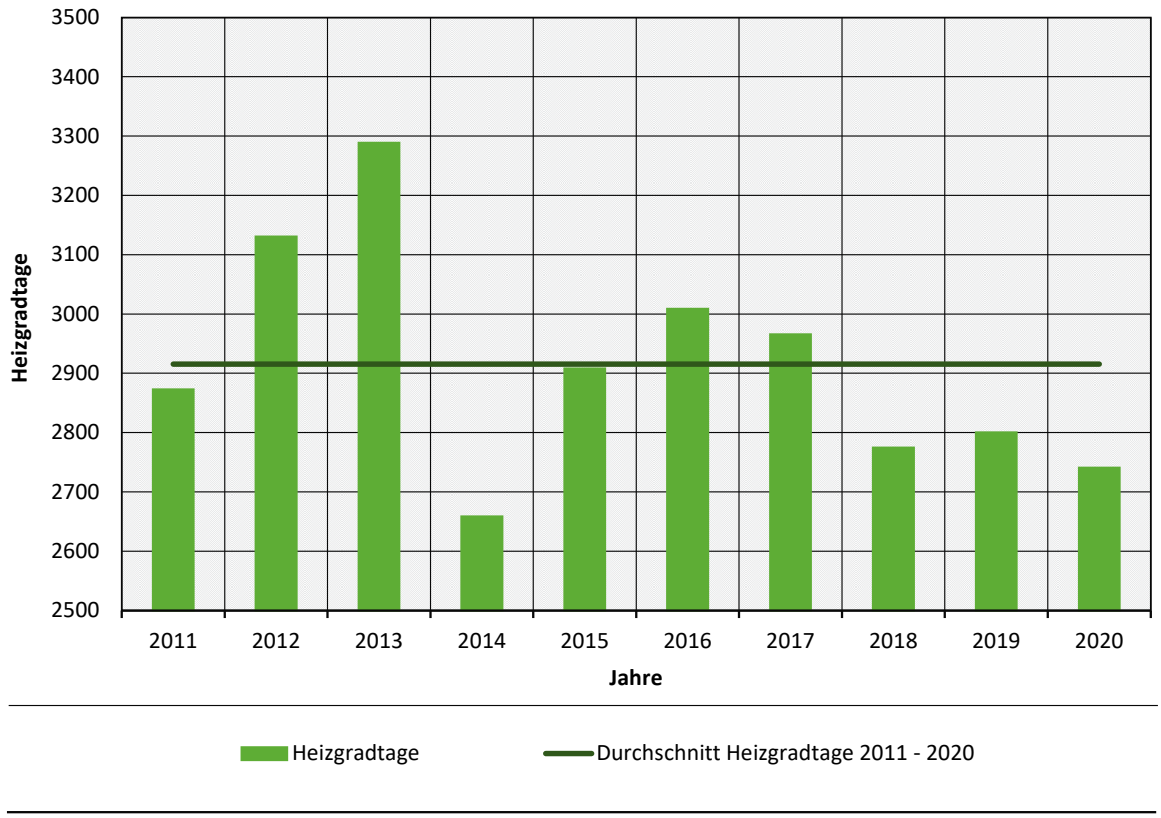
Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Witterung und dem Brennholzverbrauch in Wohngebäuden. Allgemein gilt, je niedriger die Außentemperatur, desto höher ist der Brennholzverbrauch zur Wärmeerzeugung (Jochem et al. 2015, Glasenapp et al. (2019)). Die Bedeutung der Außentemperatur variiert jedoch je nach Motivation zur Nutzung einer Holzfeuerungsanlage. Wenn Holzfeuerungen, wie z. B. Holzzentralheizungen, in erster Linie für die allgemeine Wärmebereitstellung genutzt werden, ist die Bedeutung des Witterungseinflusses auf den Brennholzeinsatz vermutlich größer als bspw. bei Anlagen, die überwiegend zur Steigerung des Wohnambientes oder zur Senkung der Kosten für fossile Energieträger genutzt werden, da beim Betrieb dieser Anlagen noch weitere Motive eine Rolle spielen (siehe auch Kapitel 2.2).

Zur Einschätzung des Witterungseinflusses auf den Heizbedarf können verschiedene Maßzahlen herangezogen werden. Ein übliches Maß ist die sogenannte Gradtagszahl, also die Differenz (pro Tag) zwischen einer Raumtemperatur von 20 °C und der mittleren Außentemperatur, sofern diese geringer als 15 °C ist (diese Zahl wird über alle Heiztage pro Jahr aufsummiert). Eine

ähnliche Maßzahl sind die sogenannten Heizgradtage[6]. Um eine Übersicht über den Heizbedarf pro Jahr zu bekommen, eignen sich zusätzlich auch die Anzahl der Frosttage und Eistage. Frosttage sind die Tage an denen die minimale Lufttemperatur kleiner als 0 °C ist. Eistage hingegen sind Tage an denen die maximale Lufttemperatur kleiner als 0 °C ist. Diese beiden Maße dienen dabei der Darstellung von Tagen mit besonders hohem Heizbedarf und können im Jahresvergleich eine sinnvolle Ergänzung zu den Gradtagszahlen darstellen. So ist es möglich, dass Einzelraumfeuerungen in Jahren mit besonders vielen kalten Tagen (Eis- und Frosttage) häufiger genutzt werden, als in Jahren mit weniger kalten Tagen. Dies führt dann zu einem höheren spezifischen Holzeinsatz in den jeweiligen Feuerungsanlagen. Zusätzlich zur Höhe des Verbrauchs kann sich durch ein kälteres Klima auch die Anzahl der Brennholznutzer erhöhen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn in Wohnungen bereits eine Holzfeuerungsanlage installiert ist, diese in der Regel allerdings nicht betrieben wird. Kalte Witterung könnte hier ein Faktor sein, der zu einer Reaktivierung nicht genutzter Feuerungsanlagen führt.

Bei der Betrachtung der klimatischen Bedingungen der letzten Jahre zeigt sich, dass das Jahr 2020 etwas wärmer war als das Jahr 2018. Die Heizgradtage sanken von 2.774 auf 2.741 (siehe Abbildung 1), die Anzahl der Frosttage von 77,4 im Jahr 2018 auf 62,5 im Jahr 2020 und die Eistage von 14,6 auf 3,7 (siehe Abbildung 2)(Deutscher Wetterdienst 2022a). Insgesamt fällt auf, dass das Jahr 2020 auch im Vergleich zum Durchschnitt der letzten zehn Jahre deutlich wärmer war, sowohl in Bezug auf die Heizgradtage als auch in Bezug auf Frost- und Eistage.

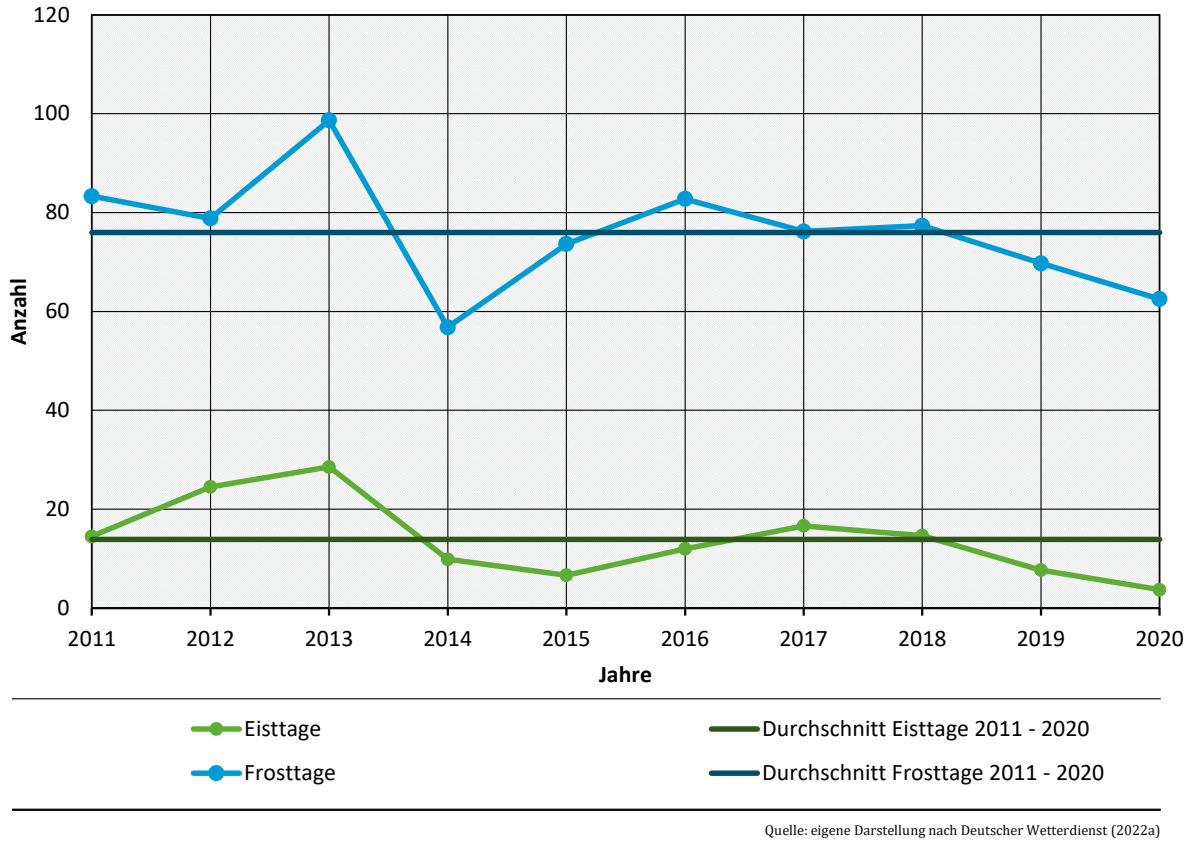
Abbildung 1: Jährliche Heizgradtage in Deutschland im Zeitraum 2011 bis 2020



Quelle: eigene Darstellung nach Eurostat (2021)

[6] Ein Heizgradtag ist die Differenz (pro Tag) zwischen einer Raumtemperatur von 20 °C und der mittleren Außentemperatur, sofern diese geringer als 12 °C ist. Diese Zahl wird über alle Heiztage aufsummiert.

Abbildung 2: Jährliche Eistage und Frosttage für Deutschland im Zeitraum 2011 bis 2020



Quelle: eigene Darstellung nach Deutscher Wetterdienst (2022a)

2.4 Energiepreise

Energiepreise haben einen Einfluss auf den Energieholzverbrauch privater Haushalte. Dabei ist zwischen Brennholzpreisen und Preisen für konventionelle Energieträger zu unterscheiden. Die theoretische Wirkung des Brennholzpreises auf die Nutzung von Brennholzsortimenten sollte negativ sein. D. h., wenn die Preise für Brennholz steigen, sollte die Nachfrage in privaten Haushalten sinken. Die Bestimmung des Preiseinflusses wird allerdings durch die Heterogenität der Bezugsquellen (d. h. von Selbstwerbern bis zum Großhandel) von Brennholz erschwert. Zudem ist zu beachten, dass ein allgemeingültiger durchschnittlicher Preis für Brennholz nicht existiert. Die Messung des Zusammenhanges zwischen Nachfrage und Preis gestaltet sich dementsprechend schwierig und ist lediglich mit einem verallgemeinerten Brennholzpreis möglich, der unter Umständen keinen Einfluss auf Teile des Marktes, bspw. Selbstwerber oder Waldbesitzer, hat.

Zudem sollte beachtet werden, dass sich der Erwerb von Brennholzprodukten zeitlich von der Verwendung unterscheiden kann. Insbesondere frisches Scheitholz muss aufgrund des hohen Feuchtegehalts vor der energetischen Verwendung in den üblichen Holzfeuerungsanlagen privater Haushalte getrocknet werden. Bei der Freilufttrocknung dauert der Trocknungsprozess im Idealfall rund 6 Monate. Längere Trocknungszeiträume sind allerdings nicht auszuschließen (LWF 2022).

Neben dem Brennholzpreis haben Preise für konventionelle Energieträger einen Einfluss auf die energetische Holzverwendung in privaten Haushalten. In Deutschland nutzen rund 85 % der mit Holz beheizten Wohnungen zusätzlich zum Brennholz weitere konventionelle Energieträger

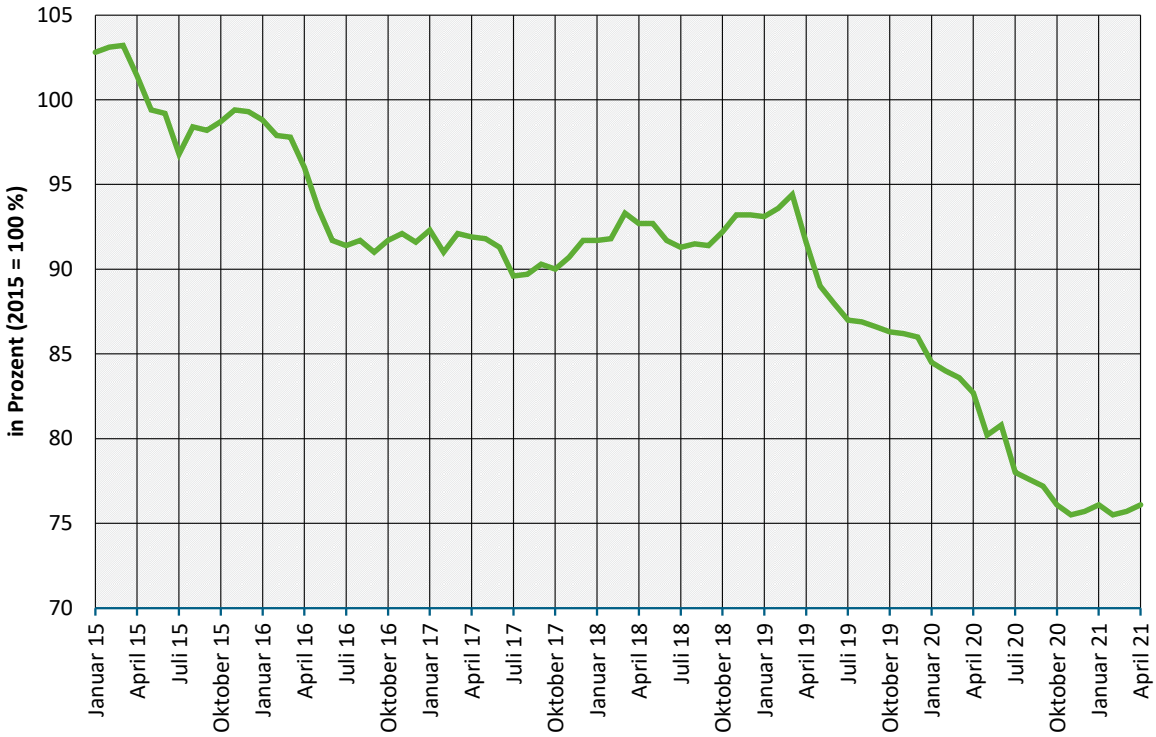
(Mikrozensus 2018). Diese Haushalte, die Brennholz überwiegend in Einzelraumfeuerungsanlagen verwenden, können auf Preisänderungen des konventionellen Energieträgers relativ schnell reagieren und zwischen der Nutzung von Brennholz und fossilen Energieträgern wechseln. Dabei ist anzunehmen, dass ein höherer Preis für konventionelle Energieträger einen höheren Brennholzkonsum in privaten Haushalten zur Folge hat (vgl. u. a. Jochem et al. (2015), TI-WF (2022) und Glasenapp et al. (2019)).

Bei der ausschließlichen Verwendung von Holz als Wärmelieferant, z. B. in einer Holz-Zentralheizung, ist nicht zu erwarten, dass Preisänderungen von konventionellen Energieträgern kurzfristig zu einer Änderung der Holzverwendung des Haushaltes führen. Allerdings ist anzunehmen, dass weniger holzbasierte Heizsysteme errichtet würden, wenn ein langfristig erhöhtes Niveau der Brennholzpreise zu einem Verlust der Konkurrenzfähigkeit von Brennholz gegenüber konventionellen Energieträgern führte.

Das im Rahmen der Thünen-Einschlagsrückrechnung entwickelte Modell zur Schätzung des Brennholverbrauchs privater Haushalte im Zeitverlauf nutzt zwei erklärende Variablen (TI-WF 2022). Mit Hilfe der Witterung (Variable 1) und des Preises konventioneller Energieträger (u. a. Heizöl und Gas; Variable 2) kann der Verbrauch von Brennholz in der Zeitreihe relativ gut abgebildet werden (siehe auch Kapitel 5.1). Dabei zeigt sich erwartungsgemäß ein positives Vorzeichen beim Schätzer des Preises. So führt ein höherer Preis konventioneller Energieträger (z. B. Heizöl und Gas) zu einer vermehrten energetischen Nutzung von Brennholz in privaten Haushalten.

Der Erzeugerpreisindex für Holzprodukte zur Energieerzeugung hat sich zwischen den Jahr 2018 und Anfang 2021 verringert. Während der genannte Index im Jahr 2018 im Mittel bei 92,2 % des Preises von 2015 lag, sank er im Jahr 2020 im Mittel auf 79,7 % des Preises von 2015 (Statistisches Bundesamt (2022c), Abbildung 3). Seit Mitte 2019 lassen sich in der Preisentwicklung kaum noch saisonale Schwankungen - wie noch im Jahr 2018 - beobachten. Das Fehlen von saisonalen Schwankungen könnte ein Indiz für eine langfristige Änderung der Marktverhältnisse sein. In der Vergangenheit resultierten saisonalen Schwankungen der Preise vermutlich aus einer erhöhten Nachfrage nach Brennholz während der Heizperiode im Winter. Die Kalamitäten der vergangenen Jahre und das damit verbundene hohe Aufkommen von Schadholz könnte eine Erklärung für die fallenden Marktpreise und das Fehlen saisonaler Schwankungen sein.

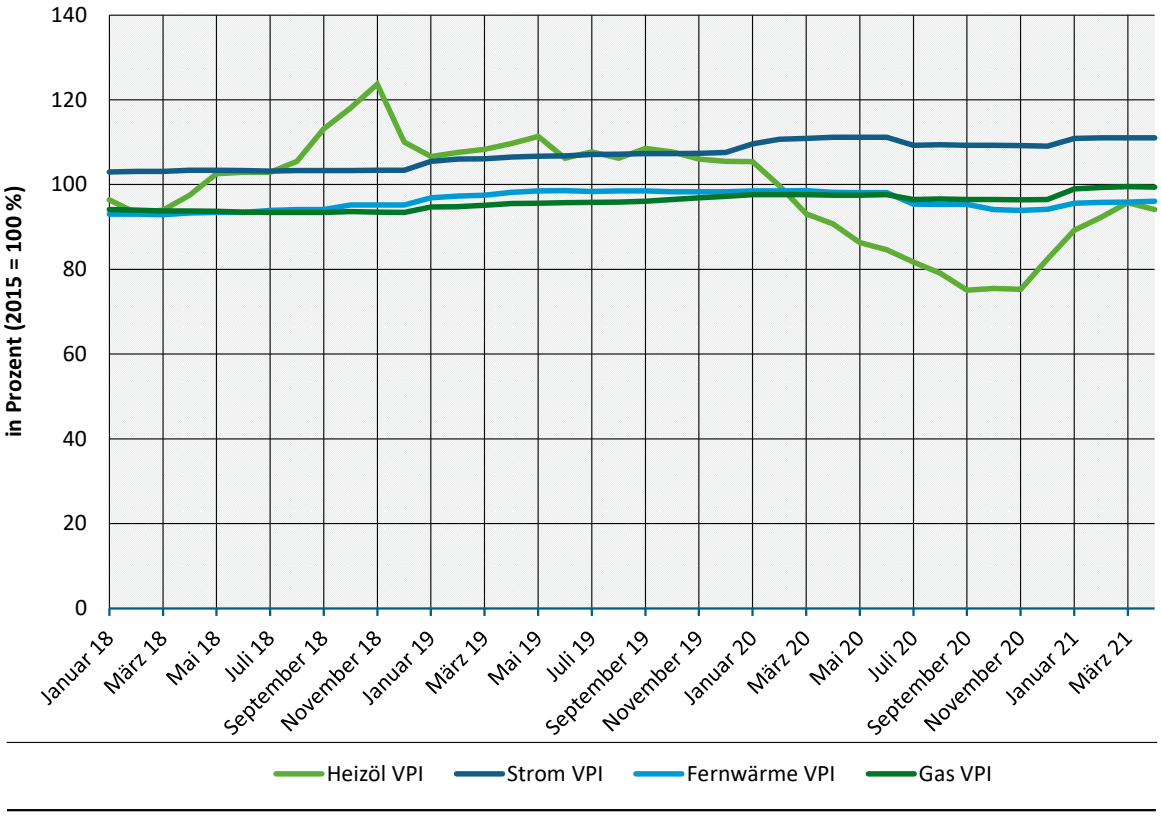
Abbildung 3: Preisindex Holzprodukte zur Energieerzeugung



Quelle: eigene Darstellung, TI-WF, nach Statistisches Bundesamt (2022c)

Die Indizes der Verbraucherpreise (2015 = 100 %) stiegen im Zeitraum von 2018 bis 2020 für Erdgas (von 92,2 % auf 96,1 %), Strom (von 103,3 % auf 110,0 %) und Fernwärme (von 93,9 % auf 96,5 %) an, während vor allem der Einfuhrpreis von Rohöl deutlich sank (von 126,2 % auf 81,2 %). Diese Entwicklung ließ dann auch den Verbraucherpreisindex von leichtem Heizöl sinken (von 117,4 % auf 81,2 %)(siehe Abbildung 4)(Statistisches Bundesamt 2022c).

Abbildung 4: Verbraucherpreisindizes verschiedener Energieformen



Quelle: eigene Darstellung, TI-WF, nach Statistisches Bundesamt (2022c)

2.5 Ausprägung des Wohngebäudes

Neben dem Nutzerverhalten, der Art der Feuerungsanlage und vielen weiteren Faktoren hat auch die bauliche Beschaffenheit bzw. die Ausprägung des Wohngebäudes einen Einfluss auf die Höhe der Brennholzverwendung. Dies betrifft insbesondere die Wärmedämmung der Außenwände, der Fenster und des Daches. Bei konstanten sonstigen Einflussfaktoren (d. h. *ceteris paribus*) gilt: Je besser die Wärmedämmung der genannten Gewerke, desto geringer ist der Brennholzverbrauch. Ferner hat auch die Größe der zu beheizenden Wohnung einen relevanten Einfluss. Der Holzverbrauch steigt *ceteris paribus* mit zunehmender Wohnfläche.

2.6 Sonstige Einflussfaktoren

Glasenapp et al. (2019) analysierten und quantifizierten eine Reihe weiterer Faktoren, die auf den Energieholzverbrauch deutscher Privathaushalte wirken. Bei der Analyse wurden sowohl Brennholz nutzende Haushalte als auch jene berücksichtigt, die kein Brennholz einsetzen. Es wurden u. a. folgende Wirkungszusammenhänge ermittelt:

a. Die Größe des Haushaltes: Je mehr Bewohner ein Haushalt umfasst, desto höher ist der Energieholzeinsatz.

b. Die Höhe des Haushaltseinkommens: Haushalte der niedrigsten und höheren Einkommensklassen wiesen einen höheren Verbrauch an Holzenergie auf als Haushalte der mittleren Einkommensklassen. Haushalte der höchsten Einkommensklassen wiesen den höchsten spezifischen Holzeinsatz auf.

c. Das Alter des Haupteinkommensbeziehers: Der Energieholzverbrauch nimmt mit zunehmendem Alter des Haushaltsvorstandes ab.

d. Zugang zu Brennholz: Je besser der Zugang zu Holz (z. B. durch Waldbesitz, Leben im ländlichen Raum oder eine hohe Walddichte im direkten Wohnumfeld), desto höher ist der Energieholzverbrauch eines Haushaltes.

Neben den genannten Einflussfaktoren können auch besondere Ereignisse, wie z. B. eine Pandemie oder andere Krisenereignisse, Einfluss auf den durchschnittlichen oder gesamten Holzverbrauch der privaten Haushalte haben. Der Einfluss der Corona-Pandemie wird in Kapitel 5.2.2.4 betrachtet.

2.7 Wechselwirkungen der Einflussfaktoren

In den vorangegangenen Kapiteln 2.1 bis 2.6 wurden verschiedene wesentliche Einflussfaktoren auf den energetischen Holzverbrauch der privaten Haushalte beleuchtet, die jedoch parallel wirken, sich überlagern und sich zudem zum Teil auch gegenseitig beeinflussen können. Das macht es generell schwierig, den Beitrag der einzelnen Faktoren an den Veränderungen des Holzverbrauchs in einem bestimmten Betrachtungszeitraum zu bestimmen. So ist beispielsweise das Nutzerverhalten in Bezug auf mit Holz beheizte Einzelraumfeuerungen u. a. sowohl von der Witterung als auch von den Preisen der konventionellen Energieträger und dem Brennholzpreis abhängig, die Holzenergiepreise werden wiederum von der Summe des Verhaltens aller Brennholznutzer beeinflusst. Der Umfang des Einflusses der Witterung, der Preise sowie des Nutzerverhaltens auf den Holzenergieverbrauch ist wiederum stark vom energetischen Standard des Gebäudes abhängig. Bei einem hohen Sanierungsniveau sollte dies (deutlich) weniger ausgeprägt als bei unsanierten Gebäuden sein. Ein weiteres Beispiel für die Überlagerung der verschiedenen Einflussfaktoren auf den Holzverbrauch der privaten Haushalte ist die Corona-Pandemie (siehe auch Kapitel 5.2.2.4). Diese wirkte durch die verschiedenen Lock-Down-Phasen möglicherweise direkt auf das Nutzerverhalten der Brennholznutzer und gleichfalls umfassend auf den Heizölpreis, der wiederum das Nutzerverhalten - allerdings gegenläufig - beeinflusst haben könnte. Tangiert wird Verhalten wiederum auch wesentlich von der Witterung in diesem Zeitraum. Wie bereits erwähnt, wird die gemeinsame Wirkung der bekannten Haupteinflussfaktoren in Kapitel 5 untersucht und detailliert beschrieben. Eine ökonometrische Analyse der energetischen Holzverwendung im Haushaltssektor wurde von Glasenapp et al. (2019) veröffentlicht.

3 Methodik

In Kapitel 3 folgt eine detaillierte Beschreibung des methodischen Vorgehens zur Berechnung des energetischen Holzeinsatzes in privaten Haushalten im Jahr 2020. Als Grundgesamtheit gelten alle bewohnten Wohnungen in Wohngebäuden in Deutschland (Kapitel 3.1).

Eine repräsentative Stichprobe von mehr als 10.000 deutschen Haushalten ist die Grundlage für die Ermittlung des energetischen Holzeinsatzes im Wohnungsbestand (Kapitel 3.2). Die Befragung selbst wurde von einem Dienstleister (Kantar GmbH) durchgeführt. Nach der Befragung erfolgte eine Datenbereinigung durch den Dienstleister, um erste offensichtlich unplausible Angaben von Befragten zu entfernen sowie eine erste Imputation fehlender Angaben. Außerdem wurden Gewichte berechnet, um die Repräsentativität für ausgewählte Merkmale sicherzustellen (Kapitel 3.3 und 3.4). Anschließend wurden weitere unplausible Ergebnisse in einer detaillierten Einzelfallprüfung von Experten bestimmt und durch Imputationen ersetzt (Kapitel 3.5).

Über die Verschneidung der Daten zur Grundgesamtheit und die Befragungsergebnisse der Stichprobenerhebung erfolgte die Hochrechnung des energetischen Holzeinsatzes auf den gesamten deutschen Haushaltssektor (Kapitel 3.6 und Kapitel 3.7).

3.1 Grundgesamtheit 2020

Informationen aus dem Mikrozensus mit dem aktuellen Zusatzprogramm „Wohnen in Deutschland“ zum Jahr 2018 bilden die Grundlage zur Bestimmung der Grundgesamtheit 2020, die für eine Berechnung des energetischen Holzeinsatzes im gesamten deutschen Haushaltssektor im Jahr 2020 benötigt wird. Die Grundgesamtheit wird definiert als alle bewohnten Wohnungen in Wohngebäuden (ohne Wohnheime)[7] in Deutschland. Im Jahr 2018 lag dieser Wert bei 36,927 Millionen Wohnungen (Statistisches Bundesamt 2019).

Frühere Studien haben gezeigt, dass der Brennholzverbrauch nicht homogen über alle Wohnungen verteilt ist (Mantau (2012), Döring et al. (2016), Glasenapp et al. (2019), Döring et al. (2020)). So ist beispielsweise der spezifische Brennholzverbrauch in Wohnungen mit Zentralheizung, die Holz als primäre Energiequelle nutzen, höher als der Brennholzverbrauch in Wohnungen ohne Holzzentralheizungen (Döring et al. 2020). Aufgrund des unterschiedlichen spezifischen Holzeinsatzes, wird der Wohnungsbestand in Gruppen - nachfolgend als Hochrechnungsgruppen bezeichnet - eingeteilt. Wohnungen innerhalb einer Hochrechnungsgruppe weisen für ausgewählte Merkmale (z. B. Heiztechnologie, Haustyp, etc.) die gleichen Ausprägungen auf. Außerdem sollten die spezifischen Holzeinsätze von Wohnungen innerhalb einer Hochrechnungsgruppe weniger stark variieren als im Vergleich zu den spezifischen Holzeinsätzen in anderen Hochrechnungsgruppen. Hierdurch reduziert sich die Varianz des durchschnittlichen Holzeinsatzes.

In den früheren Studien des Rohstoffmonitorings Holz wurden fünf Hochrechnungsgruppen gebildet, die im Folgenden, insbesondere auch aus Gründen der Anschlussfähigkeit, gleichfalls verwendet werden. Wie in Tabelle 1 zu sehen, werden bei den Hochrechnungsgruppen zunächst zwei Hauptkategorien unterschieden: Wohnungen ohne Holzzentralheizung[8] und Wohnungen

[7] im Folgenden werden bewohnte Wohnungen in Wohngebäuden (ohne Wohnheime) mit dem Begriff „private Haushalte“ gleichgesetzt, auch wenn diese per Definition nicht als Synonyme zu verstehen sind.
[8] Im Folgenden werden alle Wohnungen, welche eine Zentralheizung besitzen und Holz als hauptsächliche Energiequelle nutzen als Wohnungen mit Holzzentralheizung bezeichnet. Alle Wohnungen ohne Zentralheizung mit Holz als hauptsächlichen Energieträger und Wohnungen mit Holz-ERF werden als Wohnung ohne Holzzentralheizung bezeichnet.

mit Holzzentralheizung. Da besonders die erste Hauptkategorie (d. h. ‚Wohnungen ohne Holzzentralheizung') mehr als 36 Millionen Wohnungen in Deutschland umfasst, wird diese zusätzlich in vier Unterkategorien aufgeteilt. Daraus ergeben sich folgende fünf Hochrechnungsgruppen:

In der 1. Hochrechnungsgruppe wurden alle Eigentümer von Ein- bzw. Zweifamilienhäusern ohne Holzzentralheizung eingeordnet. Aus dem Mikrozensus ergaben sich für diese erste Hochrechnungsgruppe im Jahr 2018 13,245 Millionen Wohnungen (35,9 % der Grundgesamtheit, siehe Tabelle 1) (Statistisches Bundesamt 2019).

In der 2. Hochrechnungsgruppe befinden sich alle Mieter in Ein- bzw. Zweifamilienhäusern ohne Holzzentralheizung. Diese zweite Hochrechnungsgruppe bestand im Jahr 2018 laut Mikrozensus aus 3,585 Millionen Wohnungen (9,7 % der Grundgesamtheit, siehe Tabelle 1) (Statistisches Bundesamt 2019).

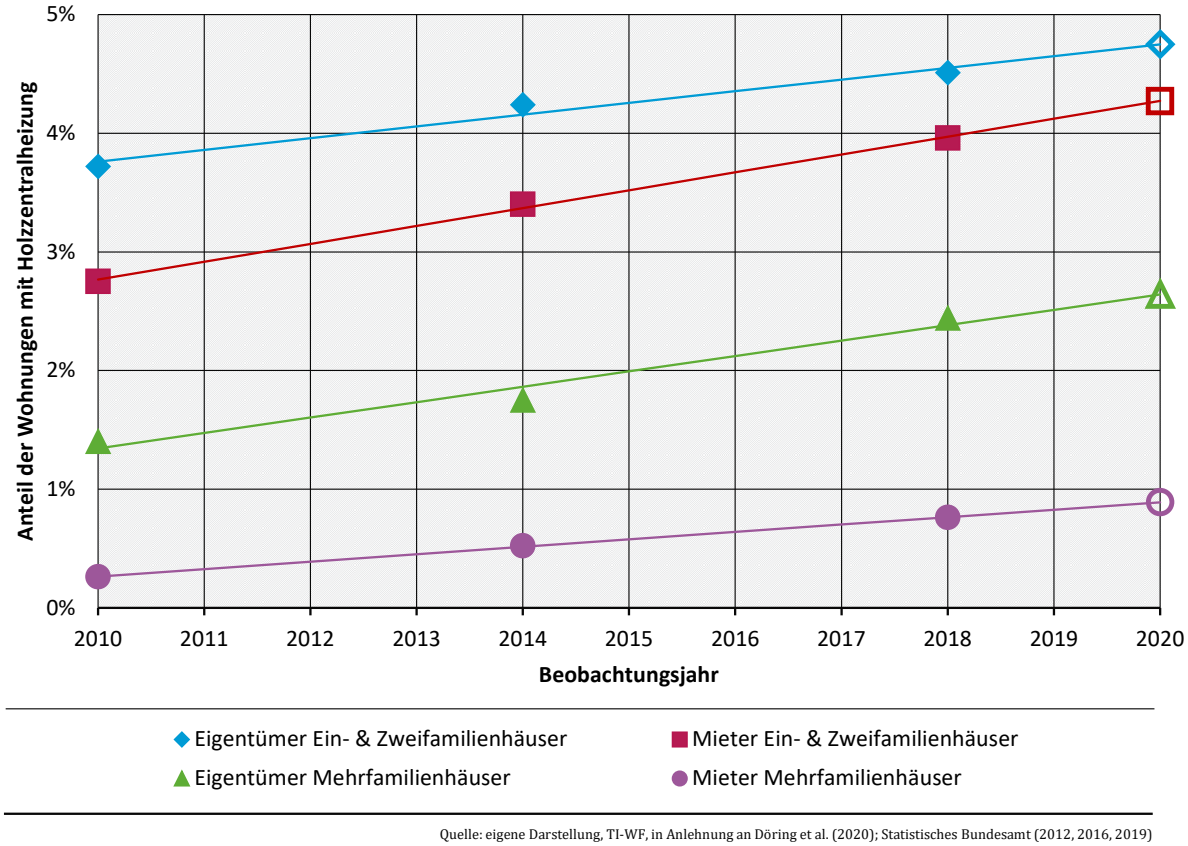
In die 3. Hochrechnungsgruppe wurden Eigentümer in Mehrfamilienhäusern ohne Holzzentralheizung eingeteilt. Dieser dritten Hochrechnungsgruppe wurden im Jahr 2018 3,212 Millionen Wohnungen zugeordnet (8,7 % der Grundgesamtheit, siehe Tabelle 1) (Statistisches Bundesamt 2019).

Die 4. Hochrechnungsgruppe umfasst alle Mieter in Mehrfamilienhäusern ohne Holzzentralheizung. Im Jahr 2018 gab es laut Mikrozensus 15,880 Millionen Wohnungen in dieser Hochrechnungsgruppe (43,0 % der Grundgesamtheit, siehe Tabelle 1) (Statistisches Bundesamt 2019).

Wohnungen mit Holzzentralheizungen (Hochrechnungsgruppe 5) wurden u. a. aufgrund des geringen Anteils an der Grundgesamtheit nicht weiter unterteilt. Im Jahr 2018 wurden im Mikrozensus 1,005 Millionen Wohnungen mit Holzzentralheizungen erfasst (2,7 % der Grundgesamtheit, siehe Tabelle 1) (Statistisches Bundesamt 2019).

Die Zusatzerhebung des Mikrozensus, aus der sich die Hochrechnungsgruppen entnehmen lassen, wird alle 4 Jahre durchgeführt. Die aktuellsten Befragungsergebnisse beziehen sich auf das Jahr 2018. Das bedeutet, dass für das Jahr 2020 keine offiziellen Daten zur Grundgesamtheit, differenziert nach den fünf Hochrechnungsgruppen, vorliegen. Aus diesem Grund wurden die verfügbaren Daten des Mikrozensus zum Jahr 2018 u. a. mithilfe der Bautätigkeitsstatistik (Statistisches Bundesamt 2022a) bis zum Jahr 2020 fortgeschrieben (siehe Abbildung 5). In der Bautätigkeitsstatistik finden sich Daten zu fertiggestellten und abgegangenen Wohnungen für die Jahre 2019 und 2020. Zur Grundgesamtheit von 2018 wurden die in diesem Zeitraum fertiggestellten Wohnungen (507.287 Wohnungen) addiert, sowie die abgegangenen Wohnungen (33.641 Wohnungen) subtrahiert. Dieses Vorgehen unterlag der Annahme, dass Wohnungen direkt nach ihrer Fertigstellung bewohnt werden. Für das Jahr 2020 ergibt sich demnach eine Grundgesamtheit von rund 37,401 Millionen Wohnungen.

Abbildung 5: Entwicklung des Holzzentralheizungsanteils nach Bewohnergruppen



Quelle: eigene Darstellung, TI-WF, in Anlehnung an Döring et al. (2020); Statistisches Bundesamt (2012, 2016, 2019)

Die Entwicklung der Bestandszahlen der einzelnen Hochrechnungsgruppen ist nicht direkt aus Statistiken ableitbar. Die Bautätigkeitsstatistik für fertiggestellte Wohnungen enthält keine explizite Trennung nach Eigentümern und Mietern. Angaben zu Bauabgängen enthalten lediglich Daten für die Gesamtheit aller Wohnungen in Wohngebäuden. Auch sind keine Angaben zu Fertigstellung und Bauabgang von Wohnungen mit Holzzentralheizung enthalten. Eine anteilige Aufteilung des gesamten Wohnungsbestand auf die Hochrechnungsgruppen ist ebenfalls nicht möglich. Insbesondere die 5. Hochrechnungsgruppe (‚Wohnungen mit Holzzentralheizung') hat in den letzten Jahren ein stärkeres Wachstum verzeichnet als die Grundgesamtheit aller Wohnungen (Döring et al. 2020). Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, wird bei der Fortschreibung der Wohnungszahlen der 5. Hochrechnungsgruppe der lineare Trend aus den Jahren 2010, 2014 und 2018 fortgeschrieben (Statistisches Bundesamt (2012, 2016, 2019)). Für das Jahr 2020 ergeben sich aus der Fortschreibung insgesamt 1,08 Millionen Wohnungen mit Holzzentralheizung (siehe Tabelle 1).

Für die Hochrechnungsgruppen 1 bis 4 hingegen sind die Baufertigstellungen von Ein- und Zweifamilienhäusern sowie von Mehrfamilienhäusern aus offiziellen Statistiken bekannt. Die Verteilung nach Eigentümern und Mietern ist allerdings unbekannt und erfolgte daher auf Basis der Verhältnisse im Jahr 2018. Für die Gebäudeabgänge wurde der gesamte Abgang auf die Hochrechnungsgruppen 1 bis 4 auf Basis der Verhältnisse des Mikrozensus 2018 verteilt. Die so errechneten Baufertigstellungen pro Hochrechnungsgruppe wurden abschließend mit dem Wert des Mikrozensus zum Jahr 2018 addiert und die Bauabgänge subtrahiert. Die Ergebnisse der Fortschreibung können Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Grundgesamtheit für 2018 und 2020 nach Hochrechnungsgruppen

Grundgesamtheit	Wohnungen 2018[1] in 1.000	Wohnungen 2018[1] in %	Wohnungen 2020[2] in 1.000	Wohnungen 2020[2] in %
Wohnungen ohne Zentralheizung und primär Holz	35,92	97,3 %	36,32	97,1 %
- davon in Ein-, Zweifamilienhaus	16,83	45,6 %	17,00	45,5 %
- - davon bewohnt von Eigentümer	13,25	35,9 %	13,38	35,8 %
- - davon bewohnt von Mieter	3,59	9,7 %	3,62	9,7 %
- davon in Mehrfamilienhaus	19,09	51,7 %	19,32	51,6 %
- - davon bewohnt vom Eigentümer	3,21	8,7 %	3,25	8,7 %
- - davon bewohnt vom Mieter	15,88	43,0 %	16,07	43,0 %
Wohnungen mit Zentralheizung und primär Holz	1,01	2,7 %	1,08	2,9 %
Summe aller bewohnten Wohnungen[3]	**36,93**	**100 %**	**37,40**	**100 %**

[1] Quelle: Statistisches Bundesamt (2019)

[2] fortgeschriebene Daten für 2020

[3] in Wohngebäuden ohne Wohnheime

3.2 Befragungs- und Stichprobendesign

Informationen zum spezifischen Holzverbrauch in privaten Haushalten wurden auf Grundlage eines Fragebogens durch eine Stichprobenbefragung ermittelt. Die verwendeten Fragen sind dem Anhang A zu entnehmen. Der Fragebogen wurde in Anlehnung an die bisherigen Studien des Rohstoffmonitorings Holz und dem Mikrozensus entwickelt. Insgesamt werden bis zu 45 Merkmale abgefragt. Diese können in vier Kategorien zusammengefasst werden:

- Informationen zum Haushalt
- Informationen zur Wohnung
- Informationen zum Heizungssystem
- Informationen zur Brennholznutzung

In der Kategorie „Haushalt“ wurden demographische Informationen zur Person und dem Haupteinkommensbezieher des Haushaltes sowie den gesamten Haushalt betreffende Informationen abgefragt. Hierzu zählen unter anderem der Wohnort, die Haushaltsgröße, das Einkommen und die Familiensituation. Die Kategorie „Wohnung“ enthält u. a. Informationen zu Wohnungsgröße, zum Baujahr und dem energetischen Sanierungsstand. Zur Kategorie „Heizungssystem“ zählen Fragen zur Art der verwendeten Heizung (bspw. Fern-, Zentral- oder Einzelraumheizung) und Fragen zur überwiegend und, wenn vorhanden, zusätzlich verwendeten Energiequelle.

Die letzte und ausführlichste Kategorie: „Brennholznutzung“ enthält Fragen zur Nutzung von verschiedenen Brennholzsortimenten. Dazu zählen u. a. die Art der Brennholznutzung (Einzelraumfeuerung und/oder Holzzentralheizung) und der Beschaffungsweg des Brennholzes.

Zudem werden die verwendeten Holzsortimente erfasst. Folgende Sortimente aus primären Quellen werden berücksichtigt:

- Scheitholz / Äste / Rundholz aus dem Wald mit Rinde
- Scheitholz / Äste / Rundholz aus dem Wald ohne Rinde
- Scheitholz / Äste / Rundholz aus eigenem Garten
- Scheitholz / Äste / Rundholz aus der Landschaftspflege
- Hackschnitzel aus dem Garten oder Landschaftspflege
- Hackschnitzel aus dem Wald

Für Waldscheitholz wurde bei dieser Stichprobe das erste Mal differenziert gefragt, ob es mit Rinde oder ohne Rinde genutzt wird. Die Differenzierung dient der Verbesserung der Datenlage. In der Vergangenheit wurde davon ausgegangen, dass Waldholz immer Rinde enthält. Dies muss allerdings nicht immer der Fall sein, da Käferholz beispielsweise schon im Wald entrindet wird und, wenn es als Scheitholz verkauft wird, ohne Rinde beim Verbraucher ankommt. Die Erfassung von Waldscheitholz in Rinde und ohne Rinde erlaubt daher differenziertere Aussagen zur energetischen Holzverwendung, die z. B. für die internationale Berichterstattung benötigt werden. Neben Holz aus primären Quellen verwenden Haushalte auch Holz, das nicht direkt aus dem Wald kommt, sondern aus sogenannten sekundären und tertiären Quellen. Hierzu zählen folgende Holzsortimente:

- Schnittholzreste (aus Sägewerken, Holzgewerbe oder vom Händler)
- Hackschnitzel aus der Holzbearbeitung (z. B. Sägewerke)
- Altholz (Gebrauchtholz, Abbruchholz, Schnittholzreste aus eigener Verarbeitung)

Altholz teilt sich nach der Altholzverordnung formal in 4 Altholzkategorien auf, die u. a. Holz umfassen, das z. B. aufgrund von Kontaminationen in Feuerungsanlagen privater Haushalte nicht verwendet werden darf. Da der Altholzbegriff jedoch umgangssprachlich verbreitet ist, wurde dieser Begriff in der Befragung verwendet und mit weiteren Begriffen eingegrenzt (vgl. Anhang A).

Der Einsatz von Energieholzprodukten hat sich im Haushaltssektor etabliert. In der Befragung werden folgende Energieholzprodukte unterschieden:

- Holzpellets
- Holzbriketts

Sofern es einem Befragten nicht möglich ist, den Ursprung des verwendeten Brennholzes zu bestimmen, können folgende Angaben gemachte werden:

- Zusätzliches Holz, z. B. Anzündholz
- Hackschnitzel mit unbekannter Herkunft
- Sonstige Brennholzsortimente

3.3 Erhebungsdurchführung, Datenaufbereitung, Gewichtung und Hochrechnung

Für die empirische Erfassung des energetischen Holzeinsatzes in privaten Haushalten hat das Thünen-Institut die Kantar GmbH mit der Durchführung der Befragung, der Datenaufbereitung, der Hochrechnung und der Erstellung eines Ergebnisberichts beauftragt. Dabei hat die Kantar GmbH der vollständigen Verwertung des Ergebnisberichts inkl. vollständiger Textpassagen zugestimmt. Die folgenden Textpassagen[9] in diesem Kapitel stammen überwiegend aus dem Ergebnisbericht der Kantar GmbH, der für die interne Verwendung, im Rahmen des Projektes erstellt wurde.

Zwischen dem 30. April und dem 20. Mai 2021 wurde eine online-Befragung (CAWI=Computer Assisted Web Interview) mit über 10.500 Zielpersonen durchgeführt, die Angaben zu insgesamt über 12.000 Wohnungen machten. Die Rekrutierung der Zielpersonen lief über das Payback-Online-Panel im Auftrag der Kantar GmbH. Bei der Stichprobenziehung wurden folgende Merkmale berücksichtigt und ausgesteuert, um bereits in der Nettostichprobe diverse Häufigkeitsverteilungen aus der Grundgesamtheit abzubilden:

- Bundesland
- Siedlungsstrukturelle Kreistypen gemäß Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
- Altersgruppen (jeweils fünf Jahre gruppiert)
- Geschlecht
- Haushaltsgröße

Weitere relevante Merkmale waren vor der Befragung nicht bekannt und bei der Stichprobenziehung konnte nach diesen nicht ausgesteuert werden. Die relevanten Merkmale sind nach der Erhebung allerdings in das Modell zur Berechnung von Gewichten eingeflossen, sodass auch hier Repräsentativität hergestellt wurde. Ferner konnten mit der Strukturgewichtung Non-Response Effekte (Antwortausfälle) in der ursprünglichen Stichprobe aus dem Access Panel korrigiert werden.

Referenzdaten für die Gewichtung stammen vom statistischen Bundesamt. Dabei sind Haushalte in Wohnheimen und Unterkünften explizit eingeschlossen. Es wurde nach folgenden Merkmalen gewichtet:

- Geschlecht des Haupteinkommensbeziehers
- Ortsgrößenklasse
- Bundesland
- Bundesland gekreuzt mit Ortsgrößenklasse
- Region (alte und neuen Länder) gekreuzt mit Bildung des Haupteinkommensbeziehers
- Region (alte und neuen Länder) gekreuzt mit Haushaltsgröße
- Region (alte und neuen Länder) gekreuzt mit Haushaltseinkommen

[9] Es handelt sich überwiegend um wörtliche Wiedergabe.

- Region (alte und neuen Länder) gekreuzt mit dem Alter des Haupteinkommensbeziehers

Die Struktur der Stichprobendaten bezieht sich bis zu diesem Punkt auf Personen (Personenstichprobe) und wurde nachträglich in eine Wohnungsstichprobe umgewandelt. Bei der Befragung machten Teilnehmer für bis zu zwei Wohnungen (Haupt- und Nebenwohnsitz) Angaben, sodass die Zahl der empirisch erfassten Wohnungen größer war als die der Befragungsteilnehmer. In der Stichprobe lagen schlussendlich Informationen für über 12.000 Wohnungen vor.

Aus dieser Stichprobe wurden Angaben zu Wohnungen in Wohnheimen oder Unterkünften entfernt (siehe Kapitel 3.4). Nach dieser ersten Datenbereinigung wurde erneut gewichtet und die Angaben anschließend auf die 37,401 Mio. Wohnungen und gleichzeitig auf 38,436 Mio. Haushalte für das Jahr 2020 hochgerechnet. In diesem Schritt wurde nach folgenden Merkmalen gewichtet:

- Wohnfläche
- Eigentümerwohnungen bzw. Mieterwohnungen
- Eigentümerwohnungen bzw. Mieterwohnungen gekreuzt mit Wohnfläche
- Fünf Hochrechnungsgruppen (vgl. Kapitel 3.1)

Auf Grundlage der Gewichtungsfaktoren wurden Hochrechnungsfaktoren auf Haushaltsebene gebildet. Jeder Stichprobenteilnehmer erhält dabei einen Hochrechnungsfaktor, der für die Anzahl an Haushalten der Grundgesamtheit steht, die durch den jeweiligen Stichprobenteilnehmer repräsentiert wird. In den Fällen in denen ein Befragter nicht über einen Zweitwohnsitz verfügt, entspricht der Hochrechnungsfaktor auf Haushaltsebene jenem auf Wohnungsebene. Bei jenen Fällen mit zwei Wohnsitzen ist der Hochrechnungsfaktor auf Wohnungsebene halb so groß wie der auf Haushaltsebene.

Die Methodik der Gewichtung bzw. Berechnung von Hochrechnungsfaktoren wird im Folgenden beschreiben. Anhand einer Regressionsschätzung wird die Stichprobe simultan an die Verteilungen der oben erwähnten spezifischen Variablen (Wohnfläche, Mietverhältnis und die 5 Hochrechnungsgruppen) als auch an die Summe der Wohnungen und Haushalte insgesamt angepasst.

Mittels Kalibrierung werden bereits vorliegende Gewichtungsfaktoren angepasst. Dabei ist das Ziel, hochgerechnete Werte aus der Stichprobe (S) an ausgewählten Merkmalen aus der Grundgesamtheit (U) anzupassen. Abweichungen zwischen hochgerechneten Werten aus der Stichprobe und bekannten Werten aus der Grundgesamtheit gilt es zu korrigieren. Die Kalibrierung erfolgt in dieser Studie mittels generalisierter Regression (GREG).

Bei der Spezifizierung der Regression wird ein besonderer Fokus auf den Abstand zwischen den Design-Gewichtungsfaktoren und den neuen Gewichtungsfaktoren gelegt. Dazu soll der Abstand zwischen Design-Gewichtungsfaktoren und neuen Gewichtungsfaktoren minimiert werden. Als Ziel der Anpassung formulieren Deville und Särndal (1992)“: „…to derive new weights that modify as little as possible the original sampling weights […], which have the desirable property of yielding unbiased estimates…”. Das Problem besteht also darin, eine Abstandsfunktion zu minimieren. Dies erfolgt mit Hilfe einer Langrange-Funktion und führt zu dem in Formel 1 dargestellten Minimierungsproblem. Die oben erwähnte Anpassung von gemessenen Merkmalen an die Grundgesamtheit wird dabei in der Distanzfunktion in der Klammer auf der rechten Seite ausgedrückt.

Formel 1: Minimierungsproblem: Distanzfunktion einer Schätzung im Rahmen einer generalisierten Regression

$$\sum_{S} d_k \, G\left(\frac{w_k}{d_k}\right) - \lambda' \left(\sum_{S} w_k x_k - \sum_{U} x_k \right) = 0$$

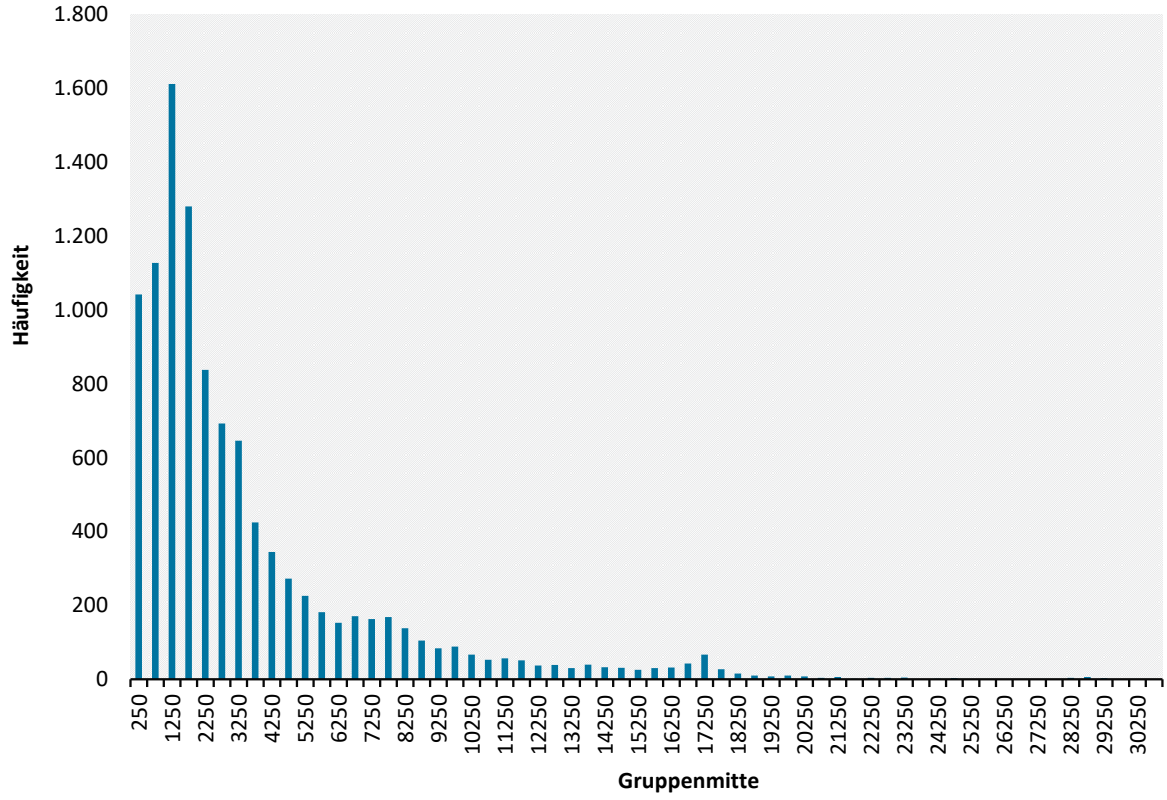
mit:

w_k = finaler Gewichtungsfaktor
x_k = Element der Stichprobe/Grundgesamtheit
d_k = Design-Gewicht
S = Stichprobe
U = Grundgesamtheit
G = Distanzfunktion
λ = Langrange Multiplikator

Deville et al. (1993) beschreiben mehrere Distanzfunktionen (G) und empfehlen schlussendlich in der Anwendung entweder eine Logit-Funktion oder eine lineare Funktion. Bei der Anwendung von beispielsweise linearen Distanzfunktionen müssen spezifische untere und obere Faktorengrenzen definiert werden, um zu vermeiden, dass es zu negativen Gewichten kommen kann. Die lineare Funktion führte in der Anwendung auf die vorliegenden Stichproben zu besseren Anpassungen mit leicht größeren Faktorenspannbreiten im Vergleich zur Logit-Funktion. Aufgrund der besseren Anpassungsmöglichkeiten wird deshalb häufig die lineare Funktion als Distanzfunktion gewählt.

Die Hochrechnungsfaktoren waren Teil der Datenlieferung der Kantar GmbH an das Thünen-Institut. Wie in Abbildung 6 zu sehen, liegen die Hochrechnungsfaktoren zwischen 0,8 und 30.663. Sehr hohe Hochrechnungsfaktoren treten vergleichsweise selten auf, sodass das Risiko einer zu starken Gewichtung einzelner Befragungsergebnisse begrenzt ist.

Abbildung 6: Verteilung der Hochrechnungsfaktoren



Quelle: eigene Darstellung, TI-WF auf Basis des Abschlussberichtes der Kantar GmbH

3.4 Datenaufbereitung, Extremwertbereinigung und Imputation

Die folgenden Textpassagen[10] in diesem Kapitel stammen zum Teil aus dem Abschlussbericht der Kantar GmbH, der für die interne Verwendung im Rahmen des Projektes erstellt wurde.

Fehlende Angaben sind ein häufiges Problem in der umfragebasierten Forschung, deren Ursprung in der Weigerung oder der Unfähigkeit eines Befragten liegt, eine Antwort zu geben. Letzteres kann daran liegen, dass die Frage entweder nicht verstanden wird oder tatsächlich nicht beantwortet, werden kann. Für den Umgang mit fehlenden Angaben gibt es im Wesentlichen drei Möglichkeiten: erstens können diese Fälle aus dem Datensatz entfernt werden, sodass nur noch vollständige Fälle verbleiben, zweitens können die fehlenden Angaben auf Grundlage der vollständigen Fälle imputiert werden oder drittens können fehlende Werte akzeptiert und nichts weiter unternommen werden. Die dritte Option hat allerdings zur Folge, dass ein betroffenes Merkmal ggf. gar nicht ausgewertet werden kann. Im Rahmen der Panelbefragung zur Energieholzverwendung in privaten Haushalten wurde für ein Großteil der fehlenden Werte die zweite Option (d. h. Imputation der fehlenden Werte) gewählt. Hierdurch sollten möglichst viele Angaben behalten und einer Verzerrung der Ergebnisse durch systematische Ausfälle entgegenwirkt werden.

Vor der Imputation fehlender Werte wurden zunächst die Extremwerte sowohl auf Ebene des Gesamtverbrauchs als auch auf Ebene des jeweiligen Sortimentsverbrauchs bereinigt. In Bezug auf den Gesamtverbrauch pro Quadratmeter gelten in an Anlehnung an Döring et al. 2016 alle Fälle als Extremwerte, die höher als der Durchschnittsverbrauch pro Quadratmeter addiert mit der 2,5-fachen Standardabweichung sind. Dies entspricht für den vorliegenden Datensatz etwa

[10] Es handelt sich überwiegend um wörtliche Wiedergabe.

dem 8,6-Fachen des Interquartilsabstandes. Entsprechende Fälle wurden aus den Daten ausgeschlossen. Auch bei dem jeweiligen Sortimentsverbrauch wurde geprüft, ob der Sortimentsverbrauch pro Quadratmeter höher ist als der sortimentsspezifische Durchschnittsverbrauch pro Quadratmeter addiert mit der 2,5-fachen Standardabweichung des Sortimentsverbrauchs pro Quadratmeter. Alle Angaben, die oberhalb dieser Grenze lagen, erhielten den Wert der Obergrenze, also den durchschnittlichen Sortimentsverbrauch pro Quadratmeter addiert mit der 2,5-fachen Standardabweichung des Sortimentsverbrauchs pro Quadratmeter. Hintergrund dieses Vorgehens ist die Annahme, dass ein unplausibel hoher Wert tendenziell durch einen hohen realistischen Wert zu ersetzen ist. Abschließend wurde der Verbrauch noch mit der Wohnungsfläche multipliziert, um den Verbrauch für die jeweilige Wohnung zu erhalten.

Bei der Imputation fehlender Angaben zum Holzverbrauch wurde das sogenannte Hot-Deck Verfahren angewandt. Hierbei werden die fehlenden Werte durch die zufällige Ziehung eines beobachteten Wertes aus einer ähnlichen Gruppe ersetzt. Da der Holzverbrauch aber maßgeblich von der Wohnungsfläche abhängt, ist zunächst für alle Beobachtungen der Verbrauch pro Quadratmeter auszurechnen, damit dieser ersetzte Wert später auf die jeweilige Wohnungsfläche umgerechnet werden kann. Der Datensatz wurde anschließend in die fünf Hochrechnungsgruppen unterteilt (siehe Kapitel 3.1).

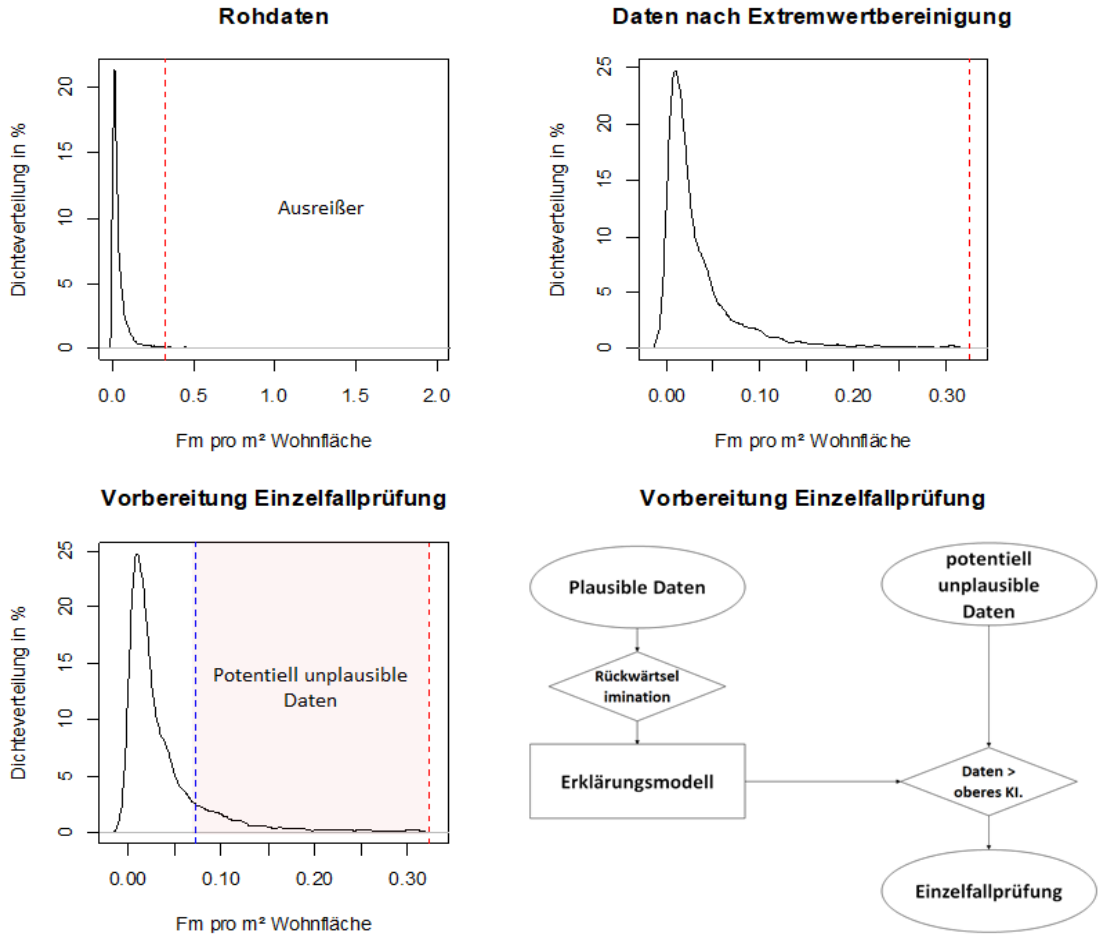
Da jedoch nicht für alle 12.040 Befragungsergebnisse der Wohnungen Angaben zur Bewohnergruppe beziehungsweise zur Gebäudeart vorlagen, mussten im Zuge der Datenbereinigung 1.069 Wohnungen aus dem Datensatz entfernt werden, sodass 10.971 Wohnungen in der Stichprobe verblieben. Im Zuge der weiteren Datenaufbereitung mussten weitere 440 Fälle entfernt werden, da sich die Wohnung beispielsweise in einem Wohnheim oder einer bewohnten Unterkunft befand, oder gar keine Angabe zur Art des Gebäudes vorlag. Ebenso wurden Fälle ausgeschlossen, in denen angegeben wurde, dass mit dem genannten Holzverbrauch neben der Wohnung noch weitere Gebäude(teile) beheizt werden. Somit blieben für die finalen Analysen 10.531 Wohnungen übrig, die auf die 37,401 Mio. bewohnten Wohnungen in Wohngebäuden in Deutschland hochgerechnet wurden.

3.5 Einzelfallbereinigung

Wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben, gibt es verschiedene Herausforderungen bei der empirischen Datenerfassung, wodurch Ergebnisse einer Erhebung verzerrt werden können. Unter anderem gehören fehlerhafte Angaben (z. B. widersprüchliche Angaben) der Befragungsteilnehmer dazu. Durch eine Extremwertbehandlung (siehe Kapitel 3.4) können fehlerhafte Angaben nicht bereinigt werden. Hierfür sind Einzelfallprüfungen notwendig.

Abbildung 7 verdeutlicht die Unterschiede zwischen Extremwertbehandlung und der Prüfung möglicher fehlerhafter Angaben durch eine Einzelfallprüfung. Der linke obere Teil der genannten Abbildung zeigt den Holzverbrauch pro Fläche im Rohdatensatz einschließlich möglicher Ausreißer. Die rot gestrichelte Linie steht für die Grenze, ab der von Ausreißer-Werten ausgegangen wird und umfasst alle Werte größer der Summe aus Mittelwert und 2,5-fachen Standardabweichung. Der obere rechte Teil der genannten Abbildung zeigt die Verteilung des Holzverbrauchs pro Fläche nach entfernen der potenziellen Ausreißer (vgl. auch Kapitel 3.4).

Abbildung 7: Von den Rohdaten bis zur Einzelfallprüfung



Rote Linie = 2,5 * Standardabweichung + Mittelwert; Blaue Linie = 1,5 * Standardabweichung + Mittelwert
Quelle: eigene Darstellung, TI-WF

Nach erfolgter Extremwertbereinigung (siehe Kapitel 3.4) wurden bei der Einzelfallprüfung potentiell unplausible Daten am äußeren Rand des Holzeinsatzes pro Wohnfläche geprüft (siehe Abbildung 7, unten links). Dabei wird in drei Schritten vorgegangen:

1. Für jedes Sortiment werden die größten Werte (größer als die 1,5-fache Standardabweichung des Sortimentsverbrauchs pro Quadratmeter) identifiziert.
2. Diese Werte werden von den restlichen Daten (den „plausiblen“ Daten) getrennt und als separater Datensatz (den „potenziell unplausiblen“ Daten) gespeichert.
3. Da der „potenziell unplausible“ Datensatz ca. 1.000 Fälle umfasst, wurden die „unplausiblen Fälle“ durch eine automatisierte Bewertung weiter eingegrenzt.

Für die automatisierte Bewertung (Schritt 3) wurde für jedes einzelne Sortiment und mit Hilfe der „plausiblen“ Daten ein lineares Regressionsmodell zur Vorhersage des energetischen Brennholzeinsatzes bestimmt. Die Variablenauswahl für das Regressionsmodell erfolgte über eine Rückwärtselimination bei der die Variablen hinsichtlich einer Verbesserung des Akaike information criterion (AIC) iterativ ausgewählt wurden. Mit dem jeweiligen Regressionsmodell wurde dann für jedes Holzsortiment die jeweilige energetische Nutzung mit Konfidenzintervallen geschätzt und mit den „potenziell unplausiblen“ Angaben verglichen. Sofern die modellierten Werte oberhalb des oberen 95 % Konfidenzintervalls lagen, wurde der

Fall als möglicherweise unplausibel betrachtet und der Einzelfallprüfung zugeführt. Insgesamt wurden 171 Datensätze als möglicherweise unplausibel identifiziert und von zwei Experten, durch einen Abgleich mit nachfolgenden Variablen, bewertet:

- Gesamtverbrauch in m^3 / m^2/ Nutztage / Anzahl Einzelraumfeuerungsanlagen * 1000 (Grenze[11] bei > 4[12])
- Gesamtverbrauch in m^3 / Nutztage / Ofen (Grenze bei > 0,5[13])
- Verbrauch in m^3 / Nutztage / Ofen (Grenze bei > 0,1[14])
- Gesamtverbrauch in m^3 / 200 Tage (Grenzen bei > 0,3[15])
- Gesamtverbrauch in m^3 / m^2 / 200 Tage * 1000 (Grenzen bei > 2[16])

Nach Durchführung der Prüfung wurden 23 Fälle als unplausibel identifiziert. In diesen Fällen wurde der Verbrauch durch den höchstmöglichen Verbrauch ersetzt, welcher unter Berücksichtigung der zuvor genannten fünf Variablen noch plausibel war.

Eine weitere Herausforderung stellten fehlende Angaben beim Antwortverhalten zum Brennholzverbrauch dar. Hier lassen sich 43 Fälle identifizieren, welche auf einen Verbrauch schließen lassen, ohne aber einen konkreten Verbrauch angegeben zu haben. Zu diesen zählt u. a. die Angabe von Nutztagen einer holzbetriebenen Einzelraumfeuerungsanlage. Der Verbrauch für diese 32 Fälle wurden durch den Median des Verbrauchs pro Wohnfläche und pro Nutztag, welcher sich für jede Hochrechnungsgruppe aus den vorhandenen Daten ergab, imputiert. Ein weiterer Punkt betraf 11 Fälle, welche eine Holzzentralheizung besaßen, ohne einen Verbrauch angegeben zu haben. Da es unwahrscheinlich erscheint, dass in diesen Fällen überhaupt nicht geheizt wurde, wurde der Verbrauch in diesen Fällen wieder mittels Hot-Deck Verfahren imputiert.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Anzahl der Beobachtungen untergliedert nach Brennholzsortimenten (Tabelle 2) und Hochrechnungsgruppen (Tabelle 3), die sich aus der Befragung und nach den verschiedenen Bearbeitungsschritten der Daten ergeben. Hierzu zählen die Anzahl der Beobachtungen nach erster Imputation, die Anzahl der Beobachtungen nach der Einzelfallprüfung und die Anzahl der Beobachtungen nach Gewichtung der Daten.

Tabelle 2: Beobachtungen aus der Erhebung nach Sortimenten

Brennholzsortimente	Beobach-tungen	Beobachtungen nach Imputationen	Beobachtungen nach Einzelfallprüfung	gewichtete Beobachtungen
Scheitholz	1.164	1.231	1.263	951
- Waldscheitholz	1.034	1.088	1.120	842
- - Waldscheitholz mit Rinde	950	995	1.027	781
- - Waldscheitholz ohne Rinde	318	334	366	249

[11] Die Ermittlung dieser Grenzen sind dabei ein Ergebnis der Experteneinschätzung und gelten nur für den hier beschriebenen Datensatz.
[12] Ausgenommen Holzzentralheizungen.
[13] Ausgenommen Holzzentralheizungen.
[14] Gilt für Anzündholz.
[15] Gilt für Holzzentralheizungen bzw. ausschließlicher Holzverwendung zur Wärmeerzeugung.
[16] Wenn nicht oder schlecht saniert.

Brennholzsortimente	Beobach-tungen	Beobachtungen nach Imputationen	Beobachtungen nach Einzelfallprüfung	gewichtete Beobachtungen
- Scheitholz, Garten	376	400	432	315
- Landschaftspflegeholz	148	160	192	144
Altholz	375	402	402	290
Schnittholzreste	170	191	191	144
Hackschnitzel	38	47	53	33
Holzpellets	181	207	216	163
Holzbriketts	217	226	226	169
Anzündholz	290	307	307	216
sonstige Brennholzsortimente	47	47	47	44
Gesamt	1.434	1.561	1.602	1.251

Tabelle 3: Beobachtungen aus der Erhebung nach Hochrechnungsgruppen

Hochrechnungsgruppen	Beobach-tungen	Beobachtungen nach Imputationen	Beobachtungen nach Einzelfallprüfung	gewichtete Beobachtungen
Wohnungen ohne Holzzentralheizung	1.195	1.289	1.318	1.022
- davon in Ein-, Zweifamilienhaus	1.042	1.123	1.148	877
- - davon bewohnt von Eigentümer	904	972	992	706
- - davon bewohnt von Mieter	138	151	156	171
- davon in Mehrfamilienhaus	153	166	170	145
- - davon bewohnt vom Eigentümer	75	82	84	59
- - davon bewohnt vom Mieter	78	84	86	86
Wohnungen mit Holzzentralheizung	239	272	284	229
Summe aller Wohnungen	1.434	1.561	1.602	1.251

3.6 Umrechnungsfaktoren

Um den Befragten die Frage nach dem konkreten Holzverbrauch zu erleichtern, wurde die Möglichkeit im Fragebogen platziert gebräuchliche Einheiten zum Holzverbrauch zu wählen. Hierzu zählen: Raummeter/Ster, Schüttraummeter bzw. Schüttmeter, Festmeter bzw. Kubikmeter, Handelsübliche Säcke/Packungen, Kilogramm, Tonnen und Liter. Um im Nachhinein eine vergleichbare Grundlage über alle Sortimente zu erhalten, wurden alle Angaben in Kubikmeter umgerechnet. Diese Umrechnung erfolgte auf Grundlage der unter Tabelle 4 zusammengefassten Umrechnungsfaktoren. Eine Ausnahme hiervon stellte die Einheit „Säcke/Packungen“ dar, welche eine sehr heterogene Einheit mit diversen Ausprägungen sein kann. Um auch hier eine Umrechnung zu ermöglichen, wurde diese Einheit in 8,8 Kg (wobei

dieser Wert einen Mittelwert aus verschiedenen handelsüblichen Packungsgrößen darstellt) umgerechnet und diese dann in die Einheit Tonnen umgerechnet.

Tabelle 4: Umrechnungsfaktoren Originaleinheit zu Kubikmeter

Brennholzsortimente	m³ / Rm	m³ / SRm	m³ / Tonne	m³ / Liter
Scheitholz/Äste/ Rundholz aus dem Wald mit Rinde	0,700	0,500	1,869	0,0005
Scheitholz/Äste/ Rundholz aus dem Wald ohne Rinde	0,700	0,500	1,869	0,0005
Scheitholz/Äste/Rundholz aus dem eigenen Garten	0,700	0,500	1,869	0,0005
Landschaftspflegeholz (Knickholz)	0,400	0,351	1,07	0,0004
Altholz1	0,550	0,351	1,73	0,0004
Schnittholzreste (Sägewerk, Holzgewerbe, Händler)	0,550	0,351	1,31	0,0004
Hackschnitzel aus dem Wald		0,400	1,923	0,0004
Hackschnitzel aus dem Garten oder der Landschaftspflege		0,400	1,923	0,0004
Hackschnitzel aus der Holzbearbeitung (Sägew. etc.)		0,400	1,923	0,0004
Holzpellets			1,875	0,0012
Holzbriketts			2,107	
Rindenbriketts			2,107	
Anzündholz			2,107	0,0006

[1]Gebrauchtholz, Abbruchholz, Schnittholzreste aus eigener Verarbeitung

Quellen: Nach Mantau (2012); UNECE (2010); Döring et al. (2020)

In Tabelle 5 sind die Häufigkeiten der verwendeten Einheiten nach Holzsortimenten angegeben. Das Antwortverhalten deutet darauf hin, dass Befragungsteilnehmer die ihnen bekannten Einheiten verwenden. Es ist davon auszugehen, dass die Möglichkeit bei der Befragung zwischen Einheiten zu wählen die Genauigkeit der Angaben zum Brennholzeinsatz verbessert und der sich aus der Umrechnung ergebende mögliche Fehler somit vermutlich relativ klein ist. Demnach wurden die Einheiten Raummeter, gefolgt von Schüttraummeter, am häufigsten verwendet. Es fällt auf, dass der Einsatz von Holz aus Primärquellen (d. h. dem Wald, Garten oder aus der Landschaftspflege) vornehmlich in Raummetern oder Schüttraummetern angegeben wird. Die für Holzpellets, Holzbriketts und Anzündholz verwendeten Einheiten sind überwiegend Gewichtsangaben bzw. Angaben zu „Säcken/Packungen“.

Tabelle 5: Anzahl der angegebenen Einheiten in der Befragung nach Energieholzsortimenten

Brennholzsortimente	Rm	SRm	m³	Säcke/ Pack-ungen	Kg	Tonnen	Liter	Keine Angabe	Summe
Waldscheitholz mit R.	561	353	54	12	12	3	0	0	**995**
Waldscheitholz ohne R.	166	127	20	12	7	1	1	0	**334**
Scheitholz, Garten	166	178	19	0	35	1	1	0	**400**
Landschaftspflegeholz	62	71	10	0	14	0	3	0	**160**

Brennholzsortimente	Rm	SRm	m³	Säcke/ Pack-ungen	Kg	Tonnen	Liter	Keine Angabe	Summe
Altholz	163	171	24	0	38	2	4	0	**402**
Schnittholzreste	53	89	19	0	24	3	3	0	**191**
Hackschnitzel	0	31	5	0	15	2	3	12	**68**
Holzpellets	0	23	0	60	41	83	0	0	**207**
Holzbriketts	0	0	0	150	64	12	0	0	**226**
Anzündholz	61	59	10	107	70	0	0	0	**307**
sonstige Brennholzsortimente	15	20	2	0	6	2	2	0	**47**
Summe	**1.247**	**1.122**	**163**	**341**	**326**	**109**	**17**	**12**	

3.7 Statistiken zur Berechnung der Brennholznutzer und -verwendung

In der Ergebnisdarstellung werden die Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen und die Höhe der Brennholznutzung dargestellt (Kapitel 4). Die Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen insgesamt (W_{BN}) wird aus der Summe der relevanten Hochrechnungsfaktoren (H_i) berechnet. Ein Hochrechnungsfaktor (H_i) steht dabei für die Anzahl an Wohnungen der Grundgesamtheit, die durch einen Stichprobenteilnehmer mit dem Index *i* repräsentiert werden (vgl. Kapitel 3.3). Die Variable bv_i ist ein Indikator dafür, ob eine Wohnung mit Brennholz beheizt wird oder nicht. Sie nimmt den Wert 1 an, wenn der Stichprobenteilnehmer Brennholznutzer ist und den Wert 0, wenn der Stichprobenteilnehmer kein Brennholznutzer ist (siehe Formel 2).

Formel 2: Berechnung der mit Brennholz beheizten Wohnungen

$$W_{BN} = \sum_i bv_i * H_i$$

Der gewichtete durchschnittliche Brennholzeinsatz ($\bar{V}_{BN}$) von mit Brennholz beheizten Wohnungen ergibt sich aus der Summe des spezifischen Holzverbrauches eines Befragten (v_i) multipliziert mit dem Hochrechnungsfaktor (H_i) dividiert durch die Summe aller Hochrechnungsfaktoren, wenn Brennholz in einer Wohnung genutzt wurde. Die Variable bv_i ist ein Indikator dafür, ob eine Wohnung mit Brennholz beheizt wird oder nicht (siehe Formel 3).

Formel 3: Berechnung des durchschnittlichen Brennholzverbrauchs für mit Brennholz beheizte Wohnungen

$$\bar{V}_{BN} = \frac{\sum_i v_i * H_i}{\sum_i bv_i * H_i}$$

Der gesamte Brennholzverbrauch (V_{ges}) im Wohnungsbestand bzw. der Grundgesamtheit wird durch die Summe des Produktes aus spezifischem Holzverbrauch (v_i) und Hochrechnungsfaktor

(H_i) berechnet (siehe Formel 4). Der Index i steht dabei jeweils für Stichprobenteilnehmer, die einen Holzeinsatz größer als 0 angaben.

Formel 4: Berechnung des gesamten Brennholzverbrauchs in deutschen Wohnungen

$$V_{ges} = \sum_i v_i * H_i$$

Zwecks Beschreibung der statistischen Genauigkeit wurde für ausgewählte Variablen (d. h. Hochrechnungsgruppen und Sortimentsverteilung) von dem beschriebenem Berechnungsansatz abgewichen. Für die Berechnung der Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen und die Höhe der Brennholznutzung wurden gewichtete Mittelwerte sowie Standardfehler und Konfidenzintervalle berechnet und anschließend auf die Grundgesamtheit hochgerechnet. Gewichtete Mittelwerte ($\bar{V}_{ges}$) wurden über alle Wohnungen nach Formel 5 berechnet.

Dabei wird die Summe des Produktes aus spezifischem Holzeinsatz bzw. die binäre Angabe[17], ob in einer Wohnung Brennholz genutzt wird oder nicht (x_i) und dem zugehörigen Hochrechnungsfaktor (H_i) berechnet und durch die Summe aller Hochrechnungsfaktoren dividiert.

Formel 5: Berechnung des gewichteten Mittelwerts

$$\bar{V}_{ges} = \frac{\sum_i x_i * H_i}{\sum_i H_i}$$

Standardfehler und Konfidenzintervalle des gewichteten Mittelwertes aus Formel 5 wurden nach dem Bootstrap-Verfahren berechnet. Für die Berechnung wurde die Statistik-Software R mit dem Paket boot verwendet (CRAN 2021). Die Berechnung erfolgte mit 1.000 Bootstrap-Wiederholungen bzw. Stichprobenziehungen. Anschließend wird der Standardfehler (σ) des gewichteten Mittelwerts, wie in Formel 6 dargestellt, aus der Standardabweichung *(sd)* aller gewichteten Mittelwerte ($\bar{V}_{ges_{boot}}$) berechnet (Sachs und Heddericht 2006).

Formel 6: Berechnung des Standardfehlers

$$\sigma = sd(\bar{V}_{ges_{boot}})$$

Für die Berechnung des Konfidenzintervalls *(KI)* des gewichteten Mittelwerts ($\bar{V}_{ges}$) wird Formel 7 verwendet. z steht dabei für das 97,5-%ige Quantil der Standardnormalverteilung und nimmt einen Wert von 1,96 an.

Formel 7: Berechnung der Konfidenzintervalle

$$KI = \bar{V}_{ges} \pm z * \sigma$$

Die Hochrechnung der Ergebnisse auf den gesamten Wohnungsbestand erfolgt durch Multiplikation des gewichteten Mittelwerts ($\bar{V}_{ges}$)bzw. der oberen und unteren Grenzen des Konfidenzintervalls *(KI)* mit der Anzahl an Wohnungen in Deutschland. Bei diesem Vorgehen

[17] Bei Wohnungen für die eine Brennholznutzung angegeben wurde, nimmt x_i den Wert 1 an. Bei Wohnungen für die keine Brennholznutzung angegeben wurde, nimmt x_i den Wert 0 an.

wird angenommen, dass der Wert über die Anzahl an Wohnungen in Deutschland keiner Streuung unterliegt.

4 Ergebnisse

4.1 Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen

Im Jahr 2020 wurden in insgesamt 5,5 Mio. Wohnungen Brennholzsortimente zum Heizen verwendet. Im Folgenden wird diese Verbreitung detailliert nach ausgewählten Merkmalen aufgeschlüsselt und dargestellt. Zunächst wird dabei die Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen (im Folgenden auch Brennholznutzer genannt) nach Hochrechnungsgruppen differenziert. Anschließend folgt eine Analyse der Verbreitung nach den Brennholzsortimenten und Holzarten, sowie eine Differenzierung der jeweiligen Heizungstypen und Gebäudearten.

4.1.1 Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen nach Hochrechnungsgruppen

Werden die Brennholznutzer differenziert nach den fünf Hochrechnungsgruppen (siehe Kapitel 3.1) betrachtet, zeigt sich, dass 1,08 Mio. Wohnungen bzw. rund jede fünfte mit Holz beheizte Wohnung über eine Holzzentralheizung verfügte (Tabelle 6). Die übrigen 4,40 Mio. mit Holz beheizten Wohnungen verfügten über keine Holzzentralheizung, sondern über eine oder mehrere Holz-Einzelraumfeuerungen ggf. zusätzlich zu einem konventionellen Heizsystem. Bei dieser Gruppe wird zwischen Wohnungen in Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäusern unterschieden, die von Eigentümern und Mietern bewohnt werden. In 4,00 Mio. Wohnungen in Ein- oder Zweifamilienhäusern (73 %) wurde Brennholz verwendet. Hiervon lassen sich mit 3,46 Mio. Wohnungen die meisten Brennholznutzer den Eigentümern zuordnen, während etwas über eine halbe Millionen Wohnungen ohne Holzzentralheizung in Ein- oder Zweifamilienhäusern von Mietern bewohnt wurden. Im Vergleich dazu waren Brennholznutzer in Mehrfamilienhäusern, ohne Holzzentralheizung, mit insgesamt 400.000 Wohnungen weniger stark verbreitet. Mit 280.000 Wohnungen wurde dabei der Großteil der mit Holz heizenden Wohnungen von Mietern bewohnt, während 120.000 Wohnungen von Eigentümern bewohnt wurden.

Tabelle 6: Verbreitung der Energieholznutzung nach den Hochrechnungsgruppen (Anzahl Wohnungen)

Hochrechnungsgruppe	GG. in Mio. Wohn.	in %	BN. in Mio. Wohn.	in %	unteres KI 95 %	oberes KI 95 %	Anteil BN. an GG.	Stand-ard-fehler*
Wohnungen ohne Holzzentralheizung	36,32	97,1 %	4,40	80,3 %	4,04	4,76	12,1 %	0,005
- davon in EFH, ZFH	17,00	45,5 %	4,00	73,0 %	3,66	4,34	23,5 %	0,005
- - davon Eigentümer	13,38	35,8 %	3,46	63,0 %	3,13	3,78	25,9 %	0,004
- - davon Mieter	3,62	9,7 %	0,54	9,9 %	0,41	0,68	14,9 %	0,002
- davon in MFH	19,32	51,6 %	0,40	7,3 %	0,30	0,50	2,1 %	0,001
- - davon Eigentümer	3,25	8,7 %	0,12	2,2 %	0,08	0,17	3,7 %	0,001
- - davon Mieter	16,07	43,0 %	0,28	5,1 %	0,19	0,36	1,7 %	0,001
Wohnungen mit Holzzentralheizung	1,08	2,9 %	1,08	19,7 %	0,89	1,27	100 %	0,003
Summe aller Wohnungen	**37,40**	**100 %**	**5,48**	**100 %**	**5,10**	**5,86**	**14,7 %**	**0,005**

EFH = Einfamilienhäuser; ZFH = Zweifamilienhäuser; GG. = Grundgesamtheit; BN. = Brennholznutzer; KI = Konfidenzintervall

*die Berechnungen von Standardfehler und Konfidenzintervallen werden im Kapitel 3.7 beschrieben

4.1.2 Anzahl der Brennholznutzer nach Holzsortimenten

In Tabelle 7 ist die Verbreitung von Brennholznutzern nach Sortimenten dargestellt. Im Jahr 2020 war Waldscheitholz (mit Rinde) mit einer Verwendung in 3,32 Mio. Wohnungen am weitesten verbreitet. Dieses Sortiment wurde in ca. 61 % aller Brennholz nutzenden Wohnungen eingesetzt. Mit einer Verwendung in 1,38 Mio. Wohnungen folgt das Sortiment Scheitholz aus dem Garten, welches in 25 % aller Brennholz nutzenden Wohnungen eingesetzt wurde und das Sortiment Waldscheitholz (ohne Rinde) mit einem Einsatz in 1,09 Mio. Wohnungen (20 %). Ebenfalls hohe Verbreitungsgrade weisen Altholz, Holzbriketts sowie Holzpellets auf. So nutzten von den 5,48 Mio. Holzverbrauchern insgesamt 21,7 % Gebraucht- bzw. Altholz, 12,2 % verwendeten Holzbriketts und 12,6 % Holzpellets.

Tabelle 7: Verbreitung der Brennholznutzer nach verwendetem Brennholzsortiment

Brennholzsortiment	Anzahl in Mio. Wohnungen*	Anteil in %*	unteres KI² 95 %	oberes KI² 95 %	Anteil BN. an GG.	Standard-fehler**
Scheitholz	4,078	74,4 %	3,736	4,420	10,9%	0,005
- Waldscheitholz (WSH)	3,590	65,5 %	3,264	3,916	9,6%	0,004
- - WSH mit Rinde	3,316	60,5 %	3,002	3,630	8,9%	0,004
- - WSH ohne Rinde	1,087	19,8 %	0,915	1,259	2,9%	0,002
- Scheitholz, Garten	1,378	25,1 %	1,179	1,576	3,7%	0,003
- Landschaftspflegeholz	0,603	11,0 %	0,455	0,751	1,6%	0,002
Altholz[1]	1,188	21,7 %	1,012	1,365	3,2%	0,002
Schnittholzreste	0,562	10,3 %	0,444	0,681	1,5%	0,002
Hackschnitzel	0,127	2,3 %	0,073	0,181	0,3%	0,001
Holzpellets	0,693	12,6 %	0,552	0,835	1,9%	0,002
Holzbriketts	0,671	12,2 %	0,531	0,812	1,8%	0,002
Anzündholz	0,920	16,8 %	0,767	1,074	2,5%	0,002
sonst. Brennholzsortimente	0,142	2,6 %	0,082	0,202	0,4%	0,001
Gesamt	**5,480**	**100 %**	**5,099**	**5,862**	**14,7%**	**0,005**

*Doppelzählungen enthalten (eine Wohnung kann gleichzeitig mehrere Sortimente verwendet haben)

**die Berechnungen von Standardfehler und Konfidenzintervallen werden im Kapitel 3.7 beschrieben

[1]Gebrauchtholz, Abbruchholz, Schnittholzreste aus eigener Verarbeitung

[2]KI = Konfidenzintervall

4.1.3 Unterscheidung von Waldscheitholz nach Holzarten und Derbholzanteil

Die Nutzung von Waldscheitholz war im Jahr 2020 die mit Abstand verbreitetste Nutzung aller Brennholzsortimente in privaten Haushalten. In Tabelle 8 werden die Ergebnisse für die Verbreitung von Waldscheitholzarten aufgeführt.

Insgesamt nutzten 3,59 Mio. Wohnungen Waldscheitholz. Von diesen Wohnungen nutzen wiederum 2,97 Mio. Laubwaldscheitholz (83 %) und 2,28 Mio. Nadelwaldscheitholz (64 %). Es ist zu beachten, dass in dieser Darstellung Doppelzählungen enthalten sind, da ein Haushalt

sowohl Laub- als auch Nadelholz verwenden kann. Bei einer Unterteilung von Waldscheitholz nach Derbholz[18] und Nicht-Derbholz ist festzustellen, dass 77 % (2,75 Mio. Wohnungen) aller Waldscheitholznutzer Derbholz zum Heizen nutzten. Nicht-Derbholz wurde hingegen in 55 % der mit Waldscheitholz beheizten Wohnungen eingesetzt. Eine Vielzahl der Haushalte nutzt sowohl Derb- als auch Nicht-Derbholz zum Heizen.

Tabelle 8: Verbreitung nach Waldscheitholzart

Waldscheitholzart	Anzahl in Mio. Wohnungen*	Anteil in %* aller Waldscheitholznutzer
Nadelholz	2,28	63,5 %
Laubholz	2,97	82,7 %
Derbholz	2,75	76,6 %
Nicht-Derbholz	1,97	54,9 %
Summe Waldscheitholz	**3,59**	**100 %**

*Doppelzählungen enthalten

4.1.4 Verbreitung nach Art der Holzheizung

In Tabelle 9 wird die Verbreitung der Brennholznutzung in Wohnungen mit Anschluss an eine Holzzentralheizung und Wohnungen ohne Anschluss an eine Holzzentralheizung, getrennt nach Hausarten und Bewohnergruppen, gegenübergestellt. Wohnungen, in denen Brennholz eingesetzt wird, die aber an keine Holzzentralheizung angeschlossen sind, werden hauptsächlich, aber nicht ausschließlich, Einzelraumfeuerungsanlagen genutzt. Wohnungen ohne Holzzentralheizung umfassen dabei auch Wohnungen mit Holzzentralheizungen, die nicht zur überwiegenden Energieerzeugung dienen.[19]

Im Jahr 2020 wurde Brennholz in 1,08 Mio. Wohnungen mit Anschluss an eine Holzzentralheizung eingesetzt. Dabei befanden sich diese Wohnungen hauptsächlich in Ein- bis Zweifamilienhäusern (0,85 Mio. Wohnungen) und wurden zum Großteil von Eigentümern bewohnt (0,66 Mio. Wohnungen). In Mehrfamilienhäusern wurden 0,23 Mio. Wohnungen über eine Holzzentralheizung mit Wärme versorgt. Dabei war die Aufteilung auf Eigentümer (0,10 Mio. Wohnungen) und Mieter (0,13 Mio. Wohnungen) nahezu ausgeglichen.

Im Jahr 2020 wurde in 4,40 Mio. Wohnungen ohne Holzzentralheizung Brennholz eingesetzt. Unter Eigentümern von Ein- und Zweifamilienhäusern war die Brennholznutzung am weitesten verbreitet (3,46 Mio. Wohnungen). Der Anteil von Brennholznutzern in Mehrfamilienhäusern ohne Anschluss an eine Holzentralheizung betrug ca. 10 % und war damit deutlich geringer als in Wohnungen, die an eine Holzzentralheizung angeschlossen waren (ca. 21 %).

[18] Derbholz: Oberirdisches Holzvolumen mit einem Durchmesser von mindestens 7 cm inkl. Rinde.
[19] Hier zeigt sich eine methodische Abweichung zu Vorstudien. Aufgrund der geringen Fallzahl ist diese Abweichung kaum von Bedeutung.

Tabelle 9: Verbreitung der Brennholznutzung nach Art der Holzheizung (in Mio. Wohnungen)

Gebäudetyp	Brennholznutzer ohne Holzzentralheizung (ERF)	Brennholznutzer mit Holzzentralheizung (HZH)	Gesamt
Ein-, Zweifamilienhaus	4,00	0,85	4,85
- davon bewohnt von Eigentümer	3,46	0,66	4,12
- davon bewohnt von Mieter	0,54	0,19	0,74
Mehrfamilienhaus	0,40	0,23	0,63
- davon bewohnt vom Eigentümer	0,12	0,10	0,22
- davon bewohnt vom Mieter	0,28	0,13	0,41
Summe aller Wohnungen	**4,40**	**1,08**	**5,48**

ERF = Einzelraumfeuerung; HZH = Holzzentralheizung

Tabelle 10 zeigt die Verbreitung der Brennholznutzung in Wohnungen mit und ohne Anschluss an eine Holzzentralheizung, differenziert nach den verwendeten Holzsortimenten. In Wohnungen, die an eine Holzzentralheizung angeschlossen waren, wurden vor allem zwei Sortimente genutzt: Waldscheitholz mit Rinde in 0,45 Mio. Wohnungen und Holzpellets in 0,38 Mio. Wohnungen. Die Verwendung der anderen Sortimente fand in deutlich geringerem Umfang statt. In Wohnungen mit Einzelraumfeuerungen, die nicht an eine Holzzentralheizung angeschlossen waren, wurde eine größere Auswahl an Holzsortimenten genutzt. Hier spielten neben den Scheitholzsortimenten auch Altholz[20] und Anzündholz eine größere Rolle. Holzpellets waren das einzige Sortiment, das in Wohnungen mit Anschluss an eine Holzzentralheizung (0,38 Mio. Wohnungen) weiter verbreitetet war als in Wohnungen, die an keine Holzzentralheizung angeschlossen waren (0,31 Mio. Wohnungen).

Tabelle 10: Verbreitung der Energieholznutzung (in Mio. Wohnungen) nach verwendetem Brennholzsortiment und Art der Holzheizung

Brennholzsortiment	Brennholznutzer ohne Holzzentralheizung (ERF)	Brennholznutzer mit Holzzentralheizung (HZH)	Gesamt*
Scheitholz**	3,54	0,54	**4,08**
- Waldscheitholz	3,11	0,48	**3,59**
- - Waldscheitholz mit Rinde	2,87	0,45	**3,32**
- - Waldscheitholz ohne Rinde	0,93	0,16	**1,09**
- Scheitholz, Garten	1,22	0,16	**1,38**
- Landschaftspflegeholz	0,48	0,12	**0,60**
Altholz	1,04	0,15	**1,19**

[20] Altholz wurde nicht differenziert erfasst. Es kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei hauptsächlich um Gebrauchtholz, wie z. B. Abbruchholz, handelt

Brennholzsortiment	Brennholznutzer ohne Holzzentralheizung (ERF)	Brennholznutzer mit Holzzentralheizung (HZH)	Gesamt*
Schnittholzreste	0,46	0,10	**0,56**
Hackschnitzel	0,09	0,04	**0,13**
Holzpellets	0,31	0,38	**0,69**
Holzbriketts	0,59	0,08	**0,67**
Anzündholz	0,84	0,08	**0,92**
sonst. Brennholzsortimente	0,10	0,04	**0,14**
Gesamt	**4,40**	**1,08**	**5,48**

*Doppelzählungen enthalten (eine Wohnung kann gleichzeitig mehrere Sortimente verwendet haben)

**Summe aus Waldscheitholz m. R., Waldscheitholz o. R., Scheitholz aus dem Garten und Landschaftspflegeholz

4.1.5 Verbreitung nach Gebäudeart und Brennholzsortimenten

Tabelle 11 stellt die Verbreitung der Brennholzverwendung nach Sortimenten und nach Ein- und Zweifamilienhäusern bzw. Mehrfamilienhäusern dar. Waldscheitholz war sowohl in Ein- und Zweifamilienhäusern als auch in Mehrfamilienhäusern das am häufigsten genutzte Sortiment. Der Anteil an Waldscheitholz war in Ein- und Zweifamilienhäusern allerdings höher als in Mehrfamilienhäusern. Zudem wurden in Mehrfamilienhäusern vor allem auch Holzpellets genutzt. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern waren hingegen Scheitholz aus dem Garten und Altholz mengenmäßig bedeutender.

Tabelle 11: Verbreitung der Brennholznutzung nach Gebäudeart und Brennholzsortimenten

Brennholzsortimente	EZFH[21] in Mio. Wohn.*	EZFH in %*	MFH in Mio. Wohn.*	MFH in %*	Gesamt in Mio. Wohn.*	Gesamt in %*
Scheitholz	3,79	78,1 %	0,26	41,3 %	4,08	**74,5 %**
- Waldscheitholz	3,35	69,1 %	0,21	33,3 %	3,59	**65,5 %**
- - Waldscheitholz mit R.	3,13	64,6 %	0,19	29,7 %	3,32	**60,6 %**
- - Waldscheitholz ohne R.	1,03	21,2 %	0,06	9,8 %	1,09	**17,2 %**
- Scheitholz, Garten	1,31	27,0 %	0,07	10,9 %	1,38	**22,5 %**
- Landschaftspflegeholz	0,54	11,1 %	0,06	10,0 %	0,60	**8,1 %**
Altholz	1,11	22,9 %	0,08	12,2 %	1,19	**30,7 %**
Schnittholzreste	0,50	10,2 %	0,06	10,3 %	0,56	**10,2 %**
Hackschnitzel	0,11	2,3 %	0,02	3,1 %	0,13	**2,3 %**
Holzpellets	0,51	10,4 %	0,18	29,1 %	0,69	**11,7 %**
Holzbriketts	0,61	12,5 %	0,06	9,9 %	0,67	**12,2 %**

[21] Ein- und Zweifamilienhäuser.

Brennholzsortimente	EZFH[21] in Mio. Wohn.*	EZFH in %*	MFH in Mio. Wohn.*	MFH in %*	Gesamt in Mio. Wohn.*	Gesamt in %*
Anzündholz	0,85	17,5 %	0,07	11,6 %	0,92	**16,8 %**
sonst. Brennholzsortimente	0,12	2,5 %	0,02	3,3 %	0,14	**2,6 %**
Gesamt	**4,85**	**100 %**	**0,63**	**100 %**	**5,48**	**100 %**

*Doppelzählungen enthalten

4.2 Spezifischer und absoluter Brennholzverbrauch

Im Folgenden wird die Höhe des Brennholzverbrauchs angegeben. Dabei wird dieser sowohl als absolute Zahl (in Mio. Kubikmeter (m^3)) als auch als Durchschnittswert pro Wohnung, differenziert nach ausgewählten Merkmalen, dargestellt. Wie aus Tabelle 12 hervorgeht, wurden im Jahr 2020 in jeder mit Holz beheizten Wohnung jährlich im Durchschnitt 5,08 m^3 Holz eingesetzt. Insgesamt wurden in den Wohnungen 26,95 Mio. m^3 Holzbrennstoffe eingesetzt. Dieser Wert ist mit einem statistischen Fehler behaftet. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %[22] liegt der „wahre" Wert zwischen 23,76 Mio. m^3 und 30,14 Mio. m^3.

Tabelle 12: Gesamter Brennholzverbrauch und durchschnittlicher Brennholzverbrauch pro Wohnung mit Brennholznutzung

Brennholzverbrauch	Verbrauch in Mio. m³	unteres KI (95 %)	oberes KI (95 %)	Durchschnittlicher Verbrauch pro Wohnung mit Brennholznutzung*	Standard-fehler
Gesamt	26,95	23,76	30,14	5,08	0,25

*Insgesamt 29 Befragte gaben an eine Holzzentralheizung zu besitzen und Holz als überwiegenden Energieträger zu verwenden ohne dabei aber ein Brennholzsortiment oder einen Verbrauch angegeben zu haben. Der Verbrauch dieser Fälle konnte nicht imputiert werden, da das verwendete Sortiment nicht bekannt war. Diese Fälle werden daher zwar als Wohnungen mit Holzzentralheizung gezählt erhöhen aber nicht den Gesamtverbrauch.

4.2.1 Brennholzverbrauch nach unterschiedlichen Holzsortimenten

Wird zunächst der Verbrauch unterschiedlicher Brennholzsortimente betrachtet, zeigen sich in Tabelle 13 große Unterschiede zwischen den jeweiligen Holzsortimenten: So ist der Verbrauch pro Wohnung mit 5,46 m^3 bei den Holzpellets aufgrund des häufigen Einsatzes in Zentralheizungen am größten, gefolgt von Waldscheitholz mit Rinde (4,14 m^3)[23]. Der Verbrauch pro Wohnung in den restlichen Brennholzsortimenten liegt jeweils zwischen 2,35 m^3 für Waldscheitholz ohne Rinde und 0,38 m^3 für Anzündholz (siehe Tabelle 13). Im Jahr 2020 war der gesamte Einsatz von Waldscheitholz mit Rinde im Vergleich zu allen anderen Brennholzsortimenten mit Abstand am größten (13,7 Mio. m^3, ca. 51 % am Gesamtverbrauch), gefolgt von Holzpellets (3,79 Mio. m^3, ca. 14 % am Gesamtverbrauch) und Waldscheitholz ohne Rinde (2,55 Mio. m^3, ca. 10 % am Gesamtverbrauch). Gartenscheitholz (2,17 Mio. m^3, ca. 8 % am

[22] Es ist zu beachten, dass das berechnete Konfidenzintervall lediglich den statistischen Fehler aus der Stichprobenziehung zur Bestimmung des Brennholzeinsatzes berücksichtigt. Der statistische Fehler, der sich aus den Daten des Mikrozensus zur Hochrechnung des gesamten Brennholzeinsatzes ergibt, wird nicht berücksichtigt.

[23] Durchschnittliche Verbräuche pro Wohnung einzelner Sortimente können auch über dem Gesamtdurchschnitt pro Wohnung liegen, da sie sich auf Teilmengen aller Wohnungen beziehen können.

Gesamtverbrauch) und Gebraucht- bzw. Altholz (1,63 Mio. m^3, ca. 6 % am Gesamtverbrauch) wurde ebenfalls in großen Mengen eingesetzt.

Tabelle 13: Brennholzverbrauch nach Brennholzsortimenten

Brennholzverbrauch	Verbrauch pro Wohnung mit Brennholz-nutzung in m^3	Verbrauch in Mio. m^3	unteres KI (95 %)	oberes KI (95 %)	Verbrauch pro Wohnung insgesamt in m^3	Standard-fehler zum Verbrauch in Wohnungen insgesamt
Scheitholz	4,68	19,07	16,37	21,76	0,51	0,037
- Waldscheitholz (WSH)	4,53	16,27	13,96	18,58	0,43	0,032
- - WSH mit Rinde	4,14	13,72	11,63	15,81	0,37	0,028
- - WSH ohne Rinde	2,35	2,55	1,80	3,29	0,07	0,010
- Scheitholz, Garten	1,58	2,17	1,41	2,93	0,06	0,010
- Landschaftspflegeholz	1,04	0,63	0,39	0,87	0,02	0,003
Altholz	1,37	1,63	1,21	2,05	0,04	0,006
Schnittholzreste	1,45	0,82	0,53	1,11	0,02	0,004
Hackschnitzel	2,25	0,29	0,09	0,48	0,01	0,003
Holzpellets	5,46	3,79	2,38	5,19	0,10	0,019
Holzbriketts	1,03	0,69	0,34	1,04	0,02	0,005
Anzündholz	0,38	0,35	0,12	0,57	0,01	0,003
sonst. Brennholzsortimente	2,32	0,33	0,11	0,55	0,01	0,003
Gesamt	**5,08**	**26,95**	**23,76**	**30,14**	**0,72**	**0,044**

4.2.2 Brennholzverbrauch nach Waldscheitholzarten

Waldscheitholz war im Jahr 2020 das mit Abstand am meisten eingesetzte Brennholzsortiment (siehe Tabelle 13). In Tabelle 14 ist dargestellt, wie sich Waldscheitholz auf Nadel- und Laubholz sowie Derbholz und Nicht-Derbholz verteilt. Laubwaldscheitholz wurde mit 8,73 Mio. m^3 am häufigsten genutzt. Das Verbrauchsvolumen von Nadelwaldscheitholz lag bei 5,51 Mio. m^3. Damit entfielen 54 % der Waldscheitholznutzung auf Laub- und 34 % auf Nadelholz. Für 12 % des Verbrauches gab es keine Angaben zum Holzartenanteil. Der Verbrauch pro Wohnung lag für Laubholz bei 2,94 m^3 und für Nadelholz bei 2,42 m^3.

Bei der Unterteilung von Derb- und Nicht-Derbholz ist der Verbrauch von Derbholz mit 10,08 Mio. m^3 deutlich höher als der Verbrauch von Nicht-Derbholz (3,15 Mio. m^3), insgesamt 62 % des eingesetzten Waldscheitholzes entfiel auf Derbholz und 19 % auf Nicht-Derbholz. Für 19 % des Verbrauches gab es keine Angaben zum Derbholzanteil. Der durchschnittliche Derbholzeinsatz pro Wohnung lag bei 3,67 m^3 und damit höher als beim Nicht-Derbholz-Einsatz (1,6 m^3/Wohnung).

Tabelle 14: Verbrauch nach Waldscheitholzarten

Waldscheitholzarten	Verbrauch pro Wohnung in m³*	Verbrauch insgesamt in Mio. m³*
Nadelholz	2,42	5,51
Laubholz	2,94	8,73
Derbholz	3,67	10,08**
Nicht-Derbholz	1,60	3,15
Summe Waldscheitholzverbrauch	**4,53**	**16,27**

*Nicht alle Befragten, die Angaben zur Nutzung von Waldscheitholz machten, konkretisierten ihre Angaben in Hinsicht auf die genutzten Holzarten.

**0,426 Mio. m³ davon sind Derbholzrinde. Dieser Wert ist geringer als bei Döring et al. 2020 (1,1 Mio. m³). Dies liegt zum einen daran das weniger Derbholz erfasst wurde und zudem daran, dass die Waldscheitholzarten jetzt getrennt nach Waldscheitholz mit und ohne Rinde betrachtet werden.

4.2.3 Brennholzverbrauch nach Hochrechnungsgruppen

In Tabelle 15 werden der gesamte Brennholzverbrauch und der durchschnittliche Brennholzverbrauch pro Wohnung, differenziert nach Hochrechnungsgruppen, angegeben. Erwartungsgemäß lag der durchschnittliche Holzverbrauch in Wohnungen mit Anschluss an eine Holzzentralheizung (9,03 m^3/Wohnung) höher als in Wohnungen ohne Anschluss an eine Holzzentralheizung (4,19 m^3/Wohnung). In Ein- und Zweifamilienhäusern, die keinen Anschluss an eine Holzzentralheizung haben, lag der durchschnittliche Verbrauch mit 4,29 m^3/Wohnung knapp 50 % über dem Verbrauch in Wohnungen in Mehrfamilienhäusern.

Wohnungen, die an keine Holzzentralheizung angeschlossen waren, verwendeten mit 18,10 Mio. m^3 insgesamt mehr Brennholz als Wohnungen mit Holzzentralheizung (8,85 Mio. m^3). Der Brennholzeinsatz von Eigentümern in Ein- und Zweifamilienhäusern war dabei anteilig am größten (14,20 Mio. m^3). Mieter von Ein- und Zweifamilienhäusern (2,75 Mio. m^3), Eigentümer in Mehrfamilienhäusern (0,37 Mio. m^3) sowie Mieter in Mehrfamilienhäusern (0,79 Mio. m^3) setzten dagegen deutlich weniger Brennholz zur Wärmeerzeugung ein.

Tabelle 15: Brennholzverbrauch nach Hochrechnungsgruppen

Brennholzverbrauch	Verbrauch pro Wohnung mit Brennholz-nutzung in m³	Verbrauch in Mio. m³	unteres KI (95 %)	oberes KI (95 %)	Verbrauch pro Wohnung insgesamt in m³	Standard-fehler zum Verbrauch in Wohnungen insgesamt
Wohnungen ohne Holzzentralheizung	4,19	18,1	15,89	20,31	0,48	0,03
- davon in EFH, ZFH	4,29	16,95	14,77	19,12	0,45	0,03
- - davon Eigentümer	4,14	14,20	12,25	16,14	0,38	0,03
- - davon Mieter	5,25	2,75	1,80	3,70	0,07	0,01
- davon in Mehrfamilienhaus	3,08	1,15	0,75	1,56	0,03	0,01

Brennholzverbrauch	Verbrauch pro Wohnung mit Brennholz-nutzung in m³	Verbrauch in Mio. m³	unteres KI (95 %)	oberes KI (95 %)	Verbrauch pro Wohnung insgesamt in m³	Standard-fehler zum Verbrauch in Wohnungen insgesamt
- - davon Eigentümer	3,08	0,37	0,15	0,59	0,01	0,00
- - davon Mieter	3,08	0,79	0,45	1,12	0,02	0,00
Wohnungen mit Holzzentralheizung	9,03	8,85	6,48	11,22	0,24	0,03
Gesamter Brennholzverbrauch	**5,08**	**26,95**	**23,76**	**30,14**	**0,72**	**0,04**

4.2.4 Brennholzverbrauch nach Art der Holzheizung

Tabelle 16 zeigt Ergebnisse zum Brennholzverbrauch in Wohnungen mit und ohne Holzzentralheizung. Der gesamte Brennholzverbrauch in Ein- und Zweifamilienhäusern war in Wohnungen mit Holzzentralheizung mit 7,63 Mio. m^3 am höchsten; von den 7,63 Mio. m^3 entfielen 6,50 Mio. m^3 auf Eigentümer und 1,13 Mio. m^3 auf Mieter. Insgesamt wurden 1,23 Mio. m^3 Brennholz in Wohnungen in Mehrfamilienhäusern mit Holzzentralheizung eingesetzt. Davon entfielen 840.000 m^3 auf von Eigentümern bewohnte Wohnungen und 380.000 m^3 auf vermietete Wohnungen.

Der absolute Brennholzverbrauch in Wohnungen ohne Anschluss an eine Holzzentralheizung war mit insgesamt 18,10 Mio. m^3 um 105 % größer als der von Wohnungen, die an eine Holzzentralheizung angeschlossen waren (8,85 Mio. m^3). Der größte Teil des Brennholzes, das in Wohnungen ohne Anschluss an eine Holzzentralheizung eingesetzt wurde, entfiel auf von Eigentümern bewohnte Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern. Obwohl der gesamte Holzeinsatz in Wohnungen mit Anschluss an eine Holzzentralheizung nur etwa ein Drittel (8,85 Mio. m^3) vom Gesamtverbrauch aller Wohnungen (26,95 Mio. m^3) in Deutschland ausmachte, ist der Brennholzeinsatz in Mehrfamilienhäusern mit Anschluss an eine Holzzentralheizung mit 1,23 Mio. m^3 in etwa vergleichbar mit dem Brennholzeinsatz in Wohnungen ohne Anschluss an eine Holzzentralheizung in der gleichen Gebäudeart (1,15 Mio. m^3).

Tabelle 16: Brennholzverbrauch nach Hochrechnungsgruppen und Art der Heizung (in Mio. m³)

Art der Holzheizung	Brennholzverbrauch ohne Holzzentralheizung (ERF)	Brennholzverbrauch mit Holzzentralheizung (HZH)	Gesamt
Ein-, Zweifamilienhaus	16,95	7,63	**24,57**
- davon bewohnt von Eigentümer	14,20	6,50	**20,69**
- davon bewohnt von Mieter	2,75	1,13	**3,88**
Mehrfamilienhaus	1,15	1,23	**2,38**
- davon bewohnt vom Eigentümer	0,37	0,84	**1,21**
- davon bewohnt vom Mieter	0,79	0,38	**1,17**

Art der Holzheizung	Brennholzverbrauch ohne Holzzentralheizung (ERF)	Brennholzverbrauch mit Holzzentralheizung (HZH)	Gesamt
Gesamter Brennholzverbrauch	**18,10**	**8,85**	**26,95**

In Tabelle 17 wird der Brennholzverbrauch pro Sortiment getrennt nach Wohnungen mit und ohne Anschluss an eine Holzzentralheizung dargestellt. In Wohnungen ohne einen Anschluss an eine Holzzentralheizung ist der absolute Einsatz von Brennholzsortimenten im Allgemeinen höher als in Wohnungen, die an eine Holzzentralheizung angeschlossen sind. Die einzige Ausnahme sind Holzpellets. Bei diesem Sortiment ist der Verbrauch in Wohnungen mit Holzzentralheizungen (2,99 Mio. m^3) in etwa dreimal so hoch wie der Verbrauch von Holzpellets in Wohnungen ohne Holzzentralheizung (0,80 Mio. m^3). Beim durchschnittlichen Verbrauch von Brennholzsortimenten in Wohnungen ist dieser Zusammenhang nicht zu erkennen. Bei Wohnungen, die an eine Holzzentralheizung angeschlossen sind, ist dieser höher als bei Wohnungen ohne Holzzentralheizung.

Tabelle 17: Absoluter und spezifischer Brennholzverbrauch nach verwendetem Sortiment und Feuerungsanlage (in Mio. m^3)

Brennholzsortimente	ERF; in m^3/ Wohnung	ERF; in Mio. m^3	HZH; in m^3/ Wohnung	HZH; in Mio. m^3	Gesamt; in m^3/ Wohnung	Gesamt; in Mio. m^3
Scheitholz	3,95	13,98	9,43	5,09	4,68	**19,07**
- Waldscheitholz	3,87	12,04	8,81	4,23	4,53	**16,27**
- - Waldscheitholz mit R.	3,49	9,99	8,27	3,73	4,14	**13,72**
- - Waldscheitholz ohne R.	2,22	2,05	3,08	0,50	2,35	**2,55**
- Scheitholz, Garten	1,21	1,48	4,31	0,69	1,58	**2,17**
- Landschaftspflegeholz	0,97	0,47	1,33	0,16	1,04	**0,63**
Altholz	1,32	1,37	1,72	0,26	1,37	**1,63**
Schnittholzreste	1,40	0,65	1,71	0,17	1,45	**0,82**
Hackschnitzel	1,79	0,15	3,20	0,13	2,25	**0,29**
Holzpellets	2,55	0,80	7,85	2,99	5,46	**3,79**
Holzbriketts	1,08	0,63	0,69	0,06	1,03	**0,69**
Anzündholz	0,36	0,30	0,52	0,04	0,38	**0,35**
sonst. Brennholzsortimente	2,05	0,21	3,05	0,12	2,32	**0,33**
Gesamt	**4,19**	**18,10**	**9,03**	**8,85**	**5,08**	**26,95**

4.3 Weitere Aspekte der energetischen Brennholzverwendung

Im folgenden Kapitel werden die regionale Verteilung des Brennholzverbrauchs, sozio-ökonomische Merkmale der holznutzenden Haushalte und die Bezugsquellen von Holz vorgestellt.

4.3.1 Brennholzverbrauch nach Ortsgruppen

In Tabelle 18 werden der Brennholzverbrauch und die Anzahl der Brennholznutzer differenziert nach Ortsgruppen dargestellt. Die Hälfte des Brennholzeinsatzes, aber auch der Wohnungen, die Holz zum Heizen nutzten, war in ländlich geprägten Regionen verortet. Hierzu werden die Ortsgruppen ‚Dünn besiedelte ländliche Kreise' und ‚Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen' gezählt. 54,6 % des insgesamt verwendeten Brennholzes in Wohnungen wurde in diesen Regionen eingesetzt. Der Anteil der Brennholznutzer in ländlichen Regionen lag bei 49 %. Etwa 38 % des Brennholzeinsatzes und 41 % der Brennholznutzer in Deutschland befanden sich in ‚städtischen Kreisen'. Brennholznutzer in Großstädten machten 7 % des gesamten Brennholzeinsatzes in Deutschland aus. Der Anteil an den gesamten Brennholznutzern lag bei 10 %.

Tabelle 18: Brennholzverbrauch nach Ortsgruppen

Ortsgruppen	Verbrauch in Mio. m³	Verbrauch in %	Wohnungen in Mio.	Wohnungen in %	Verbrauch in m³/ Wohnung
Kreisfreie Großstädte	1,99	7,4 %	0,57	10,3 %	3,70
Städtische Kreise	10,24	38,0 %	2,22	40,5 %	4,70
Ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen	7,05	26,1 %	1,32	24,1 %	5,56
Dünn besiedelte ländliche Kreise	7,67	28,5 %	1,38	25,1 %	5,81
Summe	**26,95**	**100 %**	**5,48**	**100 %**	**5,08**

4.3.2 Brennholzverbrauch nach sozio-ökonomischen Aspekten

Im Folgenden werden ausgewählte sozioökonomische Merkmale betrachtet. In Tabelle 19 werden der Brennholzverbrauch und die Anzahl der Brennholznutzer differenziert nach Lebenszyklen bzw. nach Familienstand dargestellt. 64,6 % des Brennholzverbrauchs entfiel auf Haushalte ohne Kinder. Davon wurden 10,8 Mio. m^3 von alleinstehenden Haushalten und 6,6 Mio. m^3 von Haushalten mit Lebensgemeinschaft verwendet.

Tabelle 19: Brennholzverbrauch nach Lebenszyklen/ Familienstand

Lebenszyklus/ Familienstand	Holzverbrauch in Mio. m³	Holzverbrauch in %	Wohnungen in Mio.	Wohnungen in %	Holzverbr. in m³/Wohnung
Alleinstehend ohne Kinder	10,81	40,1 %	2,00	36,5 %	6,19
Alleinstehend mit Kindern	1,93	7,2 %	0,39	7,1 %	5,39
Verheiratet bzw. in Lebensgemeinschaft ohne Kinder im Haushalt	6,61	24,5 %	1,71	31,2 %	4,06
Verheiratet bzw. in Lebensgemeinschaft	7,42	27,5 %	1,35	24,7 %	5,92

Lebenszyklus/ Familienstand	Holzverbrauch in Mio. m³	Holzverbrauch in %	Wohnungen in Mio.	Wohnungen in %	Holzverbr. in m³/Wohnung
mit Kindern im Haushalt					
keine Angabe	0,17	0,6 %	0,03	0,5 %	6,02
Summe	**26,95**	**100 %**	**5,48**	**100 %**	**5,08**

In Tabelle 20 ist der Brennholzverbrauch nach Nettoeinkommensgruppen dargestellt. Mit diesen Informationen lassen sich die Unterschiede im energetischen Holzeinsatz von Brennholznutzern in Abhängigkeit des Nettoeinkommens analysieren. Rückschlüsse über die Wahrscheinlichkeit, ob Haushalte bestimmter Einkommensklassen Brennholznutzer sind, lassen sich auf dieser Grundlage nicht ableiten. Für die Beurteilung der Einkommenseffekte auf den energetischen Holzeinsatz im gesamten Wohnungsbestand wäre dies jedoch notwendig (Glasenapp et al. 2019). Es zeigt sich, dass brennholznutzende Haushalte mit einem Einkommen unter 1.000 € den geringsten absoluten Brennholzeinsatz aufwiesen. Nur 2 % des gesamten Verbrauches entfiel auf diese Gruppe. Der durchschnittliche Verbrauch in mit Brennholz beheizten Wohnungen lag bei den Einkommen zwischen 1.000 € und 4.000 € vergleichsweise homogen bei 5,6 m^3 je Wohnung. 62,6 % des Gesamtverbrauches lag in dieser sehr weit gefassten Gruppe. Brennholznutzende Haushalte mit einem Einkommen von mehr als 4.000 € haben mit 4,2 m^3/Wohnung den geringsten durchschnittlichen Verbrauch aller Einkommensgruppen.

Tabelle 20: Brennholzverbrauch nach Nettoeinkommensgrößenklassen

Einkommensgruppen	Holzverbrauch in Mio. m³	Holzverbrauch in %	Wohnungen in Mio.	Wohnungen in %	Holzverbrauch in m³/Wohnung
Bis 999 €	0,54	2,0 %	0,11	1,9 %	5,20
1.000 € bis 1.999 €	4,48	16,6 %	0,84	15,3 %	5,55
2.000 € bis 2.999 €	6,66	24,7 %	1,22	22,3 %	5,56
3.000 € bis 3.999 €	6,02	22,3 %	1,11	20,3 %	5,59
4.000 € oder mehr	4,36	16,2 %	1,08	19,8 %	4,15
keine Angabe	4,90	18,2 %	1,12	20,4 %	4,58
Summe	**26,95**	**100 %**	**5,48**	**100 %**	**5,08**

Bei einer Analyse des Brennholzverbrauchs nach Alter[24] der Brennholznutzer lässt sich feststellen, dass 48,2 % des gesamten Verbrauches in den Gruppen zwischen 40 und 60 Jahren erfolgte (Tabelle 21). Brennholznutzende Haushalte in jüngeren Altersgruppen (also bis 40 Jahre) verbrauchten mit insgesamt 19,5 % deutlich weniger Brennholz. Allerdings lässt sich auch feststellen, dass in der Altersgruppe zwischen 20 und 30 Jahren der durchschnittliche Verbrauch je Wohnung mit 8,5 m^3 deutlich höher war als in allen anderen Gruppen. Dies lässt für diese Altersgruppe auf einen vergleichsweise höheren Anteil an Holzzentralheizungen schließen, welche, wie oben beschrieben, einen durchschnittlichen Verbrauch von ca. 9 m^3 je Wohnung aufwiesen.

[24] Alter des Haupteinkommensbeziehers.

Tabelle 21: Brennholzverbrauch nach Altersgrößenklassen (Haupteinkommensbezieher)

Altersgrößenklassen	Holzverbrauch in Mio. m³	Holzverbrauch in %	Wohnungen in Mio.	Wohnungen in %	Holzverbrauch in m³/Wohnung
unter 20	0,00	0,0 %	0,00	0,1 %	0,81
20 bis unter 30	2,16	8,0 %	0,26	4,8 %	8,55
30 bis unter 40	3,09	11,5 %	0,74	13,5 %	4,32
40 bis unter 50	6,62	24,6 %	1,17	21,3 %	5,89
50 bis unter 60	6,37	23,6 %	1,45	26,5 %	4,42
60 bis unter 79	3,59	13,3 %	0,85	15,6 %	4,34
über 70	2,81	10,4 %	0,76	13,8 %	3,93
keine Angabe	2,31	8,6 %	0,25	4,5 %	10,17
Summe	**26,95**	**100 %**	**5,48**	**100 %**	**5,08**

Bei Betrachtung des Brennholzverbrauchs nach Berufsgruppen fällt auf, dass die Gruppe der Angestellten mit 15,5 Mio. m^3 den größten Verbrauch aufwies (Tabelle 22). Diese Gruppe machte damit 57,7 % des bundesweiten Brennholzverbrauchs aus. Mit 6,4 Mio. m^3 folgte die Gruppe der derzeit nicht Erwerbstätigen, wozu u. a. auch Rentenempfänger zählen. Facharbeiter, Selbstständige und Beamte hatten mit rund 3 bis 7 % relativ kleine Anteile am Brennholzverbrauch. Der durchschnittliche Brennholzverbrauch je Wohnung war in der Berufsgruppe der Arbeiter mit 7,1 m^3/Wohnung am höchsten.

Tabelle 22: Brennholzverbrauch nach Berufsgruppen

Berufsgruppen	Holzverbrauch in Mio. m³	Holzverbrauch in %	Wohnungen in Mio.	Wohnungen in %	Holzverbr. in m³/Wohnung
Selbständige und freie Berufe	1,13	4,2 %	0,26	4,6 %	4,46
Angestellte	15,55	57,7 %	2,95	53,9 %	5,45
Beamte	0,71	2,6 %	0,24	4,4 %	3,21
Facharbeiter (Lehre)	1,83	6,8 %	0,34	6,1 %	5,44
Arbeiter (angelernt)	0,54	2,0 %	0,08	1,4 %	7,14
Ausbildung und nicht berufstätig	0,28	1,1 %	0,07	1,3 %	4,05
Sonstiges	0,53	1,9 %	0,10	1,9 %	5,36
(Derzeit) nicht erwerbstätig	6,38	23,7 %	1,45	26,4 %	4,57
Summe	**26,95**	**100 %**	**5,48**	**100 %**	**5,08**

Abschließend wird die Brennholzverwendung differenziert nach Haushaltsgröße betrachtet. Tabelle 23 zeigt dabei, dass der größte Brennholzverbrauch in Haushalten mit bis zu 2 Personen stattfand (54,8 % des gesamten Brennholzverbrauchs). Im Durchschnitt lag die Brennholzverwendung aller Brennholznutzer über alle Haushaltsgrößen auf einem ähnlichen

Niveau, zwischen 4,5 m^3 und 5,5 m^3. Brennholznutzende Haushalte mit mehr als fünf Personen verbrauchten mit 2,5 Mio. m^3 in 507.000 Wohnungen am wenigsten Brennholz.

Tabelle 23: Brennholzverbrauch nach Haushaltsgröße

Haushaltsgröße	Holzverbrauch in Mio. m^3	Holzverbrauch in %	Wohnungen in Mio.	Wohnungen in %	Holzverbrauch in m^3/Wohnung
eine Person	6,36[25]	23,6 %	1,26	22,9 %	5,22
zwei Personen	7,88	29,2 %	1,63	29,8 %	5,05
drei Personen	4,08	15,1 %	0,93	17,0 %	4,49
vier Personen	6,15	22,8 %	1,16	21,1 %	5,48
fünf Personen und mehr	2,48	9,2 %	0,51	9,2 %	5,02
Summe	**26,95**	**100 %**	**5,48**	**100 %**	**5,08**

4.3.3 Bezugsquellen des Waldscheitholzverbrauches

Von Brennholznutzern, die Waldscheitholz einsetzten, besaß der Großteil (ca. 91 %) keinen eigenen Wald. Dementsprechend wird Brennholz überwiegend nicht aus dem eigenen Wald, sondern aus anderen Quellen bezogen (siehe Tabelle 24). Der durchschnittliche Verbrauch in Wohnungen war bei Waldbesitzern mit 8,1 m^3 deutlich höher als bei Wohnungsnutzern ohne Waldbesitz (4,8 m^3).

Tabelle 24: Brennholzverbrauch nach Waldbesitztyp

Waldbesitztyp	Holzverbrauch in Mio. m^3	Holzverbrauch in %	Wohnungen in Mio.	Wohnungen in %	Holzverbrauch in m^3/Wohnung
kein Waldbesitzer	23,07	85,6 %	5,00	91,1 %	4,77
Waldbesitzer	3,61	13,4 %	0,46	8,4 %	8,11
keine Angabe	0,28	1,0 %	0,02	0,4 %	12,03
Summe	**26,95**	**100 %**	**5,48**	**100 %**	**5,08**

Der eigene Wald gehörte mit nur 7 % nicht zu den verbreitetsten Bezugsquellen für Waldscheitholz (Tabelle 25). Zu den wichtigsten Bezugsquellen zählten mit 18 % Forstämter bzw. Forstbetriebe, mit 15 % Baumärkte sowie ähnliche kommerzielle Einzelhändler und mit 14 % sonstige kommerzielle Bezugsquellen. Der Verbrauch in Wohnungen, für welche Waldscheitholz aus dem eigenen Wald bezogen wurde, war mit 7 m^3/Wohnung jedoch am höchsten, während der Verbrauch in Wohnungen, die das Holz bei Forstämtern bezogen, mit 3,4 m^3/Wohnung am geringsten war. In dieser letzteren Gruppe befinden sich zwar mit ca. 28 % der größte Anteil mit Holz beheizten Wohnungen, diese nutzten aber nur etwa 18 % des gesamten Verbrauches an Waldscheitholz in Deutschland.

[25] Der hier gezeigte Wert ist unabhängig vom Familienstand. Eine alleinstehende Person ohne Kinder kann in einem Haushalt mit mehr als einer Person leben. Daher ist der hier gezeigt Wert auch kleiner, als der in Tabelle 19 gezeigte Wert der alleinstehenden Personen ohne Kinder.

Tabelle 25: Brennholzverbrauch nach Bezugsquelle

Bezugsquellen	Holzverbrauch in Mio. m³	Holzverbrauch in %	Wohnungen in Mio.	Wohnungen in %	Holzverbr. in m³/Wohnung
Aus eigenem Wald	2,58	9,6 %	0,38	7,0 %	6,98
Forstamt/ Forstbetrieb	4,92	18,3 %	1,52	27,7 %	3,37
Privatwaldbesitzer und/oder Landwirt	3,35	12,4 %	0,83	15,2 %	4,18
Brennstoffhandel (Kohle, Öl, Gas, Holz u. a.)	2,35	8,7 %	0,55	10,0 %	4,58
Baumarkt, Tankstelle, Sonstiger Einzelhandel	3,95	14,6 %	1,11	20,2 %	3,80
Sonstige Bezugsquelle, kommerziell	3,84	14,2 %	0,85	15,5 %	4,76
Sonstige Bezugsquelle, nicht kommerziell	1,31	4,9 %	0,72	13,2 %	1,91
Keine Angabe	2,24	8,3 %	0,77	14,0 %	3,13
Summe	**26,95**	**100 %**	**5,48**	**100 %**	**5,08**

5 Modellierung einer Zeitreihe und Diskussion

5.1 Modellierung der Zeitreihe von 1994 bis 2020

Nachfolgend erfolgt die Beschreibung der modellbasierten Ermittlung des Energieholzverbrauchs in Privathaushalten für den Zeitraum von 1994 bis 2020. Basis hierfür ist das am Thünen-Institut eingesetzte und fortlaufend weiterentwickelte Regressionsmodell (Teilmodell der Thünen-Einschlagsrückrechnung (Thünen-ESRR)) zur Ableitung einer konsistenten Zeitreihe des Energieholzverbrauchs in Privathaushalten (TI-WF 2022). In den folgenden Unterkapiteln werden generelle Aspekte der Modellgestaltung beschrieben und diskutiert. Dazu gehören Modellgestaltungsmöglichkeiten, Modellrestriktionen sowie möglicher und zukünftiger Anpassungsbedarf. Die Diskussion erfolgt zum Teil im Kontext der in der Befragung erhobenen Merkmale, der in der Ergebnisdarstellung aufgezeigten Unsicherheiten und des noch offenen Turnus zukünftiger empirischen Erhebungen.

5.1.1 Bestehendes Teilmodell der Thünen-ESRR zur Schätzung des Brennholzverbrauchs in privaten Haushalten

Das aktuelle Regressionsmodell (Teilmodell der Thünen-ESRR) zur Ableitung einer konsistenten Zeitreihe des Energieholzverbrauchs in Privathaushalten (TI-WF 2022) basiert bislang auf acht empirisch erhobenen Datenpunkten[26] über einen Zeitraum von 1994 bis 2018. Die genannten Datenpunkte stammen aus folgenden Veröffentlichungen:

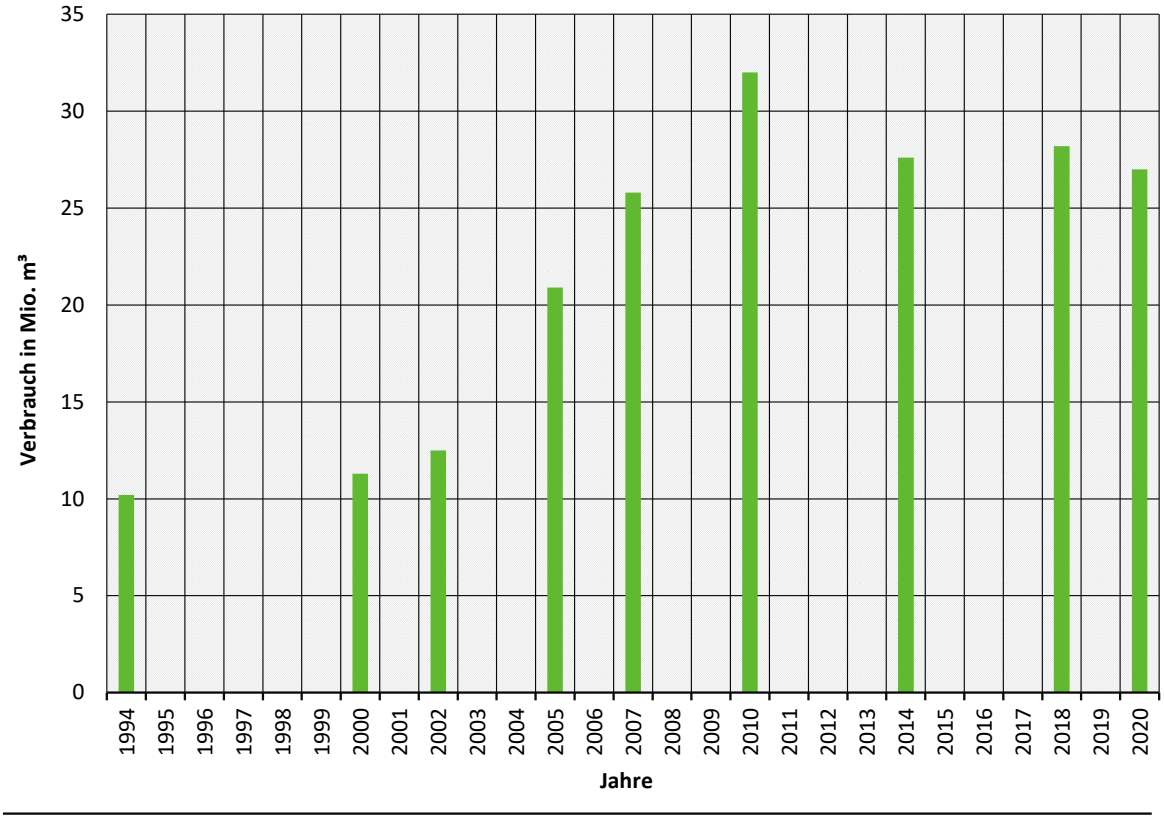
- DIW (ed) (1996) (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung) Holzverbrauch in privaten Haushalten Deutschlands. Zusammenfassung
- Mantau U (2004) Holzrohstoffbilanz Deutschland—Bestandsaufnahme 2002. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich: Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, Hamburg
- Mantau U, Sörgel C (2006) Energieholzverwendung in privaten Haushalten. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich: Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, Hamburg
- Hick und Mantau (2008) Energieholzverwendung in privaten Haushalten. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich: Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, Hamburg
- Mantau (2012) Holzrohstoffmonitoring—Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2010. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich: Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, Hamburg
- Döring et al. (2016) Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2014. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Hamburg.
- Döring et al. (2020) Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2018. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Hamburg.

Aus den hier genannten Publikationen ergibt sich der im Folgenden gezeigte Verlauf des Verbrauchs von hölzerner Biomasse in Privathaushalten (siehe Abbildung 8). Es zeigt sich, dass die zeitlichen Abstände zwischen den Erhebungen nicht konstant sind. Ferner ist zu beachten,

[26] An dieser Stelle ist der neue für 2020 erhobene Datenpunkt noch nicht einbezogen.

dass sich die Methodik der verschiedenen Erhebungen teilweise voneinander unterscheidet, so bspw. die Erhebungsgesamtheit (Befragte Personen), die Bereinigung der Daten oder auch die Hochrechnungsmethodik. Eine konstante Erhebungsmethodik gibt es seit dem Datenpunkt für das Jahr 2005, der im Rahmen des Rohstoffmonitorings Holz ermittelt wurde. In Ermangelung anderer Daten werden die drei Datenpunkte vor dem Jahr 2005 aktuell noch für die Modellierung verwendet.

Abbildung 8: Datenpunkte zur energetischen Verwendung hölzerner Biomasse in privaten Haushalten im Zeitraum von 1994 bis 2020



Quelle: DIW (1996), Mantau (2004), Mantau und Sörgel (2006), Hick und Mantau (2008), Mantau (2012), Döring et al. (2016), Döring et al. (2020), Daten der vorliegenden Studie, eigenen Berechnungen

Die in Abbildung 8 dargestellten Daten[27] zeigen, dass sich die Brennholznutzung in privaten Haushalten von ca. 10 Mio. m^3 im Jahr 1994 bis zum Jahr 2005 in etwa verdoppelt hat. Den derzeitigen (empirisch erhobenen) Höhepunkt erreichte die Brennholznutzung im Jahr 2010 mit etwas über 30 Mio. m^3. Eine wichtige Ursache für diesen hohen Verbrauch war der in diesem Jahr besonders kalte Winter. Danach lag der empirisch erhobene Verbrauch zwischen 25 und 30 Mio. m^3.

5.1.1.1 Abhängige und unabhängige Variablen

Das aktuelle Regressionsmodell als Teilmodell der Thünen-ESRR zur Schätzung der Zeitreihe des Energieholzverbrauchs in Privathaushalten hat seine Grundlage in Jochem et al. (2015) und nutzt aktuell zwei unabhängige Variablen, um den gesamten Holzverbrauch im Haushaltssektor als abhängige Variable zu schätzen (TI 2022). Zu den beiden unabhängigen Variablen gehört

[27] An dieser Stelle werden ausschließlich die empirisch erhobenen Daten beschrieben, d. h., dass die Entwicklungen in den Jahren ohne empirische Untersuchungen von den folgenden Trendbeschreibungen ausgeschlossen sind.

zum einen eine Variable, die die Witterung beschreibt und zum anderen eine Variable, die den Preis konventioneller Brennstoffe abbildet.

Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, gibt es eine Vielzahl von Maßzahlen, mit denen die Witterung beschrieben werden kann. Im aktuellen Modell wird eine über drei Wetterstationen[28] gemittelte Gradtagszahl als erste unabhängige Variable (β1) verwendet. Grundlegende Idee ist, dass ein besonders kalter Winter zu einem besonders hohen Brennholzverbrauch in privaten Haushalten führt. Das zu erwartende Vorzeichen des Schätzers ist somit positiv. Die zweite unabhängige Variable (β2) ist ein gewichteter und gemittelter Preisindex konventioneller Energieträger, wie z. B. Heizöl und Gas.[29] Grundlegende Annahme ist, dass ein hoher Preis der klassischen Energieträger (z. B. ein hoher Gaspreis) zu einer verstärkten Nachfrage nach Brennholz führt. Mit Hilfe von Daten des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) zur Heizstruktur in Deutschland[30] werden in diesem Fall vom Statistischen Bundesamt bereitgestellte Daten zu Verbraucherpreisindizes[31] von Heizöl, Gas, Strom und Fernwärme gewichtet, um eine einzelne Preisindexvariable zu generieren und deren Wirkung auf den Holzeinsatz zu bemessen. Dahinter steht die Annahme, dass der Preis der konventionellen Energiequelle entsprechend der Verteilung der Nutzung der Energieträger gewichtet werden muss. So ist der Preisindex von Heizöl und Gas für das Heizen einer Wohnung bedeutender als der von Strom, da es in Deutschland mehr Haushalte gibt, die mit Heizöl und Gas heizen als Haushalte, die mit Strom heizen. Zu beachten gilt, dass diese grundsätzliche Annahme für die zweite unabhängige Variable (β2) im Wesentlichen für Haushalte gilt, die die Wahl zwischen zwei Energieträgern (d. h. Holz und einem weiteren Energieträger) haben. Ein Haushalt, der beispielsweise ausschließlich eine ölbetriebene Heizanlage betreibt, kann nicht unmittelbar den Energieträger Holz einsetzen, wenn der Ölpreis stark gestiegen ist. Somit sind die Daten des BDEW zur Gewichtung der Preisindizes möglicherweise nur bedingt geeignet, die wahren Substitutionsbeziehungen in Deutschland abzubilden. Ein stark angestiegener Ölpreis (bei gleichbleibendem Holzpreis) kann im Rahmen dieses Modells lediglich dazu führen, dass ein Haushalt seine Ölheizung mittel- bis langfristig gegen eine holzbetriebene Heizanlage austauscht bzw. zusätzlich einen Holz-Zusatzheizung errichtet und das später in einem zusätzlichen Holzverbrauch mündet. Gleiches gilt auch im umgekehrten Fall.

Es ist belegt, dass neben der Witterung und Preisen für konventionelle Energieträger, weitere Einflussfaktoren auf den Brennholzverbrauch wirken (siehe z. B. Glasenapp et al. 2019). So könnten beispielsweise auch das Einkommen, das Umweltbewusstsein, die Möglichkeit überhaupt mit Holz zu heizen (Geräteanzahl) und viele weitere Einflussfaktoren eine Rolle für die Verwendung von Brennholz spielen (siehe auch Kapitel 2). Ein Modell zur Schätzung des Holzeinsatzes ist allerdings immer nur ein vereinfachtes Abbild der Realität. Für das bestehende Modell gab es bislang lediglich acht verwertbare Beobachtungen im Zeitverlauf seit dem Jahr 1994. Die empirisch erhobenen Einzeldaten konnten für weitere Analysen bislang nicht genutzt werden, sondern lediglich der gesamte Brennholzverbrauch einer Studie als aggregierter Wert. Ferner sind viele weitere erklärende Variablen im Zeitverlauf unbekannt. Es ist beispielsweise nicht bekannt, wie sich das durchschnittliche Umweltbewusstsein im Zeitverlauf und ggf. auch

[28] Mittelwert der GTZ aus Hamburg, Frankfurt und Stuttgart
[29] Im ursprünglichen Modell aus Jochem et al. (2015) wurde das Verhältnis von Brennholzpreisindex zum Index der konventionellen Brennstoffe genutzt. Spätere Analysen zeigten jedoch, dass dieses Verhältnis keinen ausreichenden Erklärungsgrad mehr liefern konnte.
[30] Quelle: https://www.bdew.de/media/documents/Beheizungsstruktur_Wohnungsbestand_Entw_ab_1995_online_o_jaehrlich_CMi_2801202_udEP16f.pdf (Letzter Abruf am 23.03.2022)
[31] Genutzt werden folgende Verbraucherpreisindizes des Statistischen Bundesamtes: CC0452, CC0453, CC0455; CC0451.

regional geändert hat oder wie viele mit Holz betriebene Heizungen in diesem Zeitraum tatsächlich genutzt wurden. Besondere Einflussfaktoren, wie z. B. die Corona-Pandemie oder Wirtschaftskrisen, können sich - trotz der Lagerhaltung - ebenfalls auf den Verbrauch von Brennholz auswirken. Es fehlen jedoch die empirischen Daten, um die Wirkung zu bemessen (siehe auch Kapitel 5.2.2.4).

Die im nachfolgenden Kapitel 5.1.1.2 beschriebenen Modellparameter zeigen, dass die Witterung und der Preis für konventionelle Energieträger eine sehr große Bedeutung für die Höhe des Brennholzverbrauchs haben. Mit Hilfe eines Modells, das diese beiden Variablen nutzt, kann eine gute Schätzung der Entwicklung als Abbild der Realität erreicht werden. Dies gilt insbesondere auch, da die Modellergebnisse lediglich für die Jahre genutzt werden, für die keine empirischen Daten vorliegen. Die Werte aus den empirischen Studien verbleiben in der Zeitreihe. Tabelle 26 zeigt die für die Modellierung genutzten Daten im Zeitverlauf. Zwecks Verbesserung der Modellierung wurden die abhängige und die unabhängigen Variablen trendbereinigt. Durch die Bereinigung des Trends wird das Risiko von Verzerrungen der Koeffizienten oder Scheinregressionen, also einer Regression bei denen die Koeffizienten signifikant sind, obwohl die Variablen eigentlich voneinander unabhängig sind, reduziert.

Tabelle 26: Abhängige und unabhängige Variablen im bestehenden Modell der TI-ESRR

Jahr	Brennholz-verbrauch (empirisch) in Mio. m³	Gradtagszahl in Kelvin	Preisindex	Y Verbrauch (trend-bereinigt)	β1 Gradtagszahl (trend-bereinigt)	β2 Preis (trend-bereinigt)
1994	10,20	3313,2	48,5	0,92	-291,6	0,3
1995		3620,6	47,0		31,4	-4,1
1996		4153,6	48,7		580,0	-5,1
1997		3586,5	50,6		28,4	-6,1
1998		3502,2	48,0		-40,3	-11,5
1999		3293,0	49,7		-233,9	-12,6
2000	11,70	3188,3	62,5	-3,37	-323,0	-2,7
2001		3548,0	69,3		52,2	1,3
2002	12,50	3353,0	65,5	-4,50	-127,2	-5,3
2003		3484,4	68,1		19,8	-5,5
2004		3560,1	71,0		111,0	-5,4
2005	20,90	3513,9	82,9	1,00	80,4	3,6
2006		3370,1	95,0		-47,8	13,0
2007	25,80	3186,1	96,8	3,97	-216,3	11,9
2008		3382,7	111,6		-4,1	23,9
2009		3387,5	100,4		16,3	9,9
2010	31,99	3939,5	100,0	7,26	583,8	6,6
2011		3151,7	111,1		-188,4	14,9

Jahr	Brennholz-verbrauch (empirisch) in Mio. m³	Gradtagszahl in Kelvin	Preisindex	Y Verbrauch (trend-bereinigt)	β1 Gradtagszahl (trend-bereinigt)	β2 Preis (trend-bereinigt)
2012		3466,0	118,8		141,5	19,8
2013		3630,7	117,9		321,7	16,0
2014	27,58	2977,5	114,7	-1,01	-315,9	10,1
2015		3286,0	105,0		8,2	-2,5
2016		3327,8	97,5		65,6	-12,8
2017		3339,7	99,2		93,0	-14,0
2018	28,20	3047,8	104,1	-4,26	-183,3	-11,9
2019		3180,0	106,9		-35,5	-11,9
2020		3074,0	101,4		-126,0	-20,2

Quellen: DIW (1996), Mantau (2004), Mantau und Sörgel (2006), Hick und Mantau (2008), Mantau (2012), Döring et al. (2016), Döring et al. (2020), eigene Berechnungen auf Basis Statistisches Bundesamt (2022c) und Deutscher Wetterdienst (2022a)

5.1.1.2 Modellspezifikationen

Die in Tabelle 27 gezeigten Modellparameter zeigen u. a., dass mit Hilfe des Modells 78,1 % (angepasstes R^2) der Streuung erklärt werden kann. Beide unabhängigen Variablen (Witterung und Alternativpreise) sind im 95 % Konfidenzintervall signifikant von 0 verschieden. Das bedeutet, dass diese Variablen mit der abhängigen Variablen, dem Holzverbrauch, korreliert sind. Die Vorzeichen der beiden Schätzer sind - wie zu erwarten war - positiv. Das heißt, dass eine höhere Gradtagszahl (bzw. ein kälterer Winter) zu einer erhöhten Brennholznutzung führt. Höhere Heizöl- und Gaspreise führen ebenfalls zu einer verstärkten Brennholzverwendung.

Tabelle 27: Modellparameter: Modell der TI-ESRR (ohne den neuen empirischen Datenpunkt für 2020)

Model	(N=8)	Variables	Coefficient estimates	Standard errors	t-values	p-values
R^2	0,843	β0	-0,541	0,743	0,73	0,4991
R^2 (adjusted)	0,781	β1	0,008	0,003	3,20	0,0241*
F-Statistic	13,454	β2	0,321	0,091	3,53	0,0167*
p-value	0,0097*					

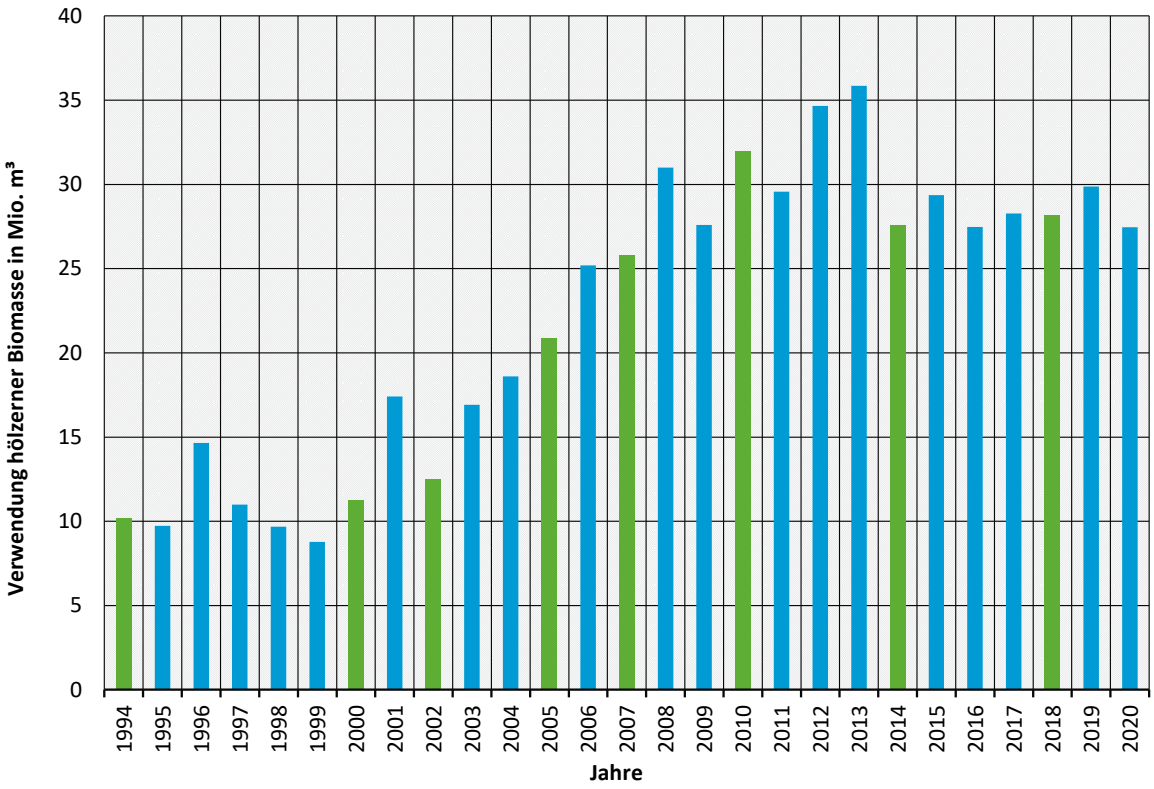
Y = Verbrauch hölzerner Biomasse in privaten Haushalten (tb); β1 = GTZ (tb); β2 = VPI (tb); tb = trendbereinigt

5.1.1.3 Modellergebnisse (inkl. der empirischen Daten) vor Implementierung der neuen Ergebnisse für das Jahr 2020

Die modellierten Ergebnisse für die Verwendung hölzerner Biomasse zur Wärmeerzeugung in Privathaushalten (inkl. der empirischen Daten) sind in Abbildung 9 dargestellt. Hierbei zeigt sich ein deutlicher Zuwachs der Verwendung von Brennholz seit 1994 bis zum Jahr 2013 auf ca. 35 Mio. m^3. Der hohe Holzverbrauch in den Jahren 2012 und 2013 ist insbesondere durch die auffällig kalten Winter und die relativ hohen Heizöl- und Gaspreise zu erklären (siehe auch

Tabelle 26). In den Folgejahren fällt der modellierte und empirisch erhobene Brennholzverbrauch auf ein Niveau zwischen 25 und 30 Mio. m^3.

Abbildung 9: Modellergebnisse (inkl. der empirischen Daten) zur Verwendung hölzerner Biomasse in privaten Haushalten vor Implementierung der neuen Ergebnisse



Quelle: DIW (1996), Mantau (2004), Mantau und Sörgel (2006), Hick und Mantau (2008), Mantau (2012), Döring et al. (2016), Döring et al. (2020), Daten der vorliegenden Studie, eigenen Berechnungen

5.1.2 Implementierung der Ergebnisse für 2020 in das Thünen-Modell

Aufgrund des im Rahmen dieser Studie neu erhobenen Datenpunktes für die Brennholzverwendung in privaten Haushalten im Jahr 2020 (siehe Kapitel 4.2) und der methodischen Ähnlichkeit zu den genannten Vorstudien ist es möglich, die Studienergebnisse zum Jahr 2020 im bestehenden ESRR-Modell zu berücksichtigen. Die Anzahl der verwendeten Datenpunkte im Modell erhöht sich somit von acht auf neun.

5.1.2.1 Abhängige Variablen und Modellanpassung

Die Neuaufnahme eines weiteren Datenpunktes führt zu einer Modifikation des bestehenden Modells. Die Anzahl der für die abhängige Variable bekannten Datenpunkte erhöht sich um einen Datenpunkt (siehe Tabelle 28). Die unabhängigen Variablen bleiben weiterhin Gradtagszahl und der Preisindex konventioneller Energieträger.

Tabelle 28: Abhängige Variable von 1994 bis 2020

Jahr	Brennholzverbrauch (empirisch) in Mio. m³	Y Brennholzverbrauch (trendbereinigt)
1994	10,20	-0,38
2000	11,70	-3,75
2002	12,50	-4,57
2005	20,90	1,40
2007	25,80	4,67
2010	31,99	8,43
2014	27,58	0,77
2018	28,20	-1,86
2020	26,95	-4,72

Quellen: DIW (1996), Mantau (2004), Mantau und Sörgel (2006), Hick und Mantau (2008), Mantau (2012), Döring et al. (2016), Döring et al. (2020), Daten der vorliegenden Studie, eigenen Berechnungen

Durch die Aufnahme des neuen Datenpunktes für die Brennholzverwendung in privaten Haushalten zur Wärmeerzeugung ergeben sich folgende neue Modellparameter (siehe Tabelle 29).

Tabelle 29: Modellparameter: Modell der Thünen-ESRR (mit dem neuen Datenpunkt für 2020)

Model	(N=9)	Variables	Coefficient estimates	Standard errors	t-values	p-values
R^2	0,849	β0	1,098	0,708	1,55	0,1718
R^2 (adjusted)	0,798	β1	0,008	0,003	3,42	0,0142*
F-Statistic	16,830	β2	0,277	0,068	4,08	0,0065*
p-value	0,0035*					

Y = Verbrauch hölzerner Biomasse in privaten Haushalten (tb); β1 = GTZ (tb); β2 = VPI (tb); tb = trendbereinigt

Im Vergleich zum Modell ohne den neuen empirischen Datenpunkt für das Jahr 2020 ändern sich die Modellparameter nur leicht (vgl. 5.1.1.2). Das angepasste R^2 verbessert sich um 1,7 Prozentpunkte. Ähnliches gilt für den P-Wert des Modells sowie für die P-Werte der erklärenden Variablen. Der Einfluss der Alternativpreise verringert sich etwas.

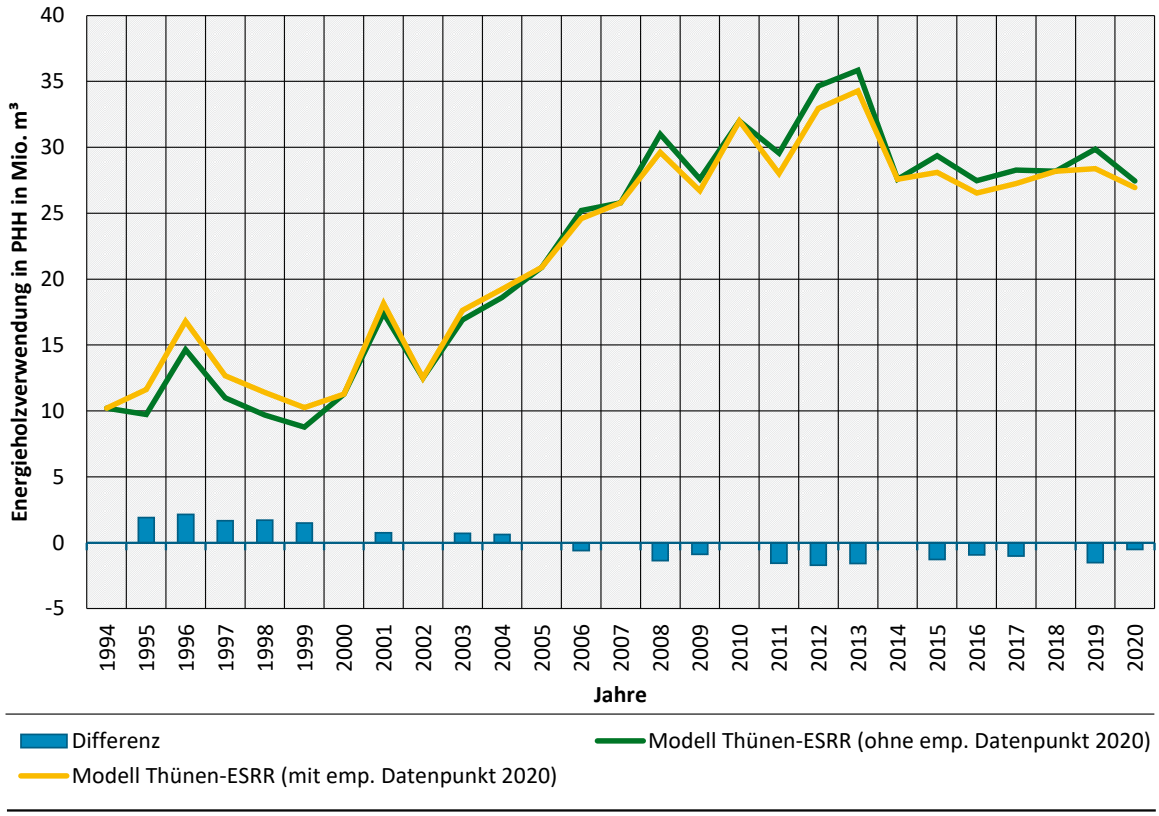
5.1.2.2 Modellergebnisse mit neuem Datenpunkt im Vergleich zum Vormodell ohne neuen Datenpunkt

Die Ergebnisse des Modells mit dem neuen Datenpunkt für das Jahr 2020 im Vergleich zum Vormodell ohne den neuen Datenpunkt für das Jahr 2020, sind in Abbildung 10 dargestellt. Die Abweichungen der Ergebnisse, die sich durch die Anpassung des Modells ergeben, variieren zwischen -1,7 Mio. m^3 und +2,2 Mio. m^3.[32] Die Abweichung der ursprünglich für das Jahr 2020

[32] Zum Vergleich: Die Streuung des Verbrauches nach empirischer Erhebung im Jahr 2020 liegt bei ca. +- 1,76 Millionen m^3.

berechneten Energieholzverwendung zur empirisch erhobenen Energieholzverwendung ist mit 0,5 Mio. m^3 moderat.

Abbildung 10: Modellergebnisse (inkl. der empirischen Daten) im Vergleich



Quelle: DIW (1996), Mantau (2004), Mantau und Sörgel (2006), Hick und Mantau (2008), Mantau (2012), Döring et al. (2016), Döring et al. (2020), Daten der vorliegenden Studie, eigene Berechnungen

Das neue Modell mit dem empirischen Datenpunkt für das Jahr 2020 führt zu rückwirkenden Änderungen der Ergebnisse aller betrachteten Jahre zwischen 1994 und 2020 (siehe Tabelle 30). Dies gilt es generell bei der Verwendung der Modelldaten zu berücksichtigen. Ein neuer empirischer Datenpunkt für die abhängige Variable im Modell, wie aber auch jeder neue Datenpunkt für die unabhängigen Variablen, führt in aller Regel zu rückwirkenden Änderungen der gesamten Zeitreihe, da sich die modellierten Wirkungszusammenhänge zwischen abhängiger und den unabhängigen Variablen in aller Regel durch jeden neuen Datenpunkt ändern.

Tabelle 30: Modellergebnisse (inkl. der Ergebnisse aus emp. Erhebungen) im Vergleich

Jahr	Modellergebnisse ohne emp. Datenpunkt 2020 A	Modellergebnisse mit emp. Datenpunkt 2020 B	Differenz B -A	Prozentuale Änderung
1994	10,200*	10,200*	0,000	0,0 %
1995	9,731	11,630	1,899	19,5 %
1996	14,653	16,800	2,147	14,7 %
1997	10,983	12,662	1,679	15,3 %

Jahr	Modellergebnisse ohne emp. Datenpunkt 2020 A	Modellergebnisse mit emp. Datenpunkt 2020 B	Differenz B -A	Prozentuale Änderung
1998	9,682	11,399	1,718	17,7 %
1999	8,776	10,263	1,487	16,9 %
2000	11,287*	11,287*	0,000	0,0 %
2001	17,406	18,158	0,752	4,3 %
2002	12,501*	12,501*	0,000	0,0 %
2003	16,911	17,632	0,721	4,3 %
2004	18,608	19,232	0,623	3,4 %
2005	20,900*	20,900*	0,000	0,0 %
2006	25,198	24,601	-0,598	-2,4 %
2007	25,800*	25,800*	0,000	0,0 %
2008	30,990	29,630	-1,360	-4,4 %
2009	27,595	26,714	-0,881	-3,2 %
2010	31,988*	31,988*	0,000	0,0 %
2011	29,561	28,014	-1,546	-5,2 %
2012	34,654	32,955	-1,699	-4,9 %
2013	35,845	34,271	-1,573	-4,4 %
2014	27,576*	27,576*	0,000	0,0 %
2015	29,368	28,100	-1,268	-4,3 %
2016	27,468	26,538	-0,930	-3,4 %
2017	28,270	27,255	-1,014	-3,6 %
2018	28,196*	28,196*	0,000	0,0 %
2019	29,871	28,372	-1,499	-5,0 %
2020	27,451	26,950	-0,501	-1,8 %

*Ergebnisse empirischer Erhebungen; Quellen: DIW (1996), Mantau (2004), Mantau und Sörgel (2006), Hick und Mantau (2008), Mantau (2012), Döring et al. (2016), Döring et al. (2020), Daten der vorliegenden Studie, eigenen Berechnungen

5.1.3 Mögliche Modifikationen des bestehenden Modells

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde geprüft, ob Modifikationen am bestehenden Modell, das heißt an den unabhängigen Variablen, zu Verbesserungen des Modells bzw. der Modellparameter führen können. Dabei werden auch die bestehenden Modellspezifikationen diskutiert, zu denen insbesondere die unabhängigen Variablen (Witterung bzw. Gradtagszahl und die Preise konventioneller Brennstoffe) zählen.

5.1.3.1 Hintergrund

Aufgrund der geringen Anzahl an Beobachtungen (N=9) im Zeitraum von 1994 bis zum Jahr 2020 und in Ermangelung an konsistenten Daten für weitere mögliche unabhängige Variablen im Zeitverlauf, wird die energetische Holzverwendung in privaten Haushalten aktuell über die Witterung und den Preisindex der konventionellen Energieträger geschätzt. Die Anpassung der verwendeten unabhängigen Variablen könnte ggf. zu einer Verbesserung der Modellierung des Holzverbrauches im Haushaltssektor beitragen. Ferner ist der Umstand bekannt, dass die modelltechnische Berücksichtigung verschiedener Heiztypen (z. B. Nutz- und Lustheizer oder Nutzer von Holzzentralheizungen und Nutzer von Einzelraumfeuerungen) besser geeignet wäre, die Holzverwendung zu schätzen. Dies ist jedoch aktuell nicht möglich, da beispielsweise die differenzierte Holzverwendung in Zentralheizungen und Einzelraumfeuerungen bei den meisten der früheren empirischen Erhebungen unbekannt sind.

5.1.3.2 Witterung

Wie bereits beschrieben, wird im aktuellen Modell eine über drei Wetterstationen gemittelte Gradtagszahl als erste unabhängige Variable (β1) verwendet. Hier stellt sich zum einen die Frage, ob die Auswahl der Wetterstationen der Städte Hamburg, Frankfurt und Stuttgart das Witterungsgeschehen in ganz Deutschland hinreichend genau abbildet oder eine andere regionale Gewichtung (z. B. auch nach Schwerpunkten der energetischen Holzverwendung in privaten Haushalten) das Modell verbessern könnte. Ferner stellt sich die Frage, ob die Gradtagszahl im Vergleich zu weiteren Maßzahlen für die Witterung, wie z. B. Heizgradtage, Frost- oder Eistage, zur Erklärung der energetischen Holzverwendung in privaten Haushalten wirklich am besten geeignet ist. Im Zuge dessen wurde der Einsatz folgender erklärender Variablen (trendbereinigt) getestet:

- Frosttage (Deutscher Wetterdienst 2022a)
- Frosttage (Deutscher Wetterdienst 2022a) gewichtet nach regionalen Schwerpunkten der Holzverwendung nach Hick und Mantau (2008)
- Eistage (Deutscher Wetterdienst 2022a)
- Eistage (Deutscher Wetterdienst 2022a) gewichtet nach regionalen Schwerpunkten der Holzverwendung nach Hick und Mantau (2008)
- Heizgradtage (Eurostat 2021)
- Gradtagszahl ermittelt aus Klimafaktoren auf PLZ-Ebene (Deutscher Wetterdienst 2022b) gewichtet nach regionalen Schwerpunkten der Holzverwendung nach Hick und Mantau (2008)

Alle hier genannten und neu getesteten Variablen führen zwangsläufig zu Änderungen der Modellparameter. Aus Platzgründen werden diese jedoch an dieser Stelle nicht vollumfänglich gezeigt. Die jeweiligen Modellparameter der Modelle mit den neu getesteten Variablen finden sich in Anhang B. Der Vergleich der verschiedenen Modellparameter zeigt, dass die „Gradtagszahl ermittelt aus Klimafaktoren auf PLZ-Ebene (nach DWD) gewichtet nach regionalen Schwerpunkten der Holzverwendung nach Hick und Mantau (2008)“ die besten Modellparameter liefert (siehe auch Kapitel 5.1.3.4). Finales Bewertungskriterium ist das angepasste Bestimmheitsmaß. Daher wird das Vorgehen zur Ermittlung der o. g. unabhängigen Variable im Folgenden genauer erläutert.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt sogenannte Klimafaktoren[33] auf Postleitzahl-Ebene (PLZ-Ebene) zur Verfügung (Deutscher Wetterdienst 2022b). Diese können in Gradtagszahlen auf PLZ-Ebene umgerechnet werden. Die regionalen Schwerpunkte nach Hick und Mantau (2008) gliedern sich in Norddeutschland (Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Bremen und Hamburg), Westdeutschland (Nordrhein-Westfalen), Ostdeutschland (Neue Bundesländer), Mitte (Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland) sowie Süddeutschland (Baden-Württemberg und Bayern). Nach Hick und Mantau (2008) ergibt sich folgende Gewichtung der Regionen:

- Norddeutschland: 13,6 %
- Westdeutschland: 10,8 %
- Ostdeutschland: 19,3 %
- Mitte: 12,0 %
- Süddeutschland: 44,3 %

Das bedeutet, dass bspw. die für Süddeutschland auf PLZ-Ebene gemittelte Gradtagszahl[34], über den gezeigten Gewichtungsfaktor dieser Region, die größte Bedeutung hat, da in dieser Region am meisten Holz für energetische Zwecke in Privathaushalten eingesetzt wurde. Für die Zeitreihe von 1994 bis zum Jahr 2020 wurde vereinfachend angenommen, dass sich die regionale Verteilung der Holzverwendung nicht wesentlich geändert hat. Die neu berechnete erklärende Variable für die Witterung wird in Tabelle 31 gezeigt.

Tabelle 31: Neue unabhängige Variable für die Witterung

Jahr	Gradtagszahl in Kelvin	β1 neu Gradtagszahl (trendbereinigt)
1994	3549,8	-275,4
1995	3820,3	11,3
1996	4400,6	607,7
1997	3782,8	6,1
1998	3685,8	-74,8
1999	3549,0	-195,4
2000	3381,1	-347,1
2001	3770,7	58,6
2002	3512,0	-183,9
2003	3682,3	2,6

[33] DWD: „Der Einfluss der Witterung und des Klimas auf den Energieverbrauch wird mittels eines so genannten Klimafaktors erfasst, der sowohl die Temperaturverhältnisse während eines Berechnungszeitraumes als auch die klimatischen Verhältnisse in Deutschland berücksichtigt. Durch die Anwendung des Klimafaktors können die Energieverbrauchskennwerte verschiedener Berechnungszeiträume und von Gebäuden in verschiedenen klimatischen Regionen Deutschlands (zumindest überschlägig) verglichen werden.“ Quelle: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html (letzter Abruf: 20.03.2022).
[34] Verwendung des einfachen Mittelwertes über alle Gradtagszahlen der jeweiligen Regionen.

Jahr	Gradtagszahl in Kelvin	β1 neu Gradtagszahl (trendbereinigt)
2004	3777,2	113,7
2005	3745,2	97,8
2006	3592,3	-38,9
2007	3402,6	-212,4
2008	3587,3	-11,6
2009	3624,6	41,8
2010	4169,4	602,9
2011	3411,6	-138,8
2012	3676,0	141,7
2013	3860,9	342,9
2014	3222,3	-279,6
2015	3476,2	-9,5
2016	3552,6	83,1
2017	3531,3	77,9
2018	3239,7	-197,5
2019	3360,3	-60,7
2020	3242,5	-162,4

Quellen: eigene Berechnungen auf Basis Deutscher Wetterdienst (2022a)

5.1.3.3 Preisindex der konventionellen Energieträger

Wie bereits für die Witterung wurde geprüft, welche Modifikation des bestehenden Modellansatzes hinsichtlich der unabhängigen Variablen „Preisindex der konventionellen Energieträger“ eine Verbesserung des Modells sowie der Modellparameter herbeiführen kann. Wie bereits beschrieben, ist die aktuelle zweite unabhängige Variable (β2) ein gewichteter und gemittelter Preisindex für konventionelle Energieträger, wie z. B. Heizöl und Gas. Gewichtet werden die vom Statistischen Bundesamt (2022d) bereitgestellten Preisindizes konventioneller Brennstoffe (d. h. Heizöl, Gas, Strom und Fernwärme) mit Hilfe von Daten des BDEW zur Heizstruktur in Deutschland (BDEW 2022). Dahinter steht die Annahme, dass der Preis für konventionelle Energieträger entsprechend der Verteilung der Nutzung der Energieträger gewichtet werden muss, um eine einzelne Preis-Variable für die Modellierung zu generieren. Preisindizes von Heizöl und Gas haben einen größeren Erklärungsgehalt für das Heizverhalten im Wohnungsbestand als der Preisindex von beispielsweise Strom, da in Deutschland nur wenig mit Strom geheizt wird. Es stellt sich jedoch die Frage, ob diese Gewichtung die echten Substitutionsbeziehungen richtig darstellt. Wie eingangs erwähnt, hat nicht jeder Haushalt die Möglichkeit mit mehr als einem Brennstoff zu heizen. Daher sollte die Gewichtung die tatsächlichen Substitutionsmöglichkeiten möglichst realitätsnah abbilden. Zu diesem Zweck wurde auf Zeitreihendaten des UBA zurückgegriffen, die im Vergleich zu den Informationen des BDEW zur Heizungsstruktur des Wohnungsbestandes, die Substitutionsbeziehungen realistischer abbilden. Es zeigt sich allerdings auch, dass die daraus abgeleitete Gewichtung

Ähnlichkeit zur bisher genutzten Gewichtung nach BDEW aufweist. Lediglich die Fernwärme hat (vorwiegend zugunsten des Heizöls) ein etwas geringeres Gewicht. Tabelle 32 zeigt die Werte der modifizierten Variablen für den gewichteten Preisindex.

Tabelle 32: Neue unabhängige Variable für den gewichteten Preisindex konventioneller Brennstoffe

Jahr	Preisindex	β2 Preisindex (trendbereinigt)
1994	47,27	0,18
1995	45,62	-4,35
1996	47,67	-5,19
1997	49,31	-6,43
1998	46,32	-12,30
1999	48,48	-13,03
2000	62,85	-1,55
2001	68,93	1,65
2002	64,21	-5,95
2003	67,07	-5,97
2004	70,23	-5,70
2005	83,21	4,39
2006	95,55	13,86
2007	96,56	11,98
2008	113,72	26,26
2009	97,61	7,27
2010	100,00	6,77
2011	112,91	16,79
2012	120,55	21,55
2013	118,37	16,48
2014	114,49	9,72
2015	103,51	-4,15
2016	96,02	-14,51
2017	99,21	-14,21
2018	105,00	-11,30
2019	107,71	-11,48
2020	101,29	-20,79

Quelle: eigene Berechnungen auf Basis Statistisches Bundesamt (2022c)

5.1.3.4 Modellparameter nach Modifikationen

Die Implementierung der neuen Daten der erklärenden Variablen im Modell führt zu einer Änderung der Modellparameter. Die neuen Modellparameter finden sich in folgender Tabelle 33:

Tabelle 33: Modellparameter: Angepasstes Modell der TI-ESRR

Model	(N=9)	Variables	Coefficient estimates	Standard errors	t-values	p-values
R^2	0,863	β0	1,098	0,675	1,63	0,1550
R^2 (adjusted)	0,817	β1	0,009	0,002	3,67	0,0105*
F-Statistic	18,849	β2	0,256	0,065	3,94	0,0076*
p-value	0,0026*					

Y = Verbrauch hölzerner Biomasse in privaten Haushalten (tb); β1 = GTZ (gewichtet & tb); β2 = VPI (tb); tb = trendbereinigt

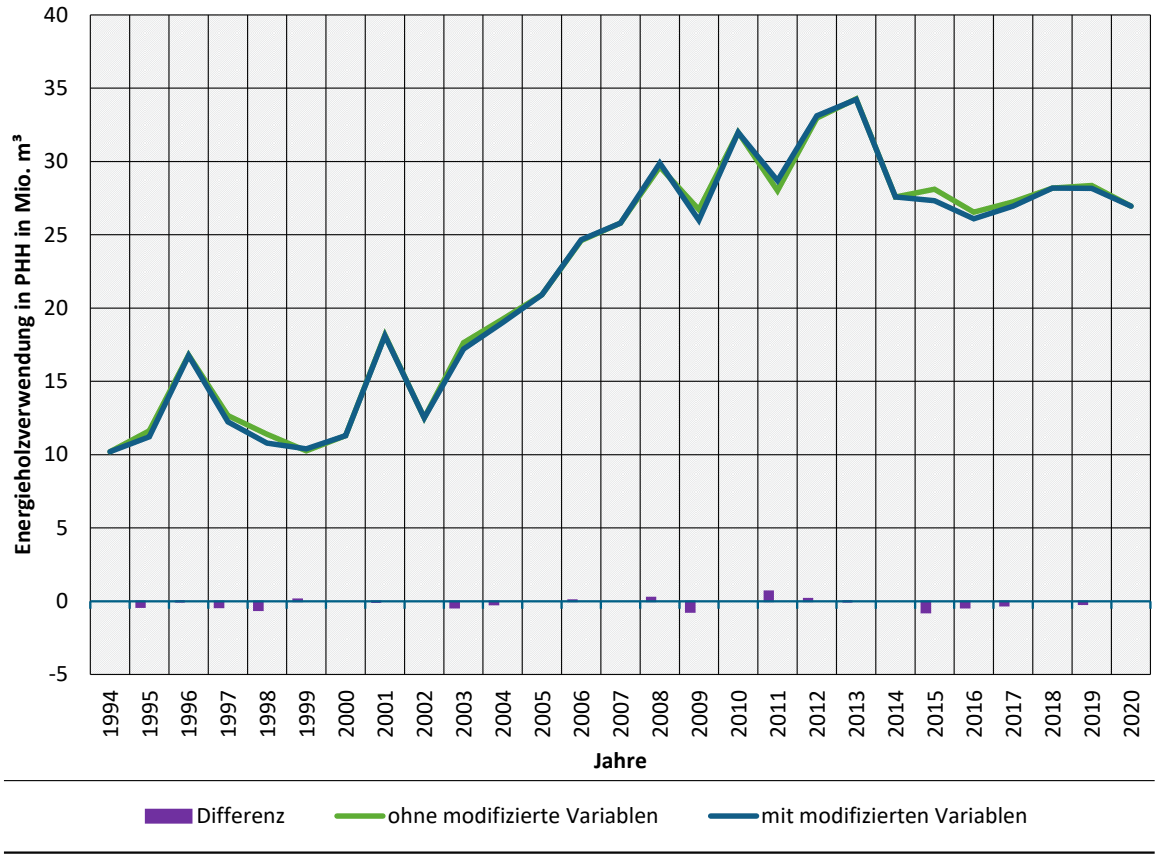
Dabei zeigt sich, dass mit Hilfe des angepassten Modells 81,7 % der Streuung erklärt werden kann (angepasstes Bestimmtheitsmaß). Die beiden modifizierten erklärenden Variablen (Witterung und Alternativpreise) sind weiterhin im 95 % Konfidenzintervall signifikant von Null verschieden. Das bedeutet, dass diese Variablen mit der abhängigen Variablen bzw. dem Holzverbrauch korreliert sind. Die Vorzeichen der beiden Schätzer sind wie erwartet positiv.

5.1.4 Vergleich der Modelle

Im Rahmen dieses Kapitels wird das Modell mit dem implementierten, neuen empirischen Datenpunkt für das Jahr 2020 betrachtet. Verglichen wird das bestehende Modell mit dem angepassten Modell.

Der Vergleich der Modelle zeigt, dass die Modifizierung der erklärenden Variablen neben einer inhaltlich-logischen Verbesserung des Modells auch eine Verbesserung der Modellparameter zur Folge hat. So verbessert sich das angepasste R^2 leicht um 1,9 Prozentpunkte. Ähnliches gilt für den P-Wert des Modells sowie für die P-Werte der erklärenden Variablen. Der Einfluss der Preise für konventionelle Energieträger verringert sich leicht. Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse des bestehenden Modells ohne die modifizierten Variablen (grün) und Ergebnisse des angepassten Modells mit modifizierten Variablen (blau) im Vergleich.

Abbildung 11: Modellergebnisse im Vergleich



Quelle: DIW (1996), Mantau (2004), Mantau und Sörgel (2006), Hick und Mantau (2008), Mantau (2012), Döring et al. (2016), Döring et al. (2020), Daten der vorliegenden Studie, eigene Berechnungen

Die detaillierten Ergebnisse der zwei vorgestellten Modelle für den Zeitraum von 1994 bis zum Jahr 2020 finden sich in Tabelle 34.

Tabelle 34: Modellergebnisse (inkl. Ergebnisse empirischen Erhebungen) im Vergleich

Jahr	Bestehendes Modell ohne modifizierte Variablen A	Angepasstes Modell mit modifizierten Variablen B	Differenz B -A	Prozentuale Änderung
1994	10,200*	10,200*	0,000	0,0 %
1995	11,630	11,220	-0,410	-3,5 %
1996	16,800	16,762	-0,038	-0,2 %
1997	12,662	12,235	-0,427	-3,4 %
1998	11,399	10,781	-0,618	-5,4 %
1999	10,263	10,392	0,129	1,3 %
2000	11,287*	11,287*	0,000	0,0 %
2001	18,158	18,110	-0,048	-0,3 %
2002	12,501*	12,501*	0,000	0,0 %

Jahr	Bestehendes Modell ohne modifizierte Variablen A	Angepasstes Modell mit modifizierten Variablen B	Differenz B -A	Prozentuale Änderung
2003	17,632	17,200	-0,432	-2,5 %
2004	19,232	19,008	-0,224	-1,2 %
2005	20,900*	20,900*	0,000	0,0 %
2006	24,601	24,669	0,068	0,3 %
2007	25,800*	25,800*	0,000	0,0 %
2008	29,630	29,883	0,253	0,9 %
2009	26,714	25,986	-0,728	-2,7 %
2010	31,988*	31,988*	0,000	0,0 %
2011	28,014	28,691	0,677	2,4 %
2012	32,955	33,126	0,171	0,5 %
2013	34,271	34,235	-0,036	-0,1 %
2014	27,576*	27,576*	0,000	0,0 %
2015	28,100	27,330	-0,770	-2,7 %
2016	26,538	26,101	-0,437	-1,6 %
2017	27,255	26,950	-0,305	-1,1 %
2018	28,196*	28,196*	0,000	0,0 %
2019	28,372	28,162	-0,210	-0,7 %
2020	26,950*	26,950*	0,000	0,0 %

*Ergebnisse empirischer Erhebungen

Quellen: DIW (1996), Mantau (2004), Mantau und Sörgel (2006), Hick und Mantau (2008), Mantau (2012), Döring et al. (2016), Döring et al. (2020), Daten der vorliegenden Studie, eigene Berechnungen

Das angepasste Modell mit den modifizierten erklärenden Variablen führt – wie bereits weiter oben beschrieben - zu rückwirkenden Änderungen der Ergebnisse aller betrachteten Jahre zwischen 1994 und 2020. Dabei sind die Änderungen weitestgehend moderat (kleiner 0,5 Mio. m^3). Lediglich in drei Jahren (d. h. in den Jahren 2009, 2011 und 2015) ist die Änderung etwas größer (kleiner 0,8 Mio. m^3).

5.1.5 Quantifizierung des Modellfehlers

Zur Analyse des Modellfehlers sind die unteren und oberen Grenzen der Schätzkoeffizienten im 95 % Konfidenzintervall in Tabelle 35 dargestellt. Hierbei handelt es sich um die Modellparameter des Modells mit dem neuen empirischen Datenpunkt für das Jahr 2020 inklusive der modifizierten unabhängigen Variablen.

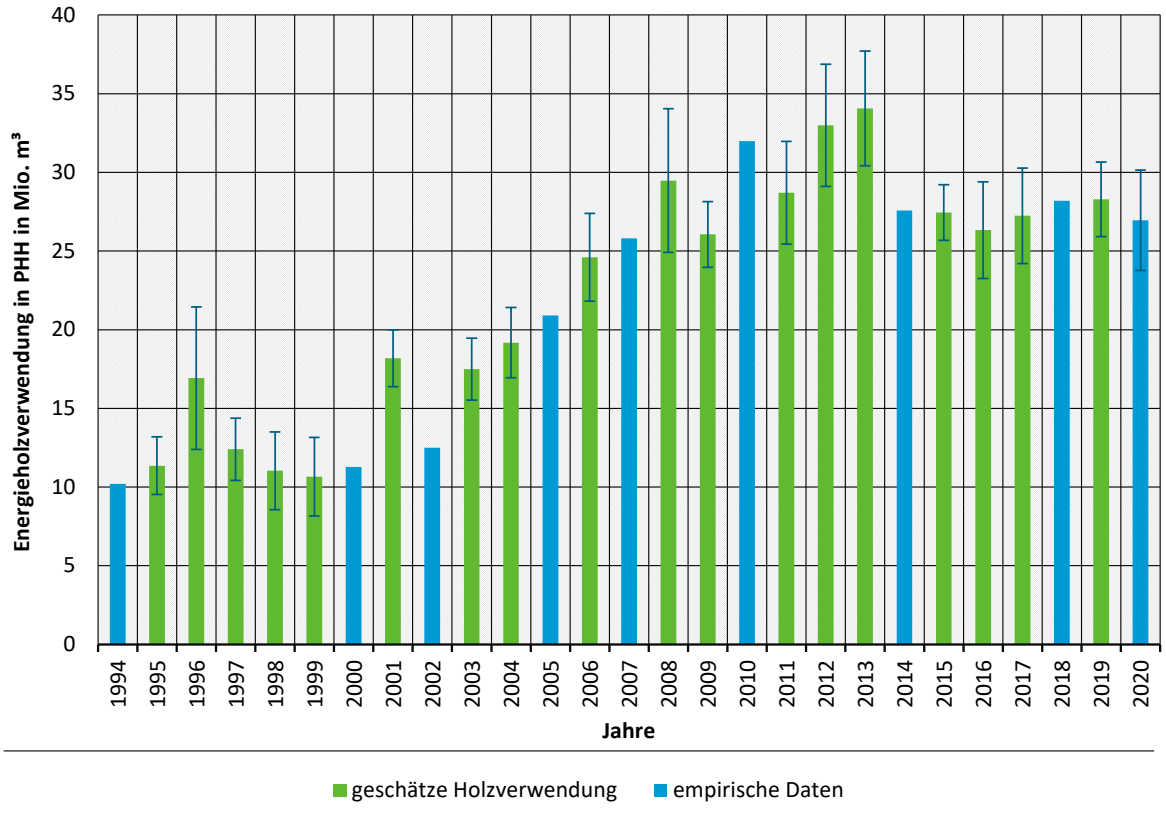
Tabelle 35: Modellparameter: Angepasstes Modell der Thünen-ESRR mit Konfidenzintervallen

Model	(N=9)	Variables	Coefficient estimates	Standard errors	t-values	p-values	Untere Grenze 95 %	Obere Grenze 95 %
R^2	0,863	β0	1,098	0,675	1,63	0,1550	-0,554	2,751
R^2 (adjusted)	0,817	β1	0,009	0,002	3,67	0,0105*	0,003	0,014
F-Statistic	18,849	β2	0,256	0,065	3,94	0,0076*	0,097	0,415
p-value	0,0026*							

Y = Verbrauch hölzerner Biomasse in privaten Haushalten (tb); β1 = GTZ (gewichtet & tb); β2 = VPI (tb); tb = trendbereinigt

Mit Hilfe dieser Daten können die Modellunsicherheiten in Abbildung 12 dargestellt werden. Da die statistischen Fehler der empirischen Untersuchungen bis ins Jahr 2018 unbekannt sind, können diese in der Grafik nicht gezeigt werden. Damit werden die Erhebungsfehler auch nicht bei der Modellbildung berücksichtigt. Die angegebenen Fehlerintervalle der geschätzten Werte beziehen sich ausschließlich auf den modellbedingten Fehler. Die statistischen Fehler der empirischen Untersuchungen konnten bei der Berechnung der Konfidenzintervalle nicht weiter berücksichtigt werden, da diese unbekannt sind.

Abbildung 12: Modellergebnisse (inkl. empirische Ergebnisse) im Zeitverlauf von 1994 bis 2020 sowie Modellunsicherheiten und Stichprobenfehler 2020



Quelle: DIW (1996), Mantau (2004), Mantau und Sörgel (2006), Hick und Mantau (2008), Mantau (2012), Döring et al. (2016), Döring et al. (2020), Daten der vorliegenden Studie, eigene Berechnungen

5.2 Diskussion

5.2.1 Methodendiskussion

Bei der Gestaltung und Durchführung von Befragungen ist die Herstellung repräsentativer Ergebnisse häufig eine Herausforderung. Eine Stichprobe ist repräsentativ, wenn sie ausreichend groß ist und zufällig gezogen wurde, d. h. jeder Befragte hat die gleiche Wahrscheinlichkeit in die Stichprobe aufgenommen zu werden (Zufallsstichprobe). In der Praxis lässt sich eine reine Zufallsstichprobe nur schwer realisieren, sodass die Anforderungen an eine Zufallsstichprobe häufig nicht erfüllt werden können und die Repräsentativität eingeschränkt ist. Aus diesem Grund wird versucht die Probleme der Repräsentativität bspw. mit Quotenstichproben (d. h. Erfüllung von Quoten während der Befragung) oder Gewichtungsfaktoren (d. h. Berechnung von Gewichten nach der Befragung) entgegenzuwirken (siehe auch Kapitel 3.3).

Diese Verfahren setzen jedoch Wissen über die Verteilung der Grundgesamtheit voraus. Grundsätzlich bieten Daten des Mikrozensus eine gute Ausgangsbasis zur Bestimmung der Grundgesamtheit, sodass auch in dieser Studie auf entsprechende Daten zurückgegriffen wurde. Die Daten des Mikrozensus basieren auf einer umfassenden Stichprobenbefragung, die vom Statistischen Bundesamt durchgeführt wird. Stichprobenziehungen sind immer mit einem statistischen Fehler behaftet, sodass auch die Grundannahmen über die Grundgesamtheit mit einer gewissen Unsicherheit belegt ist. Zudem liegen Informationen für die Grundgesamtheit lediglich zum Jahr 2018 vor. Für das Jahr 2020 fehlen empirische Daten des Mikrozensus und mussten für die vorliegende Studie u.a. von der Bautätigkeitsstatistik abgeleitet werden. Dabei können systematische Fehler entstanden sein, die sich, im Gegensatz zu statistischen Fehlern, nicht quantifizieren lassen (siehe Kapitel 3.1).

Ein allgemeines Mittel zur Erhöhung der statistischen Genauigkeit einer Befragung ist die Wahl einer möglichst großen Stichprobe aus der Grundgesamtheit. So wurden bei der Befragung im Rahmen dieser Studie eine Teilnehmerzahl von ca. 10.500 angestrebt. Einer der größten Unterschiede zur Studie von Döring et al. (2020) - bei der für die Befragung ein Mailpanel genutzt wurde - besteht in der in Kapitel 3 beschriebenen Rekrutierung der Stichprobe. Die Unterschiede in den Erhebungen sollten sich jedoch zu großen Teilen durch die nachträgliche Gewichtung bzw. Hochrechnung wieder angleichen. Eine vollständige Angleichung ist allerdings aufgrund der Unterschiede in der Merkmalsauswahl der Gewichtung beider Studien unwahrscheinlich.

Ein weiterer methodischer Unterschied zur Studie von Döring et al. (2020) besteht darin, dass in der vorliegenden Studie auch Angaben zu Nebenwohnsitzen getätigt werden konnten. Dies hat zur Folge, dass Befragte teilweise zwei Fragebögen ausfüllten. In Döring et al. (2020) wurden diese Wohnungen dagegen nicht erfasst. Zunächst führt die Erfassung der Nebenwohnsitze zu einem genaueren Bild der Wohnverhältnisse in Deutschland. Möglicherweise verändert sich durch die Berücksichtigung des spezifischen Brennholzeinsatz in Nebenwohnsitzen allerdings auch der durchschnittliche Holzeinsatz in Wohnungen insgesamt. Zum einen könnte sich das Nutzerverhalten im Nebenwohnsitz anders darstellen als am Hauptwohnsitz. Zum anderen könnte die Anzahl an Brennholznutzer beeinflusst sein, wenn sich die Verteilung von Holzfeuerungen in Nebenwohnsitzen signifikant von den in Hauptwohnsitzen unterscheidet. Die Vergleichbarkeit mit Döring et al. (2020) wird somit erschwert.

Neben Unsicherheiten bei der Hochrechnung kann auch ein fehlerhaftes Antwortverhalten der Befragten zu ungenauen Ergebnissen führen. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde eine Befragung mittels Online-Fragebogen durchgeführt. Es besteht die Möglichkeit, dass Fragen von

den Teilnehmern falsch interpretiert wurden. Beispielsweise können das Kalenderjahr mit der Heizperiode verwechselt, oder Mengeneinheiten missverstanden worden sein. Hier sind schriftlichen Fragebögen gegenüber Telefoninterviews, bei dem auf Verständnisprobleme eingegangen werden kann, im Nachteil. Neben diesen Unsicherheiten aus dem Verständnis der Fragstellung ergeben sich weitere Unsicherheiten aus der Frage, ob Befragte bestimmte Sachverhalte richtig einschätzen können. So kann es bspw. sein, dass die Höhe des eigenen Brennholzverbrauchs im Jahr 2020 nicht realistisch eingeschätzt werden konnte. Gründe hierfür können beispielsweise der weit zurück liegende Zeitraum oder das Fehlen detaillierter Abrechnungen sein. Für einen Mieter eines Mehrfamilienhauses ist es u. U. nicht möglich den Brennholzverbrauch der Holzzentralheizung für seine eigene Wohnung einzuschätzen. Um verschiedenen möglichen Fehler zu begegnen, wurden Hilfsmittel bereitgestellt. Zum einen konnten Befragte die Ihnen geläufigen Einheiten beim Einsatz verschiedener Sortimente auswählen. Zum anderen wurde im Online-Fragebogen mittels Warnung auf offensichtlich unpassende Verbrauchsangaben hingewiesen.[35] Zudem wurden im Anschluss an die Befragung bei der Extremwertbehandlung, (siehe Kapitel 3.4) und Einzelfallprüfung (siehe Kapitel 3.5) mögliche unplausible Angaben identifiziert und ggf. ersetzt. Alle genannten Verfahren dienen vor allem der Reduzierung möglicher Ungenauigkeiten aus dem Antwortverhalten.

5.2.2 Ergebnisdiskussion und -einordnung in der Zeitreihe

In den folgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie in bestehende Daten und Informationen zur Verwendung verschiedener Brennholzsortimente oder der Brennholzverwendung allgemein eingeordnet. Dies dient der Plausibilisierung der vorliegenden Studienergebnisse.

5.2.2.1 Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen im Zeitverlauf

Im Folgenden werden die Erhebungsergebnisse im Vergleich zu anderen Datenquellen eingeordnet. Dabei wird u. a. auf Daten der Studien im Rahmen des Rohstoffmonitorings Holz, des deutschen Energieholz und Pellet-Verbandes (DEPV) bzw. des Deutsches Pelletinstituts (DPI) und des Bundesverbandes des Schornsteinfegerhandwerks (ZIV) eingegangen.

In Tabelle 36 werden die Ergebnisse zur Verbreitung der energetischen Nutzung von Brennholzsortimenten mit früheren Studien verglichen. Insgesamt lag die Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen in den Jahren 2010 bis 2018 zwischen 6,4 bis 7,2 Mio. Wohnungen. Die aktuelle Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen im Jahr 2020 ist im Vergleich zum Jahr 2018 deutlich gesunken. So betrug dieser Wert im Jahr 2018 6,6 Mio. Wohnungen (Döring et al. 2020). Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden für das Jahr 2020 insgesamt 5,5 Mio. mit Brennholz beheizte Wohnungen ermittelt.

Die Befragungsergebnisse zum Jahr 2020 bestätigen, dass eine überwiegende Anzahl von Wohnungen mit Scheitholz (d. h. Waldscheitholz, Scheitholz aus dem Garten oder Landschaftspflegeholz) beheizt wird. Waldscheitholz ist dabei das Sortiment, das in den Jahren 2010 bis 2020 jeweils am häufigsten (3,59 bis 5,10 Mio. Wohnungen) verwendet wurde. Altholz bzw. Gebrauchtholz wurde im Jahr 2020 in 1,19 Mio. Wohnungen energetisch genutzt. Diese Zahl ist im Vergleich zu den Vorjahren die höchste bisher ermittelte Anzahl. Auch bei der Verwendung von Schnittholzresten und Holzpellets waren die ermittelten Anzahlen an Wohnungen (0,56 bzw. 0,69 Mio.) die größten seit dem Jahr 2010. Es zeigt sich allerdings, dass

[35] Zur Vermeidung von groben Eingabefehlern in der Onlinebefragung wurden Befragte ab einem Wert von 50 m^3 (bzw. Fm) auf einen möglicherweise zu hohen Wert hingewiesen. Umgerechnet in andere gebräuchliche Einheiten ergeben sich 85 Rm, 113 SRm, 29 Tonnen, 3 575 Säcke (bei 8.8 kg pro Sack) oder 112.670 Liter.

die Anzahl an Wohnungen, die mit Holzpellets beheizt wurden, weniger stark zunahmen als noch in den Vorjahren.

Tabelle 36: Anzahl der Brennholzverbraucher nach verwendeten Brennholzsortimenten von 2010 bis 2020 (in Mio. Wohnungen)

Brennholzsortimente	2010	2014	2018	2020
Waldscheitholz	4,75	5,10	4,35	3,59
Scheitholz, Garten	1,52	1,81	1,59	1,38
Landschaftspflegeholz	0,44	0,35	0,35	0,60
Altholz	0,92	1,18	1,04	1,19
Schnittholzreste	0,42	0,51	0,45	0,56
Hackschnitzel		0,14	0,20	0,13
Holzpellets	0,22	0,49	0,68	0,69
Holzbriketts	0,63	0,92	0,89	0,67
Anzündholz		0,64	2,94	0,92
sonst. Brennholzsortiment				0,14
Gesamt	**6,44**	**7,15**	**6,63**	**5,48**

Doppelzählungen in den einzelnen Brennholzsortimenten möglich, in der Summe nicht.
Quellen: eigene Berechnungen, Mantau (2012), Döring et al. (2016), Döring et al. (2020)

Wie in Tabelle 37 zu sehen, hat sich die Anzahl an Wohnungen mit einem Anschluss an eine Holzzentralheizung in diesem Zeitraum leicht von 1,09 auf 1,08 Mio. Wohnungen reduziert. Die Anzahl an Wohnungen, die nicht an eine Holzzentralheizung angeschlossen waren aber dennoch Brennholz verbrauchten, ging im selben Zeitraum deutlich stärker von 5,54 auf 4,40 Mio. Wohnungen zurück. Zu beachten ist, dass bei Erstellung der Studie von Döring et al. (2020) die Ergebnisse des Mikrozensus für das Jahr 2018 noch nicht verfügbar waren. Insbesondere die Anzahl der mit Holzentralheizung beheizten Wohnungen erscheint in Anbetracht der nun vorliegenden Ergebnisse des Mikrozensus für 2018 damals überschätzt worden zu sein.

Tabelle 37: Anzahl der Brennholzverbraucher nach Gebäudeart und Art der Feuerungsstätte von 2018 bis 2020

Brennholzverbraucher in Mio. Wohnungen	Erhebung 2018 Insgesamt	Erhebung 2018 ohne HZH	Erhebung 2018 mit HZH	Erhebung 2020 Insgesamt	Erhebung 2020 ohne HZH	Erhebung 2020 mit HZH
Gesamt	6,63	5,54	1,09	5,48	4,40	1,08
- davon in EZFH	5,69	4,84	0,84	4,85	4,00	0,85
- davon in MFH	0,94	0,70	0,25	0,64	0,40	0,23

HZH = Holzzentralheizung; EZFH = Ein- und Zweifamilienhaus; MFH = Mehrfamilienhaus
Quelle: eigene Berechnungen, Döring et al. 2020

Es ist nicht auszuschließen, dass systematische Unterschiede in der Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen, zumindest teilweise, durch methodische Unterschiede beim Fragebogen-

und im Stichprobendesign beider Studien zustande kommen. So wurde für die vorliegende Erhebung eine reine Online-Befragung durchgeführt, bei der es beispielsweise nicht möglich war, zur vorherigen Frage zurück zu kehren. Die Befragten sahen ausschließlich die momentan aktuelle Frage, während bei Döring et al. (2020) der gesamte Fragebogen eingesehen werden konnte. Dies führte bei Döring et al. (2020) möglicherweise dazu, dass Befragte sich beim Blick auf die Brennholzsortimente im weiteren Verlauf des schriftlichen Fragenbogens eher als Brennholzverwender identifizierten[36] und dementsprechend mehr Brennholzverwender ermittelt wurden.

Zudem ist die Fragestellung bei der Frage nach der Brennholzverwendung in der vorliegenden Studie näher an den Fragestellungen des Mikrozensus angelehnt[37], der für das Jahr 2018 ca. 6 Mio. mit Holz beheizte Wohnungen ermittelte (Statistisches Bundesamt 2019). Dieser Wert liegt nahe an den 5,5 Mio. mit Brennholz beheizten Wohnungen im Jahr 2020 aus der vorliegenden Studie. Differenziert nach Art der Heizanlage (HZH und ERF) zeigt sich, dass die Abweichung zwischen den Daten des Mikrozensus und den vorliegenden Studienergebnissen bei den Holzzentralheizungen mit 0,07 Mio. Anlagen gering ist. Zu beachten ist allerdings, dass das Jahr 2018 mit dem Jahr 2020 verglichen wird. Die größere Abweichung bzgl. der Anlagenzahl liegt mit ca. 0,6 Mio. Anlagen bei den Einzelraumfeuerungen.

Auch die Regelungen der Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) könnte Auswirkungen auf die Anzahl der Brennholzverwender gehabt haben. Nach § 26 der 1. BImSchV ist u. a. geregelt, wann ein Kamin, Ofen oder Kaminofen außer Betrieb genommen werden muss bzw. welche Fristen dafür gelten. Für das Jahr 2020 könnte die Übergangsfrist „31. Dezember 2020“ für Öfen mit dem Datum auf dem Typenschild „1. Januar 1985 bis 31. Dezember 1994“ relevant sein. Nach ZIV (2021) waren im Jahr 2020 etwa 31 % der Bestandsanlagen von der Festsetzung des Zeitpunktes der Nachrüstung oder Außerbetriebnahme betroffen. Nicht bekannt ist, ob und wann ein Austausch oder eine Stilllegung betroffener Bestandsanlagen bereits im Studienjahr 2020 erfolgt sein könnte. Da die Frist bis zum Ende 2020 gilt, ist anzunehmen, dass die Regelungen der BImSchV jedoch erst nach Ablauf des Jahres 2020 zu einer Reduktion der Anlagenzahl geführt haben.

Die Betrachtung der Marktdaten des DEPV zur Anzahl der Pelletkessel unter 50 kW (siehe Tabelle 38) zeigt, dass es im Jahr 2020 einen Bestand von insgesamt 276.000 Kesseln gab (DEPV 2022a). Nach den Ergebnissen der hier vorgestellten Erhebung nutzten im Jahr 2020 ca. 450.000 Wohnungen einen Pelletkessel unter 50 kW Leistung. Es ist jedoch wichtig darauf hinzuweisen, dass die vorliegenden Daten nur bedingt vergleichbar sind. Es ist anzunehmen, dass auch mehrere Wohnungen in einem Gebäude mit einem Pelletkessel beheizt werden und damit Doppelzählungen enthalten sind. Um einen Überblick zu erhalten, wie viele Pelletkessel sich in den Wohnungen befinden, bietet es sich an die durchschnittliche Anzahl von Wohnungen in Wohngebäuden zu berechnen und die Wohnungen mit Pelletkesseln anschließend durch diesen Durchschnitt zu dividieren. Nach Daten des Statistischem Bundesamtes liegt die durchschnittliche Anzahl von Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern bei 1,2 und in Mehrfamilienhäusern bei ca. 6,7 Wohnungen pro Wohngebäude. Aus den 450.000 Wohnungen können somit ca. 267.000 Pelletkessel abgeleitet werden, die im Haushaltssektor betrieben werden. Diese Zahl unterliegt dabei verschiedenen Annahmen und dient dementsprechend nur

[36] Es ist möglich, dass in Doring et al. (2020) Kleinstverbraucher von Brennholz, z. B. Brennholzverwendung für Lagerfeuer im Garten, die Anzahl der Brennholzverwender erhöht hat. Diese Verwendung ist in der vorliegenden Studie wahrscheinlich nicht erfasst.

[37] Während bei Döring et al. (2020) direkt nach der Holzverwendung zu Heizzwecken gefragt wurde, wurde in dieser Studie nach dem Energieträger zur Wärmeerzeugung gefragt und dabei verschiedene Auswahlmöglichkeiten wie Gas, Heizöl oder eben Holz gestellt. Dieses Vorgehen entspricht eher dem Verfahren des Mikrozensus.

dem groben Vergleich mit den Marktdaten des DEPV, die sich zudem auf den Anlagenbestand insgesamt (einschl. Haushaltssektor) beziehen. Unter der Annahme, dass lediglich ein geringer Anteil der vom DEPV ausgewiesenen Pelletkessel unter 50 kW (d. h. 276.000 Pelletkessel) nicht dem Haushaltssektor zuzuordnen ist, erscheint die für den Haushaltssektor abgeleitete Anzahl von 267.000 Pelletkessel plausibel.

Tabelle 38: Pelletkessel und Pelletöfen nach Studienergebnissen und DEPV

Studienergebnisse zur Pelletnutzung	Wohnungen mit Pelletkessel (<50 kw)	Wohnungen mit Pelletöfen
Ein- und Zweifamilienhäuser	291.187	217.997
Mehrfamilienhäuser	158.571	45.623
Summe (eigene Erhebung)	**449.758**	**263.620**
DEPV Daten	**Pelletkessel (<50 kw)**	**Pelletöfen**
DEPV (2022a) (Anlagen gesamt)	**276.000**	**211.000**

Ein weiteres Ergebnis der vorliegenden Studie ist, dass die Zahl der Wohnungen mit einem Pelletofen (oder mehreren Pelletöfen) bei etwa 264.000 liegt. Die Anzahl der Pelletöfen übersteigt damit die Angaben des DEPV um etwa 53.000 Pelletöfen. Verglichen mit der Grundgesamtheit und der Größe der Stichprobe, aus der sich der Wert von 264.000 Pelletöfen ergibt, ist die Abweichung jedoch vergleichsweise klein.

Der Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks - Zentralinnungsverband (ZIV) weist für das Jahr 2020 eine Zahl von insgesamt 11,2 Millionen Einzelraumfeuerungsanlagen (ERF) für feste Brennstoffe in Deutschland aus (ZIV 2020). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass diese Angabe auch Anlagen außerhalb der privaten Haushalte (z. B. in Hotels und Gaststätten) umfasst. Der Umfang könnte bei etwa 5 % des Gesamtbestandes liegen (Rönsch 2019). Des Weiteren sind ERF enthalten, die ausschließlich Kohle einsetzen. Deren Anteil am Gesamtbestand könnte gleichfalls in etwa 5 % betragen (Zollner 2014). Zudem gibt es Wohnungen in denen mehrere Einzelraumfeuerungen installiert sind. Hier wurde für 2013 ein Wert von 1,2 Geräten je Wohnung ermittelt (Zollner 2014), der auch auf das Jahr 2020 unterstellt werden könnte. Unter Beachtung dieser – mit Unsicherheiten versehenen – Ansätze lassen sich insgesamt 8,5 Mio. Wohnungen ableiten, die über mindestens eine Einzelraumfeuerung verfügen. Es werden jedoch nicht alle Anlagen regelmäßig genutzt. Der ZIV hat im Jahr 2020 verschiedene Schornsteinfeger zur Anlagenbenutzung im Kontext der Kehr- und Überwachungsordnung (KÜO, Anlage 1 zu § 1 Absatz 4) befragt, um die Art der Nutzung von Holzfeuerungsanlagen zu analysieren. Nach Einschätzung des ZIV kann das Nutzerverhalten im deutschen Anlagenbestand durch die Befragungsergebnisse vergleichsweise gut abgebildet werden. Demnach wurden 1 % der Geräte „ganzjährig“ genutzt (4 Kehrungen im Kalenderjahr), 13 % „regelmäßig in der üblichen Heizperiode“ (3 Kehrungen im Kalenderjahr) und 44 % „mehr als gelegentlich, aber nicht regelmäßig“ (2 Kehrungen im Kalenderjahr). Zusammengefasst sind das 58 % des gesamten Feuerstättenbestandes. Bezogen auf die insgesamt 8,5 Mio. Wohnungen, die über mindestens eine Einzelraumfeuerung verfügen, ergeben sich zunächst rund 4,9 Mio. Wohnungen mit sicher genutzten Holzfeuerungsanlagen im Jahr 2020. Noch nicht berücksichtigt ist, dass etwa 42 % der Geräte (3,6 Mio. Wohnungen) in Verbindung mit einer „gelegentlichen Nutzung“ (eine Kehrung im Kalenderjahr) stehen, was auch keinerlei Nutzung mit beinhaltet. Der ZIV geht davon aus, dass die Geräte mit gelegentlicher Nutzung ggü. den nicht genutzten Geräten (d. h. Nullnutzung) deutlich überwiegen. Bei einer eher konservativen Schätzung, dass

der Anteil der genutzten und der nicht genutzten Geräte jeweils bei 50 % liegt, ergeben sich weitere 1,8 Mio. Wohnungen, die in Verbindung mit einer genutzten Einzelraumfeuerung und einem korrespondierenden Holzverbrauch stehen. Insgesamt würde somit in rund 6,7 Mio. Wohnungen aktiv mit Brennholzprodukten und einer Einzelraumfeuerungen geheizt. Die hier mit groben Überschlagsrechnungen ermittelte Anzahl der Feuerungsstätten in privaten Haushalten weicht um etwa 25 % von den Ergebnissen des Mikrozensus zur Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen ohne Zentralheizungen im Jahr 2018 ab (5,0 Mio.). Die Ergebnisse der hier vorgestellten Studie ergeben eine Gesamtzahl von 4,4 Mio. mit Einzelfeuerungsanlagen beheizten Wohnungen (Abweichung von -34 %). Bei diesen Betrachtungen ist zu beachten, die Herleitung der Anlagenzahl nach oben beschriebenem Vorgehen diversen Annahmen unterliegt und ein möglicher Fehler nicht quantifizierbar ist. Ferner ist der statistische Fehler der Studienergebnisse zu berücksichtigen.

5.2.2.2 Durchschnittlicher Brennholzverbrauch von Brennholzverbrauchern im Zeitverlauf

In Tabelle 39 und Tabelle 40 sind die Veränderungen des durchschnittlichen Brennholzverbrauchs zwischen den Ergebnissen der vorliegenden Studie und den Ergebnissen von Döring et al. 2020 zu sehen. Es ist zu erkennen, dass der durchschnittliche Verbrauch im Jahr 2020 in vielen Fällen höher war als im Jahr 2018. Dies liegt möglicherweise an dem etwas kälteren Winter (siehe auch Kapitel 2.3). Ferner war das Jahr 2020 geprägt von der Corona-Pandemie. Diese hatte neben anderen Einflussfaktoren möglicherweise ebenfalls einen verbrauchserhöhenden Einfluss auf die Privathaushalte (siehe auch Kapitel 5.2.2.4).

Tabelle 39: Brennholzverbrauch von 2018 bis 2020 pro Wohnung mit Brennholzverbrauch je Hochrechnungsgruppe (in Mio. m³)

Hochrechnungsgruppem	2018	2020
Wohnungen ohne Holzzentralheizung	3,4	4,2
- davon in Ein-, Zweifamilienhaus	3,4	4,3
- - davon bewohnt von Eigentümer	3,5	4,1
- - davon bewohnt von Mieter	2,2	5,3
- davon in Mehrfamilienhaus	3,5	3,1
- - davon bewohnt vom Eigentümer	3,7	3,1
- - davon bewohnt vom Mieter	3,1	3,1
Wohnungen mit Holzzentralheizung	8,5	9,0
Mittlerer Brennholzverbrauch pro Wohnung	4,3	5,1

Tabelle 40: Brennholzverbrauch von 2018 bis 2020 pro Wohnung mit Brennholzverbrauch je Sortiment (in m³)

Brennholzsortimente	2018	2020
Waldscheitholz	4,2	4,5
Scheitholz, Garten	1,5	1,6
Landschaftspflegeholz	1,1	1,0
Altholz	1,4	1,4

Brennholzsortimente	2018	2020
Schnittholzreste	2,2	1,5
Hackschnitzel	6,1	2,3
Holzpellets	4,3	5,5
Holzbriketts	0,6	1,0
Anzündholz	0,1	0,4
Gesamt	4,3	5,1

In welchem Fehlerbereich sich diese durchschnittlichen Verbräuche befinden, lässt sich in Tabelle 41 und Tabelle 42 erkennen. Zu beachten ist ferner, dass der Vergleich der Jahre 2018 und 2020 nicht unter konstanten Bedingungen erfolgt. So gibt es bspw. Unterschiede in den Einflussfaktoren auf den energetischen Holzverbrauch (siehe auch Kapitel 2 und Kapitel 5.1.1.1). Da der statistische Fehler der Ergebnisse der Studie zum Jahr 2018 unbekannt ist, ist es zusätzlich nicht vollständig auszuschließen, dass die hier beobachteten Änderungen von 2018 zu 2020 auf die Stichprobenfehler der Erhebungen zurückzuführen sind.

Tabelle 41: Durchschnittlicher Brennholzverbrauch von Wohnungen mit Brennholzverbrauchnach Hochrechnungsgruppen in m³

Brennholzverbrauch	Verbrauch pro Wohnung	unteres KI (95 %)	oberes KI (95 %)	Standard-fehler
Wohnungen ohne Holzzentralheizung	4,19	3,77	4,60	0,21
- davon in Ein-, Zweifamilienhaus	4,29	3,85	4,73	0,22
- - davon bewohnt von Eigentümer	4,14	3,69	4,60	0,23
- - davon bewohnt von Mieter	5,25	3,82	6,67	0,73
- davon in Mehrfamilienhaus	3,08	2,18	3,98	0,46
- - davon bewohnt vom Eigentümer	3,08	1,26	4,90	0,93
- - davon bewohnt vom Mieter	3,08	2,12	4,03	0,49
Wohnungen mit Holzzentralheizung	9,03	7,33	10,73	0,87
Mittlerer Brennholzverbrauch pro Wohnung	5,08	4,59	5,57	0,25

Tabelle 42: Durchschnittlicher Brennholzverbrauch von Wohnungen mit Brennholzverbrauch nach Brennholzsortimenten in m³

Brennholzverbrauch	Verbrauch pro Wohnung	unteres KI (95 %)	oberes KI (95 %)	Standard-fehler
Scheitholz	4,68	4,14	5,21	0,27
- Waldscheitholz	4,53	4,04	5,02	0,25
- - Waldscheitholz mit Rinde	4,14	3,65	4,62	0,25
- - Waldscheitholz ohne Rinde	2,35	1,83	2,86	0,26

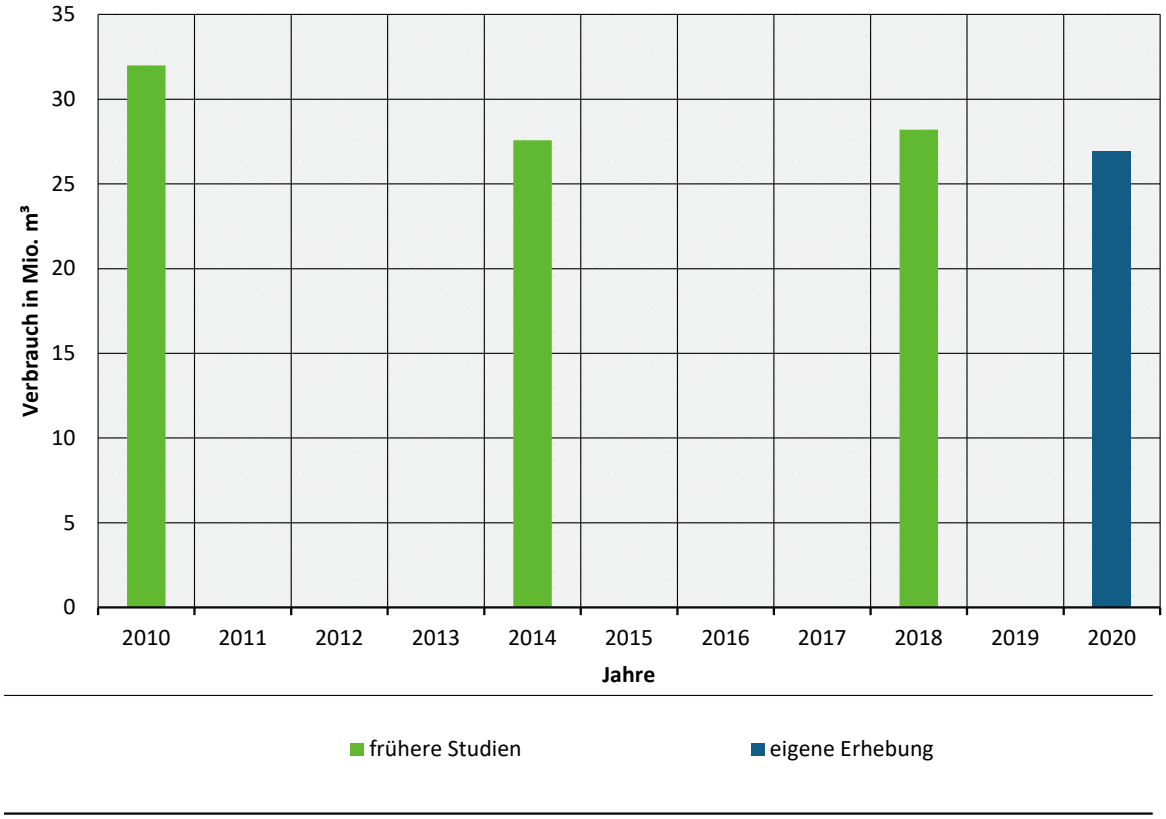
Brennholzverbrauch	Verbrauch pro Wohnung	unteres KI (95 %)	oberes KI (95 %)	Standard-fehler
- Scheitholz, Garten	1,58	1,07	2,08	0,26
- Landschaftspflegeholz	1,04	0,70	1,38	0,17
Altholz	1,37	1,09	1,65	0,14
Schnittholzreste	1,45	1,05	1,86	0,21
Hackschnitzel	2,25	0,79	3,71	0,75
Holzpellets	5,46	3,95	6,98	0,77
Holzbriketts	1,03	0,61	1,45	0,21
Anzündholz	0,38	0,14	0,61	0,12
sonst. Brennholzsortimente	2,32	1,19	3,45	0,58
Gesamt	**5,08**	**4,59**	**5,57**	**0,25**

5.2.2.3 Brennholzverbrauch im Zeitverlauf

Die Höhe des Brennholzverbrauchs ergibt sich prinzipiell aus der Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen und dem durchschnittlichen Brennholzverbrauch aller Wohnungen (siehe auch Kapitel 3.7). Somit kann sowohl die Änderung der Anzahl der mit Brennholz beheizten Wohnungen eine Änderung des absoluten Verbrauchs herbeiführen, als auch eine Änderung des durchschnittlichen Verbrauchs der mit Brennholz beheizten Wohnungen. Einflussfaktoren auf den Verbrauch unterliegen jährlichen Schwankungen. Die jeweiligen Einflussfaktoren sind in Kapitel 2 beschrieben.

Der empirisch erhobene Brennholzverbrauch ist in den vergangenen 10 Jahren tendenziell zurückgegangen. Im Jahr 2010 lag der Holzverbrauch vorwiegend aufgrund des kalten Winters bei insgesamt 31,99 Mio. m^3 (Mantau 2012) und ging bis zum Jahr 2018 auf 28,2 Mio. m^3 zurück (Döring et al. (2020)). Wie in Abbildung 13 und Tabelle 43 zu sehen, setzt sich diese abnehmende Entwicklung der empirisch erhobenen Werte zum energetischen Holzverbrauch in privaten Haushalten auch im Jahr 2020 fort. Im Jahr 2020 lag der Brennholzverbrauch bei 26,95 Mio. m^3. Der beobachtete leichte Rückgang des Brennholzkonsums zwischen den Jahren 2018 bis 2020 ist zum Teil vermutlich auch durch mildere klimatische Bedingungen (siehe auch Kapitel 2.3) und die in Kapitel 2.4 beschrieben Preisentwicklungen zu erklären. Eine weitere Einordnung der empirischen Ergebnisse in die Zeitreihe mit Hilfe der Haupteinflussfaktoren auf die Höhe des Brennholzeinsatzes in privaten Haushalten findet sich in Kapitel 5.1.

Abbildung 13: Energetischer Brennholzverbrauch in den Jahren 2010, 2014, 2018 und 2020 in Mio. m³



Quelle: eigene Berechnungen, Mantau (2012), Döring et al. (2016), Döring et al. (2020)

Wird der Brennholzverbrauch nach einzelnen Brennholzsortimenten betrachtet, ist zu erkennen, dass insbesondere der Waldscheitholzeinsatz in den letzten 10 Jahren (insbesondere auch witterungs- und preisbedingt, vgl. auch Kapitel 2.3 und 2.4) von 23,58 Mio. m³ im Jahr 2010 auf 16,27 Mio. m³ im Jahr 2020 zurückging. Bei den Sortimenten Scheitholz aus dem Garten, Schnittholzreste und Hackschnitzel[38] ging der beobachtete Verbrauch im Vergleich zum Jahr 2018 jeweils leicht zurück. Dahingegen ist vom Jahr 2018 zum Jahr 2020 eine leichte Steigerung des Verbrauches in den Sortimenten Altholz und Holzbriketts zu beobachten, beim Landschaftspflegeholz ist sie deutlich stärker.

Tabelle 43: Verbrauch von Brennholzsortimenten in den Jahren 2010, 2014, 2018 und 2020 (in Mio. m³)

Brennholzsortimente	2010	2014	2018	2020
Waldscheitholz	23,58	19,73	18,19	16,267
Scheitholz, Garten	2,08	2,09	2,33	2,17
Landschaftspflegeholz	0,75	0,39	0,39	0,63
Altholz	2,02	1,28	1,42	1,63
Schnittholzreste	0,84	0,76	1,00	0,82

[38] Die beschriebene Entwicklung gilt für das Sortiment Hackschnitzel nur bedingt. Der Wert für das Jahr 2018 ist möglicherweise ein Ausreißer.

Brennholzsortimente	2010	2014	2018	2020
Hackschnitzel	0,45	0,49	1,24	0,29
Holzpellets	1,63	2,29	2,90	3,79
Holzbriketts	0,60	0,52	0,57	0,69
Anzündholz		0,03	0,16	0,35
sonst. Brennholzsortiment	0,04			0,33
Gesamt	**31,99**	**27,58**	**28,20**	**26,95**

Quellen: eigene Darstellung, TI-WF, Mantau (2012), Döring et al. (2016), Döring et al. (2020)

Besonders auffällig ist die Zunahme des Verbrauchs von Holzpellets mit ca. 900.000 m^3 bzw. ca. 30 % im Zeitraum von 2018 bis 2020. Nach Daten des DEPV lag die energetische Pelletverwendung im Jahr 2018 bei insgesamt 2,20 Mio. t und 2020 bei insgesamt 2,24 Mio. Tonnen (DEPV 2022b). d.h. auf ähnlichem Niveau. Im Vergleich dazu lag die energetische Verwendung von Pellets der hier vorgestellten Studie bei 3,79 Mio. m^3 (±1,41 Mio. m^3) bzw. 2,02 Mio. Tonnen (±0,75 Mio. Tonnen) in privaten Haushalten im Jahr 2020. Damit liegt die Angabe des DEPV in der Fehlertoleranz des empirischen Wertes. Es gilt allerdings zu beachten, dass die Angaben des DEPV zum Pelletverbrauch die gesamte Inlandverwendung umfassen und nicht auf die Verwendung in Privathaushalten begrenzt sind.

5.2.2.4 Corona-Pandemie als möglicher Einflussfaktor auf den Holzverbrauch

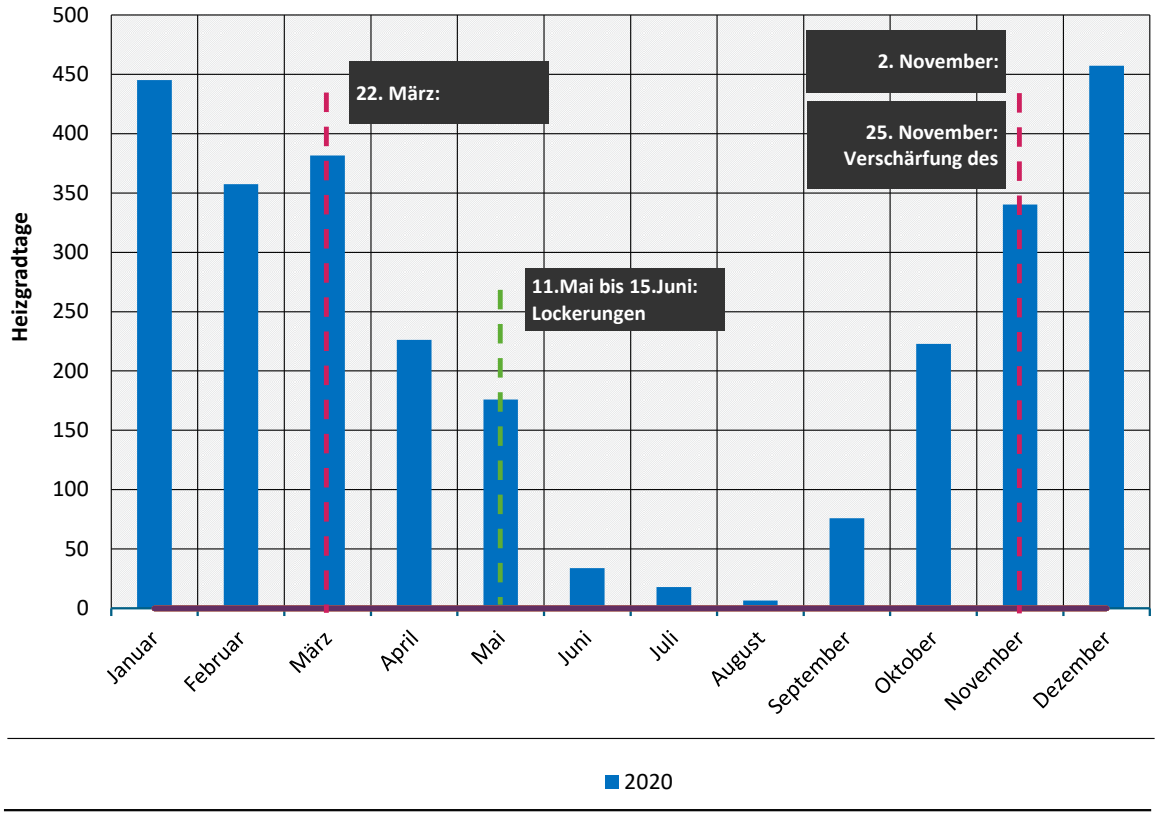
Inwieweit die Pandemie und alle beschlossenen Maßnahmen, wie z. B. die Homeoffice-Pflicht und Kontaktbeschränkungen, den Energieholzverbrauch im Jahr 2020 beeinflussten, lässt sich nur vermuten und wird in Ermangelung an empirischen Daten im Zeitverlauf ausschließlich theoretisch betrachtet.

Der erste Corona-bedingte bundesweite Lock-Down in Deutschland begann am 22. März 2020 (beschlossen am 16. März 2020). Diesem folgten viele weitere regional und zeitlich unterschiedliche Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie[39]. In Abbildung 14 ist zu sehen, dass soziale Einschränkungen nicht über die gesamte Heizperiode[40] hinweg bestanden. Im Jahr 2020 waren insbesondere die Monate April und Mai sowie November und Dezember von den Maßnahmen zur Eindämmung der Corona-Pandemie betroffen. Diese Monate stehen für rund die Hälfte der im Jahr 2020 angefallenen Heizgradtage (Eurostat 2021).

[39] Kurze Zusammenfassung des Maßnahmenverlaufs 2020: 22. März Lock-Down, 11.Mai bis 15.Juni Lockerungen, 2. November Lock-Down "light", 25. November Verschärfung des Lock-Down, 16. Dezember harter Lock-Down, 24. bis 26. Dezember leichte Lockerungen

[40] Eine Heizperiode beginnt Anfang Oktober eines Jahres und endet Ende April des folgenden Jahres.

Abbildung 14: Heizgradtage im Jahr 2020 pro Monat sowie Maßnahmen zur Eindämmung der Corona-Pandemie



Quelle: eigene Darstellung, TI-WF, nach Eurostat (2021)

Grundsätzlich ist anzunehmen, dass die Reduktion von sozialen Kontakten und der vermehrte Aufenthalt in Innenräumen während der Lockdown-Phasen zu einem erhöhten Heizbedarf in privaten Haushalten führte, wenn unter regulären Bedingungen bzw. in Vor-Pandemie-Zeiten von einem effizienten Nutzerverhalten ausgegangen wird (d. h. Reduktion der Heizlast beim Verlassen der Wohnung). Sofern diese Annahme Bestand hat, könnte auch der Brennholzbedarf, insbesondere für Holzzentralheizungen, pandemiebedingt höher ausgefallen sein. Da sich u. a. die Witterungsbedingungen der Jahre 2020 und 2019 unterscheiden und zum Jahr 2019 keine empirisch gesicherten Daten zum energetischen Holzverbrauch in privaten Haushalten vorliegen, ist eine detaillierte Analyse des Einflussfaktors „Corona-Pandemie“ mit den vorliegenden Daten nicht möglich.

Der Erdgasverbrauch der privaten Haushalte im Jahr 2020 hat im Vergleich zum Jahr 2019, bei geringerer Gradtagszahl im Jahr 2020, um 3,2 % abgenommen (AGEB 2021). Möglich ist, dass der Rückgang des durch Gas gedeckten Wärmebedarfs ohne die Corona-Pandemie höher ausgefallen wäre. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass Struktureffekte wie z. B. Neubau oder der Umbau von Bestandsanlagen auf Erdgas ebenfalls auf den Verbrauch wirken können.

Ein weiterer Effekt der Auswirkungen der Corona-Pandemie auf den energetischen Holzverbrauch könnte sein, dass mit einem vermehrten Aufenthalt in privaten Wohnungen vermutlich vor allem Energieträger zum Heizen der gesamten Wohnfläche bzw. Zentralheizungen genutzt wurden. Es ist denkbar, dass die zusätzliche Nutzung sekundärer Energieträger (z. B. Holz) dadurch vernachlässigt wurde, da durch das durchgängige Heizen mit der Zentralheizung die Wohnung auf einem konstanten Wärmeniveau gehalten wurde. Die Notwendigkeit zum kurzfristigen Aufwärmen der Wohnung, um bspw. die Anlaufphase der

Zentralheizung zu überbrücken, würde entfallen. Dies könnte bedeuten, dass vor allem Einzelraumfeuerungen während der Pandemie weniger in Betrieb waren. Für Holzfeuerungen bzw. Einzelraumfeuerungen, die eher zur Schaffung eines angenehmen Wohnambientes genutzt werden, führt der vermehrte Aufenthalt in privaten Wohnungen zu einem gegenteiligen Effekt. In diesem Fall würden die Holzfeuerungen häufiger verwendet werden, da die privaten Räumlichkeiten durch die Einschränkungen des öffentlichen Lebens häufiger genutzt wurden.

Einen indirekten Effekt dürften die Entwicklungen der Preise für konventionelle Energieträger (insb. Rohölpreise) haben. Der Rohölpreis sank durch den Beginn der weltweiten Maßnahmen gegen die Pandemie sehr stark, da die Nachfrage nach Rohöl bedeutend zurück ging. Dies wiederum ließ auch den Preis für leichtes Heizöl ab April 2020 erheblich sinken (Statistisches Bundesamt 2022c) und hatte zur Folge, dass konventionelle Energieträger im Vergleich zu Brennholz im Jahr 2020 aus finanzieller Sicht an Attraktivität gewannen (siehe auch Kapitel 2.4). Bei Betrachtung des spezifischen Holzverbrauchs pro Wohnung (vgl. Kapitel 4.2 und Kapitel 5.2.2.2) fällt auf, dass dieser im Vergleich zum Jahr 2018 im Durchschnitt zugenommen hat. Neben den anderen bereits diskutierten Einflussfaktoren, wie z. B. der Witterung, kann die Corona-Pandemie und der damit verbundene, vermehrte Aufenthalt der Bevölkerung in Wohnungen ebenfalls einen möglichen Erklärungsansatz für diese Entwicklung liefern. Die tatsächliche Wirkung der Corona-Pandemie lässt sich in Ermangelung an Daten allerdings nicht abschließend quantifizieren.

6 Ausblick

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) hat dem Thünen Institut für Waldwirtschaft (TI-WF) die Durchführung des Rohstoffmonitorings in der Holzwirtschaft (Rohstoffmonitoring Holz) als Daueraufgabe übertragen. Ziel des Rohstoffmonitorings Holz ist, die Produktionskapazitäten der Holzindustrie (insb. Sägeindustrie, Holzwerkstoffindustrie sowie Holz- und Zellstoffindustrie) und deren Rohstoffbedarf regelmäßig zu erfassen. Darüber hinaus werden alle übrigen Bereiche der Verwendung von Holzrohstoffen (insb. auch der energetische Sektor) empirisch erfasst.

Die aktuelle Planung des TI-WF sieht vor, dass die Studien zur Energieholzverwendung in privaten Haushalten zukünftig im zweijährigen Rhythmus durchgeführt werden. Das würde die allgemeine Bedeutung modellierter Werte in der Zeitreihe reduzieren (siehe Kapitel 5.1), da sich der zu schätzende Zeitraum zwischen den empirischen Erhebungsjahren verringert. Zudem ist durch die Übernahme des Rohstoffmonitorings Holz als Daueraufgabe am Thünen-Institut für Waldwirtschaft davon auszugehen, dass empirische Daten zur Brennholzverwendung im Haushaltssektor zukünftig auch für längere Zeiträume vorliegen werden. Dadurch würde eine verbesserte Modellierung des Brennholzeinsatzes in privaten Haushalten (insb. durch neue unabhängige Variablen, getrennt nach Heizungstypen) für die Jahre möglich werden, in denen keine empirischen Daten vorliegen. Aktuell ist der Einbezug neuer unabhängiger Variablen aufgrund der begrenzten Datenbasis nicht möglich (siehe auch Kapitel 5.1).

Unabhängig von einer zukünftig verbesserten Datenverfügbarkeit kann das statistische Modell auch zeitnahe verbessert werden. Bei der aktuellen Modellierung der Zeitreihe kommen zwei unabhängige Variablen zum Einsatz: ein gewichteter Preisindizes konventioneller Brennstoffe und gewichtete Gradtagszahlen. Bei zukünftigen Modellen kann die zuletzt genannte Variable voraussichtlich nach aktuellen regionalen Schwerpunkten der Holzverwendung gewichtet werden. Die derzeitige Gewichtung basiert auf Daten aus dem Jahr 2007. Es ist nicht auszuschließen, dass sich die regionalen Schwerpunkte der Holzverwendung zur Wärmeerzeugung in privaten Haushalten verschoben haben.

Ein wesentlicher Anspruch an diese Studie war die Anschlussfähigkeit an die bisherigen u. a. in Kapitel 1.1 genannten Studien zu gewährleisten. Daher wurden Methodik und Gestaltung des Fragebogens weitestgehend an die genannten Vorstudien angepasst. Auch zukünftige Studien sollten zwecks Erstellung von Zeitreihen die Anschlussfähigkeit gewährleisten. Allerdings können insbesondere neue Fragestellungen und weitere Fragen zur Plausibilisierung von Antworten aufgenommen werden. So könnten zukünftig (im Zuge der Digitalisierung) beispielsweise auch Fotos von Sortimenten, Feuerungsanlagen oder Heizkostenabrechungen automatisiert erfasst werden. Weitere Frage zur Plausibilisierung der Zeitreihendaten könnten auch Vergleichsfragen[41] sein.

Die Stichprobengröße hat einen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit der Ergebnisse. In der vorliegenden Studie sowie auch in den genannten Vorstudien wurde eine Stichprobengröße von ca. 10.000 Haushalten angestrebt. Bei der Analyse der daraus resultierenden Ergebnisse zeigt sich, dass die aktuelle Stichprobe für detaillierte Ergebnisausweisungen teilweise zu relativ hohen statistischen Fehlern führt (siehe Kapitel 4). Dies gilt insbesondere für Ergebnisausweisungen im Bereich der Holzzentralheizungen, da nur wenige Nutzer dieser Feuerungsanlage befragt werden konnten. Zukünftig sollte daher - je nach Verfügbarkeit finanzieller Mittel - geprüft werden, ob der Stichprobenumfang vergrößert werden könnte.

[41] Beispielfrage: Haben Sie im zurückliegenden Jahr mehr Brennholz verbraucht als im Vorjahr oder im Vorvorjahr?

Sofern zukünftig bekannt wäre, welche Haushalte Wärme mit Holz erzeugen, wäre es außerdem möglich, ausschließlich diese Haushalte im Rahmen eine Stichprobe zu ihrem Brennholzverbrauch zu befragen. Die Hochrechnung der Ergebnisse auf die Grundgesamtheit würde sich folglich im Vergleich zu den Vorstudien ändern. Der Vorteil bestünde allerdings darin, die Kosten einer solchen Befragung deutlich zu reduzieren und wesentlich zielgerichteter befragen zu können.

Die Betrachtung der Ergebnisse zeigt ferner, dass Mieter und Eigentümer in Mehrfamilienhäusern – wie zu erwarten war – ein sehr ähnliches Heizverhalten zeigen. Der durchschnittliche Brennholzverbrauch ist nahezu identisch. Daher sollte bei zukünftigen Befragungen geprüft werden, ob eine Zusammenlegung dieser Hochrechnungsgruppen sinnvoll ist.

Eine weitere Schwierigkeit ist der Umstand, dass Brennholzverwender nur dann als Brennholzverwender gezählt werden, wenn sie im Befragungsjahr Brennholz zur Wärmeerzeugung eingesetzt haben. Dies ist insbesondere bei Kleinstverwendern nicht immer der Fall. So kann die Anzahl der Brennholzverwender unabhängig von Zugang und Abgang der Feuerungsanlagen jährlich schwanken. Hier ist zukünftig und weiterhin eine klare definitorische Abgrenzung zu treffen. Befragte, die bspw. ausschließlich Lagerfeuer im Garten machen, zählen nicht zu Brennholzverwendern, die Wärme für Wohnzwecke erzeugen. Dennoch sind auch diese Holzmengen für die Analyse des Holzmarktes von Bedeutung. Entsprechende Holzmengen könnten zukünftig über gesonderte Befragungen erfasst werden.

7 Quellenverzeichnis

AGEB (2021): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2020. https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2021/11/ageb_jahresbericht2020_20210406b_dt.pdf (28.07.2022)

BDEW (2022): Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland. https://www.bdew.de/media/documents/Beheizungsstruktur_Wohnungsbestand_Entw_ab_1995_online_o_jaehrlich_CMi_2801202_udEP16f.pdf (23.03.2022)

CRAN (2021) Package 'boot'. https://cran.r-project.org/web/packages/boot/boot.pdf (14.09.2022)

DEPV (2022a): Pelletfeuerungen. https://depv.de/pelletfeuerungen (28.07.2022)

DEPV (2022b): Pelletproduktion. https://depv.de/pelletproduktion (28.07.2022)

Deutscher Wetterdienst (2022a): Climate Data Center. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html (28.07.2022)

Deutscher Wetterdienst (2022b): Klimafaktoren (KF) für Energieverbrauchsausweise. https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html (28.07.2022)

Deville, J.-C.; Särndal, C.-E. (1992): Calibration Estimators in Survey Sampling. In: Journal of the American Statistical Association, 87, 418, Taylor & Francis, S. 376 – 382.

Deville, J.-C.; Särndal, C.-E.; Sautory, O. (1993): Generalized Raking Procedures in Survey Sampling. In: Journal of the American Statistical Association, 88, 423, Taylor & Francis, S. 1013 – 1020

Döring, P.; Glasenapp, S.; Mantau, U. (2016): Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2014. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Hamburg

Döring, P.; Glasenapp, S.; Mantau, U. (2020): Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2018. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Hamburg

Döring, P.; Weimar, H.; Mantau, U. (2021a): Die energetische Nutzung von Holz in Biomassefeuerungsanlagen unter 1 MW in Nichthaushalten im Jahr 2019. Hamburg

Döring, P.; Weimar, H.; Mantau, U. (2021b): Einsatz von Holz in Biomasse-Großfeuerungsanlagen 2019. Hamburg

Eurostat (2021): Cooling and heating degree days by country. https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=nrg_chdd_a (28.07.2022)

Frondel, M.; Andor, M.; Ritter, N.; Sommer, S.; Vance, C.; Matuschek, P.; Müller, U. (2015): Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2011-2013. Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) und forsa - Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH, Essen und Berlin

Frondel, M.; Andor, M.; Ritter, N.; Tauchmann, H.; Vance, C.; Matuschek, P.; Müller, U. (2013): Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2009-2010. Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) und forsa - Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH, Essen und Berlin

Frondel, M.; Grösche, P.; Ritter, N.; Tauchmann, H.; Vance, C.; Matuschek, P.; Müller, U. (2011): Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2008. Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) und forsa - Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH, Essen und Berlin

Frondel, M.; Grösche, P.; Tauchmann, H.; Vance, C.; Christiansen, G.; Müller, U. (2007): Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für das Jahr 2005. Rheinisch-Westfälisches Institut für

Wirtschaftsforschung (RWI) und forsa - Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH, Essen und Berlin

Glasenapp, S.; Aguilar, F. X.; Weimar, H.; Mantau, U. (2019): Assessment of residential wood energy consumption using German household-level data. In: Biomass and Bioenergy, 126, Elsevier, S. 117 – 129

Glasenapp, S.; Weimar, H. (2020): GHD-Festbiomasse im Wärmesektor. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-02-05_texte_27-2020_ghd-festbiomasse-waermesektor.pdf (28.07.2022)

Hick, A.; Mantau, U. (2008): Energieholzverwendung in privaten Haushalten. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Abschlussbericht. Hamburg

Jochem, D.; Weimar, H.; Bösch, M.; Mantau, U.; Dieter, M. (2015): Estimation of wood removals and fellings in Germany: a calculation approach based on the amount of used roundwood. In: Eur J Forest Res, 134, 5, Springer, S. 869 – 888

Köhrer, M.; Hennig, P.; Yanev, D. (2018): Die Zusatzheizung – Nutzung ergänzender Heizsysteme im Gebäudebereich. https://www.co2online.de/fileadmin/co2/research/zusatzheizung-studie.pdf (28.07.2022)

LWF (2022): Lagerung und Trocknung. https://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/holzverwendung/057596/index.php (28.07.2022)

Mantau, U. (2012): Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2010. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Abschlussbericht. Hamburg

Mantau, U. (2018): Holzrohstoffbilanz Deutschland. Entwicklung des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2016. Hamburg

Mantau, U.; Sörgel, C. (2006): Energieholzverwendung in privaten Haushalten. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Abschlussbericht. Hamburg

Rheinbraun [Hrsg] (1994): Rheinbraun Brennstoff GmbH. Befragung von Forstämtern über Brennholz an Privatleute in 1993/94. Köln

Rönsch, C. (2019): Entwicklung einer Methode zur Verwendung der Daten des Schornsteinfegerhandwerks für die energiewirtschaftliche Berichterstattung. Dissertationsschrift. DBFZ-Report 34. Leipzig

Sachs, L.; Heddericht J. (2006): Angewandte Statistik, Methodensammlung in R. 12. Auflage. Springer Verlag.

Statistisches Bundesamt (2012): Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte. https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00012668 (28.07.2022)

Statistisches Bundesamt (2016): Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte. https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00065952 (28.07.2022)

Statistisches Bundesamt (2019): Wohnen in Deutschland - Zusatzprogramm des Mikrozensus 2018 (zuletzt aktualisiert am 25.03.2022). https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/wohnen-in-deutschland-5122125189005.html (28.07.2022)

Statistisches Bundesamt (2022a): Bautätigkeitsstatistik. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/_inhalt.html (25.03.2022)

Statistisches Bundesamt (2022c): Daten zur Energiepreisentwicklung. Lange Reihen bis Januar 2022. https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Publikationen/Energiepreise/energiepreisentwicklung-pdf-5619001.html (25.03.2022)

Statistisches Bundesamt (2022d): Fachserie 17 Reihe 7. Verbraucherpreisindizes für Deutschland. Abruf über Genesis-Online. https://www-genesis.destatis.de/genesis/online (28.07.2022)

TI-WF (2022): Holzeinschlag und Rohholzverwendung. https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldwirtschaft/zahlen-fakten/holzeinschlag-und-rohholzverwendung (28.07.2022)

UBA (2022): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland (Stand: Februar 2022). https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html (28.07.2022)

UNECE [Hrsg.] (2010): Forest Product Conversion Factors For The UNECE Region. Timber And Forest Discussion Paper 49. Genf

ZIV [Hrsg.] (2020): Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerkes 2020. https://www.schornsteinfeger.de/sonderdruck-2020.pdfx (25.03.2022)

Zollner, H. (2014): Aktuelle Zahlen zum Heizgerätebestand. Sitzung des Fachverbands Heiz- und Kochgeräte am 16.Juni 2014 in Königswinter. Unveröffentlichte Präsentation.

8 Danksagung

Im Rahmen des Forschungsauftrags wurde die Firma INFRO e.K. unter der Leitung von Prof. Udo Mantau mit der Beratung des Thünen-Instituts (WF) beauftragt. Wir danken Prof. Mantau für die hilfreiche Unterstützung bei der Erstellung dieser Studie. Zudem wollen wir uns bei der Kantar GmbH für die gute Zusammenarbeit und den überaus hilfreichen fachlichen Austausch bedanken.

A Anhang (Fragebogen)

W1 Bewohnen Sie neben Ihrer hauptsächlich genutzten Wohnung noch mindestens eine weitere Wohnung in Deutschland (auch Zimmer)?

1❍Ja, ich habe noch mindestens eine weitere Wohnung in Deutschland

2❍Nein, ich habe keine weitere Wohnung in Deutschland

3❍Keine Angabe

[Prog.: Wenn Frage W1=1 folgenden Hinweistext auf nächster Seite einblenden: „Bitte beziehen Sie sich in den folgenden Fragen ausschließlich auf Ihre hauptsächlich genutzte Wohnung.“]

W2 In welcher Gebäudeart befindet sich die Wohnung?

1❍In einem Ein- oder Zweifamilienhaus (auch Doppel- oder Reihenhaus)
2❍In einem Mehrfamilienhaus (mit 3 oder mehr Wohnungen)
❍Keine Angabe

W3 Sind Sie Eigentümer/in oder Mieter/in der Wohnung?

1❍Eigentümer/in
2❍Mieter/in
3❍Keine Angabe

W4 Welche Art von Gebäude bewohnen Sie?

1❍Reines Wohngebäude (kein Wohnheim)
2❍Gebäude mit Wohnraum und Gewerbeflächen (kein Wohnheim)
3❍Wohnheim
4❍Bewohnte Unterkunft (z. B. Wohnwagen, Gartenlaube, Wohncontainer, Bauwagen)
5❍Weiß nicht/ keine Angabe

W5 Wann wurde das Gebäude errichtet?

Baujahr: _____ (ggf. schätzen) *[Prog.: range 1000-2021]*
1❍ Keine Angabe

W6 Wurde das Gebäude energetisch saniert?

Falls mehr als einmal saniert wurde, geben Sie bitte die letzte energetische Sanierung an.

1❍Ja, teilsaniert
2❍Ja, vollsaniert
3❍Nein
4❍Weiß nicht/ keine Angabe

W7 Wann war die letzte energetische Sanierung des Gebäudes?

Sanierungsjahr: _____ (ggf. schätzen)
1❍ Keine Angabe

[Prog.: Frage W7 nur wenn Frage W6 „1“ oder „2“]

[Prog.: Hinweis bei Sanierungsjahr < Baujahr]

W8 Wie viele Quadratmeter hat Ihre Wohnung?

Quadratmeter: _____ (ggf. schätzen) *[Prog.: Hinweis bei < 11qm > 250 qm; max. 9999 qm]*
1❍ Keine Angabe

W9 Wie viele Wohnräume hat die Wohnung?

Ohne Küche, Bad, Toilette, Flur, Abstellräume, anrechenbar Balkone sowie gewerblich genutzte Räume

Anzahl der Räume: _____ *[Prog.: range 1-99]*
1❍ Keine Angabe

E1 Wie werden die Wohnräume beheizt?
Geben Sie bitte alles Zutreffende an.
1❒Fernheizung
2❒Zentralheizung (Blockheizung)
3❒Etagenheizung (z. B. Gastherme)
4❒Einzelraum-oder Mehrraumöfen, Elektrospeicher bzw. Nachtspeicheröfen

E2 Bitte nennen Sie jetzt die Energiequelle, die Sie hauptsächlich beziehungsweise überwiegend zum Heizen Ihrer Wohnräume nutzen.
1❍Nah- und Fernwärme
2❍Gas (ohne Biogas)
3❍Elektrizität, Strom (ohne Wärmepumpe)
4❍Heizöl
5❍Briketts, Braunkohle
6❍Koks, Steinkohle
7❍Holz, Holzpellets
8❍Biomasse (außer Holz), Biogas
9❍Sonnenenergie (Solarkollektoren)
10❍Erd- oder andere Umweltwärme, Abluftwärme (Wärmepumpe, -tauscher)
11❍Sonstige Energiequelle, und zwar: _____

E3 Welche anderen Energiequellen nutzen Sie zusätzlich für die von Ihnen bewohnte Wohnung?
Geben Sie bitte alles Zutreffende an.
1❒Nah- und Fernwärme
2❒Gas (ohne Biogas)
3❒Elektrizität, Strom (ohne Wärmepumpe)
4❒Heizöl
5❒Briketts, Braunkohle
6❒Koks, Steinkohle
7❒Holz, Holzpellets
8❒Biomasse (außer Holz), Biogas
9❒Sonnenenergie (Solarkollektoren)
10❒Erd- oder andere Umweltwärme, Abluftwärme (Wärmepumpe, -tauscher)
11❒Sonstige Energiequelle, und zwar: _____
12❍Ich nutze keine weiteren Energiequellen

[Prog.: Falls bei Frage E2 oder bei Frage E3 „Holz, Holzpellets“ ausgewählt wurde, weiter mit Vortext zur Frage H1 – sonst, zu Frage D1.]

H1v Im Folgenden geht es um Holz betriebene Heizanlagen. Man unterscheidet dabei zwischen Einzelraumfeuerungsanlagen (z. B. offener Kamin, Kachelofen, Küchenherd) und Zentralfeuerung / Zentralheizung (z. B. Scheitholzkessel, Pelletkessel).

H1 Zunächst zu Holz betriebenen Einzelraumfeuerungsanlagen:
Welche mit Holz betriebene Einzelraumfeuerungsanlage(n) haben die von Ihnen bewohnten Wohnräume?
Geben Sie bitte alles Zutreffende an.

1❒Offener Kamin
2❒Kaminanlage / Heizkamin
3❒Kaminofen (einschließlich Kohleöfen und Dauerbrandöfen)
4❒Kachelofen
5❒Speicherfeuerstätte / handwerklicher Grundofen
6❒Pelletofen
7❒Kohle- / Holzherd
8❒Sonstige Einzelraumfeuerungsanlagen (Badeöfen, Saunaöfen, Waschkessel)
9❍Nichts davon/ Ich habe keine Einzelraumfeuerungsanlage *[Prog.: weiter mit Frage H4]*
10❍Weiß nicht/ keine Angabe

H2 Wie viele dieser Einzelraumfeuerungsanlagen gibt es in der Wohnung?
Anzahl: _____ *[Prog.: range 1-99]*
1❍Keine Angabe

H3 An wie vielen Tagen im Kalenderjahr 2020 wurden die Einzelraumfeuerung/en genutzt?
Anzahl Tage: _____ (ggf. schätzen)
1❍Keine Angabe

[Prog.: range 0-366 (2020 war Schaltjahr)]

H4 Jetzt zu den mit Holz betriebenen Zentralfeuerungen / Zentralheizungen:
Welche mit Holz betriebene Zentralfeuerung / Zentralheizung haben Sie zum Beheizen der von Ihnen bewohnten Wohnräume?
Geben Sie bitte alles Zutreffende an.
1❒Scheitholzkessel
2❒Holzhackschnitzelkessel
3❒Pelletkessel
4❒Scheitholz / Holzpellets-Kombikessel
5❒Scheitholz / Heizöl-Kombikessel
6❒Sonstige Zentralfeuerung / Zentralheizung
7❍Nichts davon/ Ich habe keine Holzzentralheizung *[Prog.: weiter mit Frage H6]*
8❍Weiß nicht/ keine Angabe

H5 Welche Nennleistung hat die Zentralfeuerung / Zentralheizung in kW?
Falls Sie es nicht wissen, finden Sie die Nennleistung in der Betriebsanleitung oder dem Prospekt.
Nennleistung in kW: _____ (ggf. schätzen) *[Prog.: max. 999999]*
1❍Keine Angabe

H6 Welche Holzarten haben Sie im Jahr 2020 in den von Ihnen bewohnten Wohnräumen zu Heizzwecken (ggf. inkl. Warmwasserbereitung) verbraucht?
Hier bitte nur die Sortimente angeben, die Sie im Kalenderjahr 2020 tatsächlich verbraucht haben, nicht das zur Lagerung oder als Vorrat gekaufte Holz.
Geben Sie bitte alles Zutreffende an.
1❒Scheitholz / Äste / Rundholz aus dem Wald mit Rinde
2❒Scheitholz / Äste / Rundholz aus dem Wald ohne Rinde
3❒Scheitholz / Äste / Rundholz aus eigenem Garten
4❒Scheitholz / Äste / Rundholz aus der Landschaftspflege
5❒Altholz (Gebrauchtholz, Abbruchholz, Schnittholzreste aus eigener Verarbeitung)
6❒Schnittholzreste (aus Sägewerk, Holzgewerbe oder vom Händler)
7❒Hackschnitzel aus dem Wald
8❒Hackschnitzel aus dem Garten oder Landschaftspflege
9❒Hackschnitzel aus der Holzbearbeitung (z. B. Sägewerke)

10❒Hackschnitzel, Herkunft unbekannt
11❒Holzpellets
12❒Holzbriketts
13❒Zusätzlich, Anzündholz
14❒Sonstige Brennholzsortimente (nicht gemeint sind Laub oder Ähnliches)
15❍Weiß nicht/ keine Angabe

H7v Jetzt geht es um die verbrauchten Mengen der jeweiligen Brennholzsortimente. Die Mengeneinheiten können sehr unterschiedlich sein. Hier ein paar Beispiele für übliche Mengeneinheiten.

Es kann aber auch sein, dass Sie es besser in anderen Mengeneinheiten angeben können z. B. Säcke, andere handelsübliche Packungen, Kilogramm, Tonnen oder Liter.

H7

Hier bitte nur den Verbrauch angeben, nicht das zur Lagerung oder als Vorrat gekaufte Holz.

Scheitholz/Äste/ Rundholz aus dem Wald mit Rinde

Bei kleineren Mengen auch mit Kommastelle (z. B. 0,2 Raummeter) eintragen. Falls Sie es nicht genau wissen, schätzen Sie bitte.

Verbrauchte Menge im Jahr 2020 _____
1❍Raummeter/Ster *[Prog.: Dropdown-Liste]*
2❍Schüttraummeter bzw. Schüttmeter
3❍Festmeter
4❍Handelsübliche Säcke/Packungen
5❍Kilogramm
6❍Tonnen
7❍Liter
8❍Keine Angabe

[Prog.: Anzahl der Stellen auf max. 7 Stellen begrenzen]

[Prog.: Frage H7 als Schleife für alle in Frage H6 angegebenen Holzarten. Dabei dann aber nur die im Dokument „Einheiten für Sortimente_V2.docx“ angegebenen Einheiten für die jeweilige Holzart anzeigen.]

[Prog.: in Frage H7 die Bilder aus H7v weiter anzeigen.]

[Prog.: wenn folgende Höchstwerte überschritten werden, bitte diesen Text anzeigen: „Im Vergleich zum Durchschnittsverbrauch erscheint Ihr Verbrauch relativ hoch". – Raummeter: 85; Schüttraummeter: 113; Festmeter: 50; Säcke: 3575; Kilogramm: 28597; Tonnen: 28,6; Liter: 112670]

[Prog.: H7v / H7 nur einblenden, wenn Frage H6 <> Weiß nicht/ keine Angabe]

H8 Sie haben angegeben, dass Sie im Jahr 2020 Scheitholz, Äste oder Rundholz aus dem Wald zum Heizen verbraucht haben:
Wie verteilt sich dieser Waldholzverbrauch etwa nach Holzdimensionen? (insgesamt 100 %)?

Wenn Sie es nicht genau wissen, schätzen Sie bitte. Falls nicht zutreffend, bitte „0“ eintragen.
Äste, Knüppelholz, Reisig, Nadeln (aus Holz unter 7cm Durchmesser) _____ % *[Prog.: range 0-100]*
Sogenanntes Derbholz (aus Holz ab 7 cm Durchmesser) _____ % *[Prog.: range 0-100]*
Summe: xxx % *[Prog.:Summe aktuell]*
1❍Keine Angabe

H9 Und wie verteilt sich das verbrauchte Waldholz etwa auf die Holzsorten? (insgesamt 100 %)?

Wenn Sie es nicht genau wissen, schätzen Sie bitte. Falls nicht zutreffend, bitte „0“ eintragen.

Nadelholz _____ % *[Prog.: range 0-100]*
Laubholz _____ % *[Prog.: range 0-100]*
Summe: xxx % *[Prog.:Summe aktuell]*
1❍Keine Angabe

[Prog.: Frage H8 und H9 nur wenn Frage H6 „1“ oder „2“]

H10 Beheizen Sie zusätzlich zu Ihrer Wohnung auch andere Gebäude/ Gebäudeteile (bspw. Ställe, Werkstätten usw.)?

1❍Ja
2❍Nein
3❍Weiß nicht/ keine Angabe

H11 Ist der Verbrauch zur Beheizung dieser zusätzlichen Gebäude / Gebäudeteile bei den zuvor gemachten Verbrauchsangaben beinhaltet?

1❍Ja
2❍Nein
3❍Weiß nicht/ keine Angabe

[Prog.: Frage H11 nur wenn Frage H10 =1]

H12 Sind Sie Waldbesitzer?

1❍Ja
2❍Nein
3❍Weiß nicht/ keine Angabe

H13 Woher hatten Sie das im Kalenderjahr 2020 verbrauchte Holz (alle Sortimente)?

Geben Sie bitte alles Zutreffende an.

1❒Aus eigenem Wald
2❒von Bekannten
3❒Selbstwerber (Brennholz selber im Wald machen)
4❒Forstamt / Forstbetrieb
5❒Privatwaldbesitzer und/oder Landwirt
6❒Brennstoffhandel (Kohle, Öl, Gas, Holz u. a.)
7❒Baumarkt, Tankstelle, Sonstiger Einzelhandel
8❒Sonstige Bezugsquelle, kommerziell
9❒Sonstige Bezugsquelle, nicht kommerziell
10❍Weiß nicht/ keine Angabe

[Prog.: Item 1 nur wenn Frage H12 =1]

H14 Wie verteilt sich das 2020 verbrauchte Holz (alle Sortimente) auf die genannten Bezugsquellen? (insgesamt 100 %)?

Wenn Sie es nicht genau wissen, schätzen Sie bitte.

Aus eigenem Wald _____ % *[Prog.: range 1-100]*
von Bekannten _____ % *[Prog.: range 1-100]*
Selbstwerber (Brennholz selber im Wald machen) _____ % *[Prog.: range 1-100]*
Forstamt / Forstbetrieb _____ % *[Prog.: range 1-100]*
Privatwaldbesitzer und/oder Landwirt _____ % *[Prog.: range 1-100]*
Brennstoffhandel (Kohle, Öl, Gas, Holz u. a.) _____ % *[Prog.: range 1-100]*
Baumarkt, Tankstelle, Sonstiger Einzelhandel _____ % *[Prog.: range 1-100]*
Sonstige Bezugsquelle, kommerziell _____ % *[Prog.: range 1-100]*

Sonstige Bezugsquelle, nicht kommerziell _____ % *[Prog.: range 1-100]*
Summe: xxx % *[Prog.:Summe aktuell]*
1❍Keine Angabe
[Prog.: Bei Frage H14 nur die Items einblenden, die bei Frage H13 genannt wurden / Frage H14 nur stellen, wenn in H13 mind. 2 Angaben gemacht wurden bzw. <> Weiß nicht/ keine Angabe]

D0 Bitte geben Sie die Postleitzahl Ihrer Wohnung an:
Postleitzahl: _____
1❍ Keine Angabe

D1 Gibt es in Ihrer Wohnung neben Ihrem Haushalt weitere Haushalte, z. B. Untermieter/innen?
Weitere Haushalte in Ihrer Wohnung bestehen aus Personen, die nicht gemeinsam mit Ihnen leben und wirtschaften
1❍Ja, Anzahl der weiteren Haushalte: ____ *[Prog.: range 1-99]*
2❍Nein, keine weiteren Haushalte
3❍Weiß nicht/ keine Angabe

D2 Sind Sie Haupteinkommensbezieher Ihres Haushalts am Nebenwohnsitz?
Haupteinkommensbezieher ist die Person in Ihrem Haushalt, die das höchste Nettoeinkommen bezieht.
1❍Ja
2❍Nein
3❍Weiß nicht/ keine Angabe

D3 Bitte geben Sie Ihren höchsten Schulabschluss an.
1❍Haupt-(Volks)schulabschluss, ohne Schulabschluss
2❍Abschluss der allgemeinbildenden polytechnischen Oberschule der DDR, Realschulabschluss (Mittlere Reife) oder gleichwertiger Abschluss
3❍Fachhochschulreife, Hochschulreife (Abitur)
4❍Weiß nicht/ keine Angabe

[Prog.: Frage D3 nur stellen, wenn Frage D2=1,3; nach Beantwortung Frage D3 → Ende des Fragebogens bzw. Schleife, wenn Nebenwohnsitz vorhanden ist; die Fragen D4 bis D6 stellen, wenn Frage D2=2; wenn ZP sowohl am Haupt-, als auch am Nebenwohnsitz Haupteinkommensbezieher ist, muss D3 nur für Hauptwohnsitz abgefragt werden.]

D4 Bitte geben Sie das Geschlecht des Haupteinkommensbeziehers an.
1❍Männlich
2❍Weiblich
3❍Keine Angabe

[Prog.: Frage D4 nur stellen, wenn Frage D2=2]

D5 Bitte geben Sie das Geburtsjahr des Haupteinkommensbeziehers an.
Jahr: ____ *[Prog.: range 1900-2010]*
1❍Weiß nicht/ keine Angabe

[Prog.: Frage D5 nur stellen, wenn Frage D2=2]

D6 Bitte geben Sie den höchsten Schulabschluss des Haupteinkommensbeziehers an.
1❍Haupt-(Volks)schulabschluss, ohne Schulabschluss

2❍Abschluss der allgemeinbildenden polytechnischen Oberschule der DDR, Realschulabschluss (Mittlere Reife) oder gleichwertiger Abschluss
3❍Fachhochschulreife, Hochschulreife (Abitur)
4❍Weiß nicht/ keine Angabe

[Prog.: Frage D6 nur stellen, wenn Frage D2=2]

[Prog.: Wenn Frage W1=1, den Fragebogen ab W2 bis einschließlich D6 nochmal durchlaufen lassen mit folgendem Hinweistext: „Nachdem Sie sich nun auf Ihre hauptsächlich genutzte Wohnung bezogen haben, bitten wir Sie nun, sich ausschließlich auf Ihre Nebenwohnung zu beziehen.“]

[Prog.: Ende]

B Anhang

Tabelle B1: Modellparameter: Angepasstes Modell der TI-ESRR (mit β1 = Heizgradtage (trendbereinigt))

Model	(N=9)	Variables	Coefficient estimates	Standard errors	t-values	p-values
R^2	0,850	β0	0,993	0,694	1,43	0,2027
R^2 (adjusted)	0,800	β1	0,008	0,002	3,44	0,0138*
F-Statistic	17,013	β2	0,287	0,067	4,28	0,0052*
p-value	0,0034*					

Y = Verbrauch hölzerner Biomasse in privaten Haushalten (tb); β1 = HGT (tb); β2 = VPI (tb); tb = trendbereinigt

Tabelle B2: Modellparameter: Angepasstes Modell der TI-ESRR (mit β1 = Frosttage (trendbereinigt))

Model	(N=9)	Variables	Coefficient estimates	Standard errors	t-values	p-values
R^2	0,847	β0	1,260	0,730	1,73	0,1350
R^2 (adjusted)	0,796	β1	0,117	0,035	3,39	0,0147*
F-Statistic	16,610	β2	0,292	0,068	4,31	0,0050*
p-value	0,0036*					

Y = Verbrauch hölzerner Biomasse in privaten Haushalten (tb); β1 = FT (tb); β2 = VPI (tb); tb = trendbereinigt

Tabelle B3: Modellparameter: Angepasstes Modell der TI-ESRR (mit β1 = Frosttage (gewichtet & trendbereinigt))

Model	(N=9)	Variables	Coefficient estimates	Standard errors	t-values	p-values
R^2	0,856	β0	1,359	0,718	1,89	0,1071
R^2 (adjusted)	0,808	β1	0,123	0,035	3,55	0,0121*
F-Statistic	17,846	β2	0,294	0,066	4,48	0,0042*
p-value	0,0030*					

Y = Verbrauch hölzerner Biomasse in privaten Haushalten (tb); β1 = FT (gewichtet & tb); β2 = VPI (tb); tb = trendbereinigt

Tabelle B4: Modellparameter: Angepasstes Modell der TI-ESRR (mit β1 = Eistage (trendbereinigt))

Model	(N=9)	Variables	Coefficient estimates	Standard errors	t-values	p-values
R^2	0,838	β0	0,3269	0,688	0,47	0,6524
R^2 (adjusted)	0,784	β1	0,153	0,047	3,23	0,0178*
F-Statistic	15,479	β2	0,252	0,072	3,50	0,0128*

Model	(N=9)	Variables	Coefficient estimates	Standard errors	t-values	p-values
p-value	0,0043*					

Y = Verbrauch hölzerner Biomasse in privaten Haushalten (tb); β1 = ET (tb); β2 = VPI (tb); tb = trendbereinigt

Tabelle B5: Modellparameter: Angepasstes Modell der TI-ESRR (mit β1 = Eistage (gewichtet & trendbereinigt))

Model	(N=9)	Variables	Coefficient estimates	Standard errors	t-values	p-values
R^2	0,844	β0	0,374	0,676	0,55	0,6003
R^2 (adjusted)	0,791	β1	0,158	0,048	3,33	0,0158*
F-Statistic	16,173	β2	0,254	0,070	3,60	0,0113*
p-value	0,0038*					

Y = Verbrauch hölzerner Biomasse in privaten Haushalten (tb); β1 = ET (gew. & tb); β2 = VPI (tb); tb = trendbereinigt