

TEXTE

27/2020

GHD-Festbiomasse im Wärmesektor

Abschlussbericht

TEXTE 27/2020

EVUPLAN des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie

Forschungskennzahl 37EV16 127 0

FB000221

GHD-Festbiomasse im Wärmesektor

Abschlussbericht

von

Sebastian Glasenapp, Dr. Holger Weimar

Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie, Hamburg

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 Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie
Leuschnerstr. 91
21031 Hamburg

Abschlussdatum:

Juli 2019

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, Februar 2020

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

Kurzbeschreibung

Im Projekt „GHD-Festbiomasse im Wärmesektor“ wird der energetische Holzeinsatz im Sektor Gewerbe Handel und Dienstleistungen (GHD) für den Zeitraum von 2003 bis 2017 ermittelt. Zu Beginn erfolgt eine Analyse des aktuellen Wissensstandes. Es wird untersucht, wie der energetische Holzeinsatz im GHD-Sektor in Vorgängerstudien ermittelt wurde. Im Anschluss daran liegt der Fokus auf dem Anlagenbestand. Neben dem absoluten Anlagenbestand interessieren hierbei vor allem die Möglichkeiten zur sektoralen Aufteilung.

Im Anschluss an die Literaturrecherche wird der energetische Holzeinsatz im Zeitraum von 2003 bis 2017 über eine Restrechnung berechnet. Hierfür wird der gesamte energetische Holzeinsatz (ohne den Haushaltssektor) in Anlagen $<$ und \geq 1 MW Feuerungswärmeleistung (FWL) sowie in sonstigen Anlagen von den Ergebnissen der amtlichen Energiestatistik subtrahiert. Die verbleibende Restgröße stellt den Holzverbrauch im GHD-Sektor dar. Es wird ein Fortschreibungstool entwickelt, das es ermöglicht, den Holzverbrauch im GHD-Sektor zeitnah abzuschätzen. Neben der Ermittlung des gesamten energetischen Holzeinsatzes werden außerdem unterschiedliche Verfahren zur sortimentspezifischen Erfassung des energetischen Holzeinsatzes geprüft.

Abschließend wird auf internationale Berichtssysteme der Energiestatistik und Statistik der Holz- und Forstwirtschaft eingegangen, die Holzenergie erfassen. Die betrachteten Berichtssysteme unterscheiden sich hauptsächlich durch die Strukturierung der Energieverbraucher und berücksichtigten Holzsortimente. Der Vergleich der Berichtssysteme orientiert sich an diesen beiden Unterschieden.

Abstract

We estimate wood energy consumption for the sector business, trade and service in 2003 – 2017 period. Up to date literature was analyzed, with particular focus on methods applied to estimate wood energy consumption. In addition to wood energy consumption figures, we analyzed heater inventory data for Germany. This information constituted the basis to obtain absolute heater numbers and to conduct sectoral segmentation.

We estimated wood energy consumption for the sector business, trade and service in 2003 – 2017 period through an offcut approach. Such method presumes that total wood energy consumption in business, trade and service sector equals the offcut of total wood energy consumption in Germany and wood energy consumption reported in official statistics. Total wood energy consumption figures for Germany derived from research results distinguishing small and large scale heaters (threshold for distinction was 1 MW combustion capacity) as well as wood energy consumption in other heaters. Based on this analysis, we developed a tool for an early forecasting of wood energy consumption in the sector of business, trade and service. In addition to total wood energy consumption we tested methods for predicting consumption of distinct forest products.

The study concludes with an analysis of international reporting schemes for energy statistics and forest products statistics that gather information on wood energy consumption. Detail of considered energy consumers and forest products differ conditional on reporting schemes. We used these differences as the basis for comparison.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	11
1 Einleitung	25
2 Aufbereitung und Analyse des aktuellen Wissensstandes	26
2.1 Einleitung.....	26
2.1.1 Einordnung des GHD-Sektors in Energiestatistik und Energiebilanzierung.....	26
2.1.2 Internationale Definition des GHD-Sektors	27
2.2 Bisher durchgeführte Untersuchungen mit Bezug zur energetischen Holzverwendung im GHD-Sektor.....	27
2.2.1 Differenzierung des GHD-Sektors und Identifikation von Hochrechnungsgrößen	33
2.2.2 Methoden zur Ermittlung des Holzverbrauchs.....	39
2.2.3 Holzsortimente	41
2.3 Ergebnisse und kritische Analyse	44
3 Bestand an Holzfeuerungsanlagen in Deutschland	48
3.1 Einleitung.....	48
3.2 Literaturübersicht zum Anlagenbestand.....	48
3.3 Sektorale Aufteilung des Anlagenbestands.....	52
3.4 Abschätzung des Anlagenbestands im GHD-Sektor für die Jahre 2015 und 2016.....	54
3.5 Zusammenfassung und Diskussion	61
4 Energetische Holznutzung im GHD-Sektor	64
4.1 Einleitung.....	64
4.2 Holzfeuerungsanlagen < 1 MW Feuerungswärmeleistung	65
4.2.1 Einführung und Datengrundlage	65
4.2.2 Regressionsmodell zur Bestimmung des durchschnittlichen Holzverbrauchs	69
4.2.3 Anlagenbestand als Hochrechnungsgröße	73
4.2.4 Ergebnisse der Zeitreihe	74
4.3 Holzfeuerungsanlagen ≥ 1MW Feuerungswärmeleistung	76
4.3.1 Einführung und Datengrundlage	76
4.3.2 Ableitung der Verbrauchsentwicklung	77
4.3.3 Ergebnisse in der Zeitreihe	79
4.4 Holzverbrauch in sonstigen Anlagen (Mitverbrennung von Holz)	80
4.5 Holzverbrauch in der amtlichen Energiestatistik	81
4.6 Umrechnungsfaktoren	84

4.7	Berechnung des Holzverbrauchs im GHD-Sektor mittels Restrechnungsansatz	86
4.7.1	Ergebnisse des Restrechnungsansatzes.....	86
4.7.2	Ergebnisse des Restrechnungsansatzes nach Holzsortimenten für das Jahr 2016	88
4.7.3	Diskussion der Ergebnisse	91
4.7.3.1	Einordnung des GHD-Gesamtverbrauchs in die verfügbare Literatur	91
4.7.3.2	Bewertung der Verfahren zum sortimentsspezifischen Verbrauch für das Jahr 2016	93
4.7.3.3	Abschließende Diskussion	94
5	Modell zur zeitnahen Ableitung des aktuellen Holzverbrauchs im GHD-Sektor	98
5.1	Berechnung des Holzverbrauchs.....	98
5.2	Sensitivität des Modells mit simulierten zeitnahen Eingangsdaten	99
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	101
7	Internationale Berichterstattungen im Kontext der Holzenergie.....	104
7.1	Einleitung.....	104
7.2	Renewables Questionnaire (JAQ) von IEA/Eurostat/UNECE.....	105
7.2.1	Hintergrundinformationen	105
7.2.2	Strukturierung des Fragebogens	105
7.2.3	Deutsche Berichterstattung.....	106
7.3	Joint Forest Sector Questionnaire (JFSQ) von FAO/UNECE/ITTO/EUROSTAT.....	106
7.3.1	Hintergrundinformationen	106
7.3.2	Strukturierung des Fragebogens JFSQ.....	107
7.3.3	Deutsche Berichterstattung.....	108
7.4	Joint Wood Energy Enquiry (JWEE) von UNECE/FAO.....	108
7.4.1	Hintergrundinformationen	108
7.4.2	Strukturierung des Fragebogens	108
7.4.3	Berichterstattung für Deutschland	111
7.5	Fortschrittsbericht für erneuerbare Energien nach EU-Richtlinie 2009/28/EG.....	112
7.5.1	Hintergrundinformationen	112
7.5.2	Strukturierung des Fragebogens	112
7.5.1	Deutsche Berichterstattung.....	113
7.6	International Renewable Energy Agency (IRENA).....	114
7.6.1	Hintergrundinformationen zur Berichterstattung von IRENA	114
7.6.2	Strukturierung des Fragebogens von IRENA.....	114
7.6.3	Deutsche Berichterstattung.....	115
7.7	Zusammenfassung.....	115
7.7.1	Vergleich der Sortimente.....	115

7.7.2	Vergleich der Verbrauchssektoren	116
7.7.3	Vergleichbarkeit der Daten.....	118
8	Anhang.....	121
9	Quellenverzeichnis.....	123

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Der energetische Holzeinsatz im GHD-Sektor	14
Abbildung 2:	Zusammenhänge internationaler Berichterstattungen.....	17
Abbildung 3:	Endenergieverbrauch in Deutschland in 2017	26
Abbildung 4:	Zuordnung des GHD-Sektors zu den Energiesektoren der europäischen und internationalen Berichterstattung.....	27
Abbildung 5:	Energetischer Holzverbrauch im GHD-Sektor oder Nichthaushalten in Anlagen bis 1 MW FWL.....	44
Abbildung 6:	Schema des Restrechnungsansatzes zur Ermittlung des Holzverbrauchs im GHD-Sektor	64
Abbildung 7:	Ergebnisse der Variablenauswahl.....	70
Abbildung 8:	Unsicherheiten bei der anlagenspezifischen Verbrauchsschätzung	72
Abbildung 9:	Entwicklung des energetischen Holzeinsatzes in Mio. t atro nach Feuerungswärme­klassen	76
Abbildung 10:	Zeitreihe zum Holzeinsatz in Deutschland (kumuliert) und zum GHD-Sektor.....	88
Abbildung 11:	Ergebnisse der GHD-Restrechnung im Vergleich zur bestehenden Literatur	92
Abbildung 12:	Ergebnisse der GHD-Restrechnung in PJ	95
Abbildung 13:	Vergleich der Entwicklungen von Gradtagszahlen und vorläufigen Gradtagszahlen	98
Abbildung 14:	Zusammenhänge internationaler Berichterstattungen.....	104
Abbildung 15:	Erfassung der Autoproduzenten im JAQ von IEA/Eurostat/UNECE	110
Abbildung 16:	Energetische Holzverbrauch in TJ im Jahr 2015 in Deutschland nach Verbrauchssektoren	119
Abbildung 17:	Energetische Holzverbrauch in TJ im Jahr 2015 in Deutschland nach Holzsortimenten	120

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zeitreihen zum energetischen Holzeinsatz in Deutschland nach Verwendungssektoren in PJ.....	15
Tabelle 2:	Im Zeitraum von 2000 bis 2009 veröffentlichte Untersuchungen mit Bezug zur energetischen Holzverwendung im GHD-Sektor	28
Tabelle 3:	Untersuchungen, die ab dem Jahr 2009 veröffentlicht wurden und Bezug zur energetischen Holzverwendung im GHD-Sektor haben	30
Tabelle 4:	Differenzierung des Untersuchungsgegenstandes.....	34
Tabelle 5:	Gruppierung des Sektors und Bezugsgrößen bei Viehmann et al. (2011).....	37
Tabelle 6:	Ermittlung des Holzverbrauchs.....	39
Tabelle 7:	Ausgewiesene Brennstoffe und Art der Verbrauchsangaben	42
Tabelle 8:	Energetischer Holzverbrauch der Subsektoren im GHD-Sektor	45
Tabelle 9:	Auszug über die Brennstoffarten aus § 3 der 1. BImSchV	49
Tabelle 10:	Angaben zur Grundgesamtheit der Feuerungsanlagen insgesamt	51
Tabelle 11:	Feuerungsanlagen < 1 MW außerhalb der privaten Haushalte	52
Tabelle 12:	Anlagenbestand des GHD-Sektors und deren Anteile an der Grundgesamtheit für das Jahr 2002	53
Tabelle 13:	Anlagenbestand des GHD-Sektors und deren Anteile an der Grundgesamtheit für das Jahr 2005	53
Tabelle 14:	Sektorale Aufteilung des Anlagenbestands für das Jahr 2010	54
Tabelle 15:	Gesamter Anlagenbestand (nach 1. BImSchV messpflichtige und nicht messpflichtige Anlagen) für die Jahre 2015 und 2016	55
Tabelle 16:	Sektorale Aufteilung des Anlagenbestands im Leistungsbereich bis 100 kW	55
Tabelle 17:	Anzahl der Anlagen nach Sektoren und Leistungsklassen sowie deren Anteil an der Grundgesamtheit	57
Tabelle 18:	Anlagenbestand nach Sektoren, Leistungsklassen, Beschickungsart und Brennstoffen für die Jahre 2015.....	58
Tabelle 19:	Anlagenbestand nach Sektoren, Leistungsklassen, Beschickungsart und Brennstoffen für das Jahr 2016	60
Tabelle 20:	Vergleich des Anlagenbestands aus eigenen Berechnungen und der Literatur	62
Tabelle 21:	Vergleich der Anlagen in den Nichthaushalten	63
Tabelle 22:	Datensatz der unabhängigen Variablen zur Modellierung des anlagenspezifischen Holzeinsatzes.....	66
Tabelle 23:	Gradtagszahlen zur Schätzung des anlagenspezifischen Holzverbrauchs	68
Tabelle 24:	Formeln zur Schätzung des anlagenspezifischen Holzverbrauchs in Holzfeuerungen < 1 MW nach Leistungsklassen	71

Tabelle 25:	Geschätzter anlagenspezifischer Holzverbrauch in t atro	71
Tabelle 26:	Vergleich des geschätzten anlagenspezifischen Holzverbrauch der Modellrechnung und aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“, in t atro	73
Tabelle 27:	Bestand an Holzfeuerungsanlagen < 1 MW Feuerungswärmeleistung in Nicht-Haushalten, aufgeteilt nach Feuerungswärmeleistungen	73
Tabelle 28:	Gesamter Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW Feuerungswärmeleistung in t atro und PJ nach Leistungsklassen	75
Tabelle 29:	Variablen zur Schätzung des Holzverbrauchs in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW Feuerungswärmeleistung	77
Tabelle 30:	Rechenschritte und Ergebnisse zur Schätzung des Holzverbrauchs in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW Feuerungswärmeleistung	78
Tabelle 31:	Gegenüberstellung der Verbrauchsschätzung für den Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW Feuerungswärmeleistung und der amtlichen Statistik, in TJ	80
Tabelle 32:	Energiestatistische Erhebungen des Statistischen Bundesamtes im Kontext des Holzverbrauchs	82
Tabelle 33:	Energieträgercode, Bezeichnung und Heizwerte (in MJ/kg lutro) der einzelnen Hölzer über den Gesamtverbrauch der Erhebungen 060, 064 und 066 in den Jahren 2013 und 2016	83
Tabelle 34:	Gegenüberstellung der Heizwerte vergleichbarer Sortimente der amtlichen Statistik und des „Rohstoffmonitoring Holz“ sowie deren prozentuale Abweichung	85
Tabelle 35:	Ergebnisse der GHD-Restrechnung in Mio. t atro	87
Tabelle 36:	Ergebnisse der GHD-Restrechnung in PJ	87
Tabelle 37:	Gegenüberstellung des Verbrauchs ausgewählter Energieholzsortimente für das Jahr 2016 in t atro	90
Tabelle 38:	Schätzung der Sortimentsverteilung im GHD-Sektor im Jahr 2016 auf Stichprobenbasis	91
Tabelle 39:	Einsatz von Holzsortimenten in Deutschland in t atro im Jahr 2016	93
Tabelle 40:	Alternativrechnung der GHD-Restrechnung	96
Tabelle 41:	Simulierte, vorläufige Eingangsdaten für die zeitnahe Ableitung des energetischen Holzeinsatzes im GHD-Sektor	99
Tabelle 42:	Ergebnisse des energetischen Holzeinsatzes in Mio. t atro	100
Tabelle 43:	Erfassungszyklen der Berichterstattungen im Zeitraum 2011 bis 2016	105
Tabelle 44:	Im Joint Forest Sector Questionnaire (JFSQ) erfasste Holzsortimente	107
Tabelle 45:	Struktur der Holzsortimente im JWEE im Vergleich zu Sortimenten aus dem JFSQ	109
Tabelle 46:	Gegenüberstellung der Verbrauchssektoren im JWEE und IEA/Eurostat/UNECE	110
Tabelle 47:	Tabelle 4 des Fortschrittsberichts für erneuerbare Energien	113
Tabelle 48:	Bei IRENA verwendete Holzsortimente	115

Tabelle 49:	Gegenüberstellung der energetisch verwendeten Holzsortimente in den Berichterstattungssystemen.....	115
Tabelle 50:	Gegenüberstellung der Verbrauchssektoren im JWEE und IEA/Eurostat/UNECE	117
Tabelle 51:	Für die energetische Holzverwendung relevante Verbrauchssektoren im JAQ.....	121

Abkürzungsverzeichnis

3N	Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe und Bioökonomie e.V.
a	Jahr
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AGEE-Stat	Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien-Statistik
atro	Absolut trocken
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BDH	Bundesverband Deutscher Heizungsindustrie
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CARMEN	Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V.
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
DEPI	Deutsches Pelletinstitut GmbH
DWD	Deutschen Wetterdienstes
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
el	Elektrisch
EPI	Erzeugerpreisindex
Eurostat	Statistische Amt der Europäischen Union
FAO	Food and Agriculture Organization
FAOSTAT	Datenbasis der FAO
FKZ	Förderkennzeichen
Fm	Festmeter
FWL	Feuerungswärmeleistung
GfK	Gesellschaft für Konsumforschung
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GTZ	Gradtagszahl
HAWK	Hochschule für angewandte Wissenschaften und Kunst
HKI	Industrieverbands Haus-, Heiz und Küchentechnik e.V.
Idx	Index
IE	Leipziger Institut für Energetik und Umwelt GmbH
IEA	International Energy Agency
IfE	Lehrstuhl für Energie- und Anwendungstechnik

INFRO	Informationssysteme für Rohstoffe
IRENA	International Renewable Energy Agency
ISI	Institut für System- und Innovationsforschung
ITTO	The International Tropical Timber Organization
IVD	Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen
JAQ	Renewables Questionnaire von IEA/Eurostat/UNECE
JFSQ	Joint Forest Sector Questionnaire
JWEE	Joint Wood Energy Enquiry
kW	Kilowatt
LIV	Landesinnungsverband für das Schornsteinfegerhandwerk
lutro	Lufttrocken
LWF	Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
m³	Kubikmeter
MAP	Marktanzreizprogramm
MSE	Mean Squared Error
MVA	Müllverbrennungsanlage
MW	Megawatt
Nawaro-Holz	Altholz, Wald- und Landschaftspflegeholz
ÖkoPol GmbH	Institut für Ökologie und Politik
PJ	Petajoule
PLZ	Postleitzahl
RM	Rohstoffmonitoring Holz
Srm	Schüttraummeter
StBA	Statistisches Bundesamt
t	Tonne
th	Thermisch
TJ	Terrajoule
TUM	Technische Universität München
UBA	Umweltbundesamt
UHH	Universität Hamburg
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
Wh	Wattstunden
WZ	Wirtschaftszweigklassifikation
ZIV	Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks
ZUS LLG	Zentralen Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe

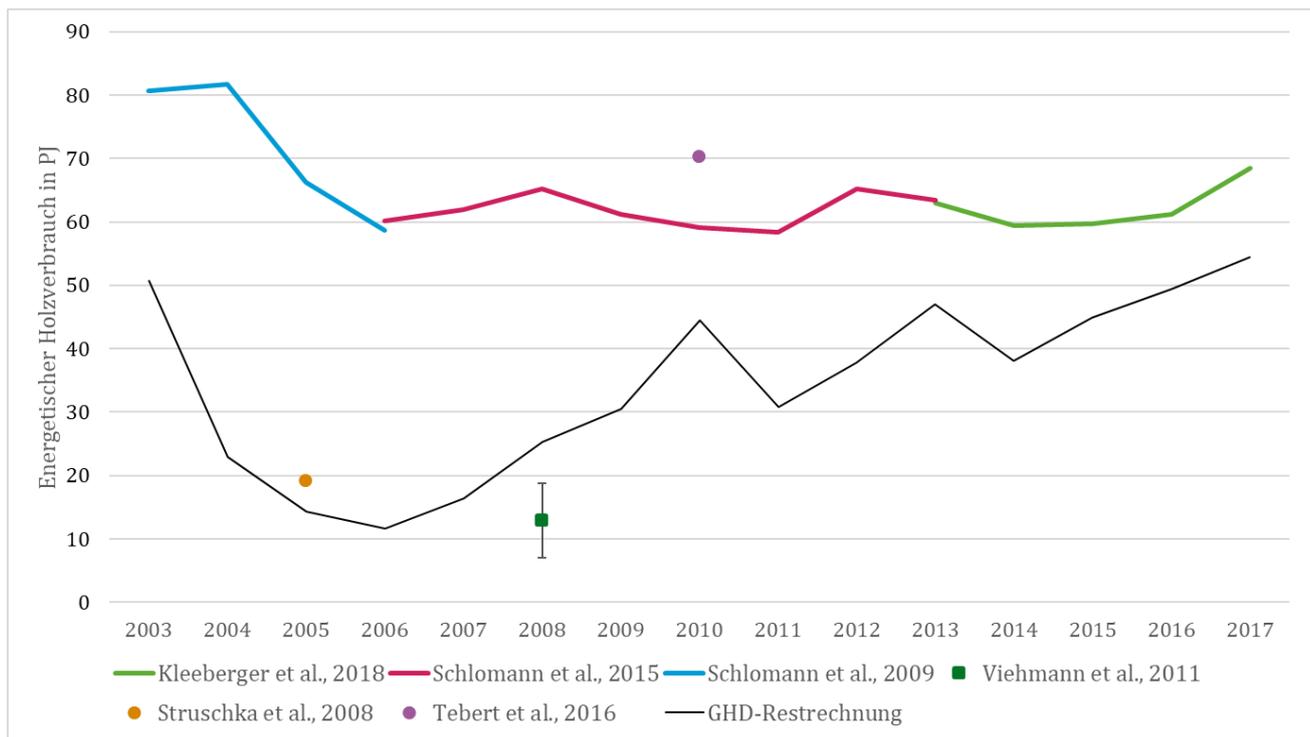
Zusammenfassung

Das Projekt „GHD-Festbiomasse im Wärmesektor“ hat zum Ziel den Anlagenbestand in den Jahren 2015 und 2016 sowie den energetischen Holzeinsatz für den Zeitraum von 2003 bis 2017 im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) zu ermitteln. Weiterhin soll ein Tool zur zeitnahen Berechnung des GHD-Holzverbrauchs entwickelt, sowie Optionen zur Ermittlung der Sortimentszusammensetzung geprüft werden. Dem GHD-Sektor gehören im allgemeinen Gewerbebetriebe mit weniger als 20 Beschäftigten an, soweit sie nicht im produzierenden Gewerbe erfasst werden. Außerdem werden dem Sektor Geschäftsgebäude und Räume gewerblicher Art, der Landwirtschaft, Handelsunternehmen sowie private und öffentliche Dienstleistungsunternehmen zugeordnet (Görgen et al. 2012 und Energiebilanzen 2015). Dies sind allesamt Wirtschaftsbereiche für die nur wenige Informationen vorliegen.

Daten zum Bestand von Holzfeuerungsanlagen im GHD-Sektor sind nicht verfügbar und müssen aus verschiedenen Sekundärquellen näherungsweise abgeleitet werden. Seit kurzem stellt der Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks (ZIV) den gesamten Anlagenbestand von Holzfeuerungen im Leistungsbereich von 4 kW bis 1.000 kW zur Verfügung. Mit Hilfe von Annahmen kann der Anlagenbestand für die Jahre 2015 und 2016 auf die Sektoren private Haushalte, GHD, Industrie und Umwandlung aufgeteilt werden. Für den GHD-Sektor können wir für die Jahre 2015 und 2016 einen Bestand von 35.024 bzw. 38.966 Holzfeuerungsanlagen ermitteln. Diese Werte sind niedriger als vergleichbare Literaturangaben, was vermutlich auf eine anfängliche Untererfassung seitens des ZIV sowie Unsicherheiten bei der sektoralen Aufteilung von Anlagen in den GHD-, Industrie- und Umwandlungssektor zurückzuführen ist. Aufgrund dieser Unsicherheiten bei der Aufteilung wurde der ermittelte Anlagenbestand des GHD-Sektors bei der Verbrauchsschätzung für den Zeitraum von 2003 bis 2017 nicht verwendet. Des Weiteren sollte darauf hingewiesen werden, dass dem GHD-Sektor in der Literatur durchaus Einzelraumfeuerungsanlagen zugeordnet werden, die einen Beitrag zum energetischen Holzverbrauch leisten. Aufgrund von fehlenden Informationen über diese Anlagenklasse kann sie jedoch weder bei der Berechnung des Anlagenbestands noch bei der Modellierung des Holzeinsatzes berücksichtigt werden. In zukünftigen Untersuchungen sollte dieser Aspekt aufgegriffen werden.

Verschiedene Forschungsprojekte haben den energetischen Holzeinsatz im GHD-Sektor bereits für unterschiedliche Zeitpunkte oder Zeiträume ermittelt. Die Zielsetzungen der Studien waren dabei sehr unterschiedlich. Zum einen hatten Studien das Ziel den Holzverbrauch unmittelbar zu bestimmen. Zum anderen sollten über Informationen zum Holzverbrauch die Emissionen von Luftschadstoffen berechnet werden. Für die Quantifizierung des Holzeinsatzes differenzieren die meisten Studien den GHD-Sektor zunächst nach Bezugsgrößen. Im Allgemeinen wird hierbei zwischen einer Aufteilung nach Branchen oder nach Art der Feuerungsanlagen unterschieden. Um im Anschluss den gesamten energetischen Holzeinsatz zu ermitteln, muss entweder der durchschnittliche Energieverbrauch bzw. -bedarf je Bezugsgröße oder die Auslastung und Nennwärmeleistung der Feuerungsanlagen bekannt sein. In Abbildung 1 sind Ergebnisse zum energetischen Holzverbrauch von Studien mit direktem Bezug zum GHD-Sektor auf Bundesebene dargestellt. Der Holzeinsatz im GHD-Sektor wird im Zeitraum von 2003 bis 2017 mit einer deutlichen Streuung von ca. 10 PJ bis 80 PJ angegeben. Diese Unterschiede lassen sich nicht nur durch statistische Fehler erklären, sondern sind vielmehr das Resultat grundlegender Unsicherheiten bei der Berechnung. Besonders die Heterogenität der Verbraucher und die unvollständige Datenlage stellen hierbei eine große Herausforderung dar.

Abbildung 1: Der energetische Holzeinsatz im GHD-Sektor



Quelle: Eigene Darstellung

Im Projekt „GHD-Festbiomasse im Wärmesektor“ wird der energetische Holzeinsatz im GHD-Sektor auf Basis des Schätzverfahrens nach Weimar (2016) ermittelt. In dem sogenannten Restrechnungsansatz wird der Holzverbrauch als Differenz des gesamten energetischen Holzeinsatzes in Deutschland (exklusive dem Haushaltssektor) und dem Holzeinsatz im Umwandlungs- und Industriesektor aus der amtlichen Energiestatistik berechnet. Angaben zum gesamten energetischen Holzverbrauch in Deutschland stammen dabei aus dem Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“. Das Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“ erfasst in wiederkehrenden Erhebungen die gesamte stoffliche und energetische Holznutzung in Deutschland. Bei den energetischen Holzverwendern werden der private Haushaltssektor, Holzfeuerungsanlagen < 1 MW Feuerungswärmeleistung (FWL), Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL und sonstige Anlagen berücksichtigt. Der energetische Holzeinsatz im privaten Haushaltssektor ist für die Restrechnung der gewerblichen Anlagen nicht relevant.

Für die Ermittlung des energetischen Holzeinsatzes in Holzfeuerungsanlagen werden im Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“ Anlagenbetreiber in Stichproben- oder Vollerhebungen zu ihrem spezifischen Holzeinsatz befragt. Der gesamte Holzverbrauch wird über den gesamten Anlagenbestand auf Deutschland hochgerechnet. Die Erfassung des Holzverbrauchs wird nicht jährlich, sondern lediglich für ausgewählte Jahre durchgeführt. Eine zentrale Aufgabe im Projekt „GHD-Festbiomasse im Wärmesektor“ besteht darin, den Holzverbrauch in den nicht erfassten Zwischenjahren über Informationen zum Anlagenbestand und anlagenspezifische Verbrauchskennziffern abzuleiten. Zeitreihen werden für Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL, Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL und sonstige Anlagen berechnet.

Für die Berechnung des Holzverbrauchs in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL wird in einem ersten Schritt auf Basis von Sekundärdaten der Anlagenbestand in der Zeitreihe von 2003 bis 2017, getrennt nach drei Leistungsklassen ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass der gesamte Anlagenbestand im Zeitraum von 2003 bis 2010 von 37.000 auf 51.000 Anlagen anstieg. Ab dem Jahr 2010 sank der gesamte Bestand bis auf 37.000 Anlagen im Jahr 2017. Diese Entwicklung wird insbesondere von Anlagen im Leistungsbereich 15 – 100 kW bestimmt, lässt sich allerdings durch Informationen zu Absatzzahlen nicht plausibel erklären. Trotz der offensichtlichen Unsicherheiten wurde dieser Ansatz von uns als transparenteste Methode gewählt, um den energetischen Holzeinsatz in Feuerungsanlagen < 1 MW FWL zu ermitteln. Aufgrund einer in den letzten Jahren

verbesserten Erfassung des Anlagenbestands durch den Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks (ZIV) ist in Zukunft davon auszugehen, dass sich die Datenbasis deutlich verbessern wird und damit die beste Datenbasis für Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL darstellt. Kennziffern zum anlagenspezifischen, jährlichen Holzverbrauch werden durch ein regressives Modell geschätzt. Ergebnisse aus den Stichprobenbefragungen des „Rohstoffmonitoring Holz“ sowie externe Daten auf Bundesebene bilden die Basis für die Berechnung. Allerdings schränkt insbesondere die Verwendung von nur für die Bundesebene verwendbare Daten, die Möglichkeiten der Modellierung von anlagenspezifischen Holzverbräuchen deutlich ein. Unter Berücksichtigung der limitierten Datenlage wurden die besten Schätzergebnisse für den anlagenspezifischen Holzeinsatz mit Feuerungswärmeleistung und Temperatur als erklärende Variablen erzielt.

Durch Multiplikation der Ergebnisse zum Anlagenbestand und dem jährlichen anlagenspezifischen Holzverbrauch ergibt sich, wie in Tabelle 1 dargestellt, der gesamte energetische Holzeinsatz für Holzfeuerungsanlagen bis 1 MW FWL in Deutschland. Vom Jahr 2003 bis 2010 stieg der energetische Holzeinsatz von 37 PJ auf 85 PJ und verblieb ab dem Jahr 2011 in einem Korridor von 70 bis 82 PJ. Schwankungen im Holzverbrauch werden vornehmlich durch jährliche Temperaturänderungen hervorgerufen. Insbesondere in den Jahren 2013 und 2014 sind Temperatureinflüsse zu erkennen. Die Verbrauchsspitze im Jahr 2010 lässt sich neben dem überdurchschnittlich kalten Winter auch durch den Rückgang des Anlagenbestands ab dem Jahr 2010 erklären.

Tabelle 1: Zeitreihen zum energetischen Holzeinsatz in Deutschland nach Verwendungssektoren in PJ

Jahr	Anlagen < 1 MW FWL	Anlagen ≥ 1 MW FWL	sonstige Anlagen	amtliche Energiestatistik
2003	36,9	91,8	2,1	80,0
2004	43,6	105,1	2,1	127,9
2005	48,6	117,3	2,1	153,6
2006	51,1	140,3	2,1	181,9
2007	52,8	136,6	2,1	175,2
2008	61,4	141,7	2,1	179,9
2009	67,7	153,9	2,1	193,3
2010	84,8	174,9	2,1	217,3
2011	69,9	179,5	2,1	220,6
2012	76,1	184,1	2,1	224,6
2013	80,3	169,2	2,1	204,7
2014	70,3	172,1	2,1	206,5
2015	75,8	172,8	2,1	205,6
2016	78,1	170,1	2,1	200,9
2017	81,7	162,2	2,1	191,6

Quelle: Eigene Berechnung und UBA (2019)

Erhebungen zu Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL werden im Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“ als Vollerhebung konzipiert. Für einzelne Jahre liegen Daten zum gesamten energetischen Holzverbrauch in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL vor. Der Holzeinsatz für die Jahre in denen keine empirischen Stichprobenergebnisse vorliegen, wird anhand der Veränderungsrate in der amtlichen Energiestatistik berechnet. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass ein Großteil der Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL dem Umwandlungs- oder Industriesektor zuzuordnen ist und die zeitliche Entwicklung des Holzeinsatzes im Wesentlichen

mit der in der amtlichen Energiestatistik erfassten Entwicklung übereinstimmt. Wie in Tabelle 1 dargestellt, verbrauchten Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL im Jahr 2003 92 PJ Holz. Bis ins Jahr 2012 stieg dieser Wert auf 184 PJ, mit einer lokalen Verbrauchsspitze im Jahr 2006 (140 PJ). Ab dem Jahr 2013 lag der jährliche Holzverbrauch in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL, mit leicht abnehmender Tendenz, bei ca. 162 bis 173 PJ.

Der Holzeinsatz in sonstigen Anlagen stellt nach den zur Verfügung stehenden Informationen lediglich einen geringen Mengenstrom dar. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es lediglich eine Untersuchung (Mantau und Jochem, 2012), die zum Ziel hatte die Mitverbrennung von Holz in Müllverbrennungsanlagen, Kohlekraftwerke und Zementwerken zu quantifizieren. Der Holzanteil, der in Müllverbrennungsanlagen (MVA) zusammen mit anderen Siedlungsabfällen verbrannt wird, ist im Zusammenhang mit dieser Untersuchung nicht relevant, da der biogene Anteil des Abfalls in der amtlichen Statistik gesondert ausgewiesen wird und nicht in der amtlichen Energiestatistik enthalten ist. Aufgrund der sehr schwierigen Datenlage wird der Wert von Mantau und Jochem (2012) in Höhe von 2 PJ für das Jahr 2010 für den gesamten Zeitraum von 2003 bis 2017 als konstant angenommen.

In den energiestatistischen Erhebungen des Statistischen Bundesamtes (Erhebungen 060, 067, 064 und 066k) wird der energetische Holzeinsatz in Anlagen des Umwandlungs- und Industriesektors erhoben. In der Erhebung 060 und in der untergeordneten Erhebung 067 wird die Energieverwendung im Industriesektor erfasst. Die Erhebungen 066 und 064 erfassen unter Anderem den Holzeinsatz zur Strom- bzw. Wärmeherzeugung. Die geringfügige Untererfassung von Stromerzeugern unter der Meldeschwelle kann durch Informationen zur EEG-Vergütung korrigiert werden. Mit Hilfe dieser Informationen lässt sich der jährliche Holzeinsatz im Umwandlungs- und Industriesektor ermitteln. Für das Jahr 2003 wurden Holzverbräuche von 80 PJ angegeben, die bis auf 224 PJ im Jahr 2012 anstiegen, danach jedoch auf einem deutlich niedrigeren Niveau um 200 PJ schwankten (Tabelle 1).

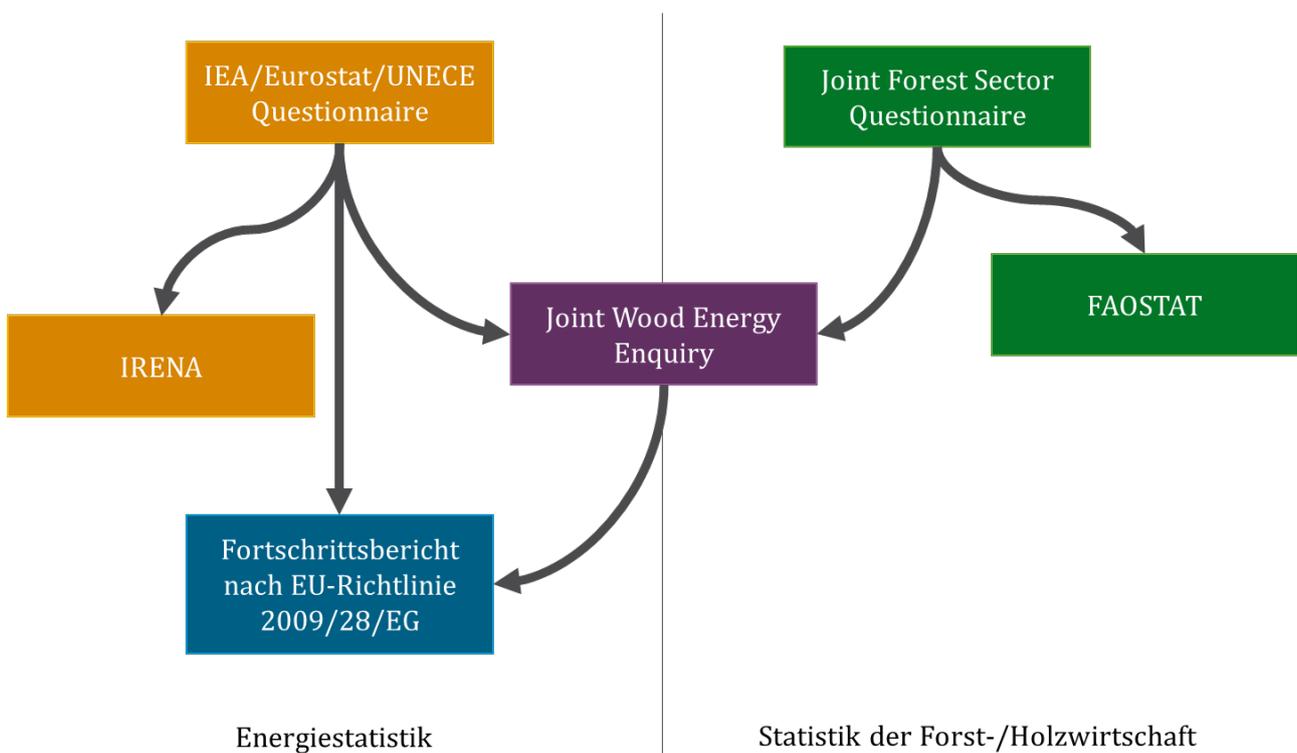
Im Projektverlauf konnte gezeigt werden, dass die Summenwerte der Verbrauchsangaben aus dem Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“ und der amtlichen Energiestatistik grundsätzlich kohärent sind. Damit liegt eine wichtige Grundvoraussetzung für die Ermittlung des energetischen Holzverbrauchs im GHD-Sektor durch den Restrechnungsansatz vor. Es muss allerdings auch darauf hingewiesen werden, dass für einige Sortimenten keine Kohärenz nachgewiesen werden konnte. Aufgrund der fehlenden Kohärenz und Schwierigkeiten bei der begrifflichen Abgrenzung von Sortimenten war es nicht möglich die energetische Verwendung von Holzsortimenten mit dem Restrechnungsansatz zu ermitteln. In Zukunft sollten die Statistiken der Forst- und Holzwirtschaft sowie des Energiesektors diesbezüglich weiter harmonisiert werden, damit diese Problemlage verbessert werden kann.

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse für den GHD-Sektor aus der Restrechnung dargestellt. Die Ergebnisse fügen sich gut in das Bild der bisherigen Studien ein. Es fällt auf, dass der abnehmende Trend bei der GHD-Restrechnung in den Jahren 2003 bis 2005 auch bei Schlomann et al. (2009) zu finden ist, obwohl dieser Rückgang in der Restrechnung vornehmlich auf den deutlichen Anstieg der Angaben der amtlichen Statistik zurückzuführen ist. Ab dem Jahr 2005 weicht der in der Restrechnung modellierte Holzeinsatz von den relativ konstanten Ergebnissen aus Schlomann et al. (2015) und Kleeberger et al. (2018) ab. Der Verbrauch für das Jahr 2005 aus Struschka et al. (2008) liegt nahe an den Ergebnissen der GHD-Restrechnung. Für das Jahr 2008 ermittelten Viehmann et al. (2011) einen geringeren Verbrauchswert. Aufgrund von statistischen Ungenauigkeiten, erscheint es allerdings plausibel, dass die GHD-Restrechnung einen höheren Wert ausweist. Tebert et al. (2016) wiesen für das Jahr 2010 einen, im Vergleich zur GHD-Restrechnung, um ca. 24 PJ erhöhten Verbrauchswert aus. Auch im Vergleich zu Schlomann et al. (2015) ist dieser Wert noch um ca. 10 PJ höher. Die Ergebnisse legen nahe, dass der Restrechnungsansatz grundsätzlich plausible Ergebnisse für die Berechnung des energetischen Holzeinsatzes im GHD-Sektor liefert. Gleichwohl soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die statistische Analyse aufgrund der beschränkten Datenbasis nicht in der analytischen Tiefe ausgeführt werden konnte, wie zu Beginn des Projekts vorgesehen.

Das angewendete Verfahren zur Zeitreihenbildung kann außerdem verwendet werden, um den energetischen Holzeinsatz im GHD-Sektor zeitnah abzuleiten. Hierfür müssen Bestandsdaten für Feuerungsanlagen bis 1 MW FWL, Gradtagzahlen und Angaben zum Holzeinsatz im Umwandlungs- und Industriesektor aus der amtlichen Energiestatistik bekannt sein. Im Allgemeinen können Bestandsdaten für Feuerungsanlagen linear fortgeschrieben und Werte für vorläufige Gradtagzahlen ausgewählter Messtationen abgerufen werden. Außerdem liegen vorläufige Ergebnisse des UBA zur energetischen Holzverwendung im Umwandlungs- und Industriesektor vor. Aus diesen Informationen lässt sich der energetische Holzeinsatz im GHD-Sektor zeitnah berechnen.

Als weitere Komponenten im Rahmen dieses Vorhabens wird ein Überblick über die internationalen Informationsbedarfe und Berichtspflichten bezüglich der energetischen Holznutzung vorgenommen. Die nationale und internationale Berichterstattung zu Holzenergie und erneuerbaren Energien hat in den vergangenen Jahren deutlich an Relevanz gewonnen. Es haben sich eine Reihe von Berichtssystemen herausgebildet, die untereinander Querbezüge aufweisen. Im Allgemeinen melden Länderkorrespondenten den energetischen Holzeinsatz insgesamt an internationale Organisationen (z. B. Vereinte Nationen, Europäische Kommission). Wie in Abbildung 2 zu sehen, wird der energetische Holzverbrauch sowohl in der Energiestatistik als auch in der Statistik der Forst- und Holzwirtschaft berichtet.

Abbildung 2: Zusammenhänge internationaler Berichterstattungen



Quelle: Eigene Darstellung

Für die Energiestatistik ist der Joint Annual Questionnaire (JAQ) von IEA/Eurostat/UNECE als zentraler Fragebogen zu nennen. In der jährlichen Befragung werden Produktion, Handel und Verbrauch von Holz als feste Biomasse erfasst. Während der Brennstoff Holz bei den Angaben zur Produktion auf die Kategorien Holz, Schwarzlauge und nicht verholzte Biomasse aufgeteilt wird, werden im Handel ausschließlich Holzpellets und flüssige Bioenergieträger erfasst. Bei Angaben zum Energieverbrauch wird Holz und andere nicht verholzte Biomasse als feste Biomasse (ohne Holzkohle) erfasst. In Abgrenzung zu allen anderen Berichterstattungen zeichnet sich der JAQ durch eine sehr detaillierte Differenzierung der energieverbrauchenden Sektoren aus.

Das Berichtssystem der International Renewable Energy Agency (IRENA) ähnelt im Aufbau dem JAQ. Allerdings ist der Detailgrad der Holzbrennstoffe größer und die Aufteilung der Energieverbraucher weniger differenziert. Da Deutschland derzeit keine Daten an IRENA liefert, übernimmt IRENA Angaben für sein Berichtswerk direkt aus dem JAQ.

In der Statistik der Forst- und Holzwirtschaft ist die ausführlichste Differenzierung von Holzsortimenten zu finden. Der Joint Forest Sector Questionnaire (JFSQ) von FAO, UNECE, ITTO und EUROSTAT gilt in der internationalen Berichterstattung der Statistiken zur Forst- und Holzwirtschaft als zentrales internationales Berichtssystem für Produktion und Handel mit Holzprodukten. Daten für den JFSQ werden jährlich erhoben. Während eine Vielzahl von Holzsortimenten unterschieden werden, lässt sich der Verbrauch ausschließlich rechnerisch über Angaben zur Produktion und dem Handel berechnen. Informationen aus dem JFSQ werden direkt in die zentrale Datenbasis der FAO (FAOSTAT) übernommen.

Mit dem Joint Wood Energy Enquiry (JWEE) wurde von UNECE/FAO ein Berichtssystem entwickelt, das die Lücke zwischen der Energiestatistik und Statistik der Forst- und Holzwirtschaft schließen soll. Alle zwei Jahre wird im JWEE der energetische Holzeinsatz erfasst. Die Energieverbrauchertypen können nahezu vollständig den Verbrauchern der Energiestatistik zugeordnet werden. Die Differenzierung des Holzverbrauchs erfolgt nach Sortimenten aus der Statistik der Forst- und Holzwirtschaft.

Der Fortschrittsbericht nach EU-Richtlinie 2009/28/EG fällt bei der Betrachtung der Berichtspflichten ein wenig aus dem Rahmen, spielt jedoch gleichwohl in der politischen Berichterstattung auf europäischer Ebene eine wichtige Rolle. In einem zweijährigen Turnus, wird jeweils für die vergangenen zwei Jahre die inländische Verfügbarkeit von Holz sowie der Handel mit EU- und Nicht-EU-Ländern nach Herkunft der Brennstoffe erfasst. Informationen aus dem JWEE und dem JAQ können dafür verwendet werden, um den Fortschrittsbericht nach EU-Richtlinie 2009/28/EG zu befüllen.

Mit den Ergebnissen des Projekts „GHD-Festbiomasse im Wärmesektor“ können in allen genannten Berichtssystemen Datenlücken geschlossen und die energetische Nutzung von Holz in Deutschland vollständig abgebildet werden.

Summary

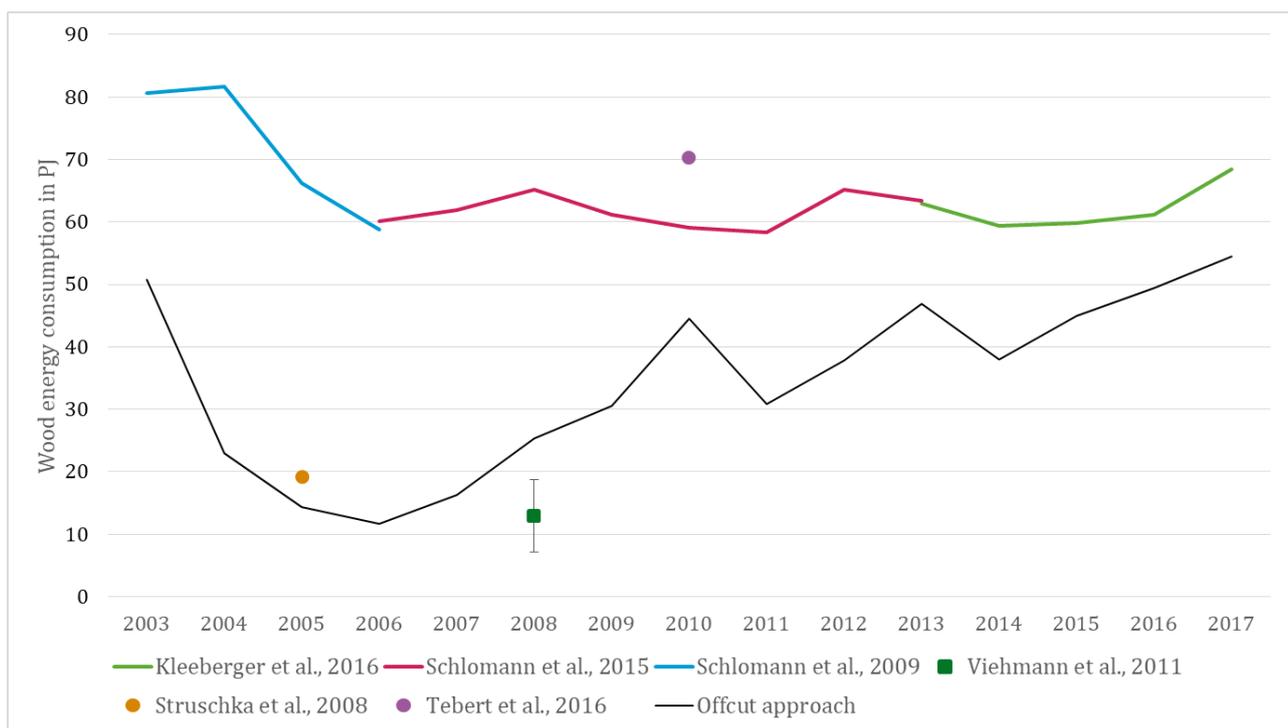
The main objective of this project is to determine heater inventory of German business, trade and service sector in 2015 and 2016 as well as to estimate the associated wood energy consumption in 2003-2017 period through a statistical model. In addition, a tool should be developed in order to provide timely estimates of wood energy consumption of the most recent periods. Moreover, we checked for methods to derive the resource mix from available information for the business, trade and service sector.

In Germany, business, trade and service sector comprises business entities with less than 20 employees, exclusive of businesses already defined as producing business. In addition, business facilities, agricultural and trade enterprises as well as private and public services are comprised under this sector (Görge et al. 2012 and Energiebilanzen 2015).

Primary data for heater inventory is not available for the business, trade and service sector. Nevertheless, data can be derived from secondary data sources. Lately the federal chimney sweeper association (ZIV) gathered inventory data for wood combusting plants of capacities ranging from 4 kW to 1,000 kW. Based on this data and further assumptions we divided total heater inventory into residential sector, business, trade and service sector industry sector as well as transformation sector. For 2015 and 2016 the business, trade and service sector accounted for 35,024 and 38,966 heaters respectively. Compared to other references these figures are lower, potentially due to initial underestimation and insecure assumptions for break down into the sectors: industry, transformation and business, trade and service. Given this uncertainty, we decided not to use estimated heater inventory of business, trade and service sector to predict its wood energy consumption. It's also worth mentioning that the business, trade and service sector comprises single heating systems which contribute to overall wood energy consumption. Due to the lack of data we were not able to consider these heater types neither in computation of heater inventory nor in estimating wood energy consumption. However, we acknowledge that future research should account for these heater types.

Previous research projects estimated wood energy consumption in business, trade and service sector for different years already. Study objectives were quite diverse however. On the one hand, some studies focused on a direct prediction of total wood energy consumption. On the other hand, estimation of total wood energy consumption was needed to derive emissions. For quantification of total wood energy consumption, studies usually identify certain reference entities. Such entities denote either economic sub-sectors or heater types. The estimation of total wood energy consumption requires knowledge on either average energy consumption i.e. demand per entity or workload and nominal heat output of respective heater type. Figure 1 presents previous research results for total wood energy consumption in business, trade and service sector at federal level. In 2003 – 2017 period, results of the studies show significant variation ranging from 10 PJ to 80 PJ. Such severe variation cannot solely be explained by statistical uncertainty, but will likely result from fundamental uncertainties in calculation process. Heterogeneity of consumer types in this sector as well as insufficient information about this sector constitutes major challenges.

Figure 1: Total wood energy use in business, trade and service sector



Source: Own figure

We estimated wood energy consumption in business, trade and service sector by applying a method first proposed by Weimar (2016). In a so called offcut approach, wood energy consumption in business, trade and service sector is obtained by subtracting wood energy consumption in transformation and industry sector from total wood energy consumption (exclusive of wood energy consumption in residential sector). Information on total wood energy consumption in Germany derives from the project Wood Resource Monitoring. This project provides information on material and energy use of wood resources which are periodically gathered for Germany by empirical surveys. Private households, energy plants < 1 MW rated thermal input, ≥ 1 MW rated thermal input and other plants denote the considered sectors which are separately enquired to provide wood energy consumption data. In the offcut approach residential wood energy consumption denotes zero-net-contribution for predicting wood energy consumption in business, trade and service sector because data from Wood Resource Monitoring and official statistics match each other. Thus, we dropped residential wood energy consumption from calculations.

In surveys, wood energy consumers are enquired to provide heater specific wood energy consumption data for selected reference years. This information, in combination with heater inventory data, is used to extrapolate total wood energy consumption in relevant sectors. A major objective of this study was to develop a statistical model that uses this data for setting up a time series.

To obtain wood energy consumption in energy plants < 1 MW rated thermal input we first estimated figures for heater inventory by capacity classes in 2003 – 2017 period. Results suggest that total heater inventory increased from 37,000 to 51,000 heaters in 2003 – 2010 period. Since 2010 heater inventory decreased to 37,000 in 2017. A more detailed analysis reveals that decreasing trend is due to decreasing number of plants in the capacity class 15 kW to 100 kW which contradicts sales data. Although such findings constitute a clear weakness, we decided to stick to this data as the most transparent one. Moreover, we presume that chimney sweeper association (ZIV) will significantly improve heater inventory data in the future and datasets will emerge as the best data basis available for wood energy heater inventory in Germany. Heater specific and annual wood energy consumption figures were estimated through a regressive model. Empirical results of the Wood Resource Monitoring project as well as supplementary external data on federal level constituted

the basis for our model specification. However, the lack of micro data denotes particular constrains in producing good quality predictive models. Given these data constrains we obtain best prediction results for plant specific wood energy consumption by using rated thermal input and temperature as explanatory variables.

Heater inventory data multiplied by respective annual consumption figures provide predictions for total annual wood energy consumption for energy plants < 1 MW rated thermal input. Results are presented in Table 1 and suggest an increase of total wood energy consumption from 37 PJ in 2003 to 85 PJ in 2010. In 2010, total wood energy consumption plateaued and remained in a corridor of 70 to 82 PJ until 2017. Variation in total wood energy consumption is mainly determined by changes in temperature. Wood energy consumption figures for 2013 and 2014 result from such temperature effects. In 2010, the peak in total wood energy use is not solely a result of temperature effects but also from the presumed decrease of energy plants.

Table 1: Estimated time series and wood energy consumption in official statistics in PJ

year	plants < 1 MW	plants ≥ 1 MW	other plants	official energy statistics
2003	36,9	91,8	2,1	80,0
2004	43,6	105,1	2,1	127,9
2005	48,6	117,3	2,1	153,6
2006	51,1	140,3	2,1	181,9
2007	52,8	136,6	2,1	175,2
2008	61,4	141,7	2,1	179,9
2009	67,7	153,9	2,1	193,3
2010	84,8	174,9	2,1	217,3
2011	69,9	179,5	2,1	220,6
2012	76,1	184,1	2,1	224,6
2013	80,3	169,2	2,1	204,7
2014	70,3	172,1	2,1	206,5
2015	75,8	172,8	2,1	205,6
2016	78,1	170,1	2,1	200,9
2017	81,7	162,2	2,1	191,6

Source: Own calculation and UBA (2019)

The survey design for energy plants ≥ 1 MW rated thermal input in the Wood Resource Monitoring project denotes a complete inventory enquiry and provides total wood energy consumption data for selected reference years. Gap years were estimated by applying the rate of change reported in the official statistics. We justify such procedure with the fact that a major fraction of energy plants ≥ 1 MW rated thermal input actually belongs to the transformation and industry sector. Thus, the annual development of total wood energy consumption in energy plants ≥ 1 MW rated thermal input should be comparable to official wood energy consumption in transformation and industry sector. As shown in Table 1, results for the time series of total wood energy consumption suggest an increase from 92 PJ in 2003 to 184 PJ in 2012. Since 2013, total wood energy consumption alternates in the range of 162 to 173 PJ, with a minor decreasing trend.

Based on available information, total wood energy consumption in other energy plants constitutes a minor wood flow. Yet, only Mantau und Jochem (2012) investigated co-combustion of wood in waste incineration, coal and cement plants. Wood energy consumption in waste incineration plants wasn't relevant for this study because of different reporting in energy statistics. Due to lack of available data we used a constant value of 2 PJ wood energy consumption in other energy plants for 2003 – 2017 period.

Official statistics gather wood energy consumption in transformation- and industry sector in survey 060, 067, 064 and 066k. Survey 060 and subordinated survey 067 considers wood energy consumption in the industry sector. Amongst others survey 066 and 064 gather information on wood transformed to electricity and heat. Minor underreporting due to unrecorded use of wood energy can be corrected with information from feed in tariffs of the Renewable Energy Sources Act (EEG). Based on this data, official statistics can provide information on total wood energy use in transformation and industry sector. In 2003 total wood energy consumption denoted 80 PJ. This figure increased to 224 PJ in 2012. Thereafter, wood energy consumption alternates at about 200 PJ (Table 1).

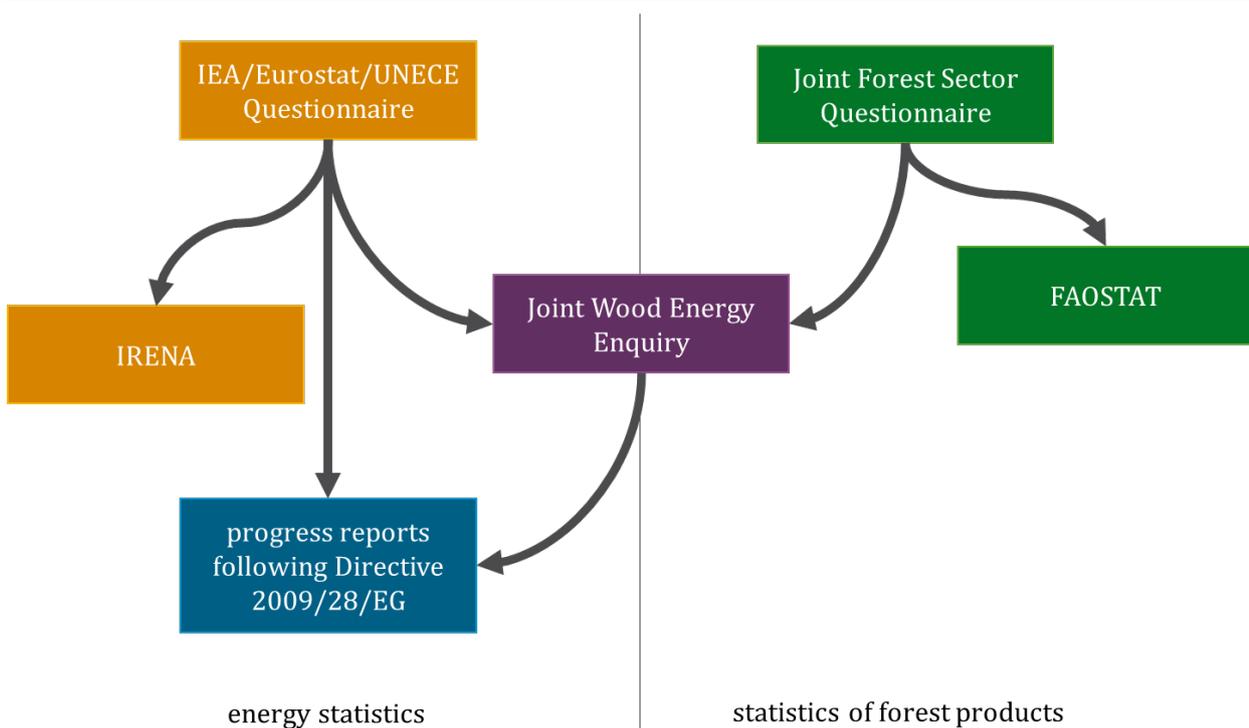
In general, we can confirm coherence of total wood energy consumption figures in official statistics and the project Wood Resource Monitoring which qualifies the offcut approach to predict wood energy consumption in the business, trade and service sector. However, in some instances we noticed lack of coherence for distinct forest products. Lack of coherence as well as vague definitions in official statistics prohibit the use of the offcut approach to estimate consumption of distinct forest products for energy. Thus, we acknowledge the need to better harmonize national forest products' and energy statistics in the future to overcome this problem.

Figure 1 presents results for estimated total wood energy consumption in business, trade and service sector. Results obtained from offcut approach fit well into the pattern of recent research. The decreasing trend in Schlomann et al. (2009) for 2003-2005 period was also modelled by our offcut approach, although we presume that the trend in our results mainly derives from the significant increase of total wood energy use in transformation and industry sector as reported by official statistics. Since 2005 our results deviate from relatively constant wood energy consumption figures reported by Schlomann et al. (2015) and Kleeberger et al. (2018). Struschka et al. (2008) provided an annual value for 2005 similar to our estimate. Viehmann et al. (2011) reported total wood energy consumption which denoted lower absolute figures in comparison to our estimate. However, deviation can be well explained by statistical challenges Viehmann et al. (2011) were facing during preparation of their study. Tebert et al. (2016) reported significantly higher wood energy consumption figures compared to Schlomann et al. (2015) estimate and ours. Results suggest that offcut approach generally provides reasonable estimates for total wood energy consumption in business, trade and service sector. However, it should also be mentioned that lack of data hampered more detailed and precise analyses which is an area of improvement in future studies.

The offcut approach is also capable to provide timely ex-post estimates of wood energy consumption in business, trade and service sector of most recent periods. To obtain results preliminary inventory data of energy plants < 1 MW rated thermal input, heating degree days and official statistics on wood energy consumption in transformation and industry sector needs to be available. In general, we posit that preliminary inventory data can be linearly extrapolated and preliminary heating degree day data can be timely obtained for selected measuring stations in Germany. In addition, UBA provides preliminary data for wood energy consumption in transformation and industry sector. Given these information estimation of wood energy consumption in close future is feasible using our model.

The final working package required an overview on international and wood energy related reporting schemes. In recent years national and international wood energy as well as renewable energy reporting gained increasing relevance. We identified a network of international organizations that consider wood energy in their respective reporting schemes. In general, national correspondents from the forest as well as the energy sector report total wood energy consumption to international organizations like the United Nations or European Commission. Figure 2 provides an overview of available reporting schemes and their interlinkages.

Figure 2: Structure of international reporting schemes



Source: Own figure

The Joint Annual Questionnaire (JAQ) of IEA/Eurostat/UNECE constitutes the central reporting scheme in energy statistics. On an annual basis national correspondents report production, trade and consumption figures of wood as solid biofuels. While production figures of wood fuel distinguish wood, black liquor and non-woody biomass, trade figures only consider wood pellets and liquid biofuels. Consumption figures comprise all kinds of forest products (e.g. split logs, black liquor) under solid biofuels (excluding charcoal) inclusive of non-woody biomass. Compared to all other reporting schemes the JAQ provides the most precise distinction of energy consumers.

International Renewable Energy Agency (IRENA) manages a reporting scheme similar to the JAQ. However, wood energy is reported at a higher degree of detail while distinction of energy consumer is less detailed compare to the JAQ. Since Germany doesn't report any data to this reporting scheme, IRENA publishes JAQ data for Germany instead.

Forest products statistics provide most detailed distinction of forest products. The Joint Forest Sector Questionnaire (JFSQ) of FAO, UNECE, ITTO and EUROSTAT denotes the central reporting scheme for international forest products reporting on production and trade figures. Consumption figures are not considered by JFSQ. Nevertheless, consumption estimates can be computed through production and trade figures. Data provided by JFSQ will e.g. directly feed into the global FAO database (FAOSTAT).

The Joint Wood Energy Enquiry (JWEE) of UNECE/FAO aims at closing the gap between energy and forest products statistics. Total wood energy consumption in UNECE member states is gathered every two years. Consuming sectors are almost entirely harmonized with IEA definitions. Definitions of forests products derive from forest products statistics.

The EU progress reports for renewable energies (EU Directive 2009/28/EG) denote a different structure compared to reporting schemes previously mentioned. However, the EU progress report is a very relevant tool to assess the development of renewable energies in the European Union. Data is collected every two years for two reference years. The questionnaire gathers information on supply as well as EU and non-EU trade of wood energy. To complete the enquiry JWEE and JAQ can provide valuable information.

Our results for wood energy consumption in business, trade and service sector help to fill data gaps in international reporting schemes and provide a complete picture of wood consumption in Germany.

1 Einleitung

Die energetische Verwendung von Holz hat in Deutschland einen großen Anteil an den erneuerbaren Energien, was durch regelmäßig verfasste Statistiken zum Energieverbrauch in Deutschland und zu erneuerbaren Energien bestätigt wird (BMW, 2018). Auch in Zukunft wird Energie aus Holz bei der Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland eine wichtige Rolle spielen, sei es aus Gründen einer klimaneutralen Energieerzeugung oder aus Gründen der Versorgungssicherheit – Holz ist der wichtigste nachwachsende Rohstoff in Deutschland. Umso mehr kommt es darauf an, in den Statistiken und Berichterstattungen vollumfänglich alle energetischen Holznutzungen zu erfassen. Dies dient der Vollständigkeit der Statistiken im Verhältnis zu anderen Energieträgern. Und es dient dazu, im internationalen Vergleich die Entwicklung der erneuerbaren Energien detailliert beschreiben zu können. Es dient aber auch dazu, alle Arten der Holzverwendung lückenlos zu dokumentieren, um bei einer wachsenden Nachfrage nach der Ressource Holz, sowohl für die energetische als auch stoffliche Verwendung, ein möglichst transparentes Bild des Marktgeschehens liefern zu können.

Der energetische Holzverbrauch im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) stellt, neben dem Haushaltssektor, für die statistische Dokumentation eine besondere Herausforderung dar, da dieser Sektor durch die amtliche Statistik nicht erfasst wird. Gleichwohl spielt die energetische Holznutzung hier eine wichtige Rolle. In den letzten Jahren hatten eine Reihe von Untersuchungen zum Ziel den Holzverbrauch im GHD-Sektor zu ermitteln (vgl. Kapitel 2). Eine besondere Herausforderung besteht darin, bei einer schwierigen Datenlage, eine Methodik zu entwickeln, die es erlaubt, jährlich aktuelle Verbrauchswerte zu ermitteln. Auf Basis eines Restrechnungsansatzes (Weimar 2016) konnten erste Ergebnisse für eine Zeitreihe zum GHD-Sektor von 2003 bis 2014 für die Erneuerbare-Energien-Statistik berechnet werden. Der Ansatz beruht auf einer Verschneidung von Daten zur energetischen Holznutzung aus dem Forschungsprojekt „Rohstoffmonitoring Holz“¹ mit denen der amtlichen Energiestatistik. Die ersten Berechnungen erfolgten mit Daten auf hoch aggregierter Ebene und einer entsprechend einfach gehaltenen Methodik zur Ermittlung der Zeitreihen. Zielsetzung dieses Projekts ist daher eine Überprüfung des methodischen Ansatzes durch eine detaillierte Analyse der zur Verfügung stehenden empirischen Daten aus dem Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“. Auf dieser Grundlage wird der Holzeinsatz im GHD-Sektor für den Zeitraum 2003 bis 2017 ermittelt sowie ein Fortschreibungstool entwickelt. Das Fortschreibungstool soll eine frühzeitige Abschätzung des Vorjahresverbrauchs von Holz im GHD-Sektor ermöglichen. Neben diesen zentralen Zielsetzungen werden Grundlagen für Informationsbedarfe und die nationale und internationale Berichterstattung bezüglich der energetischen Holznutzung erarbeitet.

Ausgehend von der zuvor geschilderten Zielsetzung ist der Bericht wie folgt aufgebaut. In Kapitel 2 wird der aktuelle Wissensstand zum GHD-Sektor aufbereitet und analysiert. Im Fokus stehen die methodischen Ansätze, die verwendeten Daten sowie die erzielten Ergebnisse mit Bezug zum Holzeinsatz und der berücksichtigten Brennstoffe. Es folgt in Kapitel 3 eine Aufbereitung des aktuellen Wissensstands zum Bestand an Holzfeuerungsanlagen in Deutschland. Ausgehend von einer Literaturanalyse zum Anlagenbestand werden konkrete Werte für die Jahre 2015 und 2016 bestimmt. Es erfolgte eine Differenzierung des Anlagenbestands nach Sektoren, Beschickungsarten und Brennstoffarten sowie eine Einordnung der erzielten Ergebnisse. Im anschließenden Kapitel 4 erfolgen die konkreten Berechnungen und Analysen zum energetischen Holzverbrauch im GHD-Sektor. Ausgangspunkt der Berechnungen sind Daten aus dem Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“. Die Ergebnisse dieser Berechnungen bilden wiederum die Grundlage für das Fortschreibungstool, das in Kapitel 5 vorgestellt wird. Kapitel 6 schließt diese Arbeitsschritte mit einer kritischen Würdigung sowie einem Ausblick. Den Abschluss dieses Projektberichts bildet mit Kapitel 7 die Darstellung der Informationsbedarfe und internationalen Berichterstattung bezüglich der energetischen Holznutzung. Ergänzend folgen im Bericht ein Anhang mit ergänzendem Datenmaterial und eine Literaturübersicht.

¹ Das Verbundvorhaben „Rohstoffmonitoring Holz“ wurde gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Projektträger war die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR). Die Laufzeit des Projekts war von Dezember 2014 bis Juni 2018. Das „Rohstoffmonitoring Holz“ gibt es jedoch bereits seit dem Jahr 1999. Daher sind auch für den Zeitraum vor 2014 Daten verfügbar.

2 Aufbereitung und Analyse des aktuellen Wissensstandes

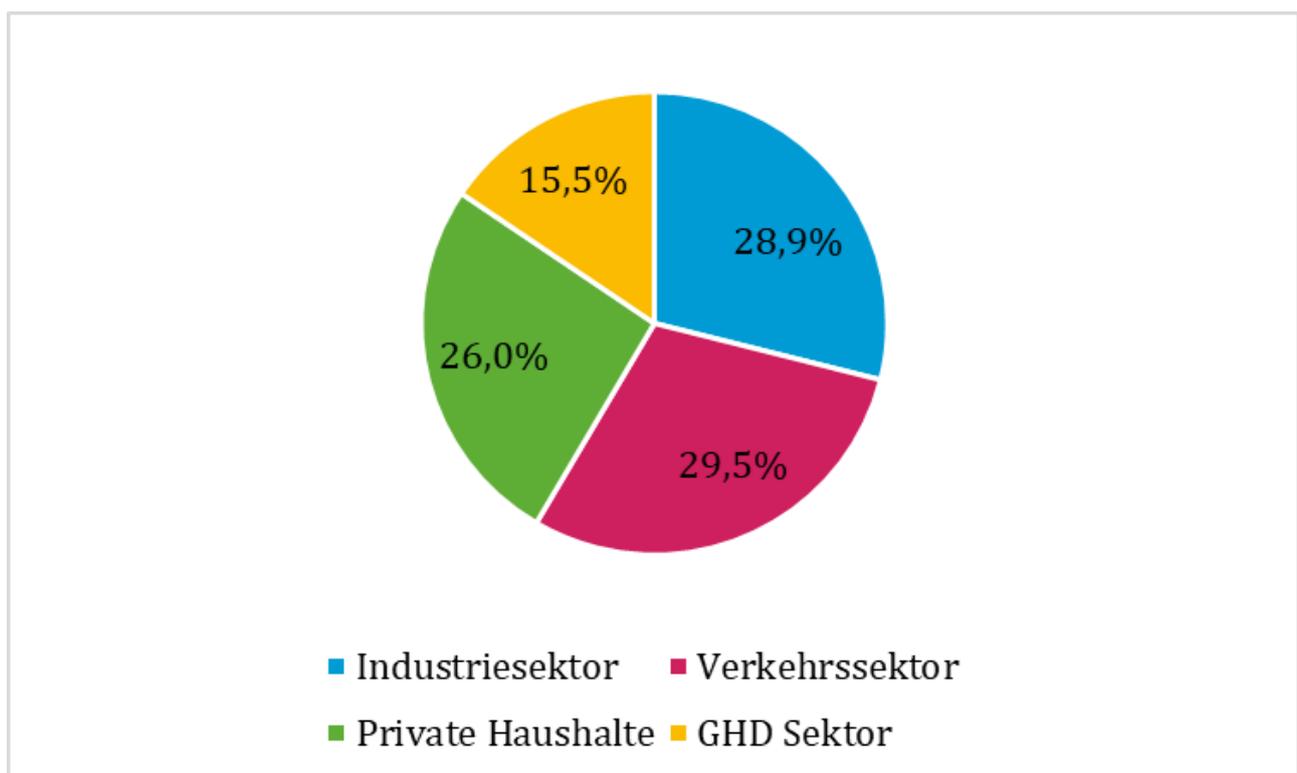
2.1 Einleitung

2.1.1 Einordnung des GHD-Sektors in Energiestatistik und Energiebilanzierung

Die Energiebilanz teilt den Energiesektor in drei Hauptteile auf. Es wird zwischen der Primärenergiebilanz, Umwandlungsbilanz und dem Endenergieverbrauch unterschieden. Die Verfügbarkeit von Energieträgern wird in der Primärenergiebilanz aufgeführt. Der Umwandlungssektor stellt die Umwandlung von Energierohstoffen in z. B. Strom oder Wärme sowie weitere Brennstoffe wie Holzkohle dar. Endenergieverbraucher nutzen Energieträger zur Erzeugung von z. B. Prozess- und Niedertemperaturwärme, mechanischer Energie oder Beleuchtung. Der Industriesektor, private Haushalte, Verkehr sowie der Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) sind die vier Bereiche der Endenergieverbraucher. Seit 1995 wird der GHD-Sektor (früher Kleinverbrauchssektor genannt) in der Energiestatistik getrennt von privaten Haushalten betrachtet. Die Trennung wurde vollzogen, um den Anforderungen nach Transparenz in der Energiestatistik besser zu entsprechen (Ströbele et al. 2013, Energiebilanzen 2015) und homogenere sektorale Einheiten zu bilden.

Wie in Abbildung 3 zu sehen, waren im Jahr 2017 der Industrie- und Verkehrssektor mit einem Anteil von jeweils ca. 30 % die Sektoren in denen am meisten Endenergie verbraucht wurde. Private Haushalte nutzten 26 % und der GHD-Sektor 16 % der gesamten Endenergie (AGEB 2018a).

Abbildung 3: Endenergieverbrauch in Deutschland in 2017



Quelle: AGEB (2018a)

Für die Abgrenzung des Industriesektors ist die Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2008) maßgeblich. Der Industriesektor umfasst 14 Branchen aus den Bereichen Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden und des verarbeitenden Gewerbes.

Der Endenergieverbrauch im Schienen-, Straßen- und Luftverkehr sowie der Küsten- und Binnenschifffahrt wird dem Verkehrssektor zugeordnet. Es wird ausschließlich Energie berücksichtigt, die zur Erstellung von Transportleistungen aufgewendet wird. Mittelbarer Energieverbrauch (z. B. Beleuchtung von Verkehrsein-

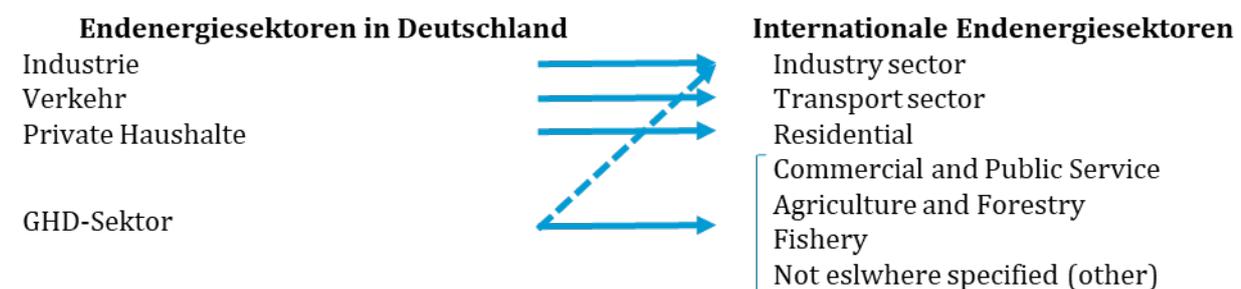
richtungen) und Kraftstoffverbrauch in der Landwirtschaft, dem Baugewerbe und dem Militär werden an der Stelle nicht berücksichtigt und im GHD-Sektor mit bilanziert.

Alle übrigen Endenergieverbraucher, abzüglich der privaten Haushalte, die einen eigenständigen Sektor darstellen, gehören zum GHD-Sektor. Dieser umfasst Gewerbebetriebe in der Regel weniger als 20 Beschäftigten, soweit sie nicht im produzierenden Gewerbe erfasst werden. Außerdem beinhaltet der GHD-Sektor Geschäftsgebäude und Räume gewerblicher Art, die Landwirtschaft, Handelsunternehmen sowie private und öffentliche Dienstleistungsunternehmen (z. B. Banken, Versicherungen, Krankenhäuser und Behörden) (Görge et al. 2012, Energiebilanzen 2015).

2.1.2 Internationale Definition des GHD-Sektors

In der internationalen Berichterstattung ist der GHD-Sektor in mehrere Untergruppen aufgeteilt. Wie in Abbildung 4 zu sehen, setzt sich der Sektor aus gewerblichen und öffentlichen Dienstleistungen, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei sowie Sonstige, die anderweitig nicht genannt sind, zusammen. Als Besonderheit im internationalen Vergleich ist in Deutschland die statistische Abschneidegrenze zu sehen. Der Energieverbrauch von Gewerbebetrieben mit in der Regel weniger als 20 Beschäftigten wird in der europäischen und internationalen Systematik unter dem Industriesektor erfasst und nicht, wie in der deutschen Energiestatistik, unter dem Sektor GHD.

Abbildung 4: Zuordnung des GHD-Sektors zu den Energiesektoren der europäischen und internationalen Berichterstattung



Quelle: Nach Viehmann et al. (2011)

2.2 Bisher durchgeführte Untersuchungen mit Bezug zur energetischen Holzverwendung im GHD-Sektor

In der Vergangenheit wurden verschiedene Studien veröffentlicht, die im Kontext der energetischen Holzverwendung im GHD-Sektor stehen. Eine entsprechende Literaturübersicht für den Zeitraum von 2000 bis 2009 ist bei Viehmann et al. (2011) zu finden und hier nachfolgend in Tabelle 2 wiedergegeben. Viehmann et al. (2011) analysierten die Methoden der Datenerhebung und Hochrechnungsverfahren von Studien mit nationalem oder regionalem Bezug zum GHD-Sektor.

Tabelle 2: Im Zeitraum von 2000 bis 2009 veröffentlichte Untersuchungen mit Bezug zur energetischen Holzverwendung im GHD-Sektor

Titel	Autoren	Institut	Referenzjahre	Jahr der Veröffentlichung
Ermittlung der mittleren Emissionsfaktoren zur Darstellung der Emissionsentwicklung aus Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher	Pfeiffer, F.; Struschka, M.; Baumbach, G.	Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen (IVD), Universität Stuttgart	1995	2000
Wärmegewinnung aus Biomasse	Merten, D.; Falkenberg, D.; Nill, M.; Kaltschmitt, M.	Leipziger Institut für Energetik und Umwelt GmbH (IE)	2001	2004
Standorte der Holzwirtschaft: Einsatz von Holz in Biomasse- und Holzfeuerungsanlagen	Weimar, H.; Mantau, U.	Zentrum für Holzwirtschaft, Universität Hamburg (UHH)	2004	2006
Die energetische Nutzung von Holz in kommunalen und gewerblichen Kleinanlagen	Musialczyk, C.; Mantau, U.	Zentrum für Holzwirtschaft, Universität Hamburg (UHH)	2006	2007
Feuerstättenzählung in Niedersachsen für regenerative Brennstoffe 2006	Zelinski, V.; Neff, A.; Tomschke, C.; Welmert, J.; Loewen, A.; Kopka, A.; Ihl, C.; Weihs, S.	Hochschule für angewandte Wissenschaften und Kunst (HAWK); Landesinnungsverband (LIV) für das Schornsteinfegerhandwerk	2005 2006	2007
Feuerstättenzählung in Niedersachsen für Holz-befeuerte Anlagen bis 1MWth	Jakobs, U.	Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe und Bioökonomie e.V. (3N)	2006 2007 2008	2008

Titel	Autoren	Institut	Referenzjahre	Jahr der Veröffentlichung
Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung	Struschka, M.; Kilgus, S.; Springmann, M.; Baumbach, G.	Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen (IVD), Universität Stuttgart	2005	2008
Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006, Sondererhebung Nutzung Erneuerbare Energien	Schlomann, B.; Kleeberger, H.; Herzog, T.	Institut für System- und Innovationsforschung (ISI); Lehrstuhl für Energie- und Anwendungstechnik (IfE) TU München; Gesellschaft für Konsumforschung (GfK)	2006	2008
Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006	Schlomann, B.; Kleeberger, H.; Herzog, T.	Institut für System- und Innovationsforschung (ISI); Lehrstuhl für Energie- und Anwendungstechnik (IfE) TU München; Gesellschaft für Konsumforschung (GfK)	2003 2004 2005 2006	2009

Quelle: Nach Viehmann et al. (2011)

In Tabelle 3 sind die Untersuchungen mit Bezug zur energetischen Holzverwendung im GHD-Sektor aufgeführt, die nach 2009 veröffentlicht wurden. Im Folgenden werden diese Studien bezüglich der Differenzierung des GHD-Sektors, Hochrechnung des Brennstoffverbrauchs und erfasste Holzsortimente untersucht.

Tabelle 3: Untersuchungen, die ab dem Jahr 2009 veröffentlicht wurden und Bezug zur energetischen Holzverwendung im GHD-Sektor haben

Titel	Autoren	Institut	Referenzjahre	Jahr der Veröffentlichung
Ermittlung des Verbrauchs biogener Festbrennstoffe im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD-Sektor)	Viehmann, C.; Westerkamp, T.; Schwenker, A.; Schenker, M.; Thrän, D.; Lenz, V.; Ebert, M.	Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ), Leipziger Institut für Energie GmbH (IE)	2008	2011
Energieholzmarkt Bayern 2010	Friedrich, S.; Schumann, C.; Zormaier, F.; Schulmeyer, F.; Dietz, E.; Burger, F.; Hammerl, R.; Borchert, H.; Egner, J.-P.	Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft	2010	2012
Die energetische Nutzung von Holz in Biomasseanlagen unter 1 MW in Nichthaushalten im Jahr 2010	Mantau, U.; Möller, B.; Jochem, D.	Zentrum für Holzwirtschaft, Universität Hamburg (UHH)	2010	2012
Einsatz von Holz in Biomasse-Großfeuerungsanlagen 2011	Weimar, H.; Döring, P.; Mantau, U.	Zentrum für Holzwirtschaft, Universität Hamburg (UHH)	2011	2012
Energieholzmarkt Bayern 2012 - Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern hinsichtlich Aufkommen und Verbrauch	Gaggermeier, A.; Friedrich, S.; Hiendlmeier, S.; Zettinig, C.	Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft C.A.R.M.E.N. e.V.	2012	2014

Titel	Autoren	Institut	Referenzjahre	Jahr der Veröffentlichung
Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013	Schlomann, B.; Wohlfarth, K.; Kleeberger, H.; Hardi, L.; Geiger, B.; Pich, A.; Gruber, E.; Gerspacher, A.; Holländer, E.; Roser, A.	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI); Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (IfE), Technische Universität München (TUM); GfK Retail and Technology GmbH; IREES GmbH Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien	2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013	2015
Erstellen der Anwendungsbilanzen 2013 bis 2017 für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	Kleeberger, H.; Hardi, L.; Geiger, B.	Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (IfE), Technische Universität München (TUM)	2013 2014 2015 2016 2017	2018
Feuerstättenzählung Niedersachsen 2015 - für holzbeheizte Anlagen im Geltungsbereich der 1. und 4. BImSchV	Kralemann, M.; Röther, T.	Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachhaltige Rohstoffe und Bioökonomie e.V. (3N); Landesinnungsverband für das Schornsteinfegerhandwerk Niedersachsen (LIV); Zentralen Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe (ZUS LLG)	2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015	2016

Titel	Autoren	Institut	Referenzjahre	Jahr der Veröffentlichung
Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher	Tebert, C.; Volz, S.; Töfge, K.	ÖKOPOL GmbH – Institut für Ökologie und Politik	2010	2016
Energieholzmarkt Bayern 2014	Weidener, U.; Hiendlmeier, S.; Zenker, M.; Borchert, H.; Friedrich, S.; Schulmeyer, F.; Leuchtweis, C.	Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft	2014	2016
Die energetische Nutzung von Holz in Biomassefeuerungsanlagen unter 1 MW in Nichthaushalten im Jahr 2016	Döring, P.; Glasenapp, S.; Weimar, H.; Mantau, U.	Zentrum für Holzwirtschaft, Universität Hamburg (UHH) INFRO – Informationssysteme für Rohstoffe	2016	2018
Einsatz von Holz in Biomasse-Großfeuerungsanlagen 2016	Döring, P.; Weimar, H.; Mantau, U.	Zentrum für Holzwirtschaft, Universität Hamburg (UHH) INFRO – Informationssysteme für Rohstoffe	2016	2018

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Für das Jahr 2008 ermittelten Viehmann et al. (2011) im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) den Verbrauch biogener Festbrennstoffe bzw. die energetische Holzverwendung im GHD-Sektor in Deutschland. Es wurden fünf Branchen identifiziert, in denen Holz schwerpunktmäßig energetisch verwendet wird. Für jede dieser Branchen wurde der gesamte Wärmebedarf anhand von spezifischen Bezugsgrößen und Kennziffern zum Wärmeverbrauch berechnet. Anschließend wurde der Anteil an Wärme, der durch biogene Festbrennstoffe bzw. Holz gedeckt wird, ermittelt. Der gesamte Wärmebedarf, der durch biogene Festbrennstoffe gedeckt wird, wurde zudem auf drei Holzsortimente (Hackschnitzel, Pellets und Stückholz) aufgeteilt.

Schlomann et al. (2015) ermittelten in einer Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) den energieträgerspezifischen Verbrauch im GHD-Sektor. Die Studie deckt den Zeitraum von 2006 bis 2013 ab. Der GHD-Sektor wurde in 14 Verbrauchergruppen aufgeteilt. Für jede Verbrauchergruppe wurden Bezugseinheiten (i.d.R. Erwerbstätigenzahl) festgelegt und quantifiziert. Anschließend wurde der Verbrauch verschiedener Energieträger (u. A. Holz) über Verbrauchskennziffern für die Bezugseinheiten hochgerechnet. Für einzelne Jahre stammen die Verbrauchskennziffern aus Stichprobenerhebungen. Für die

Jahre, in denen keine Stichproben vorliegen, wurden die Verbrauchskennziffern rechnerisch ermittelt.

Kleeberger et al. (2018) bauten im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. auf die Arbeit von Schlomann et al. (2015) auf und erweiterten die Zeitreihe der Energieverbräuche um die Jahre 2013 bis 2017. Jedoch führten Kleeberger et al. (2018) keine neuen empirischen Erhebungen durch. Die Verbrauchskennziffern für die Berechnung des gesamten Energieverbrauchs der Jahre 2013 bis 2015 wurden auf Grundlage der temperaturangepassten Kennwerte aus den Vorläuferstudien berechnet.

Im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) ermittelten Tebert et al. (2016) die Emissionen von kleinen und mittleren Feuerungsanlagen (bis 1 MW), differenziert nach Haushalten, Gewerbe Handel und Dienstleistungen (GHD) sowie Militär. Verbrauchswerte wurden für das Basisjahr 2010 und die Prognosejahre 2015, 2020, 2025 und 2030 angegeben. Als Grundlage für die Emissionsberechnung wurde der energetische Verbrauch, u. A. von Holz, berechnet. Als Basis für die Ableitung des Brennstoffverbrauchs für das Referenzjahr 2010 diente der Bestand an Feuerungsanlagen, die mittlere Nennwärmeleistung und jährlichen Vollbenutzungsstunden der Anlagen. Für die Szenarienbildung wurde auf externe Literatur zurückgegriffen.

Für die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft analysierten Friedrich et al. (2012) für das Jahr 2010, Gaggermeier et al. (2014) für das Jahr 2012 und Weidener et al. (2016) für das Jahr 2014 den gesamten Energieholzmarkt in Bayern. In allen Studien wurden das Holzaufkommen und die energetische Holzverwendung untersucht sowie eine Zusammenfassung als Holzbilanz präsentiert. Die Hochrechnung des energetisch verwendeten Holzes erfolgte über den Anlagenbestand und, in Abhängigkeit von der Datenlage, über Verbrauchskennziffern oder die mittlere Nennwärmeleistung und jährliche Vollbenutzungsstunden der Anlagen.

Das 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen – Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V. ermittelte, in Zusammenarbeit mit dem Landesinnungsverband für das Schornsteinfegerhandwerk Niedersachsen (LIV), den Bestand an Holzfeuerungsstätten und deren Holzverbrauch in Niedersachsen (Kralemann und Röther 2016). Zusätzlich wurde die Substitution fossiler Energieträger und der Emissionsausstoß nach Anlagengröße bestimmt. Die Berechnung des Holzverbrauchs erfolgte für Anlagen bis 1 MW mithilfe von Informationen aus der Verbrauchsdatenerhebung von Kralemann (2015), in der Betreiber von Feuerstätten bei einer empirischen Befragung Angaben zu ihrem energetischen Holzverbrauch machten. Für Anlagen ab 1 MW wurde der Brennstoffverbrauch aus den Emissionserklärungen der Anlagenbetreiber des Jahres 2012 herangezogen. Die aktuelle Studie von Kralemann und Röther (2016) beinhaltet Daten in der Zeitreihe von 2002 bis 2015.

Mantau et al. (2012), Weimar et al. (2012), Döring et al. (2018a) und Döring et al. (2018b) analysierten im Rahmen der Projekte „Holzrohstoffmonitoring“ bzw. „Rohstoffmonitoring Holz“ den energetischen Holzverbrauch in Biomasseanlagen bis und ab 1 MW FWL für die Referenzjahre 2010 bzw. 2011 und 2016. Die beiden erstgenannten Studien sind mit Unterstützung des BMEL sowie verschiedener Verbände entstanden. Das „Rohstoffmonitoring Holz“ war ein Projekt im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Ziel dieser Untersuchungen war es, die energetische Nutzung von Holzrohstoffen in Nicht-Haushalten in Deutschland zu erfassen. Der energetische Holzverbrauch in Feuerungsanlagen wird durch Befragungen der Anlagenbetreiber ermittelt. Für Feuerungsanlagen ab 1 MW FWL erfolgte jeweils eine Vollerhebung. Der Holzeinsatz in Feuerungsanlagen mit einer FWL unter 1 MW wurde über Verbrauchskennwerten aus Stichprobenerhebungen und Informationen zum gesamten Anlagenbestand auf Deutschland hochgerechnet. Zusammen mit einer weiteren Untersuchung zum Holzverbrauch in privaten Haushalten (Döring et al. 2016) und in sonstigen Anlagen, die Holz neben anderen Brennstoffen in geringem Umfang einsetzen (siehe Kapitel 4.4), ermöglichen die Ergebnisse des Projekts „Rohstoffmonitoring Holz“ Aussagen über den gesamten energetischen Holzverbrauch in Deutschland.

2.2.1 Differenzierung des GHD-Sektors und Identifikation von Hochrechnungsgrößen

Wie bereits weiter oben ausgeführt, sind dem GHD-Sektor sehr unterschiedliche Energieverbraucher zugeordnet, die sehr heterogene Brennstoffverbräuche aufweisen können. Um eine Untersuchung des Brennstoff-

verbrauchs und eine spätere Hochrechnung anhand von geeigneten Bezugsgrößen zu ermöglichen, wurden in der Literatur Vorschläge zur Strukturierung des GHD-Sektors gemacht. Im Allgemeinen kann zwischen einer Aufteilung nach Branchen (z. B. Landwirtschaft, Baugewerbe, Holzgewerbe etc.) und Feuerungsanlagen (z. B. Heizkessel für Pellets, Heizkessel für Scheitholz, Kamine etc.) unterschieden werden. In Tabelle 4 sind die in der Literatur beschriebenen Vorgehensweisen aufgeführt. Einige dieser Studien befassen sich nicht explizit mit dem GHD-Sektor. Allerdings ist davon auszugehen, dass der Untersuchungsgegenstand dieser Studien den Bestand von Feuerungsanlagen im GHD-Sektor zu größeren Teilen abdeckt.

Tabelle 4: Differenzierung des Untersuchungsgegenstandes

Studie	Differenzierung
Viehmann et al. (2011)	Landwirtschaft/Gartenbau, Holzgewerbe, Gastgewerbe, Öffentliche Verwaltung, Erziehung/Unterricht
Friedrich et al. (2012)	Holzfeuerungen in der Holzverarbeitung: 15 – 50 kW _{th} Holzfeuerungen außerhalb der Holzverarbeitung: 15 – 50 kW _{th} Biomasseheizkraftwerke zur Wärmeerzeugung Biomasseheizkraftwerke zur Stromerzeugung
Mantau et al. (2012)	Anlagen unterteilt in gewerblichen und kommunalen Sektor, sowie in 5 Feuerungswärme­klassen: 1. 15 – 49 kW 2. 50 – 99 kW 3. 100 – 149 kW 4. 150 – 499 kW 5. 500 – 1.000 kW
Weimar et al. (2012)	Anlagen unterteilt nach EEG-Anlagen, Wärmeanlagen, Holzverarbeitung, Holzwerkstoffindustrie, Sägeindustrie sowie Holz- und Zellstoffindustrie, und unterteilt in 4 Feuerungswärme­klassen: 1. 1.000 – 5.000 kW 2. 5.000 – 24.999 kW 3. 25.000 – 49.999 kW 4. 50.000 kW und mehr
Gaggermeier et al. (2014)	Holzfeuerungen in der Holzverarbeitung: 31 – 100 kW _{th} Holzfeuerungen außerhalb der Holzverarbeitung: 31 – 100 kW _{th} Biomasseheizkraftwerke zur Wärmeerzeugung: > 100 kW _{th} Biomasseheizkraftwerke zur Stromerzeugung: > 100 kW _{th}

Studie	Differenzierung
Schlomann et al. (2015)	Baugewerbe, Büroähnliche Betriebsgebäude, Herstellungsbetriebe, Handel, Krankenhäuser/Schulen/Bäder, Beherbergung/Gaststätten/Heime, Nahrungsmittelgewerbe, Wäschereien, Landwirtschaft, Gartenbau, Flughäfen, Textil/Bekleidung/Spedition, nicht über Fragebögen erfasste Betriebe und übrige Verbraucher
Kleeberger et al. (2018)	Baugewerbe, büroähnliche Betriebsgebäude, Herstellungsbetriebe, Handel, Krankenhäuser/Schulen/Bäder, Beherbergung/Gaststätten/Heime, Nahrungsmittelgewerbe, Wäschereien, Landwirtschaft, Gartenbau, Flughäfen, Textil/Bekleidung/Spedition, nicht über Fragebögen erfasste Betriebe und übrige Verbraucher
Kralemann und Röther (2016)	<p>Anlagen bis 1 MW FWL <i>mit 8 Feuerungskategorien</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Scheitholz-Einzelöfen ▶ Scheitholz-Zentralheizungen < 15 kW ▶ Scheitholz-Zentralheizung > 15 kW ▶ Pellet-Einzelöfen ▶ Pellet-Zentralheizungen < 15 kW ▶ Pellet-Zentralheizungen > 15 kW ▶ Holzhackschnitzel-Zentralheizungen < 50 kW ▶ Holzhackschnitzel-Zentralheizungen > 50 kW <p><i>bzw. 3 Summenkategorien</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Scheitholz-Feuerungen ▶ Pellet-Feuerungen ▶ Holzhackschnitzel-Feuerungen <p>sowie Anlagen ab 1 MW FWL</p>

Studie	Differenzierung
Tebert et al. (2016)	<p>Handbeschickte Heizkessel für Holz- und Kohlebrennstoffe: 4 – 25 kW, 25 – 50 kW und > 50 kW</p> <p>Heizkessel für Pellets: 4 – 25 kW, 25 – 50 kW und > 50 kW</p> <p>Heizkessel für Hackschnitzel: 4 – 25 kW, 25 – 50 kW und > 50 kW</p> <p>Dauerbrandöfen: < 15 kW</p> <p>Kachelöfen: < 15 kW</p> <p>Kaminöfen: < 15 kW</p> <p>Pelletöfen: < 15 kW</p> <p>Kamine (offen/geschlossen): < 15 kW</p> <p>Badeöfen: < 15 kW</p> <p>Herde: < 15 kW</p> <p>Handbeschickte Heizkessel (gewerblich): ≥ 50 kW</p> <p>Unterschubfeuerung (gewerblich): ≥ 50 kW</p> <p>Vorofenfeuerung (gewerbliche): ≥ 50 kW</p> <p>Einblasfeuerung (gewerbliche): ≥ 50 kW</p>
Weidener et al. (2016)	<p>Holzfeuerungen: 50 – 150 kW_{th}</p> <p>Biomasseheizkraftwerke zur Wärmeerzeugung: > 150 kW_{th}</p> <p>Biomasseheizkraftwerke zur Stromerzeugung: > 150 kW_{th}</p>
Döring et al. (2018a)	<p>Anlagen unterteilt in gewerblichen und kommunalen Sektor, unterteilt in 5 Feuerungswärmeklassen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 16 – 50 kW 2. 51 – 100 kW 3. 101 – 150 kW 4. 151 – 500 kW 5. 501 – 999 kW
Döring et al. (2018b)	<p>Anlagen unterteilt in 6 Feuerungswärmeklassen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 1.000 – 4.999 kW 2. 5.000 – 9.999 kW 3. 10.000 – 19.999 kW 4. 20.000 – 49.999 kW 5. 50.000 – 99.999 kW 6. 100.000 kW und mehr

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Viehmann et al. (2011) strukturierten den gesamten GHD-Sektor anhand der Wirtschaftszweigklassifikation (WZ 2008) in acht Gruppen². Für die Ermittlung des Verbrauchs biogener Festbrennstoffe wurden fünf Hauptgruppen identifiziert und mehrere Untergruppen (z. B. Sägewerk, Holzwerkstoffindustrie, Verpackungsindustrie, etc.) mit jeweils unterschiedlichen Bezugsgrößen definiert (Tabelle 5). Informationen über die Bezugsgrößen stammen aus unterschiedlichen Quellen, wie z. B. dem Statistischen Bundesamt, von

² Landwirtschaft, Fischereiwirtschaft, Handel, Gewerbe (<20 Beschäftigte), Dienstleistungen, Öffentliche Verbraucher, Medizinische/Soziale Einrichtungen und übrige Verbraucher

Landwirtschaftskammern, Clusterstudien Forst und Holz sowie dem Bundesverband für Holz und Kunststoff.

Tabelle 5: Gruppierung des Sektors und Bezugsgrößen bei Viehmann et al. (2011)

Hauptgruppe	Bezugsgrößen der Untergruppen
Landwirtschaft/Gartenbau	Tierbestand, Anbaufläche
Holzgewerbe	Holzeinsatz, Einschnitt
Gastgewerbe	Übernachtungen, Beschäftigte
Öffentliche Verwaltung	Beschäftigte
Erziehung/Unterricht	Schüler/Kinder

Quelle: Nach Viehmann et al. (2011)

Schlomann et al. (2015) und Kleeberger et al. (2018) differenzierten die Branchen des GHD-Sektors in 14 Gruppen³. Für jede Gruppe wurden die Daten zu den Bezugsgrößen dem Unternehmensregister und der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung entnommen. In den meisten Fällen wurde die Anzahl an Erwerbstätigen als Bezugsgröße herangezogen. Lediglich bei den Gruppen Krankenhäuser/Schulen/Bäder und Flughäfen wurden Planbetten/Schüler/Wasserfläche bzw. Verkehrseinheiten als Basis für die Hochrechnung verwendet.

Als Bezugsgröße für die Berechnung des Energieverbrauchs im GHD-Sektor verwendeten Tebert et al. (2016) die Anzahl an Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe. Der Anlagenbestand wurde nach Anlagentypen und Leistungsbereichen unterteilt (Tabelle 4). Als Ausgangswert für die Berechnung des Anlagenbestands im Jahr 2010 verwendeten Tebert et al. (2016) den von Struschka et al. (2008) ermittelten Anlagenbestand für das Jahr 2005. Die Anzahl jährlich verkaufter Anlagen wurde zu diesem Wert addiert und stillgelegte Anlagen subtrahiert. Informationen für Heizkesselfeuerungen stammten vom Deutsche Pelletinstitut (DEPI), vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) und aus eigenen Annahmen. Für Einzelraumfeuerungsanlagen wurden Absatz- und Stilllegungsraten des Industrieverbands Haus-, Heiz und Küchentechnik e.V. (HKI) sowie eigene Annahmen verwendet. Die Aufteilung des ermittelten Anlagenbestands auf die Sektoren GHD (inkl. Militär) und Haushalte erfolgte mit Hilfe der anteiligen Verteilung aus den Ergebnissen von Struschka et al. (2008) und unter der Annahme, dass Restholz und Hackschnitzel ausschließlich im GHD-Sektor verbrannt werden. Die Anlagenstruktur für die Jahre 2015, 2025 und 2030 wurde auf Grundlage des Bezugsjahrs 2010 so angepasst, dass resultierende Energieverbräuche in etwa den prognostizierten Energieverbrauchswerten aus der Studie Matthes et al. (2013) entsprechen.

Weidener et al. (2016) berechneten die energetische Holzverwendung in Holzfeuerungen und Biomasseheizkraftwerken anhand von Bestandszahlen. Der Anlagenbestand wurde in Holzfeuerungen von 50 bis 150 kW_{th}, Biomasseheizkraftwerke zur Wärmeerzeugung ab 150 kW_{th} und Biomasseheizkraftwerke zur Stromerzeugung ab 150 kW_{th} eingeteilt. Mit diesem Vorgehen unterscheidet sich die Studie von den Vorgängerstudien der Jahre 2012 und 2010. Für das Jahr 2012 grenzten Gaggermeier et al. (2014) Holzfeuerungen nach der Nennwärmeleistung (31 bis 100 kW_{th}) ein. Außerdem wurden Anlagen schon ab 100 kW_{th} zu Biomasseheiz(kraft)werken gezählt. Im Jahr 2010 wurden Holzfeuerungen mit einer Feuerungswärmeleistung von 15 bis 50 kW_{th} berücksichtigt. Zu der Leistung von Biomasseheizkraftwerken wurden keine Angaben gemacht (Friedrich et al. 2012). Die Bestandszahlen der Holzfeuerungen in Wohnanlagen, Gewerbebetrieben und öffentlichen Gebäuden wurden von Weidener et al. (2016) für das Jahr 2014 anhand von Daten des Landesinnungsverbands für das Bayerische Kaminkehrerhandwerk ermittelt. Eine Aufteilung nach Leistungs-

³ Baugewerbe, büroähnliche Betriebsgebäude, Herstellungsbetriebe, Handel, Krankenhäuser/Schulen/Bäder, Beherbergung/Gaststätten/Heime, Nahrungsmittelgewerbe, Wäschereien, Landwirtschaft, Gartenbau, Flughäfen, Textil/Bekleidung/Spedition, nicht über Fragebogen erfasste Betriebe und übrige Verbraucher

bereichen erfolgte anhand von Ergebnissen aus der Zusammenarbeit mit dem DBFZ.

Gaggermeier et al. (2014) und Friedrich et al. (2012) hatten keinen Zugang zu Bestandsinformationen des Bayerischen Kaminkehrerhandwerks. Für das Jahr 2012 bzw. für 2010 wurde der Anlagenbestand über die Anzahl Holzverarbeitender Betriebe sowie über Antragszahlen von Förderprogrammen ermittelt. Bei Biomasseheizkraftwerken geben Weidener et al. (2016) und Gaggermeier et al. (2014) jeweils jahresspezifische Bestandszahlen an. Wie diese Zahlen konkret ermittelt wurden, geht aus der Studie nicht hervor. Um den Gesamtbestand an Biomasseheizkraftwerken für das Jahr 2010 zu ermitteln, glichen Friedrich et al. (2012) die Adressdatenbanken der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) und von CARMEN e.V. ab.

Kralemann und Röther (2016) ermittelten in ihrer Studie den Bestand an Holzfeuerungsanlagen in Niedersachsen und berechneten auf dieser Grundlage den energetischen Holzverbrauch. Die Informationen zum Anlagenbestand bis 1 MW stammen aus einer Befragung des LIV Niedersachsen. Mithilfe eines standardisierten Fragebogens wurden von Bezirksschornsteinfegermeistern für jeden Landkreis Feuerungsanlagen, getrennt nach 22 Feuerungsklassen, erfasst. Von 3N wurden diese Daten zu 8 Feuerungskategorien⁴ bzw. 3 Summenkategorien⁵ zusammengefasst. Feuerungsanlagen ab 1 MW wurden das erste Mal für das Jahr 2012 ermittelt. Diese Daten basieren auf Betreiberangaben, die im Zuge der Emissionserklärung durch die Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrenstoffe (ZUS LLG) bereitgestellt wurden. Eine sektorale Zuweisung des Anlagenbestands, z. B. auf den GHD-Sektor, erfolgte nicht.

Mantau et al. (2012) und Döring et al. (2018a) untersuchten den energetischen Holzverbrauch von Feuerungsanlagen bis 1 MW Feuerungswärmeleistung (FWL). Mantau et al. (2012) berechneten den gesamten Anlagenbestand für Deutschland in Anlehnung an eine von Musialczyk und Mantau (2007) entwickelte Methode. Musialczyk und Mantau (2007) schlugen vor den Anlagenbestand über den Zugang und den Abgang der Anlagen zu ermitteln. Dabei entsprechen die jährlichen Erstmessungen der Anzahl von Anlagen, die dem Bestand jährlich hinzugefügt werden. Für die Jahre 1986 bis 2006 stammen hierfür Informationen vom Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks (ZIV). Mantau et al. (2012) vervollständigten die Zeitreihe um die Jahre 2007 bis 2010. Für den Zugang im Anlagenbestand verwendeten Mantau et al. (2012) ebenfalls ZIV-Angaben über die Erstmessungen. Für die Berechnung des Abgangs im Anlagenbestand wurde unterstellt, dass Anlagen mit einer Laufzeit über 20 Jahre aus dem Bestand ausscheiden. Döring et al. (2018a) wichen von diesem Vorgehen ab. Sie bedienten sich der ZIV-Bestandsdaten über Holzfeuerungen im Geltungsbereich der 1. BImSchV ohne Einzelraumfeuerungsanlagen. Dies umfasst mechanisch- und handbeschickte Feuerungsanlagen der Brennstoffgruppen 4, 5, 5a, 6 und 7 nach § 3 der 1. BImSchV. In beiden Studien wurde der Anlagenbestand in fünf Feuerungswärmeleistungen eingeteilt und eine sektorale Aufteilung auf kommunale und gewerbliche Anlagen in Anlehnung an Merten et al. (2004) vorgenommen. Anlagen der Klassen 15 – 49 kW und 50 – 99 kW wurden auf Grundlage der BAFA-Förderstatistik den Sektoren private, gewerbliche und öffentliche Anlagen zugeordnet (BAFA 2019). Hierfür wurde unterstellt, dass die Aufteilung aus der BAFA-Förderstatistik auf den gesamten Anlagenbestand übertragbar ist. Anlagen größer 99 kW konnten nicht nach der BAFA-Förderstatistik aufgeteilt werden. Es wurden eigene Annahmen unterstellt. Eine Differenzierung von Anlagen, die dem GHD-Sektor angehören, ist nicht möglich, da nicht alle gewerbliche Anlagen dem GHD-Sektor zugeordnet werden können. Allerdings ist davon auszugehen, dass der überwiegende Anteil dieser Anlagen dem GHD-Sektor zuzuordnen ist.

Weimar et al. (2012) und Döring et al. (2018b) untersuchten den energetischen Holzverbrauch von Feuerungsanlagen ab 1 MW FWL. In einer umfassenden Adressenrecherche wurde der gesamte Anlagenbestand in Deutschland erfasst. Diesen teilten Weimar et al. (2012) anhand der FWL in vier Größenklassen ein. Außerdem wurden Anlagen differenziert nach Branchen (EEG-Anlagen, Wärmeanlagen, Holzverarbeitung,

⁴ Scheitholz-Einzelöfen, Scheitholz-Zentralheizungen < 15 kW, Scheitholz-Zentralheizung > 15 kW, Pellet-Einzelöfen, Pellet-Zentralheizungen < 15 kW, Pellet-Zentralheizungen > 15 kW, Holzhackschnitzel-Zentralheizungen < 50 kW und Holzhackschnitzel-Zentralheizungen > 50 kW

⁵ Scheitholz-Feuerungen, Pellet-Feuerungen und Holzhackschnitzel-Feuerungen

Holzwerkstoffindustrie, Sägeindustrie und Holz- und Zellstoffindustrie) unterschieden. Für das Jahr 2016 nahmen Döring et al. (2018b) eine Aufteilung des Anlagenbestands in sechs Leistungsklassen vor. Es ist zu vermuten, dass nur ein kleiner Teil der Anlagen des GHD-Sektors im Leistungsbereich ab 1 MW angesiedelt ist.

2.2.2 Methoden zur Ermittlung des Holzverbrauchs

Um den Energieverbrauch einer Grundgesamtheit zu ermitteln, muss neben den Bezugsgrößen entweder der durchschnittliche Energieverbrauch bzw. -bedarf je Bezugsgröße oder die Auslastung und Nennwärmeleistung der Feuerungsanlagen bekannt sein. In Tabelle 6 ist ein Vergleich der in der Literatur verwendeten Methoden zur Ermittlung des gesamten Energieverbrauchs dargestellt.

Tabelle 6: Ermittlung des Holzverbrauchs

Studie	Datenerhebung	Ermittlung des Holzverbrauchs	Untersuchungsregion
Viehmann et al. (2011)	Literaturrecherche, Multiplikatoreninterviews	Wärmebedarf/Bezugsgröße multipliziert mit dem Anteil biogener Festbrennstoffe	Deutschland
Friedrich et al. (2012)	Stichprobenerhebung	Durchschnittlicher Energieverbrauch/Feuerungsanlage	Bayern
Mantau et al. (2012)	Stichprobenerhebung	Durchschnittlicher Holzverbrauch/Feuerungsanlage	Deutschland
Weimar et al. (2012)	Als Vollerhebung konzipiert	Holzverbrauch/Feuerungsanlage	Deutschland
Gaggermeier et al. (2014)	Literaturrecherche, Stichprobenerhebung	Durchschnittlicher Energieverbrauch/Feuerungsanlage Vollbenutzungsstunden multipliziert mit der mittleren Nennwärmeleistung	Bayern
Schlomann et al. (2015)	Literaturrecherche, Stichprobenerhebung	Durchschnittlicher Energieverbrauch/Bezugsgröße	Deutschland
Kleeberger et al. (2018)	Auf Basis Schlomann et al. (2015)	Durchschnittlicher Energieverbrauch/Bezugsgröße	Deutschland
Kralemann und Röther (2016)	Stichprobenerhebung	<u>Unterhalb 1 MW</u> Durchschnittlicher Energieverbrauch/Feuerungsanlage <u>Oberhalb 1 MW</u> Emissionserklärung	Niedersachsen
Tebert et al. (2016)	Literaturrecherche	Vollbenutzungsstunden multipliziert mit der mittleren Nennwärmeleistung/Feuerungsanlage	Deutschland
Weidener et al. (2016)	Literaturrecherche, Stichprobenerhebung	Durchschnittlicher Energieverbrauch/Feuerungsanlage Vollbenutzungsstunden multipliziert mit der mittleren Nennwärmeleistung	Bayern

Studie	Datenerhebung	Ermittlung des Holzverbrauchs	Untersuchungsregion
Döring et al. (2018a)	Stichprobenerhebung	Durchschnittlicher Holzverbrauch/Feuerungsanlage	Deutschland
Döring et al. (2018b)	Als Vollerhebung konzipiert	Holzverbrauch/Feuerungsanlage	Deutschland

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Über eine Bedarfsrechnung ermittelten Viehmann et al. (2011) die Verwendung biogener Festbrennstoffe zur Wärmeengewinnung im GHD-Sektor. Durch die Multiplikation der Bezugsgrößen mit spezifischen Kennwerten für den Wärmebedarf konnte für jede Untergruppe der gesamte Wärmebedarf berechnet und anschließend für den gesamten GHD-Sektor aufsummiert werden. Informationen zu den Bedarfskennziffern stammen aus einer Vielzahl von Literaturquellen und Multiplikatoreninterviews. Experteneinschätzungen ermöglichten die Identifikation des Anteils an Wärme, der durch biogene Festbrennstoffe gedeckt wurde.

Schlomann et al. (2015) berechneten den Energieverbrauch für alle 14 Gliederungsgruppen des GHD-Sektors, indem sie die jeweiligen Bezugsgrößen mit Verbrauchskennziffern multiplizierten. Die Verbrauchskennziffern stammen aus Breiterhebungen der Jahre 2006, 2008, 2010 und 2012. Die Befragungen deckten ganz Deutschland ab und umfassten jeweils ca. 2000 Arbeitsstätten des GHD-Sektors. Für zwei der 14 Gruppen konnte der Energieverbrauch nicht über Befragungen erfasst werden. Der Energieverbrauch dieser beiden Gruppen wurde über sekundärstatistische Daten ermittelt. Die Repräsentativität der befragten Arbeitsstätten ist über eine Quotierung sichergestellt. Für die Jahre zwischen den Stichprobenerhebungen wurden die spezifischen Energieverbräuche durch Interpolation berechnet und um den Einfluss des Klimas und Auslastung der Heizungsanlagen korrigiert. Nach dem Jahr 2012 wurden keine weiteren empirischen Befragungen zum Energieverbrauch im GHD-Sektor durchgeführt.

Kleeberger et al. (2018) bauten auf die Arbeit von Schlomann et al. (2015) auf. Es wurden allerdings keine Befragungen zur Aktualisierung der Energieverbrauchskennziffern durchgeführt. Kennziffern für die Jahre 2013 bis 2017 wurden auf Basis der Vorjahre abgeleitet und jahresspezifische Einflüsse wie z. B. das Klima und die Auslastung der Heizungsanlagen bei der Extrapolation berücksichtigt.

Für das Jahr 2010 berechneten Tebert et al. (2016) den Verbrauch fester Brennstoffe durch Multiplikation der Bestände der Anlagentypen mit den jährlichen Vollbenutzungsstunden und der mittleren Nennwärmeleistung der Anlagentypen. Anlagenspezifische, jährliche Vollbenutzungsstunden basieren auf der Vorarbeit von Struschka et al. (2008). Die mittleren Nennwärmeleistungen ermittelten Tebert et al. (2016) aus den Informationen zur Anlagenstruktur und des Anlagenalters. Als Plausibilitätsprüfung wurden die Ergebnisse mit Angaben zum Energieverbrauch aus externen Quellen verglichen (z. B. AGEB 2018b und Mantau 2012). Für die Prognosejahre 2015, 2025 und 2030 wurden Energieverbräuche wie im Jahr 2010 auf Basis der jeweiligen aktualisierten Anlagenstrukturen berechnet.

Für Bayern ermittelten Weidener et al. (2016), Gaggermeier et al. (2014) und Friedrich et al. (2012) den Holzverbrauch separat für Holzfeuerungen, Biomasseheizkraftwerke zur Wärmeerzeugung und Biomasseheizkraftwerke zur Stromerzeugung. Weidener et al. (2016) berechnete die energetische Holzverwendung in Holzfeuerungen über Annahmen zu anlagenspezifischen Vollbenutzungsstunden und Nennwärmeleistungen. Bei Gaggermeier et al. (2014) wurde zwischen Holzfeuerungen in Betrieben aus dem Holzgewerbe und außerhalb des Holzgewerbes unterschieden. Für Holzfeuerungen aus dem Holzgewerbe wurden Verbrauchskennziffern zum Holzverbrauch anhand von Literaturangaben bestimmt. Für Anlagen außerhalb des Holzgewerbes wurde der Holzverbrauch anhand von Annahmen zu den Vollbenutzungsstunden und zur Nennwärmeleistung geschätzt. Friedrich et al. (2012) ermittelten Kennziffern zum Holzverbrauch von Holzfeuerungen anhand von Informationen aus den Gewerbestatistiken, Einschätzung von Branchenkennern und Literaturangaben.

Für den bekannten Bestand an Biomassekraftwerke berechneten Weidener et al. (2016) und Gaggermeier et al. (2014) den energetischen Holzeinsatz anhand von Befragungsergebnissen, Jahresberichtsdaten geförderter Heizkraftwerke, Leistungsangaben von EEG geförderten Anlagen oder aus Literaturangaben. Bei Anlagen, für die keine Verbrauchswerte bekannt waren, wurde der Holzverbrauch über die aus der empirischen Erhebung bekannten Angaben zu Volllaststunden und Leistungszahlen berechnet. Friedrich et al. (2012) berechneten die energetische Holzverwendung in Biomassekraftwerken indem sie Verbrauchskennziffern anhand einer Stichprobe ermittelten und diese anschließend auf die vorher definierte Grundgesamtheit hochrechneten.

Um den Holzverbrauch der niedersächsischen Feuerungsanlagen mit einer Feuerungsleistung bis 1 MW zu bestimmen, verwendeten Kralemann und Röther (2016) Informationen aus einer Zusatzerhebung von Kralemann (2015). Kralemann (2015) untersuchte dabei den Holzverbrauch von Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV. Die Ergebnisse der Studie basieren auf einer Befragung, die von Schornsteinfegern parallel zu Routineuntersuchungen durchgeführt wurde. Insgesamt tätigten 3.457 Betreiber von Feuerstätten Angaben zum Brennstoffverbrauch. Daraus wurden für die jeweiligen Anlagentypen der Feuerstättenzählung durchschnittliche Verbräuche abgeleitet. Der gesamte Holzverbrauch von Anlagen mit einer Feuerungsleistung bis 1 MW errechnete sich als die Summe der durchschnittlichen Holzverbräuchen multipliziert mit der Bestandszahl der jeweiligen Anlagentypen. Der Holzverbrauch in Anlagen ab 1 MW Feuerungsleistung wurde auf Basis der Emissionserklärungen abgeleitet, die von ZUS LLG bereitgestellt wurden. Betreiber von Anlagen im Geltungsbereich der 4. BImSchV müssen alle vier Jahre Emissionserklärungen abgeben. Da 2015 keine neuen Daten erhoben wurden entsprechen die bei Kralemann und Röther (2016) verwendeten Daten weitestgehend denen aus dem Jahr 2012. Der Zubau von Anlagen, Veränderungen an bestehenden Anlagen oder Stilllegungen wurden bei Kralemann und Röther (2016) berücksichtigt. Die Untersuchungen zu den niedersächsischen Feuerungsanlagen werden regelmäßig, weitestgehend basierend auf dem oben geschilderten Konzept, aktualisiert.

Mantau et al. (2012) und Döring et al. (2018a) führten Befragungen der Anlagenbetreiber zum Holzverbrauch durch. Für das Jahr 2010 erfassten Mantau et al. (2012) den energetischen Holzverbrauch von 231 Biomasseanlagen mit einer Feuerwärmeleistung bis 1 MW. 120 Anlagen konnten dem Gewerbe und 111 den Kommunen zugeordnet werden. Döring et al. (2018a) erfassten in ihrer Befragung für das Jahr 2016, 346 Biomasseanlagen im Leistungsbereich bis 1 MW. Dabei wurden 218 Anlagen dem Gewerbe und 128 Anlagen Kommunen zugeordnet. Der gesamte energetische Holzverbrauch berechnete sich durch Multiplikation des Anlagenbestands mit den aus der Befragung ermittelten durchschnittlichen, energetischen Holzverbräuchen nach Leistungsklassen.

Weimar et al. (2012) und Döring et al. (2018b) befragten Betreiber von Biomasseanlagen ab 1 MW zu ihrem energetischen Holzverbrauch. Die Befragung wurde als Vollerhebung konzipiert und durchgeführt. Für das Jahr 2011 konnten Weimar et al. (2012) 541 Biomasseanlagen ab 1 MW FWL mit einem aktiven Betriebsstatus erfassen. Döring et al. (2018b) ermittelten 504 Holzfeuerungsanlagen ab 1MW FWL. Für die meisten Anlagen wurde der Holzeinsatz empirisch über die Befragung erfasst. Bei fehlenden Angaben dazu wurde der Holzeinsatz recherchiert oder regressiv anhand der Feuerungswärmeleistung geschätzt.

2.2.3 Holzsortimente

In Tabelle 7 sind die in den Studien aufgeführten Brennstoffe inklusive ihrer Einheiten dargestellt. Einige Studien weisen Holz als homogenen Brennstoff aus. Aufgrund der unterschiedlichen Wassergehalte je nach Aufbereitungsform (z. B. Scheitholz, Holzpellets, Sägenebenprodukte etc.) kann der Heizwert von Holz unterschiedlich sein. Eine Differenzierung nach Holzsortimenten ist besonders dann sinnvoll, wenn der Holzverbrauch in Masse- oder Volumeneinheiten erfasst und nachträglich in Energieeinheiten umgerechnet wird.

Tabelle 7: Ausgewiesene Brennstoffe und Art der Verbrauchsangaben

Studie	Brennstoffe	Einheit
Viehmann et al. (2011)	Hackschnitzel, Pellets und Stückholz	Watt-Stunden (kWh) und Terra-Joule pro Jahr (TJ/a)
Friedrich et al. (2012)	Waldhackschnitzel, Altholz, Sägenebenprodukte/ Industriestholz, Rinde, sonstige Biomasse (Holz aus Kurzumtriebsplantagen, Holzpellets etc.)	Tonnen absolut trocken
Mantau et al. (2012)	Altpapier, Altholz, Landschaftspflegematerial, Waldrundholz, Waldrestholz, Industriestholz, Sägenebenprodukte, Holzpellets und Sonstiges	Tonnen lufttrocken, Tonnen absolut trocken und Festmeter
Weimar et al. (2012)	Altholz, Sägenebenprodukte, Industriestholz, Waldrestholz, Rinde, Landschaftspflegeholz, Holzpellets und Sonstiges	Tonnen lufttrocken und Tonnen absolut trocken
Gaggermeier et al. (2014)	Waldhackschnitzel, Altholz, Sägenebenprodukte/Industriestholz, Rinde, Landschaftspflegeholz, Holzpellets, Sonstiges (inkl. Kurzumtriebsplantagen)	Tonnen absolut trocken
Schlomann et al. (2015)	Holz (erfasst als Stückholz, Hackschnitzel, sonstiges Holz und Pellets)	Watt-Stunden (TWh)
Kleeberger et al. (2018)	Sonst. Erneuerbare (Holz), Kohle, Gas, Öl, Kraftstoffe, Fernwärme, Strom und Solarthermie/Wärmepumpen	Watt-Stunden (TWh)
Kralemann und Röther (2016)	Scheitholz, Holzpellets, Hackschnitzel, Nawaro-Holz, Säge-/Industriestholz, Altholz und Stroh	Tonnen, Festmeter
Tebert et al. (2016)	Feste Brennstoffe: Holz und Kohle ausgewählte Anlagen: Pellets, Hackschnitzel und Resthölzer	Terra-Joule (TJ)
Weidener et al. (2016)	Waldhackschnitzel, Altholz, Sägenebenprodukte/ Industriestholz, Rinde, Landschaftspflegeholz, Holzpellets, Sonstiges (inkl. Kurzumtriebsplantagen)	Tonnen absolut trocken

Studie	Brennstoffe	Einheit
Döring et al. (2018a)	Altholz, Landschaftspflegeholz, Schnellwuchsplantagenholz, Waldderbholz, Waldrestholz, Rinde, Industrierestholz, Sägenebenprodukte, Holzpellets und -briketts sowie Sonstiges	Tonnen lufttrocken, Tonnen absolut trocken und Festmeter
Döring et al. (2018b)	Altholz, Sägenebenprodukte, Industrierestholz, Waldderbholz, Waldrestholz, Rinde, Landschaftspflegeholz, Schnellwuchsplantagenholz, Holzpellets und -briketts sowie Sonstiges	Tonnen lufttrocken, Tonnen absolut trocken und Festmeter

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Viehmann et al. (2011) ermittelten den gesamten Wärmebedarf in Energieeinheiten. Von diesem Wert wurde der Anteil berechnet, der durch biogene Festbrennstoffe gedeckt wurde. Der Anteil an verbrauchten biogenen Festbrennstoffen wurde anschließend weiter auf Hackschnitzel, Pellets und Stückholz aufgeteilt.

Schlomann et al. (2015) erfassten den Holzverbrauch im GHD-Sektor über eine empirische Befragung. Es wurde die Verwendung von Stückholz, Hackschnitzel, sonstiges Holz und Pellets in Masse- oder Volumeneinheiten abgefragt. Im Abschlussbericht selbst erfolgte keine Differenzierung nach Holzsortimenten. Es wurde der Verbrauch von Holz insgesamt in Energieeinheiten (TWh) angegeben. Über die Umrechnungsmethode liegen keine Informationen vor.

Kleeberger et al. (2018) übernahmen weitestgehend die Aufteilung von Schlomann et al. (2015). Lediglich die Benennung änderte sich von „Holz“ zu „Sonstige Erneuerbare (Holz)“.

Tebert et al. (2016) weisen in ihrer Studie den Verbrauch fester Brennstoffe (Holz und Kohle) aus. Um den gesamten Holzeinsatz zu berechnen, wurde der Verbrauch in Anlagen zum Teil differenziert nach Brennstoffen (z. B. Pellets, Hackschnitzel und Resthölzer) angegeben. Der Verbrauch wurde in Energieeinheiten (TJ) angegeben.

Weidener et al. (2016), Gaggermeier et al. (2014) und Friedrich et al. (2012) geben für Biomasseheizkraftwerke den energetischen Holzverbrauch getrennt nach Brennstoffsortimenten in Tonnen absolut trockenem (t atro) Holzes an. Wie in Tabelle 7 zu sehen, wurden sieben Brennstoffsortimente unterschieden. Bei Holzfeuerungsanlagen wurde der Holzverbrauch nicht nach Sortimenten unterteilt.

Für Anlagen bis 1 MW gaben Kralemann und Röther (2016) den Holzverbrauch differenziert nach Scheitholz, Pellets und Holzhackschnitzel in Festmeter, Tonnen und Schüttraummeter an. Die Verbrauchswerte stammen aus einer Befragung von Kralemann (2015). Anhand der Ergebnispräsentation ist anzunehmen, dass die Sortimente Scheitholz in Festmeter, Raummeter und Schüttraummeter abgefragt wurden. Pellets und Hackschnitzel wurden in Tonnen bzw. Schüttraummeter ermittelt. Um die Vergleichbarkeit sicherzustellen wurden alle Holzsortimente zusätzlich in Festmeter umgerechnet. Bei Anlagen ab 1 MW FWL wurde der Verbrauch von Altholz, Wald- und Landschaftspflegeholz (Nawaro-Holz), Säge- und Industrieholz sowie Stroh unterschieden. Der Gesamtverbrauch aller Anlagen wurde abschließend sowohl in Masse (Tonnen) als auch Volumen (Festmeter) angegeben.

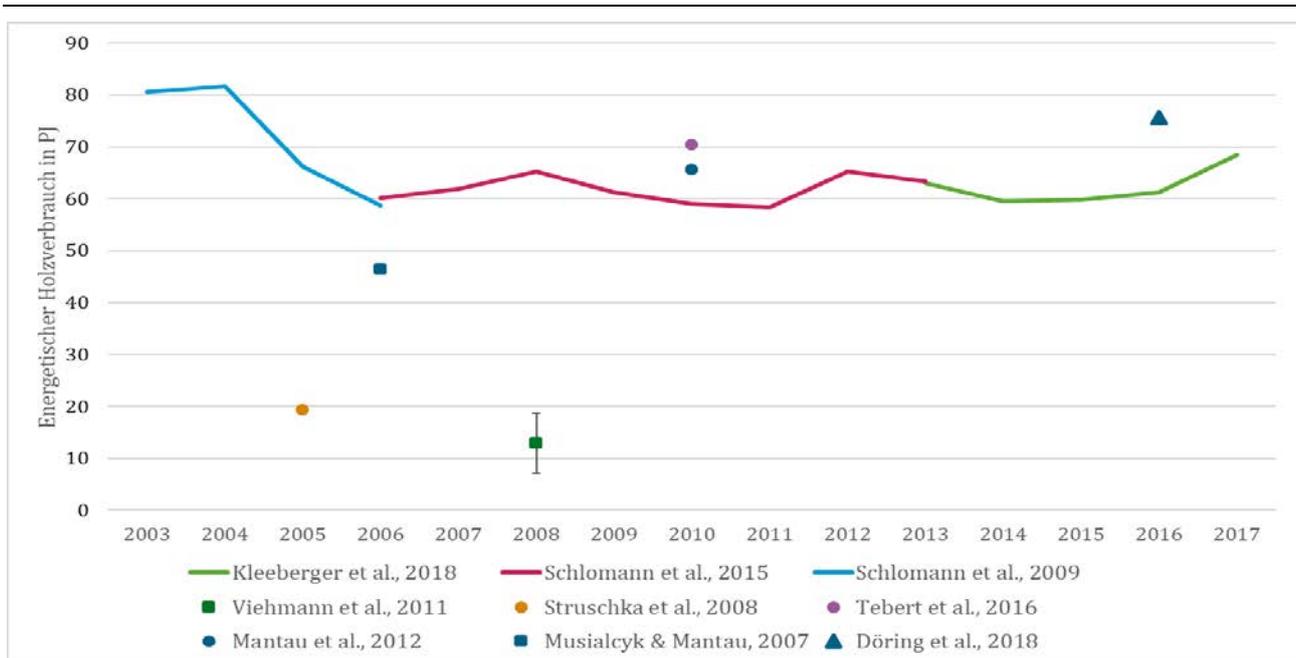
Die Studien von Mantau et al. (2012) und Döring et al. (2018a) sowie Weimar et al. (2012) und Döring et al. (2018b) geben differenzierten Einblick in die verwendeten Holzsortimente (Tabelle 7). Das Hauptaugenmerk der Sortimentsdifferenzierung liegt auf der Herkunft des eingesetzten Holzes (z. B. Sägewerk, Landschaftspflege oder aus dem Wald) und nicht auf der Art der Aufbereitung (z. B. Scheitholz oder Hackschnitzel). Den-

noch kann die verwendete Sortimentsaufteilung dazu verwendet werden Annahmen über die Art der Aufbereitung zu treffen. In den Befragungen konnten die Anlagenbetreiber zwischen drei Einheiten zur Beantwortung des Holzverbrauchs wählen: Tonnen lufttrocken (t lutro), Tonnen absolut trocken (t atro) und Schüttraummeter (Srm). Die unterschiedlichen Einheiten werden zur Zusammenführung der Daten umgerechnet. Für die erforderlichen Umrechnungen wurden Faktoren aus den Studien Weimar und Mantau (2004), Mantau (2008) und DEPV (2017) verwendet. In den veröffentlichten Berichten werden die Verbrauchsmengen nur in t lutro und t atro angegeben.

2.3 Ergebnisse und kritische Analyse

Musialczyk und Mantau (2007), Struschka et al. (2008), Schlomann et al. (2009), Viehmann et al. (2011), Mantau et al. (2012), Schlomann et al. (2015), Kleeberger et al. (2018), Tebert et al. (2016)⁶ und Döring et al. (2018a) ermittelten den Verbrauch von biogenen Fest- bzw. Holzbrennstoff konkret für den GHD-Sektor oder für einen Bereich, der große Überschneidung mit dem GHD-Sektor aufweist. In Abbildung 5 sind Angaben zum energetischen Holzverbrauch aus diesen Studien abgebildet. Die Studien ab dem Jahr 2009 werden im Folgenden analysiert. Eine Zusammenfassung sowie kritische Würdigung der früheren Studien sind der Arbeit von Viehmann et al. (2011) zu entnehmen.

Abbildung 5: Energetischer Holzverbrauch im GHD-Sektor oder Nichthaushalten in Anlagen bis 1 MW FWL



Anmerkung: Schlomann et al. (2009), Struschka et al. (2008), Viehmann et al. (2011), Schlomann et al. (2015), Kleeberger et al. (2018), Tebert et al. (2016) bearbeiten den GHD-Sektor
Musialczyk und Mantau (2007), Mantau et al. (2012) und Döring et al. (2018a) bearbeiten Feuerungsanlagen bis 1 MW in Nichthaushalten

Quelle: Eigene Darstellung

Für den Zeitraum von 2003 bis 2006 berechneten Schlomann et al. (2009) einen Energieverbrauch von ca. 81 PJ, der im Jahr 2005 auf 65 PJ und im Jahr 2006 auf 59 PJ zurückging. Schlomann et al. (2015) und Kleeberger et al. (2018) schließen mit ihren Berechnungen an diese Zeitreihe an. Für den Zeitraum von 2006 bis 2017 wurde ein energetischer Holzverbrauch von durchschnittlich 62 PJ ermittelt. Im Vergleich dazu berechneten Struschka et al. (2008) für das Jahr 2005 einen energetischen Ver-

⁶ betrachten Festbrennstoffe (Holz und Kohle)

brauch von Festbiomasse in Höhe von 19 PJ. Viehmann et al. (2011) leiteten für 2008 einen Energieverbrauch von ca. 13 ± 6 PJ ab. Tebert et al. (2016) kamen für 2010 auf einen Verbrauch von 70 PJ Festbrennstoffe (Holz und Kohle). Musialczyk und Mantau (2007), Mantau et al. (2012) und Döring et al. (2018a) ermittelten den energetischen Holzverbrauch in gewerblichen und öffentlichen Biomasseanlagen bis 1 MW. Es ist davon auszugehen, dass ein größerer Teil dieser Anlagen dem GHD-Sektor zugeordnet werden kann. Für das Jahr 2006 wurde ein Verbrauch von ca. 46 PJ, für 2010 ca. 66 PJ und für 2016 ca. 76 PJ ermittelt.

Die Berechnung des energetischen Holzverbrauchs im GHD-Sektor stellt aufgrund der Heterogenität und der unvollständigen Datenlage eine Herausforderung dar. Besonders bei einer Hochrechnung auf Grundlage von Hochrechnungsgruppen, Bezugsgrößen und Energiekennziffern stößt man schnell auf Schwierigkeiten. Viehmann et al. (2011) bemängelten in ihrer kritischen Würdigung die unzureichende statistische Genauigkeit ihrer Ergebnisse. Zum einen seien die Eingangsdaten für die Hochrechnung des Wärmebedarfs mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Zum anderen wird die Quantifizierung des Verbrauchs der Brennstoffarten als stark fehlerbehaftet eingeschätzt. Diese Unsicherheiten sind nach Aussage der Autoren weitestgehend dem Erhebungsverfahren geschuldet, da die Kenntnisse der Interviewpartner offenbar nicht ausreichten um Detailfragen zu beantworten. Vor diesem Hintergrund scheint eine Verwendung der Daten zur Ableitung einer Zeitreihe nicht sinnvoll. Grundsätzlich ist vorstellbar, dass sich das Rechengüst aus dieser Untersuchung auch auf andere Jahre übertragen ließe. Allerdings wären dafür weitere, tiefergehende Analysen sowie ergänzende, am besten fortlaufende empirische Erhebungen erforderlich, um das Datengerüst auf eine breitere Basis zu stellen.

Schlomann et al. (2015) berechneten den gesamten Energieverbrauch im GHD-Sektor für die Jahre 2006 bis 2012. In

Tabelle 8 sind die Anteile der energetischen Holzverbräuche nach Hochrechnungsgruppen dargestellt. In der Gruppe Landwirtschaft wird demnach mit durchschnittlich 65 % am meisten Holz verwendet. In den Gruppen Beherbergung, Gaststätten, Heime und büroähnliche Betriebe wird jeweils durchschnittlich 9 % des gesamten Holzes verwendet. In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, dass der Holzverbrauch in den Herstellungsbetrieben, zu denen auch das Holz-, Papier- und Druckgewerbe zählt, mit durchschnittlich 3 % sehr gering ist. Aufgrund der Nähe dieser Gewerbe zum Rohstoff Holz wäre in dieser Gruppe ein höherer energetischer Holzverbrauch als in anderen Gruppen (z. B. Beherbergung, büroähnliche Betriebe) zu erwarten. Andere hier zitierte Studien bestätigen dies. Um genauere Aussagen über die Plausibilität dieser Ergebnisse treffen zu können, wäre ein Einblick in die spezifischen Holzverbrauchsdaten der Betriebe des Holzgewerbes bzw. Papier- und Druckgewerbe notwendig.

Tabelle 8: Energetischer Holzverbrauch der Subsektoren im GHD-Sektor

Sektor	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Durchschnitt
Baugewerbe	7 %	6 %	5 %	6 %	7 %	7 %	4 %	8 %	6 %
Büroähnliche Betriebe	11 %	9 %	18 %	11 %	6 %	5 %	7 %	6 %	9 %
Herstellungsbetriebe	5 %	5 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	3 %
Handel	6 %	6 %	2 %	2 %	2 %	2 %	3 %	3 %	4 %
Krankenhäuser, Schulen, Bäder	0 %	0 %	0 %	2 %	3 %	3 %	4 %	3 %	2 %
Beherbergung, Gaststätten, Heime	14 %	13 %	7 %	8 %	8 %	7 %	12 %	7 %	9 %
Nahrungsmittelgewerbe	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %

Sektor	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Durchschnitt
Wäschereien	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Landwirtschaft	57 %	59 %	63 %	67 %	70 %	71 %	64 %	68 %	65 %
Gartenbau	0 %	1 %	2 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
Flughäfen	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Textil, Bekleidung, Spedition	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %	3 %	1 %	1 %
nicht erfasste Betriebe	1 %	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %
Übrige	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Quelle: Schlomann et al. (2015)

Des Weiteren ist auf die im Jahr 2012 mit 46 befragten Betrieben durchgeführte Stichprobe zur Berechnung des spezifischen Brennstoff- bzw. Fernwärmeverbrauchs in der Landwirtschaft hinzuweisen. In dieser Gruppe fällt die, im Vergleich zu anderen Gruppen, relativ große Abweichung vom Mittelwert des spezifischen Brennstoff-/Fernwärmeverbrauchs auf ($26.609 \pm 3.417 \text{ kWh}$, $\pm 11 \%$). Da sich diese Abweichung auf den Brennstoff- bzw. Fernwärmeverbrauch bezieht, kann nicht zweifelsfrei geklärt werden, wie sich die Abweichungen beim Holzverbrauch verhalten. Allerdings ist anzunehmen, dass die statistische Ungenauigkeit aufgrund der allgemeinen Schwierigkeiten bei der Erfassung energetischer Holzverbräuche hoch ist. Da nicht anderweitig dokumentiert, ist ferner davon auszugehen, dass dies nicht nur für das Jahr 2012, sondern auch für die übrigen Erfassungsjahre zutrifft. Ein weiterer Grund für erhöhte Angaben zum Holzverbrauch in landwirtschaftlichen Betrieben könnte in der gleichzeitigen Erfassung des Holzeinsatzes in der Wohneinheit liegen. Diese Mengen wären dem Haushaltssektor zuzuordnen, wenn der Heizbedarf für die Wohneinheit den der betrieblichen Einheit überstiege. Weiterführende Informationen sind dazu jedoch nicht gegeben, so dass diese mögliche Unschärfe in der Zuordnung nicht ausgeschlossen werden kann.

Kleeberger et al. (2018) berechneten den Brennstoffverbrauch im GHD-Sektor auf Grundlage der Stichprobenerhebungen von Schlomann et al. (2015) für die Jahre 2013 bis 2017. Es ist davon auszugehen, dass statistische Unsicherheiten von Schlomann et al. (2015) übernommen wurden. Darüber hinaus können Ungenauigkeiten durch die fehlende Aktualisierung der Verbrauchskennziffern durch bspw. empirische Daten entstehen. Zwar werden jahresspezifische Einflüsse (Gradtagszahlen und damit Auslastung der Feuerungsanlagen) berücksichtigt, weitere jahresspezifische Änderungen (z. B. Effizienzsteigerung, Änderungen im Verbraucherverhalten) können aufgrund der fehlenden Aktualisierung nicht berücksichtigt werden.

Für das Jahr 2010 berechneten Tebert et al. (2016) die energetische Holzverwendung im GHD-Sektor über den Anlagenbestand, die durchschnittliche Nennwärmeleistung und jährliche Vollastbenutzungsstunden der Feuerungsanlagen. Für die Ermittlung des Anlagenbestands und dessen sektorale Aufteilung wurden Ergebnisse von Struschka et al. (2008) aus dem Jahr 2005 verwendet. Viehmann et al. (2011) kritisierten bereits die Unsicherheiten bei der Ermittlung des Anlagenbestands in Struschka et al. (2008). Da Tebert et al. (2016) auf Grundlage dieser Vorläuferstudie den Anlagenbestand mithilfe von Absatz- und Stilllegungszahlen aktualisierten, ist davon auszugehen, dass diese Ungenauigkeiten bei der Aktualisierung der Grundgesamtheit übernommen wurden. Informationen zu den jährlichen Vollbenutzungsstunden der Anlagentypen basieren ebenfalls auf Ergebnissen von Struschka et al. (2008). Viehmann et al. (2011) merkten bereits die fehlende Genauigkeit dieser Daten an. Aktualisierte empirische Ergebnisse wären zweckmäßig um z. B. Veränderungen im Heizverhalten besser abbilden zu können.

Die Studien von Mantau et al. (2012) und Döring et al. (2018a) berechneten den energetischen Holzeinsatz in gewerblichen und öffentlichen Anlagen bis 1 MW ohne Einzelraumfeuerungsanlagen. Sie fokussierten folglich nicht ausschließlich auf den GHD-Sektor. Daher kann vermutlich nur ein Teil der Anlagen dem GHD-Sektor zugeordnet werden. Zur Ermittlung der Grundgesamtheit und für die weitere Differenzierung muss-

ten Mantau et al. (2012) mangels verfügbarer Daten eine Reihe von Annahmen, beispielsweise zur maximalen Anlagenlaufzeit, treffen. Die Verbrauchskennziffern stammten jeweils aus Stichprobenerhebungen. Für das Bezugsjahr 2010 waren dies 231 und für 2016 298 erfasste Anlagen. Diese Anlagen wurden nach Wirtschaftssektoren und Feuerungswärmeleistung in Klassen aufgeteilt. Insbesondere bei gewerblichen Anlagen mit geringer Feuerungswärmeleistung ist die Anzahl erfasster Anlagen sehr gering. Dies ist hinsichtlich einer repräsentativen Aussage über den Holzverbrauch in diesen Klassen problematisch. Aufgrund mangelnder Vergleichsgrößen in der Literatur lassen sich diese Werte jedoch nicht validieren. Mit dem Zugriff auf die Bestandsdaten von Holzfeuerungen vom ZIV konnten Döring et al. (2018a) auf die Annahmen zur Bestandsschätzung verzichten. Es fällt allerdings auf, dass der Anlagenbestand in Döring et al. (2018a) deutlich niedriger ausfällt als bei Mantau et al. (2012). Eine abnehmende Bestandsentwicklung ist auch im Hinblick auf Verkaufszahlen von Holzfeuerungen kaum schlüssig zu erklären und ließ sich in der Literatur auch nicht durch einen übermäßigen Rückbau von Anlagen im Holzgewerbe erklären. Die Unterschiede treten ausschließlich in der Leistungsklasse 16 – 50 kW auf.

Parallel zu den Erhebungen der Feuerungsanlagen kleiner 1 MW FWL werden im Rahmen des Projekts „Rohstoffmonitoring Holz“ die Erhebungen zu den Feuerungsanlagen ab 1 MW FWL durchgeführt (Weimar et al. 2012 und Döring et al. 2018b). Die Untersuchungen waren jeweils als Vollerhebungen konzipiert. Als Befragungsgrundlage dienten zum einen eine Adressdatenbank aus den jeweiligen Vorläuferstudien (vgl. Weimar und Mantau 2006), sowie ergänzende Recherchen bei allen verfügbaren Online- und Printmedien bzw. -datenbanken. Die Erhebungen zielten jeweils darauf ab, alle Adressen hinsichtlich ihrer Zugehörigkeit zur Grundgesamtheit zu klassifizieren und Verbrauchsdaten zu befragen. Anzumerken ist, dass im Rahmen der Untersuchungen nicht für alle Adressen weitere Informationen erhoben werden konnten. In solchen Fällen wurde durch standortbezogene Recherchen versucht zu ermitteln, ob es sich um eine Holzfeuerungsanlage handelte. Ein weiteres zentrales Kriterium ist die Vollständigkeit der Adressdatenbank, in der alle Feuerungsanlagen mit einer FWL ab 1 MW enthalten sein müssen. Der Erfassungsgrad wird von den Autoren als sehr hoch eingeschätzt. Es ist jedoch möglich, dass nicht alle der Grundgesamtheit zugehörigen Anlagen im Rahmen dieser Erhebung erfasst werden konnten. Hierbei dürfte es sich jedoch vornehmlich um Anlagen im kleineren Leistungsbereich handeln, da diese deutlich schwieriger zu recherchieren sind. Eine genaue Bezifferung dieses Anteils ist nicht möglich. An dieser Stelle sei dazu eine Beispielrechnung angefügt. Sei der Erfassungsgrad bei Holzfeuerung mit einer FWL von 1 MW bis 5 MW 80 %, bei Anlagen mit einer FWL von 5 MW bis 10 MW 90 % und bei Anlagen mit einer FWL von 10 MW bis 20 MW 95 %. Alle weiteren Feuerungswärmeleistungen seien vollständig erfasst. Die nicht erfassten Anlagen seien mit dem durchschnittlichen Holzverbrauch aus Döring et al. (2018b) geschätzt. Daraus ergäbe sich ein zusätzlicher Holzverbrauch von etwa 250.000 Tonnen atro. Dies entspräche einer Untererfassung von 2,7 %. Für konkrete Berechnungen zu einer möglichen Untererfassung in den Studien des „Rohstoffmonitoring Holz“ fehlen jedoch belastbare Hinweise. In den Diskussionen der Kapitel 4.7.3.3 und 6 nehmen wir diesen Aspekt nochmals auf. Für den GHD-Sektor haben die Anlagen mit einer FWL ab 1 MW vermutlich eine eher untergeordnete Relevanz. Nur wenige Anlagen dürften diesem Sektor zuzuordnen sein. Gleichwohl ist die Qualität dieser Untersuchung von hoher Bedeutung, da die Verbrauchszahlen eine wichtige Komponente für den eingangs skizzierten Restrechnungsansatz sind.

Beim Vergleich der Ergebnisse aller Untersuchungen fallen die deutlichen Abweichungen der Holzverbräuche auf, die mit den sehr unterschiedlichen methodischen Ansätzen, verbunden mit der unzureichenden Datenlage, erklärt werden können (Abbildung 5). Für alle Untersuchungen gilt gleichsam, dass viele Annahmen zur Herleitung des Holzverbrauchs getroffen werden müssen. In manchen Fällen lassen sich diese aus der Literatur nachvollziehbar ableiten, in anderen Fällen liegen kaum Informationen vor. In einigen Fällen, soweit in der Dokumentation nachvollziehbar, wurden Verbrauchskennziffern aus fehlerbehafteten oder nicht aktuellen Stichprobenerhebungen abgeleitet. Neben dieser Vielzahl an unsicheren Einzelschätzungen sind auch die Informationen zur gesuchten Grundgesamtheit unvollständig. Es müssen mitunter empirisch kaum gestützte Annahmen getroffen werden um die Hochrechnungsbasis zu definieren. Dies erschwert bei allen Hochrechnungsvarianten die Beurteilung des Gesamtergebnisses. In Summe führt dies zu fehlerbehafteten Schätzungen des Holzverbrauchs und erklärt die breite Streuung der Ergebnisse.

3 Bestand an Holzfeuerungsanlagen in Deutschland

3.1 Einleitung

Daten zum Bestand an Holzfeuerungsanlagen im kleinen und mittleren Leistungsbereich werden in Deutschland vom Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks (ZIV) und dem Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) veröffentlicht. Ergänzend dazu machen Verbände, z. B. der DEPV über das Deutsche Pelletinstitut (DEPI) oder der Bundesverband Deutscher Heizungsindustrie (BDH), Angaben zum Bestand von zum Teil spezialisierten Holzfeuerungsanlagen (z. B. Pelletfeuerungen). Der gesamte Anlagenbestand in Deutschland umfasst Anlagen in den in Kapitel 2.1 genannten Sektoren: private Haushalte, GHD, Industrie und Umwandlung. Im Folgenden wird eine kurze Übersicht der Literaturquellen gegeben, die sich mit dem Bestand an Feuerungsanlagen für biogene Festbrennstoffe in Deutschland befassen. Außerdem wird auf Möglichkeiten der sektoralen Aufteilung des Anlagenbestands eingegangen. Anschließend wird für die Jahre 2015 und 2016 der Anlagenbestand für den GHD-Sektor nach Sektoren, Feuerungsklassen, Brennstoffen und Beschickungsarten abgeschätzt und auf Plausibilität geprüft.

3.2 Literaturübersicht zum Anlagenbestand

Der ZIV berichtet jährlich Zahlen über den nach der 1. BImSchV messpflichtigen Bestand an Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe und veröffentlicht diese auf seiner Internetseite⁷. Mit der Novellierung der 1. BImSchV im Jahr 2010 erfolgten die Messungen der Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe ab 4 kW⁸ alle zwei Jahre und nicht wie zuvor jährlich. Ab dem Berichtsjahr 2015 sind die Berichte um eine Einschätzung zum Bestand von Einzelraumfeuerungsanlagen erweitert worden. Für die Jahre 2015 und 2016 wird der Bestand an Einzelraumfeuerungsanlagen mit jeweils ca. 11 Mio. Anlagen angegeben. Der Bestand an messpflichtigen Holzfeuerungsanlagen (ohne Einzelraumfeuerungsanlagen) kann aus der Summe der wiederkehrenden Messungen eines Jahres und des Vorjahres errechnet werden. Aufgrund einer Übergangsregelung in der 1. BImSchV sind ältere Anlagen teilweise von der Messpflicht befreit. Somit deckt sich der berechnete Anlagenbestand nicht vollständig mit der Grundgesamtheit. Der ZIV gibt die Anlagenzahlen getrennt nach Brennstoffklassen (Koks/Kohle, Naturholz, Pellets, Rest-Holz, Stroh und sonstige nachwachsende Rohstoffe) und Beschickungsarten (händische oder mechanische Beschickung) an.

Für die Bearbeitung dieses Projekts stellte der ZIV-Bestandsdaten von Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe ohne Einzelraumfeuerungsanlagen zur Verfügung (ZIV 2018). Die Zahlen stammen aus einer ZIV-internen Zusammenführung von Bestandsdaten auf Kreisebene und werden nicht veröffentlicht. Der Datensatz enthält Informationen über den gesamten Anlagenbestand der nach der 1. BImSchV messpflichtigen sowie nicht messpflichtigen Feuerungsanlagen der Jahre 2014, 2015 und 2016. In dem Datensatz liegt der Anlagenbestand differenziert nach Brennstoffen, Beschickungsarten und Leistungsklassen vor. Brennstoffe werden nach § 3 der 1. BImSchV unterteilt (Tabelle 9). Bei den Beschickungsarten der Anlagen werden mechanische und handbeschickte Anlagen unterschieden. Die Leistungsklassen werden mit 4 – 15 kW, 15 – 50 kW und >50 kW angegeben. Lediglich für Brennstoffe der Klassen 6 und 7 werden zwei Leistungsklassen (30 – 50 kW und >50 kW) unterschieden, da diese Brennstoffe nur in Anlagen ab einer Nennwärmeleistung von 30 kW und nur in Betrieben der Holzbe- und -verarbeitung eingesetzt werden dürfen.

⁷ Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks (<https://www.schornsteinfeger.de/erhebungen.aspx>, abgerufen 21.02.2018)

⁸ Nach BImSchV Stand 26.01.2010 werden Feuerungsanlagen ab einer Nennwärmeleistung von 4 Kilowatt gemessen.

Tabelle 9: Auszug über die Brennstoffarten aus § 3 der 1. BImSchV

Brennstoffarten
1. Steinkohlen, nicht pechgebundene Steinkohlenbriketts, Steinkohlenkoks,
2. Braunkohlen, Braunkohlenbriketts, Braunkohlenkoks,
3. Brenntorf, Presslinge aus Brenntorf,
3a. Grill-Holzkohle, Grill-Holzkohlebriketts nach DIN EN 1860, Ausgabe September 2005,
4. naturbelassenes stückiges Holz einschließlich anhaftender Rinde, insbesondere in Form von Scheitholz und Hackschnitzeln, sowie Reisig und Zapfen,
5. naturbelassenes nicht-stückiges Holz, insbesondere in Form von Sägemehl, Spänen und Schleifstaub, sowie Rinde,
5a. Presslinge aus naturbelassenem Holz in Form von Holzbriketts nach DIN 51731 oder in Form von Holzpellets nach den brennstofftechnischen Anforderungen des DINplus-Zertifizierungsprogramms „Holzpellets zur Verwendung in Kleinf Feuerstätten nach DIN 51731-HP 5“, sowie andere Holzbriketts oder Holzpellets aus naturbelassenem Holz mit gleichwertiger Qualität,
6. gestrichenes, lackiertes oder beschichtetes Holz sowie daraus anfallende Reste, soweit keine Holzschutzmittel aufgetragen oder infolge einer Behandlung enthalten sind und Beschichtungen keine halogenorganischen Verbindungen oder Schwermetalle enthalten,
7. Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten oder sonst verleimtes Holz sowie daraus anfallende Reste, soweit keine Holzschutzmittel aufgetragen oder infolge einer Behandlung enthalten sind und Beschichtungen keine halogenorganischen Verbindungen oder Schwermetalle enthalten,

Quelle: BImSchV (2010)

Angaben zum Anlagenbestand sind in Tabelle 10 dargestellt. Der Anlagenbestand aus der Summe zweier aufeinanderfolgender messpflichtiger Anlagenbestände (ZIV^a), fällt deutlich niedriger aus als der Bestand, der über die Zusammenführung ZIV interner Daten ermittelt wurde (ZIV^b). Der Grund hierfür liegt vermutlich in der Berücksichtigung des nicht messpflichtigen Anlagenbestands bei der ZIV-internen Zusammenführung.

Nach eigener Aussage des ZIV sind die Zusammenstellungen zu den Bestandsdaten mit größeren Unsicherheiten behaftet. Genauere Informationen dazu liegen jedoch nicht vor. Der ZIV bestätigte allerdings, dass die Bestandsstatistik derzeit einer grundlegenden Revision unterzogen werde. Diese Unsicherheiten müssen bei der Bewertung des Anlagenbestands berücksichtigt werden. Gleichwohl sind die Angaben des ZIV die einzige Quelle, die deutschlandweit Informationen solcherart bereitstellt. Sie finden daher in vielen Studien Eingang (Merten et al. 2004, Musialczyk und Mantau 2007, Struschka et al. 2008, Mantau et al. 2012 und Döring et al. 2018a). Außerdem veröffentlichte beispielsweise der BDH (2015) in Zusammenarbeit mit dem ZIV auf dieser Datengrundlage eine Schätzung zum Gesamtanlagenbestand von Biomassekesseln in Deutschland. Danach belief sich der Anlagenbestand im Jahr 2015 auf ca. 0,9 Mio. Anlagen ab einer Leistung von mindestens 4 kW. Eine weitere Differenzierung auf z. B. Brennstoffe (Holz und andere Biomasse) oder Leistungsbereiche erfolgte nicht.

Seit 2001 führt auch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) eine eigene Statistik über

Feuerungsanlagen mit einer Leistung bis 100 kW (BAFA 2019). Hier werden ausschließlich Anlagen erfasst, die Fördermittel nach dem Marktanzreizprogramm (MAP) des Bundes erhalten. Die Statistik deckt somit nur einen Teil des Gesamtbestandes ab. Die Daten werden regional bis auf Postleitzahlebene aufgegliedert. Die Anlagen sind in der Datenbank nach verschiedenen Merkmalen (Anlagentyp, Leistung, Wirtschaftszweige, Zeitpunkt der Inbetriebnahme, Förderbetrag und Investitionssumme) differenziert.

Der ZIV und das BAFA beziehen Informationen aus Primärdaten. Darüber hinaus verwendeten beispielsweise Struschka et al. (2008), Musialczyk und Mantau (2007) und Mantau et al. (2012) Informationen aus weiteren Quellen, um den Anlagenbestand im Hinblick auf das jeweilige Forschungsziel möglichst genau abzuschätzen. Struschka et al. (2008) ermittelten den Bestand an Holzfeuerungsanlagen für das Jahr 2005 anhand von Ergebnissen der Rheinbraun Brennstoff GmbH. Der Bestand an Pelletfeuerungsanlagen wurde aus Daten des HKI und DEPI ermittelt. Hackschnitzelfeuerungen ab 50 kW wurden anhand der geförderten Anlagen einzelner Bundesländer hochgerechnet und durch Angaben des ZIV um mechanisch beschickte Anlagen bis 50 kW ergänzt. Der so ermittelte Anlagenbestand wurde von Struschka et al. (2008) getrennt nach Branchen, Anlagenart, Leistungsbereichen und Altersstufen ausgewiesen.

Tebert et al. (2016) übernahmen den von Struschka et al. (2008) berechneten Anlagenbestand für 2005 und schrieben die Bestandszahl anhand von jährlichen Absatz- und Stilllegungsraten fort. Für Einzelraumfeuerungen wurden Informationen des HKI sowie eigene Annahmen verwendet. Tebert et al. (2016) kamen danach für das Jahr 2010 auf 13,3 Mio. Einzelraumfeuerungen. Für die Bestandsangaben der Biomassekessel wurden Absatz- und Stilllegungsraten vom DEPI und der BAFA verwendet. Eigene Annahmen wurden ergänzend herangezogen. Beim Vergleich mit den Bestandszahlen des ZIV^b für messpflichtige und nicht messpflichtige Anlagen (Tabelle 10) fällt auf, dass Tebert et al. (2016) eine deutlich höhere Anlagenzahl ermittelten.

Nachfolgende Tabelle 10 stellt die vorgenannten Schätzungen zum Anlagenbestand gegliedert nach Bezugsjahr dar. Aufgeführt sind nur Angaben, die den gesamten Bestand an Biomassekesseln ohne Einzelraumfeuerungsanlagen ab einer Leistung von 4 kW abdecken.

Tabelle 10: Angaben zur Grundgesamtheit der Feuerungsanlagen insgesamt

Jahr	ZIV ^a	ZIV ^b	BDH	Struschka et al. (2008)	Tebert et al. (2016)
2005				596.600	
2006					
2007					
2008					
2009					
2010					811.600
2011	98.526				
2012	108.177				
2013	188.912				
2014	339.355	611.321			
2015	350.186	648.635	900.000		
2016	374.587	706.067			

Anmerkung: ZIV^a: Summe aus den Werten von zwei aufeinanderfolgenden Jahre für wiederkehrende Messungen der nach 1. BImSchV messpflichtigen Anlagen

ZIV^b: Zusammenführung von nach der 1. BImSchV messpflichtigen und nicht messpflichtigen Anlagen auf Kreisebene (ZIV 2018)

BDH: Biomassekessel

Struschka et al. (2008): Anlagen für Festbrennstoffe, ohne Einzelraumfeuerungen

Tebert et al. (2016): Anlagen für Festbrennstoffe, ohne Einzelraumfeuerungen

In Ergänzung zu den Quellen in vorgenannter Tabelle schätzten Musialczyk und Mantau (2007) und Mantau et al. (2012) den Anlagenbestand im Leistungsbereich von 15 bis 1.000 kW. Der Fokus dieser Studien lag auf Anlagen in Nichthaushalten im Leistungsbereich bis 1 MW FWL. Daher wurde nur der Leistungsbereich ab 15 kW betrachtet und unterstellt, dass im Leistungsbereich bis 15 kW ausschließlich Anlagen in Privathaushalten betrieben werden. Für die Bestandsabschätzungen wurden ebenfalls Angaben des ZIV verwendet. Musialczyk und Mantau (2007) berücksichtigten alle Erstmessungen im Zeitraum von 1986 bis 2006. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass Anlagen nach 20 Jahre ausgewechselt werden und somit lediglich der Zeitraum ab 1986 berücksichtigt werden muss, um den gesamten Anlagenbestand zu bestimmen. Mantau et al. (2012) schätzten darauf aufbauend den Anlagenbestand für 2010 indem sie die Erstmessungen der Jahre 2007 bis 2010 zu dem von Musialczyk und Mantau (2007) ermittelten Bestand hinzurechneten und um die Anlagen, die älter als 20 Jahre waren, verminderten.

In Tabelle 11 ist die Anzahl an Feuerungsanlagen dargestellt, die in vorgenannten Quellen nicht den privaten Haushalten zugeordnet werden und einen Bezug zum GHD-Sektor haben. Es fällt wieder auf, dass die Berechnungen von Tebert et al. (2016) die Angaben der übrigen Studien deutlich übertreffen. Die Ursache für diese deutliche Abweichung liegt vermutlich in der Berücksichtigung verschiedener Verbandsdaten. Möglicherweise können hier zum einen Doppelzählungen vorliegen. Weiterhin können die Abgänge aus dem Anlagenbestand unterschiedlich interpretiert oder Anlagen im kleineren Leistungsbereich zu einem höheren Anteil den Nichthaushalten zugeordnet worden sein.

Tabelle 11: Feuerungsanlagen < 1 MW außerhalb der privaten Haushalte

Jahr	Struschka et al. (2008)	Musialczyk und Mantau (2007)	Mantau et al. (2012)	Tebert et al. (2016)
2005	41.800			
2006		43.179		
2007				
2008				
2009				
2010			51.208	154.600

Anmerkung: Struschka et al. (2008): Anlagen für Festbrennstoffe, sowie für ausgewählte Anlagen: Holzpellets, Hackschnitzel und Resthölzer
 Musialczyk und Mantau (2007): Biomasseanlagen von 15 kW bis 1 MW, die nicht den privaten Haushalten zugeordnet werden
 Mantau et al. (2012): Biomasseanlagen von 15 kW bis 1 MW, die nicht den privaten Haushalten zugeordnet werden
 Tebert et al. (2016): Anlagen für Festbrennstoffe, sowie für ausgewählte Anlagen: Holzpellets, Hackschnitzel und Resthölzer

3.3 Sektorale Aufteilung des Anlagenbestands

Informationen zur sektoralen Aufgliederung des Anlagenbestands in Nicht-Haushalten werden von verschiedenen Quellen bereitgestellt. In der BAFA Förderstatistik stehen Angaben über die Wirtschaftszweige, deren Betriebe die Anlagenbetreiber angehören, zur Verfügung. Damit stellt diese Statistik eine Grundlage dar, um die sektorale Aufteilung des Anlagenbestands vorzunehmen (Merten et al. 2004, Musialczyk und Mantau 2007 und Mantau et al. 2012). Anlagen aus der Förderstatistik werden grundsätzlich sieben Wirtschaftszweigen zugeordnet: Öffentlich/Rechtlich, Gewerbe/Handel/Freiberufler, Industrie, Kontraktor, Landwirtschaft, Privater Haushalt und Sonstiges. Hierbei ist zu beachten, dass sich der GHD-Sektor nicht nur durch Ausschluss der privaten Haushalte ermitteln lässt. Für eine genaue Abgrenzung gegenüber dem Industrie- und dem Umwandlungssektor sind weitere Informationen erforderlich, die nicht der BAFA Förderstatistik entnommen werden können. Beispielsweise sind zur Abgrenzung der gewerblichen Anlagen vom Industriesektor Informationen zur Beschäftigtenzahl des Anlagenbetreibers notwendig. Es ist allerdings zu vermuten, dass lediglich ein geringer Teil dieser Anlagen dem Industriesektor zuzuordnen ist. Anlagen des Umwandlungssektors sind in dem Leistungsbereich unter 1 MW ebenfalls nur in geringem Umfang zu erwarten. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass Einzelraumfeuerungsanlagen durchaus im GHD-Sektor vorkommen können. Beispielsweise ermittelten Struschka et al. (2008) und Tebert et al. (2016) einen Bestand von ca. 300.000 bis 360.000 Einzelraumfeuerungsanlagen mit einem Holzverbrauch von ca. 3.000 bis 4.000 TJ (ca. 200.000 t atro). Legt man diese Größenordnung zu Grunde, entspräche dieses Verbrauchsvolumen einem zusätzlichen Anteil von bis zu 10 % am Gesamtverbrauch im GHD-Sektor (vgl. Kap. 4.7.3.1) und sollte in weiterführenden Untersuchungen genauer analysiert werden.

Merten et al. (2004) berechneten den Biomasseverbrauch zur Wärmegewinnung in privaten Haushalten und im GHD-Sektor anhand des Anlagenbestands des ZIV. Als Grundlage für die sektorale Aufteilung der Feuerungsanlagen wurden Informationen der BAFA verwendet und durch Annahmen ergänzt. In Tabelle 12 ist der Anlagenbestand von Merten et al. (2004) für den GHD-Sektor dargestellt. Bei der Aufteilung gingen Merten et al. (2004) davon aus, dass mechanische und handbeschickte Anlagen bis 15 kW vollständig den Haushalten zuzuordnen seien. Im Leistungsbereich 15 bis 100 kW erfolgte eine anteilige Aufteilung auf den Haushalts- und den GHD-Sektor auf Grundlage der BAFA-Förderstatistik. Anlagen ab 100 bis 500 kW oder bei der Verwendung der Brennstoffklassen 6 und 7 wurden vollständig dem GHD-Sektor zugeordnet. Anlagen über 500 kW wurden dem Industriesektor zugeordnet.

Tabelle 12: Anlagenbestand des GHD-Sektors und deren Anteile an der Grundgesamtheit für das Jahr 2002

Leistungs- klassen	mechanisch beschickt		handbeschickt		Brennstoffklasse 6 und 7 nach 1. BImSchV		Summe
	Anzahl GHD	Anteil an Grundges.	Anzahl GHD	Anteil an Grundges.	Anzahl GHD	Anteil an Grundges.	
<15 kW	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0
15 – 50 kW	2.599	35 %	58.028	50 %	64	100 %	60.691
51 – 100 kW	2.437	70 %	3.703	85 %	444	100 %	6.584
101 – 150 kW	1.504	100 %	486	100 %	47	100 %	2.037
150 – 500 kW	2.988	100 %	266	100 %	30	100 %	3.284
>500 kW	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0
Summe	9.529	-	62.482	-	585	-	72.596

Anmerkung: Eine Legende zu den Brennstoffklassen der 1. BImSchV ist in Tabelle 9 zu finden

Quelle: Merten et al. (2004)

Struschka et al. (2008) orientierten sich bei der sektoralen Aufteilung der Feuerungsanlagen an Ergebnissen von Pfeiffer et al. (2000). Pfeiffer et al. (2000) berechneten die Anzahl von Holzfeuerungen im Holzverarbeitenden Gewerbe auf Grundlage einer Umfrage, die im Jahr 1992 für Baden Württemberg durchgeführt wurde. Bei der Übertragung der Ergebnisse berücksichtigten Struschka et al. (2008) die abnehmenden Betriebszahlen im Holzgewerbe und unterstellten eine rückläufige Entwicklung des Bestandes an Holzfeuerungen in den holzgewerblichen Wirtschaftszweigen. Wie in Tabelle 13 zu sehen, wurde außerdem davon ausgegangen, dass der Bestand an mechanisch beschickten Anlagen und aller Hackschnitzelfeuerungen vollständig dem GHD-Sektor zugeordnet werden kann. Tebert et al. (2016) übernahmen diese sektorale Aufteilung von Struschka et al. (2008).

Tabelle 13: Anlagenbestand des GHD-Sektors und deren Anteile an der Grundgesamtheit für das Jahr 2005

Leistungs- klassen	Handbeschickt		mechanisch beschickt		Heizkessel mit Pel- lets		Heizkessel mit Hackschnitzel		Summe
	Anzahl	Anteil an Grundg.	Anzahl	Anteil an Grundg.	Anzahl	Anteil an Grundg.	Anzahl	Anteil an Grundg.	
4 – 25kW	2.500	-	1.900	-	300	-	400	-	5.100
25 – 50kW	8.800	-	2.600	-	200	-	7.800	-	19.400
>50kW	14.800	-	1.900	-	100	-	500	-	17.300
Summe	26.100	5 %	6.400	100 %	600	2 %	8.700	100 %	41.800

Quelle: Struschka et al. (2008)

Bei Musialczyk und Mantau (2007) und Mantau et al. (2012) wurden Anlagen der Brennstoffklassen 4 bis 7 mit einer Leistung unter 100 kW nach der Verteilung der BAFA Förderstatistik auf die Sektoren privat, gewerblich und kommunal aufgeteilt. In Tabelle 14 ist die prozentuale Aufteilung dieser Anlagen auf die drei Sektoren für das Jahr 2010 nach Mantau et al. (2012) dargestellt. Anlagen mit einer Leistung über 100 kW wurden gänzlich dem gewerblichen bzw. kommunalen Sektor und somit den Nichthaushalten zugeordnet.

Tabelle 14: Sektorale Aufteilung des Anlagenbestands für das Jahr 2010

Anlagen der Brennstoffklassen 4 bis 7 nach der 1. BImSchV	Privater Sektor	Gewerblicher Sektor	Kommunaler Sektor
15 – 49 kW	97,2 %	2,4 %	0,5 %
50 – 99 kW	79,0 %	18,5 %	2,5 %
100 – 149 kW	0,0 %	96,3 %	3,7 %
150 – 499 kW	0,0 %	92,5 %	7,5 %
500 – 1.000 kW	0,0 %	89,0 %	11,0 %

Anmerkung: Eine Legende zu den Brennstoffklassen der 1. BImSchV ist in Tabelle 9 zu finden

Quelle: Nach Mantau et al. (2012)

3.4 Abschätzung des Anlagenbestands im GHD-Sektor für die Jahre 2015 und 2016

Im Folgenden werden die Anlagenbestände differenziert nach Sektoren, Leistungsklassen, Beschickungsart und Brennstoffen für die Jahre 2015 und 2016 ermittelt. Als Ausgangsbasis dienen Daten von ZIV (2018) und BAFA (2019) sowie Annahmen, die in Anlehnung an Merten et al. (2004) getroffen werden. Der Anlagenbestand für das Jahr 2016 wurde gemeinsam mit der parallel durchgeführten Studie zu den Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL im Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“ ermittelt (vgl. Döring et al. 2018a). Diese Ergebnisse stellen damit auch die Grundlage für die Berechnung des gesamten Holzeinsatzes in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL in Döring et al. 2018a dar.

In Tabelle 15 sind alle nach der 1. BImSchV messpflichtigen sowie nicht messpflichtigen Feuerungsanlagen für die Jahre 2015 und 2016 nach Leistungsklassen, Beschickungsarten und Brennstoffsorten abgebildet. Die Daten stammen aus einer unveröffentlichten Zusammenführung des ZIV von Bestandsdaten auf Kreisebene. Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Anlagenzahlen der Brennstoffe 5a mit ca. 160.000 bis 200.000 in 2015 und 2016 geringer ausfallen, als die von DEPI (2018b) angegebenen 400.000 Pelletfeuerungen. In der Zahl des DEPI sind neben Pelletkesseln auch ca. 145.000 Pelletkaminöfen enthalten, die vermutlich nicht in den vom ZIV erfassten Leistungsbereich (ab 4 kW) fallen. Wäre dies für alle Pelletkaminöfen der Fall, läge der zu vergleichende Bestand der Pelletfeuerungen (Brennstoff 5a) bei ca. 255.000 Anlagen und wäre deutlich näher an dem vom ZIV ermittelten Anlagenbestand. Genauere Ursachen der unterschiedlichen Anlagenzahlen zu den Pelletfeuerungen lassen sich aufgrund fehlender Dokumentation nicht nachvollziehen und können somit kaum einer Bewertung unterzogen werden.

Um im Rahmen dieser Studie sowie auch für zukünftige Berechnungen eine konsistente Datengrundlage zu nutzen, berücksichtigen wir die Informationen des ZIV zur Abschätzung des Anlagenbestands. Mögliche Ungenauigkeiten hinsichtlich des Anlagenbestands oder des insgesamt abgeschätzten Verbrauchsvolumens werden ergänzend in den Kapiteln 3.5 und 6 angesprochen.

Tabelle 15: Gesamter Anlagenbestand (nach 1. BImSchV messpflichtige und nicht messpflichtige Anlagen) für die Jahre 2015 und 2016

2015					
Leistungsklassen	Art der Beschickung Brennstoffklassen nach der 1. BImSchV				Summe
	mechanisch beschickt	handbeschickt	mech. und handbeschickt		
	4 und 5	4 und 5	5a	6 und 7	
4 – 15 kW	2.630	83.825	75.181	0	161.636
15 – 50 kW	27.498	341.633	81.180	743	451.054
>50 kW	15.971	7.711	9.156	3.107	35.945
Summe	46.099	433.169	165.517	3.850	648.635
2016					
Leistungsklassen	Art der Beschickung Brennstoffklassen nach der 1. BImSchV				Summe
	mechanisch beschickt	handbeschickt	mech. und handbeschickt		
	4 und 5	4 und 5	5a	6 und 7	
4 – 15 kW	2.842	89.692	87.797	0	180.331
15 – 50 kW	29.381	361.690	93.396	750	485.217
>50 kW	16.569	8.220	12.671	3.059	40.519
Summe	48.792	459.602	193.864	3.809	706.067

Anmerkung: Eine Legende zu den Brennstoffklassen der 1. BImSchV ist in Tabelle 9 zu finden

Quelle: ZIV (2018)

Die BAFA Förderstatistik weist alle Biomassekessel aus, die in einem Jahr durch das Marktanreizprogramm (MAP) gefördert wurden. Für die Erstellung von Tabelle 16 wurden alle geförderten Anlagen aggregiert, die seit Beginn der Erfassung (2001) bis in das jeweilige Bezugsjahr aufgeführt werden. Für das Jahr 2015 werden Daten von 2001 bis 2015 und für 2016 Daten von 2001 bis 2016 verwendet.

Tabelle 16: Sektorale Aufteilung des Anlagenbestands im Leistungsbereich bis 100 kW

2015				
Wirtschaftsbereiche	4 – 15 kW	15 – 50 kW	50 – 100 kW	
Öffentlich und Rechtlich		0,24 %	0,38 %	3,96 %
Gewerbe, Handel und Freiberufler		2,03 %	2,14 %	21,56 %
Industrie		0,00 %	0,01 %	0,10 %
Kontraktor		0,01 %	0,02 %	0,17 %
Landwirtschaft		0,01 %	0,14 %	0,96 %
Privater Haushalt		97,67 %	97,25 %	72,66 %
Sonstiges		0,03 %	0,06 %	0,59 %

Wirtschaftsbereiche	2016		
	4 – 15 kW	15 – 50 kW	50 – 100 kW
Öffentlich und Rechtlich	0,24 %	0,37 %	3,99 %
Gewerbe, Handel und Freiberufler	2,00 %	2,14 %	21,85 %
Industrie	0,00 %	0,01 %	0,10 %
Kontraktor	0,01 %	0,02 %	0,20 %
Landwirtschaft	0,01 %	0,16 %	1,18 %
Privater Haushalt	97,70 %	97,24 %	72,02 %
Sonstiges	0,03 %	0,06 %	0,66 %

Quelle: BAFA (2019)

In verschiedenen früheren Studien (Merten et al. 2004, Musialczyk und Mantau 2007 und Mantau et al. 2012) wurde der Anlagenbestand ab 15 kW in fünf Leistungsklassen angegeben. Der verwendete Anlagenbestand ab 4 kW des ZIV dagegen unterscheidet lediglich drei Leistungsklassen. Aus diesem Grund wird für diesen Arbeitsschritt die oberste Leistungsklasse (>50 kW) in vier weitere Leistungsklassen (50 – 100 kW, 100 – 150 kW, 150 – 500 kW und 500 – 1.000 kW) aufgeteilt. Als Grundlage hierfür dient der Anlagenbestand von Musialczyk und Mantau (2007), der um die Erstmessungen aus Mantau et al. (2012) vervollständigt wird.

Zusätzlich wird der gesamte Anlagenbestand in die Sektoren private Haushalte, GHD, Umwandlung und Industrie aufgeteilt. Für Anlagen im Leistungsbereich von 4 bis 100 kW stellt, in Anlehnung an Merten et al. (2004), die BAFA Förderstatistik die Grundlage zur Aufteilung dar. Die BAFA Förderstatistik unterscheidet die Sektoren private Haushalte, GHD-Sektor und Industriesektor (vgl. Tabelle 16). Der GHD-Sektor setzt sich dabei aus den Bereichen Öffentlich und Rechtlich; Gewerbe, Handel und Freiberufler; Kontraktor; Landwirtschaft und Sonstiges zusammen.

Für Anlagen ab 100 kW werden zusätzlich folgende Annahmen unterstellt:

- ▶ Anlagen des Umwandlungssektors sind in diesem Leistungsbereich nicht vertreten.⁹
- ▶ Es gibt keine Anlagen in privaten Haushalten mit einer Leistung über 100 kW (nach Merten et al. 2004).¹⁰
- ▶ Der Anteil von Anlagen aus dem Industriesektor wird für die Leistungsklassen 100-150 kW und 150-500 kW aus der Klasse 50-100 kW übernommen. Ab einer Leistung von 500 kW wird, in Anlehnung an Merten et al. (2004) und an Stichprobenergebnisse aus Döring et al. (2018a)¹¹, unterstellt, dass 70 % der Anlagen dem Industriesektor und 30 % dem GHD-Sektor zuzuordnen sind.¹²

In Tabelle 17 ist der gesamte Anlagenbestand bis 1 MW FWL nach Sektoren für die Jahre 2015 und 2016 dargestellt. Döring et al. (2018a) verwenden die Ergebnisse für ihre Berechnungen. Hierbei fassen sie den

⁹ Laut einer Studie des DBFZ (2015) ist es möglich, dass Holzgas-BHKW, die von Unternehmen des Umwandlungssektors betrieben werden, dieser Leistungsklasse zugeordnet werden könnten. Da jedoch keine genauen Zahlen bekannt sind, wird dieser Aspekt für die hier getroffene Annahme nicht berücksichtigt. Bei einer zukünftigen Revision der Methodik zur Ableitung des Anlagenbestands muss die Datenlage hierzu jedoch wieder geprüft werden.

¹⁰ Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass in wenigen großen Wohngebäuden wie auch in Wohngebäudeverbunden Holzfeuerungen betrieben werden. Falls vorhanden, dürfte die Anzahl dieser Anlagen in Wohngebäuden sehr gering sein und kann hier vernachlässigt werden. Informationen für weiterführende Annahmen liegen nicht vor. Bei Holzfeuerungen in Wohngebäudeverbunden gehen wir davon aus, dass diese als gewerbliche Anlagen betrieben werden.

¹¹ Aufgrund der fehlenden Repräsentativität der Stichprobe kann diese lediglich zur groben Orientierung herangezogen werden.

¹² Diese Annahme ist für eine Abschätzung der Gesamtanzahl der Anlagen im GHD-Sektor von hoher Relevanz. Abgesehen von den weiter oben zitierten Quellen liegen keine weiteren Informationen vor, die eine differenziertere Einschätzung ermöglichen.

Anlagenbestand der Sektoren GHD, Industrie und Umwandlung zusammen, um den gesamten Anlagenbestand in Nicht-Haushalten zu berechnen.

Tabelle 17: Anzahl der Anlagen nach Sektoren und Leistungsklassen sowie deren Anteil an der Grundgesamtheit

Leistungsklassen	2015							
	private Haushalte		GHD-Sektor		Industriesektor		Umwandlungssektor	
	Anzahl	Anteil an Grundg.	Anzahl	Anteil an Grundg.	Anzahl	Anteil an Grundg.	Anzahl	Anteil an Grundg.
4 – 15 kW	157.867	97,7 %	3.768	2,3 %	1	0,0 %	0	0,0 %
15 – 50 kW	438.665	97,3 %	12.364	2,7 %	25	0,0 %	0	0,0 %
50 – 100 kW	15.510	72,7 %	5.815	27,2 %	36	0,2 %	0	0,0 %
100 – 150 kW	0	0,0 %	5.191	99,8 %	9	0,2 %	0	0,0 %
150 – 500 kW	0	0,0 %	7.243	99,8 %	12	0,2 %	0	0,0 %
500 – 1.000 kW	0	0,0 %	643	30,0 %	1.500	70,0 %	0	0,0 %
Summe	612.042	-	35.024	-	1.582	-	0	-
Leistungsklassen	2016							
	private Haushalte		GHD-Sektor		Industriesektor		Umwandlungssektor	
	Anzahl	Anteil an Grundg.	Anzahl	Anteil an Grundg.	Anzahl	Anteil an Grundg.	Anzahl	Anteil an Grundg.
4 – 15 kW	176.181	97,7 %	4.148	2,3 %	1	0,0 %	0	0,0 %
15 – 50 kW	471.833	97,2 %	13.359	2,8 %	25	0,0 %	0	0,0 %
50 – 100 kW	17.331	72,0 %	6.709	27,9 %	24	0,1 %	0	0,0 %
100 – 150 kW	0	0,0 %	5.855	99,9 %	6	0,1 %	0	0,0 %
150 – 500 kW	0	0,0 %	8.171	99,9 %	8	0,1 %	0	0,0 %
500 – 1.000 kW	0	0,0 %	725	30,0 %	1.691	70,0 %	0	0,0 %
Summe	665.346	-	38.966	-	1.755	-	0	-

Anmerkung: Eine Legende zu den Brennstoffklassen der 1. BImSchV ist in Tabelle 8 zu finden

Quelle: Nach ZIV (2018), BAFA BAFA (2019), Merten et al. (2004) und Döring et al. (2018a)

Eine sektorale Aufteilung des Anlagenbestands nach Leistungsklassen, Beschickungsart und Brennstoffen ist in Tabelle 18 und Tabelle 19 jeweils für die Jahre 2015 und 2016 dargestellt. Grundsätzlich entspricht die Verteilung der Anlagen auf Beschickungsarten und Brennstoffe dem Verhältnis des Gesamtanlagenbestands. Weitere Einschränkungen waren, dass:

- ▶ aufbauend auf Merten et al. (2004), Brennstoffe der Klassen 6 und 7 nicht im Haushaltssektor eingesetzt werden.
- ▶ die Anlagenzahlen nach Sektoren und Leistungsklassen aus Tabelle 17 eingehalten werden müssen.

Tabelle 18: Anlagenbestand nach Sektoren, Leistungsklassen, Beschickungsart und Brennstoffen für die Jahre 2015

Leistungs- klassen	Beschickungsart Brennstoffklassen nach der 1. BImSchV				Insgesamt
	mechanisch beschickt	handbeschickt	mech. und handbeschickt		
	4 und 5	4 und 5	5a	6 und 7	
Haushaltssektor					
4 – 15 kW	2.569	81.871	73.428	0	157.867
15 – 50 kW	26.787	332.798	79.081	0	438.665
50 – 100 kW	7.544	3.642	4.325	0	15.510
100 – 150 kW	0	0	0	0	0
150 – 500 kW	0	0	0	0	0
500 – 1.000 kW	0	0	0	0	0
Summe	36.899	418.310	156.834	0	612.042
GHD-Sektor					
4 – 15 kW	61	1.954	1.753	0	3.768
15 – 50 kW	710	8.818	2.095	742	12.364
50 – 100 kW	1.936	935	1.110	1.834	5.815
100 – 150 kW	2.306	1.114	1.322	449	5.191
150 – 500 kW	3.218	1.554	1.845	626	7.243
500 – 1.000 kW	286	138	163	56	643
Summe	8.517	14.512	8.289	3.706	35.024
Industriesektor					
4 – 15 kW	0	1	0	0	1
15 – 50 kW	1	18	4	1	25
50 – 100 kW	12	6	7	11	36
100 – 150 kW	4	2	2	1	9
150 – 500 kW	5	3	3	1	12
500 – 1.000 kW	666	322	382	130	1.500
Summe	689	350	399	144	1.582

Leistungs- klassen	Beschickungsart Brennstoffklassen nach der 1. BImSchV				Insgesamt
	mechanisch beschickt	handbeschickt	mech. und handbeschickt		
	4 und 5	4 und 5	5a	6 und 7	
Umwandlungssektor					
4 – 15 kW	0	0	0	0	0
15 – 50 kW	0	0	0	0	0
50 – 100 kW	0	0	0	0	0
100 – 150 kW	0	0	0	0	0
150 – 500 kW	0	0	0	0	0
500 – 1.000 kW	0	0	0	0	0
Summe	0	0	0	0	0

Anmerkung: Eine Legende zu den Brennstoffklassen der 1. BImSchV ist in Tabelle 9 zu finden

Quelle: Nach ZIV (2018), BAFA (2019), Merten et al. (2004) und Döring et al. (2018a)

Tabelle 19: Anlagenbestand nach Sektoren, Leistungsklassen, Beschickungsart und Brennstoffen für das Jahr 2016

Leistungs- klassen	Beschickungsart Brennstoffklassen nach der 1. BImSchV				Insgesamt
	mechanisch beschickt	handbeschickt	mech. und handbeschickt		
	4 und 5	4 und 5	5a	6 und 7	
Haushaltssektor					
4 – 15 kW	2.777	87.628	85.777	0	176.181
15 – 50 kW	28.615	352.258	90.960	0	471.833
50 – 100 kW	7.666	3.803	5.862	0	17.331
100 – 150 kW	0	0	0	0	0
150 – 500 kW	0	0	0	0	0
500 – 1.000 kW	0	0	0	0	0
Summe	39.057	443.689	182.599	0	665.346
GHD-Sektor					
4 – 15 kW	65	2.063	2.020	0	4.148
15 – 50 kW	765	9.414	2.431	749	13.359
50 – 100 kW	2.167	1.075	1.657	1.810	6.709
100 – 150 kW	2.394	1.188	1.831	442	5.855
150 – 500 kW	3.341	1.658	2.555	617	8.171
500 – 1.000 kW	296	147	227	55	725
Summe	9.028	15.545	10.720	3.672	38.966
Industriesektor					
4 – 15 kW	0	1	1	0	1
15 – 50 kW	1	18	4	1	25
50 – 100 kW	8	4	6	7	24
100 – 150 kW	2	1	2	0	6
150 – 500 kW	3	2	2	1	8
500 – 1.000 kW	691	343	529	128	1.691
Summe	706	368	545	137	1.755

Leistungs- klassen	Beschickungsart Brennstoffklassen nach der 1. BImSchV				Insgesamt
	mechanisch beschickt	handbeschickt	mech. und handbeschickt		
	4 und 5	4 und 5	5a	6 und 7	
Umwandlungssektor					
4 – 15 kW	0	0	0	0	0
15 – 50 kW	0	0	0	0	0
50 – 100 kW	0	0	0	0	0
100 – 150 kW	0	0	0	0	0
150 – 500 kW	0	0	0	0	0
500 – 1.000 kW	0	0	0	0	0
Summe	0	0	0	0	0

Anmerkung: Eine Legende zu den Brennstoffklassen der 1. BImSchV ist in Tabelle 9 zu finden

Quelle: Nach ZIV (2018), BAFA (2019), Merten et al. (2004) und Döring et al. (2018a)

3.5 Zusammenfassung und Diskussion

In Tabelle 20 ist der Anlagenbestand für den GHD-Sektor aus eigenen Berechnungen und Literaturangaben im Leistungsbereich von 4 – 1.000 kW nach Energiesektoren und unterschiedlichen Jahren dargestellt. Für Feuerungskessel in Haushalten stimmen unsere Berechnungen mit denen von Struschka et al. (2008) und Tebert et al. (2016) weitestgehend überein. Bei den Ergebnissen zur Anzahl von Feuerungsanlagen im GHD-Sektor fällt auf, dass unsere Ergebnisse mit ca. 35.000 Anlagen im Vergleich zu allen anderen Studien am niedrigsten liegen. Eine vermutliche Überschätzung des Anlagenbestands im GHD-Sektor von Tebert et al. (2016) können durch unsere Ergebnisse bestätigt werden. Tebert et al. (2016) wiesen für das Jahr 2010 einen fast fünfmal größeren Anlagenbestand aus. Musialczyk und Mantau (2007) und Mantau et al. (2012) wiesen im Vergleich zu unseren Ergebnissen höhere Bestandszahlen für die Jahre 2005 und 2006 aus. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass Musialczyk und Mantau (2007) und Mantau et al. (2012) den Anlagenbestand in Nicht-Haushalten berechneten, was die höheren Angaben zum GHD-Sektor erklären kann. Anlagen, die den Nicht-Haushalten zugeordnet werden, umfassen zusätzlich zum Sektoren GHD auch die Sektoren Industrie und Umwandlung. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass Musialczyk und Mantau (2007) und Mantau et al. (2012) nur den Anlagenbestand im Leistungsbereich 15 – 1.000 kW berücksichtigten. Anlagen im Bereich < 15 kW werden damit von der Betrachtung ausgeschlossen.

Tabelle 20: Vergleich des Anlagenbestands aus eigenen Berechnungen und der Literatur

Jahr		Eigene Schätzungen		Struschka et al. (2008)	Musialczyk und Mantau (2007)	Mantau et al. (2012)	Tebert et al. (2016)
		2015	2016	2005	2006	2010	2010
Haushalte	Kessel	612.042	665.346	554.700			657.000
	Einzelraumfeuerungen			13.418.800			13.013.200
GHD/Nicht-Haushalte <1MW	Kessel	35.024	38.966	41.900	43.179	51.208	154.600
	Einzelraumfeuerungen			361.200			304.900
Industrie		1.582	1.755				
Umwandlung		0	0				
Kessel insgesamt		648.648	706.067	596.600			811.600

Anmerkung: Struschka et al. (2008): Anlagen für Festbrennstoffe

Musialczyk und Mantau (2007): Biomasseanlagen von 15 kW bis 1 MW, die nicht den privaten Haushalten zugeordnet werden

Mantau et al. (2012): Biomasseanlagen von 15 kW bis 1 MW, die nicht den privaten Haushalten zugeordnet werden

Tebert et al. (2016): Anlagen für Festbrennstoffe

Quelle: Eigene Berechnungen nach ZIV (2018), BAFA (2019), Merten et al. (2004) und Döring et al. (2018a)

Zur Berechnung und Gegenüberstellung dieser Daten ist weiterhin anzumerken, dass die sektorale Aufteilung des gesamten Anlagenbestands maßgeblich von den zugrunde gelegten Annahmen abhängt, die die Schwankungen in den Ergebnissen für den GHD-Sektor erklären. Beispielsweise wird bei der Aufteilung der Anlagen auf Haushalte oder Nicht-Haushalte die seit dem Jahr 2001 erhobene BAFA Förderstatistik verwendet und unterstellt, dass die sektorale Aufteilung der geförderten Anlagen mit der Verteilung des gesamten Anlagenbestands übereinstimmt. Ferner müssen für die weitere Abgrenzung des GHD-Sektors vom Industrie- und vom Umwandlungssektor Annahmen getroffen werden, die jedoch ebenfalls als sehr grobe Schätzungen eingeordnet werden müssen. Veränderte Annahmen würden zu einer anderen sektoralen Aufteilung und damit zu einer anderen Abschätzung des Anlagenbestands für den GHD-Sektor führen. Entsprechend wären die Unsicherheiten einzuschätzen, würde man auf dieser Grundlage den Holzverbrauch im GHD-Sektor abschätzen.

Eine Unsicherheit, die im Speziellen unsere weiteren Berechnungen betrifft, liegt in der Aufteilung der Leistungsklasse > 50 kW in vier Leistungsklassen (50 – 100 kW, 100 – 150 kW, 150 – 500 kW und 500 – 1.000 kW). Diese Aufteilung ist notwendig, um die spätere Hochrechnung des Holzverbrauchs im „Rohstoffmonitoring Holz“ zu ermöglichen. Die tatsächliche Entwicklung der Anlagenzahlen nach Leistungsklassen kann mit diesem Vorgehen allerdings nur vereinfacht dargestellt werden.

In Tabelle 21 sind unsere Ergebnisse zu Anlagen in Nicht-Haushalten, wie auch in Döring et al. (2018a) dargestellt, den Angaben von Mantau et al. (2012) gegenübergestellt. Es fällt auf, dass im Leistungsbereich von 4 bis 15 kW durchaus Anlagen vorhanden sind, die bei Mantau et al. (2012) und Döring et al. (2018a) annahmehingegen nicht berücksichtigt wurden. Weiterhin fällt auf, dass die Anlagenzahl bei Mantau et al. (2012) im Leistungsbereich von 15 bis 50 kW deutlich höher ausfällt als bei unseren Berechnungen bzw. bei Döring et al. (2018a). Der Unterschied erklärt sich durch die geänderte Vorgehensweise. Mantau et al. (2012) berechneten den Anlagenbestand durch Aufsummieren der, zur Ermittlung des Staubauswurfs, erstgemessenen

Anlagen aus dem ZIV-Datenbestand (siehe Kapitel 3.2). Aufgrund der Einstellung dieser Datenerfassung zu den erstgemessenen Anlagen sind diese Informationen nicht mehr verfügbar. Als Anlagenbestand muss nun der vom ZIV direkt ermittelte Wert verwendet werden (siehe Kapitel 3.4).

Tabelle 21: Vergleich der Anlagen in den Nichthaushalten

Leistungsklassen	Mantau et al. (2012)	Eigene Berechnungen; Döring et al. (2018a)	
	2010	2015	2016
4 – 15 kW	0	3.769	4.150
15 – 50 kW	32.930	12.389	13.384
50 – 100 kW	5.509	5.850	6.733
100 – 150 kW	4.463	5.200	5.861
150 – 500 kW	6.386	7.256	8.179
500 – 1.000 kW	1.920	2.143	2.415
Insgesamt	51.208	36.606	40.721

Anmerkung: Mantau et al. (2012): Biomasseanlagen von 15 kW bis 1 MW, die nicht den privaten Haushalten zugeordnet werden

Quelle: Eigene Berechnungen nach ZIV (2018), BAFA (2019), Merten et al. (2004) und Döring et al. (2018a)

Weitere Datenquellen oder Publikationen, die die Bestandsentwicklungen in diesem Leistungsbereich näher untersuchen, liegen nicht vor. Genauere Ursachen für die Bestandsentwicklungen können daher nicht belegt werden. In Tabelle 21 fällt auf, dass es in den Leistungsklassen ab 100 kW eine Zunahme der Anlagenzahlen gibt. Lediglich im kleineren Leistungsbereich ist ein deutlicher Rückgang festzustellen. Die Entwicklung im größeren Leistungsbereich ist als genereller Trend durchaus nachvollziehbar. Weniger plausibel sind allerdings die recht deutlichen Steigerungen der Anlagenzahlen von 2015 auf 2016. Eventuell ist dies auf Schwierigkeiten des ZIV bei der Datenerhebung zurückzuführen, die durch die Umstellung der Erhebungsmethodik für das Jahr 2015 aufgetreten sind. Wie groß der tatsächliche Anstieg im Jahr 2016 war, lässt sich daher nicht genau beziffern, da der Wert für 2015 möglicherweise unterschätzt wurde. Diese Problematik trifft offenbar auch für die ZIV-Datenerhebung für das Jahr 2017 zu (vgl. Kapitel 4.2.3). Es muss daher zum einen weiterhin von einer Untererfassung ausgegangen werden, zum anderen kann dies für die Folgejahre (2017ff) weiterhin deutliche Steigerungen der Angaben zum Anlagenbestand bedeuten, so wie bereits für 2016 gegenüber 2015 dokumentiert. Eine genauere Einschätzung zur Größenordnung ist jedoch aufgrund dieser Erhebungsungenauigkeit und mangelnder Vergleichszahlen nicht möglich.

Eine weitere Unsicherheit soll in an dieser Stelle erwähnt werden. Es ist nicht festzustellen, zu welchem Zeitpunkt die Neuanlagen jeweils in Betrieb gegangen sind. Es ist möglich, dass der ZIV-Wert auch Anlagen umfasst, die erst zum Ende eines Jahres in Betrieb gegangen sind. In gleicher Weise ist es möglich, dass Anlagen erst vom ZIV erfasst werden, wenn sie bereits einige Zeit in Betrieb waren. Da dies auch jahresübergreifend der Fall sein kann, könnte sich dies wiederum gegenteilig auf den hochgerechneten Gesamtverbrauchswert auswirken. Für eine bessere Einschätzung dieses Sachverhalts wären weitergehende Informationen zur Datenerhebung durch den ZIV erforderlich.

Aufgrund dieser großen Unsicherheiten wird der hier abgeleitete Anlagenbestand für den GHD-Sektor nicht zur weiteren Ableitung einer GHD-Zeitreihe verwendet. Die Werte dienen jedoch dazu, die im folgenden Kapitel ermittelten Ergebnisse prüfen zu können.

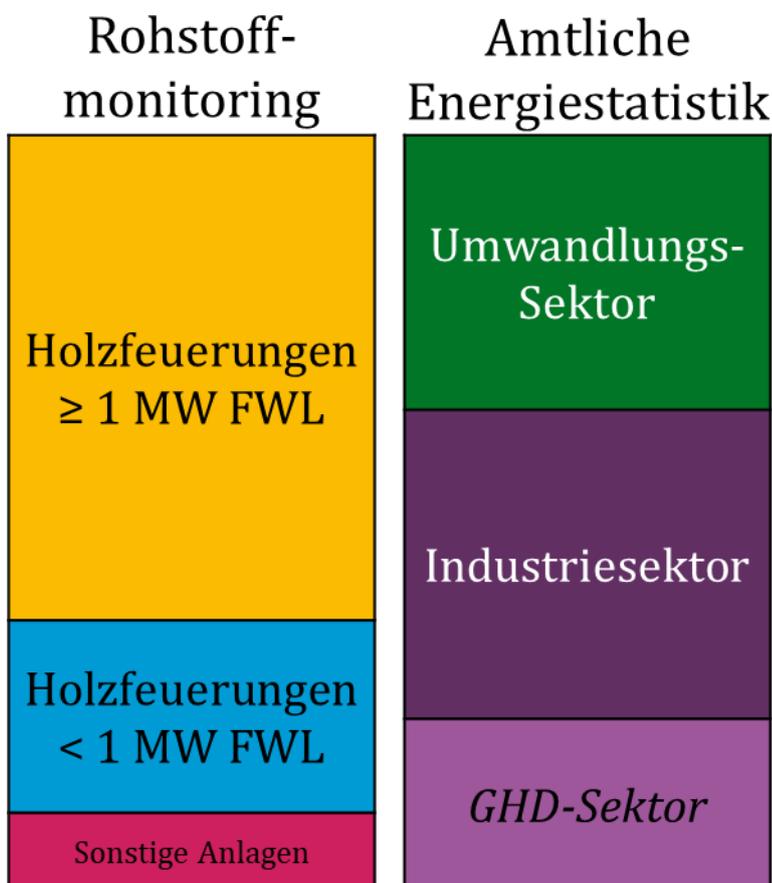
4 Energetische Holznutzung im GHD-Sektor

4.1 Einleitung

In diesem Kapitel erfolgen die detaillierten Darstellungen der Berechnungen zur Ermittlung des energetischen Holzeinsatzes im GHD-Sektor. Zunächst wird in der Einleitung die Grundidee zur Restrechnung vorgestellt und darauf aufbauend das weitere Vorgehen in den Kapiteln 4.2 bis 4.7 skizziert.

Maßgebliche Datengrundlage stellen die jahresspezifischen Ergebnisse der Befragungen zur energetischen Holznutzung in Nicht-Haushalten aus dem Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“ und der amtlichen Energiestatistik dar. Anhand dieser Informationen soll eine Zeitreihe über den energetischen Holzeinsatz im GHD-Sektor für den Zeitraum von 2003 bis 2017 berechnet werden. Methodische Grundlage für dieses Vorgehen ist der Restrechnungsansatz zur Ermittlung des Holzverbrauchs im GHD-Sektor (Weimar 2016). Die grundsätzliche Idee des Restrechnungsansatzes ist darauf zurückzuführen, dass im Rahmen des „Rohstoffmonitoring Holz“ der gesamte Holzverbrauch aller Feuerungsanlagen in Nicht-Haushalten ermittelt wird. Dieser Gesamtwert ist damit größer als die Ergebnisse aus der amtlichen Energiestatistik, da Sektoren bzw. Anlagen, die dem GHD-Sektor zuzurechnen sind, über die amtlichen Erhebungen nicht erfasst werden. Der GHD-Sektor berechnet sich daher in der Verschneidung der Daten aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ und der amtlichen Energiestatistik als rechnerische Differenz dieser beiden Statistiken. Abbildung 6 stellt den methodischen Ansatz der Restrechnung schematisch dar.

Abbildung 6: Schema des Restrechnungsansatzes zur Ermittlung des Holzverbrauchs im GHD-Sektor



Quelle: Eigene Zusammenstellung

Die Daten aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ setzen sich zusammen aus den Ergebnissen zu den Feuerungsanlagen < 1 MW FWL, den Feuerungsanlagen \geq 1 MW FWL sowie dem Verbrauch von Holz in sonstigen Anlagen. Da aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ Holzverbräuche nur für einzelne Jahre vorliegen, müssen zur Erstellung einer Zeitreihe Modelle für die drei Teilkomponenten (Feuerungsanlagen < 1 MW FWL, Feuerungsanlagen \geq 1 MW FWL und sonstige Anlagen) berechnet werden, bzw. müssen Annahmen zur Herleitung von Zeitreihen getroffen werden. Dies wird in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt. In Kapitel 4.2 wird die Zeitreihe zum Holzverbrauch in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL berechnet, in Kapitel 4.3 für die Holzfeuerungsanlagen \geq 1 MW FWL und in Kapitel 4.4 die Zeitreihe für Holzbiomasse in sonstigen Anlagen. In Kapitel 4.5 wird ein Überblick über die Erfassung des energetischen Holzeinsatzes in der amtlichen Energiestatistik gegeben. Kapitel 4.6 thematisiert die verwendeten Umrechnungsfaktoren und geht auf die Kohärenz der in den vorherigen Kapiteln 4.2 bis 4.5 dargestellten Datenquellen ein. Abschließend erfolgt in Kapitel 4.7 die Berechnung des energetischen Holzverbrauchs im GHD-Sektor über den Restrechnungsansatz sowie die Diskussion der Methodik und der Ergebnisse.

4.2 Holzfeuerungsanlagen < 1 MW Feuerungswärmeleistung

4.2.1 Einführung und Datengrundlage

Im Folgenden wird der Holzverbrauch in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL in der Zeitreihe von 2003 bis 2017 berechnet. Dazu wird zunächst der anlagenspezifische Holzeinsatz ermittelt (Kapitel 4.2.2) und anschließend eine Zeitreihe zum Anlagenbestand (Kapitel 4.2.3) hergeleitet. Die resultierenden Ergebnisse zum hochgerechneten Holzverbrauch werden in Kapitel 4.2.4 dargestellt.

Für die Berechnung des anlagenspezifischen Holzeinsatzes liegen drei Stichprobenergebnisse aus den Befragungen der Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL des Projekts „Rohstoffmonitoring Holz“ vor (vgl. Kapitel 2.2). Die Stichproben beziehen sich auf die Jahre 2006, 2010 und 2016. Der Umfang der Stichproben variiert je nach Bezugsjahr ($n_{2006}=258$, $n_{2010}=183$ und $n_{2016}=347$). Alle Stichproben beinhalten Informationen zum anlagenspezifischen Holzverbrauch, zur Feuerungswärmeleistung, zur sektoralen Zuordnung (Gewerbe oder Kommune) und zu den verwendeten Holzsortimenten. Darüber hinaus beinhaltet die Stichprobe für das Jahr 2016 Regionalinformationen mit denen sich die Standorte der Feuerungsanlagen bestimmen lassen. Auf Grundlage dieser Daten soll der anlagenspezifische Holzverbrauch im zeitlichen Verlauf sowie in Abhängigkeit von relevanten Einflussfaktoren bestimmt und anschließend für Deutschland hochgerechnet werden. Für die Hochrechnung ist entscheidend, dass die Stichprobe repräsentativ für den deutschen Anlagenbestand ist. In Musialczyk und Mantau (2007), Mantau et al. (2012) und Döring et al. (2018a) wird die Repräsentativität der Stichprobe durch Stratifizierung nach zwei Merkmalen des Anlagenbestands (Feuerungswärmeleistung und sektoraler Aufteilung) sichergestellt. Über Gewichtungsfaktoren, die die beiden Merkmale berücksichtigen, wird dieses Vorgehen nachgebildet. Die Gewichtungsfaktoren werden durch iterative Post-Stratifizierung nach Lumley (2018) erstellt. Das bedeutet, dass den Nennungen der Stichprobe nach Durchführung der Datenerhebung Gewichte zugeordnet werden. Die Gewichte sorgen dafür, dass Nennungen, die im Vergleich zur Grundgesamtheit unterrepräsentiert sind mehr Gewicht bekommen. Für bestimmte Merkmale können verzerrte Stichproben auf diese Weise nachträglich korrigiert werden.

Zeitliche Variationen der Holzverbräuche werden in Abhängigkeit von unabhängigen Variablen modelliert. Als Datengrundlage für die Modellierung dienen die drei Datensätze für die Jahre 2006, 2010 und 2016. Aus den Befragungsergebnissen liegen zwei anlagenspezifische Variablen (Feuerungswärmeleistung und sektorale Zuordnung) vor. Um den Datensatz zu erweitern, werden den erfassten Anlagen jahresspezifische Werte auf Bundesebene zugeordnet. Aufgrund der fehlenden Regionalinformationen der Stichproben in den Jahren 2006 und 2010 ist eine weitere, regionale Differenzierung der nachträglich zugeordneten Variablen nicht möglich. Das bedeutet, diese Werte sind für alle Anlagen in einem Stichprobenjahr gleich, sie variieren lediglich über die drei Bezugsjahre. Tabelle 22 zeigt die getesteten unabhängigen Variablen, die zur Spezifizierung des Modells herangezogen werden. Es handelt sich

dabei neben den beiden anlagenspezifischen Variablen um Temperaturdaten sowie unterschiedliche Preis- und Umsatzdaten.

Tabelle 22: Datensatz der unabhängigen Variablen zur Modellierung des anlagenspezifischen Holzeinsatzes

Variablenname	Genauigkeit	Quelle
<i><u>Anlageninformationen</u></i>		
Feuerungswärmeleistung	Anlagenspezifischer Wert	Rohstoffmonitoring Holz
Sektor: (Gewerbe/Kommune)	Anlagenspezifischer Wert	Rohstoffmonitoring Holz
<i><u>Temperaturdaten</u></i>		
Gradtagszahlen (GTZ)	Jahresspezifischer Wert	DWD (2018b)
<i><u>Preisdaten</u></i>		
Gewichteter EPI (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	nach Destatis (2018b); AGEB (2018a)
Gewichteter EPI exkl. Strom (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	nach Destatis (2018b); AGEB (2018a)
Fernwärme EPI (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	Destatis (2018b)
Strom EPI (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	Destatis (2018b)
Erdgas EPI (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	Destatis (2018b)
Heizöl EPI (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	Destatis (2018b)
Industrieholz aus dem Holzeinschlag EPI (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	Destatis (2018b)
<i><u>Umsatzdaten</u></i>		
WZ16 Holzwaren (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	Destatis (2018a)
WZ16.1 Sägewerke (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	Destatis (2018a)
WZ16.2 Sonst. Holzwaren (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	Destatis (2018a)
Umsatz Cluster Holz (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	TI-WF (2018a)
Umsatz Forstwirtschaft (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	TI-WF (2018a)
Umsatz Holzbe- und -verarbeitung (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	TI-WF (2018a)
Umsatz Sägeindustrie (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	TI-WF (2018a)
Umsatz Holzwirtschaft (Idx=2010)	Jahresspezifischer Wert	TI-WF (2018a)

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Die Ergebnisse aus Musialczyk und Mantau (2007), Mantau et al. (2012) und Döring et al. (2018a) legen nahe, dass die Feuerungswärmeleistung positiv mit dem Holzverbrauch in den Anlagen korreliert ist. Die Ergebnisse aus Mantau et al. (2012) zeigen, dass gewerbliche Anlagen tendenziell einen höheren durchschnittlichen Holzverbrauch aufweisen als kommunale Anlagen. Die Übersichten in Musialczyk und Mantau (2007) zeigen hier jedoch kein eindeutiges Bild. Döring et al. (2018) haben in ihrer Ergebnisdarstellung keine Differenzierung in gewerbliche und kommunale Anlagen vorgenommen.

Klimatische Einflussfaktoren werden über Gradtagszahlen (GTZ) berücksichtigt. Gradtagszahlen berechnen sich nach Formel 1 als Jahressumme der Differenz der durchschnittlichen Tagestemperatur (\bar{t}_d) und 20°C, wenn die durchschnittliche Tagestemperatur unter 15°C lag (VDI 3807). Kältere Winter erhalten dadurch höhere Werte. Es wird davon ausgegangen, dass der energetische Holzverbrauch positiv mit GTZ korreliert ist.

Formel 1: Berechnung von Gradtagszahlen

$$GTZ = \sum_{d=1}^{365} \begin{cases} (20^{\circ}\text{C} - \bar{t}_d), & \bar{t}_d < 15^{\circ}\text{C} \\ 0, & \bar{t}_d \geq 15^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

Quelle: (VDI 3807)

Aus den Klimafaktoren nach Postleitzahlen (PLZ) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) können regional differenzierte GTZ abgeleitet werden (DWD 2018b). Für die Bildung einer Zeitreihe von GTZ auf Bundesebene gibt es derzeit kein normiertes Verfahren. Unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung eines bundesweiten GTZ-Mittels sind dokumentiert (Jochem et al. 2015, Kemmler et al. 2017, AGEB 2018c und Eurostat 2018b). Da keine Verteilung der Feuerungsanlagen für alle drei Erhebungsjahre über das Bundesgebiet bekannt ist, wird, zur größtmöglichen regionalen Abdeckung, der jährliche Mittelwert aller GTZ nach Postleitzahlen berechnet.¹³ In Tabelle 23 ist die verwendete Zeitreihe der gemittelten Gradtagszahlen nach Postleitzahlen den GTZ-Angaben von AGEB (2019) gegenübergestellt. Beim Vergleich der Zeitreihen fällt auf, dass sie sich im Niveau unterscheiden. Der Mittelwert über alle PLZ-Zonen weist leicht höhere Werte für die Gradtagszahlen aus als die Gradtagszahlen nach AGEB (2019). Als Variable im Rahmen einer Regressionsschätzung ist jedoch die Änderungsrate entscheidend. Diese sind für beide Vorgehensweisen sehr ähnlich, wie Tabelle 23 zeigt. Niveauunterschiede im absoluten Betrag, die über die Zeitreihe konstant bleiben, werden vom Schätzkoeffizienten aufgenommen und führen zu keinen Unterschieden im Schätzergebnis.

¹³ Diese Datengrundlage könnte somit auch verwendet werden, um Feuerungsanlagen einen spezifischen GTZ-Wert zuzuweisen, sofern zu den Anlagen Regionalinformationen vorliegen. Dies wäre bei möglichen zukünftigen Überarbeitungen der Berechnungsmethodik von Vorteil, wenn durch weitere Erhebungen im „Rohstoffmonitoring Holz“ neue Datenpunkte hinzukommen.

Tabelle 23: Gradtagszahlen zur Schätzung des anlagenspezifischen Holzverbrauchs

Jahr	Mittelwert über alle PLZ-Zonen, DWD 2018b		Mittelwert, 16 Stationen, AGEB (2019)		Mittelwert über DWD 2018a und DWD 2018b	
	absolut	Jährliche Veränderung	absolut	Jährliche Veränderung	absolut	Jährliche Veränderung
2003	3.711		3.636			
2004	3.797	2,3 %	3.688	1,4 %		
2005	3.768	-0,8 %	3.648	-1,1 %		
2006	3.611	-4,2 %	3.478	-4,7 %		
2007	3.420	-5,3 %	3.253	-6,5 %		
2008	3.595	5,1 %	3.458	6,3 %		
2009	3.650	1,5 %	3.537	2,3 %		
2010	4.204	15,2 %	4.131	16,8 %		
2011	3.442	-18,1 %	3.305	-20,0 %	3.509	
2012	3.701	7,5 %	3.583	8,4 %	3.735	6,4 %
2013	3.876	4,7 %	3.743	4,5 %	3.905	4,5 %
2014	3.248	-16,2 %	3.115	-16,8 %	3.359	-14,0 %
2015	3.494	7,6 %	3.389	8,8 %	3.567	6,2 %
2016	3.566	2,1 %	3.438	1,4 %	3.638	2,0 %
2017	3.547	-0,5 %	3.421	-0,5 %	3.583	-1,5 %

Anmerkung: AGEB berechnet die Gradtagszahlen aus dem Mittelwert der jährlichen Gradtagszahlen von 16 Stationen in Deutschland (nach VDL Richtlinie 3807; kumulierte Monatswerte)

Quelle: Nach DWD 2018b und AGEB (2019)

Bei der bisherigen Datenerfassung im Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“ wurden keine ökonomischen Kenngrößen der Feuerungsanlagen beziehungsweise der zugehörigen Betriebe erfasst. Aus diesem Grund werden im Rahmen dieser Analyse allgemeine jahresspezifische Preisdaten und Daten zum Umsatz im Holzgewerbe getestet, um Tendenzen des ökonomischen Einflusses zu berücksichtigen. Es ist zu erwarten, dass Preise für alternative Energieträger durch Substitutionseffekte positiv mit dem Holzverbrauch assoziiert sind. Für unsere Berechnungen wird der Einfluss einzelner, brennstoffspezifischer Erzeugerpreisindizes (Fernwärme, Strom, Erdgas und Heizöl) sowie zweier gewichteter Erzeugerpreisindizes untersucht (Destatis 2018b und AGEB 2018a). Bei dem ersten gewichteten Erzeugerpreisindex (Gewichteter EPI, Idx=2010) werden die Brennstoffe Fernwärme, Strom, Erdgas und Heizöl mit den jeweiligen jahresspezifischen Verbräuchen im GHD-Sektor gewichtet. Beim zweiten gewichteten Erzeugerpreisindex (Gewichteter EPI exkl. Strom, Idx=2010) wird Strom aus der Betrachtung ausgeschlossen. Während der Gewichtete EPI (Idx=2010) die gesamten Energiekosten im GHD-Sektor abbildet, steht der Gewichtete EPI exkl. Strom (Idx=2010) für die Energiekosten im Zusammenhang mit der Wärmeerzeugung.

Neben alternativen Energieträgern, wird der Erklärungsbeitrag des Index der Erzeugerpreise für Industrieholz aus dem Holzeinschlag geprüft (Destatis 2018b). Es wird davon ausgegangen, dass der energetische Holzverbrauch negativ mit dem Holzpreis korreliert ist, sodass steigende Holzpreise den energetischen Holzverbrauch im GHD-Sektor senken.

Der indizierte Umsatz in den Wirtschaftszweigen der Holzwirtschaft kann als Indikator für die Entwicklung der holzwirtschaftlichen Produktion verwendet werden. Die Umsatzzahlen stammen für unsere Modellierung aus zwei verschiedenen Datenquellen. Aus Destatis (2018a) werden Volumenzindizes des verarbeitenden Gewerbes mit Bezug zur Holzwirtschaft berücksichtigt (WZ08-16: Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- u. Korkwaren (ohne Möbel); WZ08-161: Säge-, Hobel- und Holzimprägnierwerke und WZ08-162: Herstellung von sonstigen Holz-, Kork-, Flecht- und Korbwaren). Aus der Clusterstatistik Forst und Holz (TI-WF 2018a) wird die indizierte Umsatzentwicklung des gesamten Clusters Holz, der Forstwirtschaft, der Holzbe- und -verarbeitung, der Sägeindustrie und von Unternehmen mit Bezug zur Holzwirtschaft (WZ08-16: Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- u. Korkwaren (ohne Möbel); WZ08-17: Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus; WZ08-31: Herstellung von Möbeln) berücksichtigt. Im Allgemeinen gehen wir davon aus, dass der Holzverbrauch in Holzfeuerungsanlagen positiv mit dem Umsatz im Holzgewerbe korreliert ist.

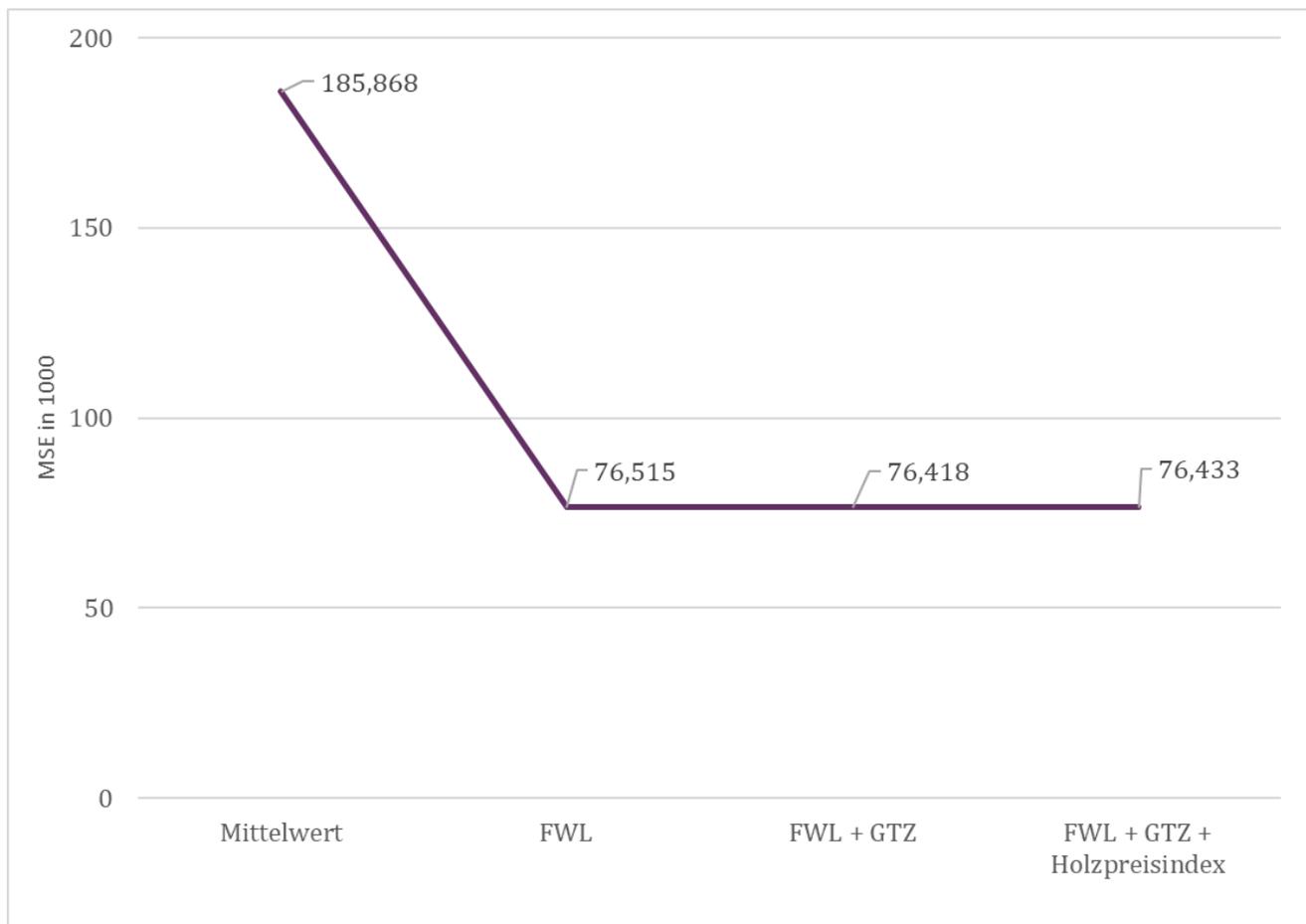
4.2.2 Regressionsmodell zur Bestimmung des durchschnittlichen Holzverbrauchs

Die Variablenauswahl zur Schätzung des anlagenspezifischen Holzverbrauchs erfolgt nach Gareth et al. (2017) durch fortlaufende Variablenselektion (forward selection) in Kombination mit einer einfachen Kreuzvalidierung und dem Ziel das Modell zu identifizieren, welches den kleinsten, durchschnittlichen, quadrierten Schätzfehler (Mean Squared Error, MSE) aufweist. Kreuzvalidierung bzw. Schätzung über Trainings- und Testdatensatz verhindert dabei die Überspezifizierung des Modells. Der MSE gilt als Messgröße anhand derer entschieden wird, dass aus einem zur Verfügung stehenden Datensatz eine Variablenkombination ausgewählt wird, die den kleinsten Fehler bei der Schätzung der abhängigen Variablen erzeugt. Eine erwartungstreue Schätzung der Wirkungszusammenhänge ist von sekundärer Bedeutung.

Für die Modellbildung wird der gesamte Datensatz nach dem Zufallsprinzip in zwei Teilmengen untergliedert (Trainings- und Testdatensatz). Zu Beginn wird auf Grundlage des einen Teils (Trainingsdatensatz) der Mittelwert des Holzverbrauchs berechnet. Anschließend wird mithilfe des berechneten Mittelwerts und der anlagenspezifischen Holzverbräuche aus dem zweiten Teil der Stichprobe (Testdatensatz) ein MSE-Wert als Referenzgröße für alle folgenden MSE-Werte ermittelt.

Im nächsten Schritt werden MSE-Werte für regressive Modelle berechnet. Mit den Angaben im Trainingsdatensatz werden zunächst für alle unabhängigen Variablen univariate regressive Modelle spezifiziert. Anschließend werden mit diesen Modellen und den Angaben aus dem Testdatensatz anlagenspezifische Holzverbräuche geschätzt. Mit den geschätzten und den angegebenen Holzverbräuchen wird für jedes Modell ein MSE-Wert berechnet. Die Variable, mit der sich der beste Fehlerwert (kleinster MSE) berechnet, wird als unabhängige Variable des univariaten Modells identifiziert. Daran anschließend werden sowohl die bereits identifizierte Variable als auch alle übrigen Variablen für ein mögliches bivariates Modell geprüft. Die Berechnung des MSE erfolgt analog wie im univariaten Fall. Dieses Verfahren wird nun für den multivariaten Fall wiederholt. In Abbildung 7 sind die Ergebnisse der Variablenselektion mit dem jeweiligen MSE abgebildet.

Abbildung 7: Ergebnisse der Variablenauswahl



Quelle: Eigene Berechnungen

Eine Verbrauchsschätzung über den Mittelwert resultiert im größten MSE mit 185.868. Der Einbezug der ersten unabhängigen Variablen zur Schätzung des Holzverbrauchs verbessert die Schätzergebnisse deutlich. Der kleinste MSE resultiert dabei aus dem Einbezug der Feuerungswärmeleistung und nimmt einen Wert von 76.515 an. Durch die Berücksichtigung des jahresspezifischen Werts der Gradtagszahlen kann der MSE im bivariaten Modell weiter verbessert werden. Im Vergleich zum univariaten Modell sinkt der MSE um ca. 100 Punkte. Die Auswahl einer dritten Variablen führt dagegen zu einem leichten Anstieg des MSE um 15 Punkte. Mit dieser Variablenkombination tritt offensichtlich eine leichte Überspezifizierung des Modells auf. Ein Modell mit mehr als zwei Variablen führt in unserem Fall zu perfekter Multikollinearität. Grund dafür ist, dass die Variablen nicht anlagenspezifisch vorliegen, sondern nur als Bundesmittel bzw. Bundeswert mit gleicher Ausprägung für alle Anlagen in die Berechnung eingehen.

Die Ergebnisse der Variablenauswahl zeigen, dass mit den Variablen Feuerungswärmeleistung und Gradtagszahlen die besten Ergebnisse zur Schätzung des anlagenspezifischen Holzverbrauchs ermittelt werden. Auf dieser Grundlage wird der anlagenspezifische Holzverbrauch im Folgenden mit den beiden Variablen Feuerungswärmeleistung und Gradtagszahlen in einer Regression über alle befragten Anlagen der drei Stichproben (2006, 2010 und 2016) geschätzt. Wie bereits in Kapitel 3 erläutert, liegen Informationen zur Untergliederung des Anlagenbestands in drei Größenklassen vor (15 – 100 kW, 100 – 500 kW und 500 – 1.000 kW). Aus Gründen der besseren Handhabung wird die metrische Variable der Feuerungswärmeleistung in eine kategoriale Variable mit drei Leistungsklassen aufgeteilt. In Tabelle 24 sind die Ergebnisse für die drei Regressionsgleichungen aufgeführt, mit denen die anlagenspezifischen Holzverbräuche nach drei Leistungsklassen geschätzt werden.

Tabelle 24: Formeln zur Schätzung des anlagenspezifischen Holzverbrauchs in Holzfeuerungen < 1 MW nach Leistungsklassen

Leistungsklasse	Formel
15 – 100 kW	<i>anlagenspezifischer Holzverbrauch (t atro)</i> = -55,558 + 0,022 GTZ
100 – 500 kW	<i>anlagenspezifischer Holzverbrauch (t atro)</i> = 90,594 + 0,022 GTZ
500 – 1.000 kW	<i>anlagenspezifischer Holzverbrauch (t atro)</i> = 470,180 + 0,022 GTZ

Quelle: Eigene Berechnung

Als Eingangsgrößen für die drei Teilmodelle dient zum einen die Unterteilung in die drei Leistungsklassen der FWL (15 – 100 kW, 100 – 500 kW und 500 – 1.000 kW) und zum anderen der jeweilige Jahreswert der Gradtagszahlen. Aus den Eingangsdaten von Tabelle 23 und den Regressionsformeln (Tabelle 24) lassen sich jahresspezifische Werte für den durchschnittlichen Holzverbrauch einer durchschnittlichen Anlage aus einer der drei Leistungsklassen berechnen (Tabelle 25).

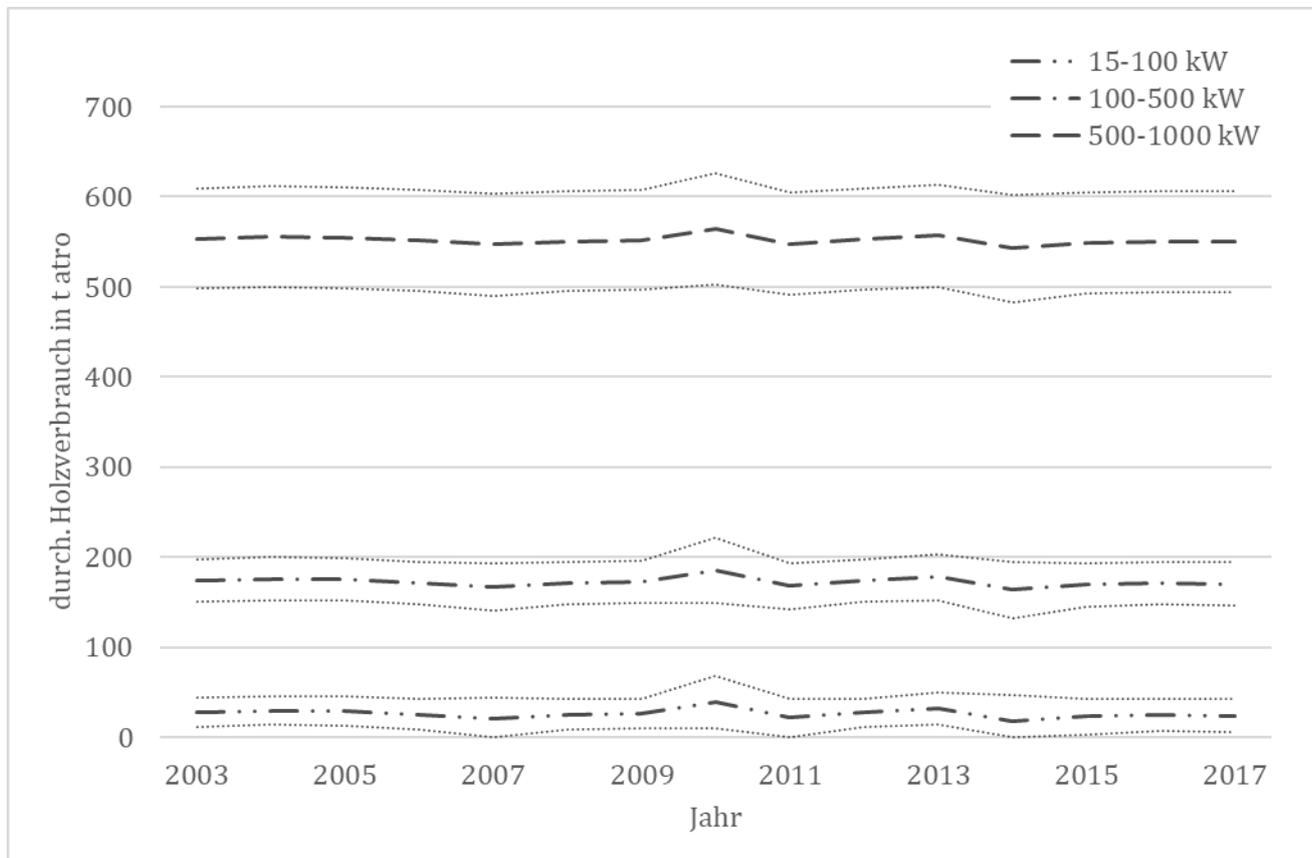
Tabelle 25: Geschätzter anlagenspezifischer Holzverbrauch in t atro

Jahr	FWL: 15 – 100 kW	FWL: 100 – 500 kW	FWL: 500 – 1.000 kW
2003	27,81	173,96	553,55
2004	29,74	175,89	555,48
2005	29,08	175,23	554,82
2006	25,56	171,71	551,29
2007	21,27	167,42	547,00
2008	25,19	171,34	550,93
2009	26,43	172,58	552,17
2010	38,88	185,03	564,62
2011	21,76	167,91	547,50
2012	27,57	173,72	553,31
2013	31,52	177,67	557,25
2014	17,40	163,55	543,14
2015	22,93	169,08	548,67
2016	24,54	170,70	550,28
2017	24,12	170,27	549,86

Quelle: Eigene Berechnung

Als Folge von Ungenauigkeiten bei der Erfassung des Holzverbrauchs und fehlender erklärender anlagenspezifischer Variablen für die Modellierung, unterliegen die Angaben zum anlagenspezifischen Holzverbrauch deutlichen Unsicherheiten. In Abbildung 8 sind daher die Konfidenzintervalle der Schätzungen nach Leistungsklasse bei einem Konfidenzniveau von 95 % dargestellt.

Abbildung 8: Unsicherheiten bei der anlagenspezifischen Verbrauchsschätzung



Quelle: Eigene Berechnung

An dieser Stelle sei zunächst angemerkt, dass die jährlichen Mittelwerte für Gradtagszahlen ebenfalls einer Streuung unterliegen, die bei der Berechnung der Konfidenzintervalle nicht berücksichtigt werden konnten. Die wirkliche Streuung des anlagenspezifischen Holzverbrauchs würde sich bei Berücksichtigung der Streuung der Eingangsdaten noch vergrößern.

Anlagen der Leistungsklassen 500 – 1.000 kW weisen die größte Varianz in den Angaben zum anlagenspezifischen Holzeinsatz auf. Dies erklärt im Vergleich zu den Anlagen der Leistungsklassen 15 – 100 kW und 100 – 500 kW die große Streuung um den Mittelwert. Bei Anlagen aus dem Leistungsbe- reich 100 – 500 kW erscheint die Streuung um den Mittelwert trotz größerer Varianz ähnlich groß wie bei Anlagen aus dem kleinsten Leistungsbereich. Dies liegt vor allem an der höheren Fallzahl von Anlagen im mittleren Leistungsbereich und dem damit geringeren Standardfehler.

In Anlagen des Leistungsbereichs 15 – 100 kW sind die Schwankungen im anlagenspezifischen Holzverbrauch in Relation zum durchschnittlichen anlagenspezifischen Holzverbrauch am größten. Es ist durchaus denkbar, dass Anlagen im kleinen Leistungsbereich stärker vom Klima beeinflusst werden als Anlagen in größeren Leistungsklassen. Anlagen in größeren Leistungsklassen werden vermutlich weniger zum Heizen von Gebäuden eingesetzt, sondern vielmehr in der gewerblichen Produktion (z. B. Holz Trocknung), die weniger stark vom Klima abhängt.

Einen Vergleich der Modellergebnisse zum anlagenspezifischen Verbrauch, inklusive der Streuungintervalle bei einem 95 %igen Konfidenzniveau und der Ergebnisse aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ für die Jahre 2006, 2010 und 2016 zeigt Tabelle 26. Die Konfidenzintervalle der modellierten Werte schließen die Ergebnisse des „Rohstoffmonitoring Holz“ ein und legen damit nahe, dass bei einem 5 %igen Signifikanzniveau keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden können. Außerdem stimmen die modellierten Punktschätzer im Allgemeinen gut mit den Werten aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ überein. Bezüglich der modellierten Werte liegen die Abweichungen bei unter 15 %. Lediglich im Jahr 2010 weichen die modellierten Punktschätzer für Anlagen der Leistungsklassen 15 – 100 kW und 100 – 500 kW deutlich von den Ergebnissen des „Rohstoffmonitoring Holz“ ab. Dies ist vermutlich auf einen anderen Umgang mit potentiellen Ausreißern zurückzuführen. Die Datenaufbereitung der Erhebung für 2010 kann von uns jedoch nicht im Detail nachvollzogen werden. Eine Bereinigung um mögliche Ausreißer wurde vorab unserer Modellierung nicht vorgenommen. Der hohe Streuanteil im kleinen Leistungsbereich deutet auf eine offenbar deutlich größere Heterogenität in der Holznutzung hin. Um diesen Umstand besser abbilden zu können bzw. um verbesserte Schätzgrößen zu erhalten, wäre eine deutlich breitere Datengrundlage durch die Erhebungen im „Rohstoffmonitoring Holz“ wünschenswert. Allerdings deuteten sowohl Adressrecherche als auch Rücklauf aus dieser Gruppe in den vergangenen Befragungen auf Schwierigkeiten bei der Umsetzung hin.

Tabelle 26: Vergleich des geschätzten anlagenspezifischen Holzverbrauch der Modellrechnung und aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“, in t atro

Jahr	FWL: 15 – 100 kW		FWL: 100 – 500 kW		FWL: 500 – 1.000 kW	
	Modell	RM Holz	Modell	RM Holz	Modell	RM Holz
2006	25,6 ±16,7	23,0	171,7 ±23,3	147,7	551,3 ±55,8	578,9
2010	39,0 ±29,2	15,0	185,0 ±36,3	153,3	564,6 ±62,2	613,2
2016	24,5 ±17,6	26,9	170,7 ±23,7	156,7	550,3 ±55,9	510,9

Quelle: Eigene Berechnung, Musialczyk und Mantau (2007), Mantau et al. (2012) und Döring et al. (2018a)

4.2.3 Anlagenbestand als Hochrechnungsgröße

Als Grundlage für die Ableitung einer Zeitreihe für den Zeitraum 2003 bis 2017 dienen die Anlagenbestände aus den Untersuchungen des „Rohstoffmonitoring Holz“ für die Jahre 2006, 2010 und 2016 (Musialczyk und Mantau 2007, Mantau et al. 2012 und Döring et al. 2018a). Die fehlenden Zwischenjahre werden differenziert nach Leistungsklassen linear interpoliert. Die Werte für das Jahr 2017 werden über aktuelle ZIV- und BAFA-Daten, wie in Kapitel 3.4 für die Jahre 2015 und 2016 beschrieben, bestimmt.

Tabelle 27: Bestand an Holzfeuerungsanlagen < 1 MW Feuerungswärmeleistung in Nicht-Haushalten, aufgeteilt nach Feuerungswärmeklassen

Jahr	15 – 100 kW	100 – 500 kW	500 – 1.000 kW	Insgesamt
2003	32.428	4.021	709	37.157
2004	33.287	4.996	882	39.165
2005	34.145	5.972	1.055	41.172
2006	35.004	6.947	1.228	43.179
2007	35.863	7.923	1.401	45.186
2008	36.722	8.898	1.574	47.194

Jahr	15 – 100 kW	100 – 500 kW	500 – 1.000 kW	Insgesamt
2009	37.580	9.874	1.747	49.201
2010	38.439	10.849	1.920	51.208
2011	35.385	11.381	2.003	48.769
2012	32.332	11.913	2.085	46.329
2013	29.278	12.445	2.168	43.890
2014	26.224	12.976	2.250	41.451
2015	23.170	13.508	2.333	39.011
2016	20.117	14.040	2.415	36.572
2017	19.746	14.872	2.558	37.177

Quelle: Nach Musialczyk und Mantau (2007), Mantau et al. (2012), Döring et al. (2018a), ZIV (2018) und BAFA (2019)

Beim Vergleich der Bestandszahlen aus Musialczyk und Mantau (2007) und Mantau et al. (2012) sowie den Werten aus Döring et al. (2018a) bzw. den ZIV-Daten fällt auf, dass die Anlagenbestände für 2016 und 2017 in der Leistungsklasse 15-100 kW eine deutlich niedrigere Anlagenzahl aufweisen als von Musialczyk und Mantau (2007) und Mantau et al. (2012) für frühere Jahre ermittelt. Durch z. B. Verkaufszahlen von Holzfeuerungsanlagen oder vermutete Stilllegungen lässt sich diese Entwicklung nicht plausibel erklären. Dagegen zeigen die Anlagenzahlen in den beiden anderen Leistungsklassen einen kontinuierlichen Anstieg. Trotz dieser wenig plausiblen Entwicklung bei den Anlagen der Leistungsklasse 15-100 kW gehen wir davon aus, dass sich die Bestandsdaten des ZIV in Zukunft als Grundlage für weitere Berechnungen etablieren werden (vgl. auch Kapitel 3.4). Es ist jedoch möglich, dass es in den Anfangsjahren dieser neuen Datenerhebung beim ZIV zu Untererfassung kommen kann. Ein Indiz dafür wären starke Zuwächse beim Anlagenbestand, wie sie vor allem in der mittleren Leistungsklasse (100 – 500 kW) zu beobachten sind. Problematisch bleibt darüber hinaus die historische Entwicklung der kleinen Leistungsklasse. Weiter zurückliegende Werte ließen sich nur korrigieren, wenn ergänzende neue Informationen vorlägen. Die Bestandszahlen für die Zwischenjahre können mit der Interpolation lediglich näherungsweise geschätzt werden. Entscheidend für eine plausible Einschätzung der gesamten Zeitreihe sind neben den Werten für den aktuellen Rand die Datenpunkte für die Jahre bis 2010 aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“. Es kann letztlich nicht ausgeschlossen werden, dass es durch die dafür verwendete Methodik zu einer Überschätzung des Anlagenbestands gekommen ist, beispielsweise durch eine zu hohe mittlere Bestandszeit der Anlagen. Dies würde zumindest einen Teil der negativen Entwicklung von 2010 bis 2015 erklären. Entsprechende Ungenauigkeiten sind bei der Interpretation des Holzverbrauchs zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 4.7.3 und Kapitel 6).

4.2.4 Ergebnisse der Zeitreihe

Der gesamte Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL berechnet sich durch die Multiplikation des anlagenspezifischen, jährlichen Holzeinsatzes und dem jährlichen Anlagenbestand. In Tabelle 28 ist der jährliche Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL nach Jahren und Leistungsklassen in t atro sowie insgesamt in t atro und PJ dargestellt.

Tabelle 28: Gesamter Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW Feuerungswärmeleistung in t atro und PJ nach Leistungsklassen

Jahr	15 – 100 kW	100 – 500 kW	500 – 1.000 kW	Insgesamt in t atro	Insgesamt in PJ
2003	901.829	699.415	392.466	1.993.710	36,884
2004	989.893	878.748	489.930	2.358.572	43,634
2005	993.012	1.046.409	585.335	2.624.755	48,558
2006	894.571	1.192.856	676.989	2.764.416	51,142
2007	762.651	1.326.366	766.352	2.855.369	52,824
2008	924.963	1.524.587	867.158	3.316.708	61,359
2009	993.259	1.703.990	964.638	3.661.886	67,745
2010	1.494.572	2.007.428	1.084.069	4.586.070	84,842
2011	770.006	1.910.985	1.096.384	3.777.376	69,881
2012	891.413	2.069.506	1.153.687	4.114.607	76,120
2013	922.743	2.211.004	1.207.907	4.341.654	80,321
2014	456.292	2.122.307	1.222.135	3.800.734	70,314
2015	531.322	2.284.011	1.279.865	4.095.198	75,761
2016	493.755	2.396.591	1.329.046	4.219.392	78,059
2017	476.320	2.532.383	1.406.753	4.415.456	81,686

Quelle: Eigene Berechnung

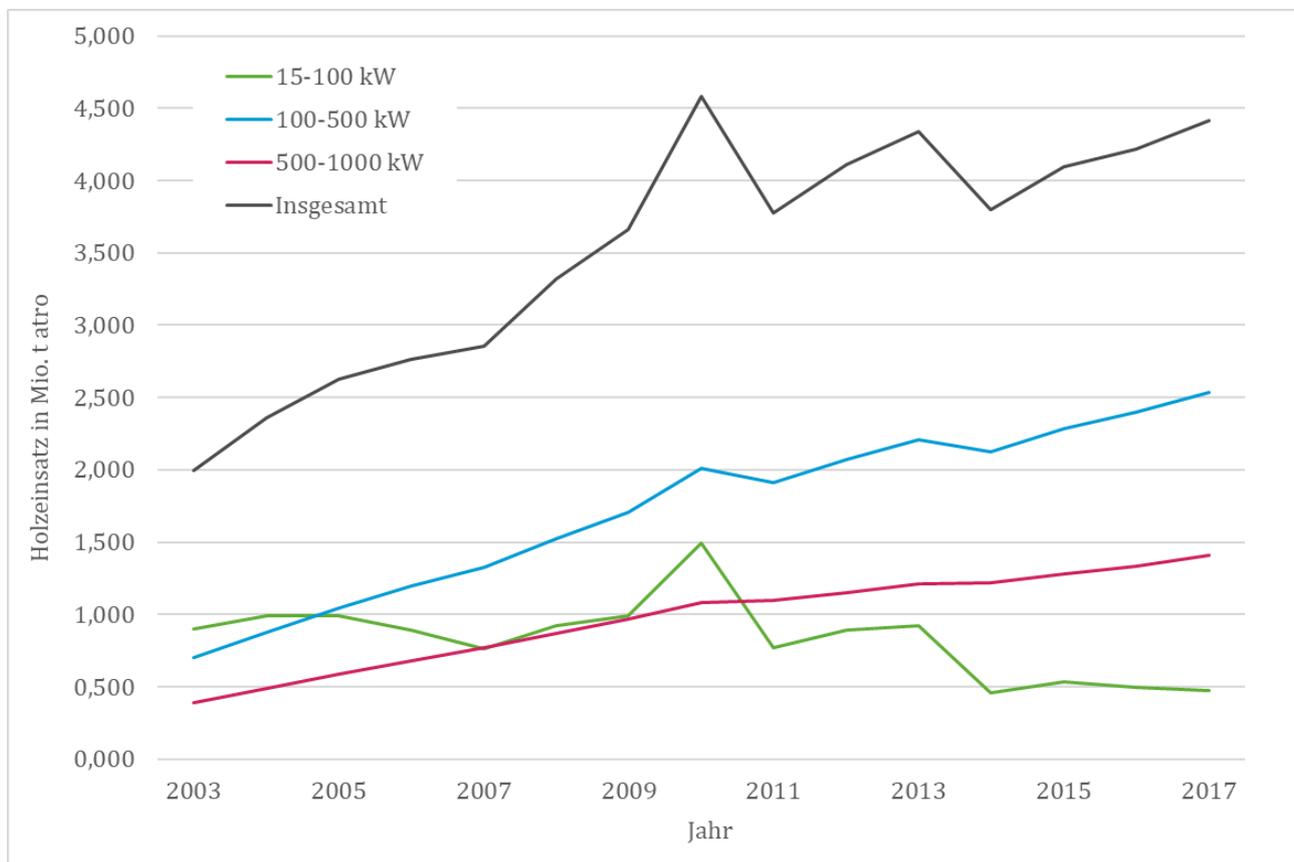
Für den Zeitraum von 2003 bis 2017 zeigen die Ergebnisse der Verbrauchsschätzung insgesamt einen zunehmenden Holzverbrauch für Holzfeuerungen bis 1 MW FWL. Wie in Abbildung 9 zu sehen, machten Anlagen im Leistungsbereich von 100 – 500 kW in den letzten 5 Jahren den größten Verbrauchsanteil (ca. 57 %) aus. 31 % entfielen auf Anlagen des mittleren Leistungsbereichs und 14 % auf Anlagen im kleinsten Leistungsbereich.

Jährliche Variationen im Holzverbrauch werden überwiegend durch klimatische Veränderungen bestimmt. Der deutlichste klimatische Einfluss auf den Holzeinsatz ist in der kleinsten Leistungsklasse zu erkennen. Dies liegt unter anderem an der gewählten Modellierung, basierend auf zwei unabhängigen Variablen ohne Interaktionsterm. Der Einbezug eines Interaktionsterms wurde separat geprüft und brachte keine Verbesserung in der Vorhersagegüte. Außerdem erscheint es plausibel, dass Anlagen aus dem kleinsten Leistungsbereich stärker auf Temperaturänderungen reagieren als Anlagen mit einer größeren Feuerungswärmeleistung. Es kann vermutet werden, dass der Holzeinsatz in Feuerungsanlagen aus größeren Leistungsbereichen tendenziell weniger stark von Temperatureinflüssen geprägt wird, da beispielsweise die Erzeugung von Prozesswärme (z. B. Holz Trocknung) in größeren (gewerblichen) Betrieben eine bedeutendere Rolle spielt.

Neben der klimatischen Abhängigkeit fällt auf, dass der Holzverbrauch von Anlagen im kleinsten Leistungsbereich (15 – 100 kW) ab dem Jahr 2010 zurückgeht. In den Anlagen der Leistungsklassen 100 – 500 kW und 500 – 1.000 kW unterliegt die Entwicklung des gesamten Holzverbrauchs einem positiven Trend. Der gegenläufige Trend im kleinsten Leistungsbereich lässt sich durch das unterschiedliche Vorgehen zur Ermittlung des Anlagenbestands in den Jahren 2006 und 2010 sowie 2016 und 2017 erklären. Aufgrund der veränderten Methode bei der Ermittlung des Anlagenbestands und der linearen Interpolation zwischen den Jahren 2010 und 2016 wird ein abnehmender Anlagenbestand unterstellt, der sich negativ auf den energetischen Holzeinsatz auswirkt. Wie bereits geschildert ist es mög-

lich, dass derzeit eine Untererfassung der ZIV-Daten im Jahr 2016 vorliegt. Es liegen jedoch keine Informationen über die Größenordnung der potentiellen Untererfassung vor. Möglicherweise liegen in Zukunft durch weitere Erhebungen des ZIV ergänzende Erkenntnisse vor, die eine Grundlage bieten diese Werte anzupassen bzw. werden vom ZIV selbst korrigiert.

Abbildung 9: Entwicklung des energetischen Holzeinsatzes in Mio. t atro nach Feuerungswärmeklassen



Quelle: Eigene Berechnung

Im Vergleich zu den Ergebnissen aus Mantau et al. (2012) zum Jahr 2010 erhalten wir eine Differenz im Holzeinsatz von ca. 1 Mio. t atro. Diese Differenz ist vermutlich ein Resultat von Unterschieden in den Ausgangsdaten zur Berechnung der anlagenspezifischen Holzverbräuche. Wir gehen davon aus, dass Mantau et al. (2012) restriktiver mit potentiellen Ausreißern umging. Der Ausschluss potentieller Ausreißer erklärt die niedrigen durchschnittlichen anlagenspezifischen Verbrauchswerte für das Jahr 2010 in Mantau et al. (2012) (vgl. Tabelle 26). In Anbetracht des kalten Winters, erscheint es allerdings nicht plausibel, dass insbesondere Anlagen im kleinsten Leistungsbereich im Jahr 2010 die geringsten durchschnittlichen anlagenspezifischen Verbrauchswerte aufweisen. Aus diesem Grund gehen wir davon aus, dass unsere Ergebnisse die Wirklichkeit plausibler abbilden. Für Musialczyk und Mantau (2007) und Döring et al. (2018a) sind die Abweichungen mit ca. 0,254 Mio. t atro und 0,136 Mio. t atro relativ gering.

4.3 Holzfeuerungsanlagen \geq 1MW Feuerungswärmeleistung

4.3.1 Einführung und Datengrundlage

In diesem Abschnitt wird der Holzverbrauch in Holzfeuerungsanlagen \geq 1 MW FWL in der Zeitreihe von 2003 bis 2017 hergeleitet. Grundlage sind bereits vorliegende Ergebnisse aus verschiedenen Studien des Projekts „Rohstoffmonitoring Holz“ (Weimar und Mantau 2006, Weimar et al. 2012 und

Döring et al. 2018b). Insgesamt liegen damit für fünf Jahre Verbrauchswerte für den Holzeinsatz vor (vgl. Tabelle 29). Die Schätzung des Holzverbrauchs in der Zeitreihe von 2003 bis 2017 erfolgt auf Basis dieser fünf Datenpunkte und der Veränderungsraten, die sich aus der Zeitreihe der amtlichen Energiestatistik ergeben (vgl. Kapitel 4.5).

In Tabelle 29 sind die Zeitreihen zum energetischen Holzverbrauch aus der amtlichen Energiestatistik in TJ und Mio. t atro sowie die vorliegenden fünf Jahresergebnisse aus dem Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“ zu Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL in Mio. t atro angegeben.

Tabelle 29: Variablen zur Schätzung des Holzverbrauchs in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW Feuerungswärmeleistung

Jahr	Amtliche Energiestatistik, in TJ	Amtliche Energiestatistik, in Mio. t atro	Rohstoffmonitoring Holz, in Mio. t atro
2003	79.985	4.324	4,962
2004	127.903	6.914	5,681
2005	153.592	8.302	6,338
2006	181.875	9.831	
2007	175.184	9.469	
2008	179.858	9.722	
2009	193.283	10.448	
2010	217.331	11.748	
2011	220.631	11.926	9,702
2012	224.564	12.139	
2013	204.718	11.066	
2014	206.446	11.159	
2015	205.634	11.115	
2016	200.893	10.859	9,197
2017	191.566	10.355	

Anmerkung: Daten der amtlichen Energiestatistik beziehen sich nur auf den Holzverbrauch im Industrie- und Umwandlungssektor

Quelle: UBA (2019), Weimar und Mantau (2006), Weimar et al. (2012) und Döring et al. (2018b)

Die Zeitreihe der amtlichen Statistik basiert auf den Einzelerhebungen 060, 066k und 064. Zusätzlich fließt der Brennstoffeinsatz der nur über die Einspeisung erfassten Stromerzeugungsanlagen mit ein. Detailliertere Informationen dazu finden sich in Kapitel 4.5. In den Erhebungen zum „Rohstoffmonitoring Holz“ sind Anlagentypen enthalten, die in jeder der vier Einzelerhebungen erfasst sein können. Eine genauere Zuordnung dieser Anlagen auf die Einzelerhebungen ist jedoch nicht möglich. Als beste Näherung für die Schätzung der Zeitreihe mit den Ergebnissen aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ werden daher die zusammengefassten Einzelerhebungen der amtlichen Statistik verwendet. Die hier abgebildete Zeitreihe der amtlichen Energiestatistik beinhaltet fast ausschließlich den Verbrauch von Holz. Schwarzlauge ist in der Zeitreihe nicht enthalten.

4.3.2 Ableitung der Verbrauchsentwicklung

Für die Schätzung einer Zeitreihe zum energetischen Holzeinsatz in Feuerungsanlagen mit einer FWL ≥ 1 MW wird unterstellt, dass sich der Holzverbrauch in der amtlichen Energiestatistik und der Holzverbrauch in Feuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL vergleichbar entwickeln. Alternative Verfahren zur

Schätzung des Verbrauchs wurden diskutiert, ließen sich aufgrund unzureichender Primärdaten jedoch nicht umsetzen. Die Ableitung der Zeitreihe über eine Regressionsrechnung mit den Daten der amtlichen Statistik als unabhängige und den fünf Datenpunkten des „Rohstoffmonitoring Holz“ als abhängige Variablen und Ankerwerte (wie in Weimar 2016 beschrieben) wurde ebenfalls verworfen. Bei diesem Verfahren können sich große und wenig plausible Sprünge zwischen Datenpunkten ergeben oder es kann in einzelnen Jahren zu einer gegenläufigen Entwicklung im Vergleich zur amtlichen Statistik kommen.

Als beste Näherung der Entwicklung des energetischen Holzeinsatzes in Anlagen mit einer FWL ≥ 1 MW wird, wie weiter oben beschrieben, die Summe der Zeitreihen des Umwandlungssektors und des Industriesektors der amtlichen Energiestatistik eingeschätzt. Die Schätzung fehlender Zwischenjahre zwischen zwei bekannten Jahreswerten aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ (Wert RM) erfolgt wie in Formel 2 dargestellt.

Formel 2: Berechnungsgrundlage zur Schätzung der Zeitreihe des Holzeinsatzes in Anlagen ab 1 MW FWL

$$\text{Holzverbrauch}_{(i+1)} = \text{RMHolz}_{(i)} * \text{Rate}_{\text{AGEE-Stat } (i+1)} * \sqrt[n]{\frac{\text{RMHolz}_{(n)}}{\text{RMHolz} * \text{AGEE-Raten}_{(n)}}}$$

Die verwendeten Daten, Zwischenschritte sowie Ergebnisse der Berechnung sind in Tabelle 30 dargestellt. Für den ersten Rechenschritt dienen die Ergebnisse aus den Jahren 2005, 2011 und 2016 als Basisjahre ($\text{RMHolz}_{(i)}$). Mit den Veränderungsrate der Zeitreihe der amtlichen Statistik ($\text{Rate}_{\text{AGEE-Stat } (i+1)}$) wird der Holzverbrauch für die fehlenden Zwischenjahre (Spalte „RM Holz & AGEE-Stat-Raten“) berechnet. Für die Jahre 2006 bis 2010 dient das Jahr 2005 und für die Jahre 2012 bis 2015 dient das Jahr 2011 als Basis. Wie sich an den Werten für die Jahre 2011 und 2016 in der Spalte „RM Holz mit AGEE-Stat-Raten“ zeigt, führt eine einfache Übertragung der amtlichen Veränderungsrate nicht zum gleichen Wertniveau für die Basisjahre wie durch die Ergebnisse des „Rohstoffmonitoring Holz“ vorgegeben. Daher wird die Berechnung der Schätzreihe mit Aufschlagfaktoren an das erforderliche Niveau angepasst. Der Aufschlagfaktor berechnet sich als durchschnittliche Steigerungsrate des Zielwertes (RM Holz) zum ersten Schätzwert (RM Holz & AGEE-Stat-Raten) für die beiden oben genannten Zeiträume (2006 bis 2011 und 2012 bis 2016). Als Resultierende ergibt sich eine Verbrauchsschätzung für die Zeitreihe bis 2016 mit einer Entwicklung entsprechend der amtlichen Statistik und angepasst an das Niveau der Werte aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“. Für das Jahr 2017 erfolgt ein Übertrag der Veränderungsrate aus der amtlichen Statistik ohne Korrekturfaktor.

Tabelle 30: Rechenschritte und Ergebnisse zur Schätzung des Holzverbrauchs in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW Feuerungswärmeleistung

Jahr	Amtliche Statistik in Mio. t atro	Veränderungsrate	RM Holz in Mio. t atro	RM Holz & AGEE-Stat-Raten in Mio. t atro	Aufschlagfaktor	Verbrauchsschätzung in Mio. t atro
2003	4,324		4,962	4,962		4,962
2004	6,914	59,9 %	5,681	5,681		5,681
2005	8,302	20,1 %	6,338	6,338		6,338
2006	9,831	18,4 %		7,505	1,011	7,585
2007	9,469	-3,7 %		7,229	1,011	7,384
2008	9,722	2,7 %		7,422	1,011	7,662
2009	10,448	7,5 %		7,976	1,011	8,321
2010	11,748	12,4 %		8,969	1,011	9,456

Jahr	Amtliche Statistik in Mio. t atro	Veränderungsrate	RM Holz in Mio. t atro	RM Holz & AGEE-Stat-Raten in Mio. t atro	Aufschlagfaktor	Verbrauchsschätzung in Mio. t atro
2011	11,926	1,5 %	9,702	9,105	1,011	9,702
2012	12,139	1,8 %		9,875	1,008	9,955
2013	11,066	-8,8 %		9,002	1,008	9,148
2014	11,159	0,8 %		9,078	1,008	9,300
2015	11,115	-0,4 %		9,042	1,008	9,338
2016	10,859	-2,3 %	9,197	8,834	1,008	9,197
2017	10,355	-4,6 %		8,770		8,770

Anmerkung: Daten der amtlichen Energiestatistik beziehen sich nur auf Holzverbrauch im Industrie- und Umwandlungssektor

Quelle: UBA (2019), Weimar und Mantau (2006), Weimar et al. (2012) und Döring et al. (2018b) sowie eigene Berechnung

4.3.3 Ergebnisse in der Zeitreihe

Die Ergebnisse der Zeitreihenschätzung sind in Tabelle 31 dem Holzverbrauch aus der amtlichen Energiestatistik gegenübergestellt. Die Umrechnung der Werte von t atro in Joule erfolgte mit dem Faktor 18,5 MJ/kg. Die Werte der Jahre 2003, 2004, 2005, 2011 und 2016 (in der Tabelle fett gedruckt) stammen direkt aus den Erhebungen des „Rohstoffmonitoring Holz“. Dargestellt sind ebenfalls die Veränderungsraten, die Differenz der beiden Zeitreihen sowie für die resultierende Zeitreihe die jeweilige Differenz zum Vorjahr.

Ein Vergleich der Veränderungsraten zeigt, dass die Raten der Verbrauchsschätzung durch die Aufschlagfaktoren leicht über den Werten der amtlichen Zeitreihe liegen. Lediglich in den Jahren 2004 und 2005 sind größere Abweichungen zu erkennen, da hier nur die empirischen Werte aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ mit der amtlichen Statistik verglichen werden. Die großen Sprünge zu Beginn der Zeitreihe können, zumindest zum Teil, durch Anlaufschwierigkeiten der amtlichen Statistik in der Erhebungsdurchführung erklärt werden. Die Differenz der resultierenden Zeitreihe zur amtlichen Statistik sowie die jährliche Änderung der Differenz sind ebenfalls dargestellt. In den Jahren 2006 bis 2012 liegt die Differenz zur amtlichen Statistik recht konstant in der Größenordnung von 40.000 TJ. Ab dem Jahr 2013 sinkt der absolute Betrag der Differenz kontinuierlich von 35.000 TJ auf 31.000 TJ im Jahr 2016 bzw. 29.000 TJ im Jahr 2017. Die Entwicklung der Differenz in Bezug zur amtlichen Statistik zeigt, dass sich dieser Wert kontinuierlich verringert. Vergleicht man nur die Erhebungsjahre 2005 und 2011 so reduziert sich die Differenz von 23,7 % im Jahr 2005 auf 18,7 % im Jahr 2011 und auf 15,3 % im Jahr 2016. Die Werte der amtlichen Statistik und der Anlagen ≥ 1 MW FWL des „Rohstoffmonitoring Holz“ haben sich in diesem Zeitraum angenähert. Geht man von einer Vollerhebung der Anlagen ≥ 1 MW FWL im „Rohstoffmonitoring Holz“ aus, könnte ein rückläufiger Anteil des Holzverbrauchs in Anlagen < 1 MW FWL, der durch die amtliche Statistik erfasst wird, die Ursache sein. Dies ist jedoch wenig plausibel, da zumindest von einem Anstieg der stromerzeugenden Anlagen mit einer FWL unter eins, die einem durch die amtliche Statistik erfassten Sektor zuzuordnen sind, auszugehen ist. Möglich ist jedoch, dass Anlagen mit einer FWL unter 1 MW in oder mit Industriebetrieben, die der amtlichen Erhebung unterliegen, in den letzten Jahren stillgelegt wurden. Eine andere Möglichkeit wäre, dass der Erfassungsgrad der amtlichen Statistik zurückgegangen ist. Das würde bedeuten, dass die amtlichen Erhebungen einen steigenden Anteil des gesamten Anlagenbestands mit einer FWL ab 1 MW nicht (mehr) erfassen. Inwiefern sich dieser Trend der sich verringernenden Differenz zwischen amtlicher Statistik und „Rohstoffmonitoring Holz“ auch in den nächsten Jahren fortsetzt ist

jedoch a priori nicht abschätzbar. Es muss zumindest die nächste Erhebung zum „Rohstoffmonitoring Holz“ vorliegen.

Tabelle 31: Gegenüberstellung der Verbrauchsschätzung für den Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW Feuerungswärmeleistung und der amtlichen Statistik, in TJ

Jahr	Amtliche Statistik in TJ	Veränderungsrate	Verbrauchsschätzung in TJ	Veränderungsrate	Differenz zu amtlicher Statistik in TJ	Differenz zu amtlicher Statistik in %	Differenz zu Vorjahr in TJ
2003	79.985		91.789		-11.804	-14,8 %	
2004	127.903	59,9 %	105.096	14,5 %	22.806	17,8 %	34.610
2005	153.592	20,1 %	117.257	11,6 %	36.335	23,7 %	13.529
2006	181.875	18,4 %	140.327	19,7 %	41.548	22,8 %	5.213
2007	175.184	-3,7 %	136.603	-2,7 %	38.581	22,0 %	-2.967
2008	179.858	2,7 %	141.740	3,8 %	38.117	21,2 %	-464
2009	193.283	7,5 %	153.941	8,6 %	39.342	20,4 %	1.225
2010	217.331	12,4 %	174.937	13,6 %	42.394	19,5 %	3.052
2011	220.631	1,5 %	179.484	2,6 %	41.148	18,7 %	-1.246
2012	224.564	1,8 %	184.160	2,6 %	40.404	18,0 %	-744
2013	204.718	-8,8 %	169.242	-8,1 %	35.476	17,3 %	-4.928
2014	206.446	0,8 %	172.051	1,7 %	34.395	16,7 %	-1.081
2015	205.634	-0,4 %	172.760	0,4 %	32.874	16,0 %	-1.521
2016	200.893	-2,3 %	170.142	-1,5 %	30.751	15,3 %	-2.123
2017	191.566	-4,6 %	162.243	-4,6 %	29.323	15,3 %	-1.428

Anmerkung: Daten der amtlichen Energiestatistik beziehen sich nur auf Holzverbrauch im Industrie- und Umwandlungssektor

Quelle: UBA (2019), Weimar und Mantau (2006), Weimar et al. (2012), Döring et al. (2018b) sowie eigene Berechnungen

Lenkt man den Blick auf die Schwankungen, die die beiden Zeitreihen zeigen, so sind - je nach Art und Betreiber der Holzfeuerung - eine Vielzahl an Einflussfaktoren auf den Holzverbrauch vorstellbar. Ein Teil dieser Variablen wurde bereits in Kapitel 4.2 diskutiert. Bei größeren Feuerungsanlagen kann davon ausgegangen werden, dass der Holzverbrauch weniger von der Witterung beeinflusst wird. Maßgeblich bei (Heiz-) Kraftwerken ist oftmals die Stromeinspeisung. Es ist zu vermuten, dass diese Anlagen versuchen ihre Feuerungskapazität näherungsweise voll auszulasten, um durch die feste Einspeisevergütung von EEG-Strom einen hohen Umsatz zu erzielen. Durch z. B. Wartungsausfälle kann es allerdings zu Schwankungen im jährlichen Holzeinsatz kommen. Dagegen dürfte sich bei Holzfeuerungen aus dem Industriesektor der Holzbedarf vermutlich maßgeblich an der Produktion (z. B. zur Holz Trocknung, Prozesswärme) oder zu einem geringeren Anteil am Heizbedarf für Betriebsgebäude orientieren.

4.4 Holzverbrauch in sonstigen Anlagen (Mitverbrennung von Holz)

Neben Feuerungsanlagen, die als Brennstoff fast ausschließlich verschiedene Holzrohstoffe bzw. Holzsortimente einsetzen, ist in einigen wenigen Fällen neben der überwiegenden Verwendung anderer Brennstoffe auch die Mitverbrennung von Holz dokumentiert. Zu nennen sind hier beispielsweise Berichte von Tests zum Co-Firing von Holz in Kohle- oder Zementwerken. Abgesehen von einigen Bei-

spielen über die in Printmedien wie EUWID berichtet wurde, gibt es lediglich eine Untersuchung im Rahmen des „Rohstoffmonitoring Holz“, die eine systematische Erfassung der Mitverbrennung von Holz zum Ziel hatte. Im Fokus dieser Untersuchung von Mantau und Jochem (2012) standen Müllverbrennungsanlagen (MVA), Kohlekraftwerke und Zementwerke. Ersatzbrennstoff-Kraftwerke sind in diesem Zusammenhang ebenfalls zu nennen, wurden in der Studie jedoch nicht empirisch behandelt. Der Holzanteil in den in MVA verbrannten gemischten Siedlungsabfällen muss ausgeklammert werden, da diese Mengen in der amtlichen Statistik im Zuge des Energieträgers „Abfall (Hausmüll, Siedlungsabfall)“ separat ausgewiesen werden. Grundsätzlich wären dort direkt eingesetzte und erfasste Althölzer und andere Hölzer zu berücksichtigen; das ist bislang nach unseren Informationen nicht geschehen.

Nach den Schätzungen von Mantau und Jochem (2012) lag der Holzeinsatz in Kohlekraftwerken im Jahr 2010 bei knapp 130.000 t lutro Altholz und gut 2.000 Tonnen Pellets. Das Verbrauchsvolumen in Zementklinkerwerken lag im Jahr 2010 bei 9.600 t lutro Altholz. Nach Umrechnung in t atro ergibt sich als Gesamtverbrauch ein Wert von 113.000 t atro. Der Erfassungsgrad der Betriebe kann bei 71 % für Kohlekraftwerke und 77 % bei Zementklinkerwerken als hoch angesehen werden. Ein möglicher Fehler verursacht durch die Hochrechnung auf die Grundgesamtheit kann vermutlich als gering angesehen werden. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass einzelne, in der Studie nicht erfasste Werke, einen Holzverbrauch hatten, der deutlich von dem in der Studie abgeleiteten Mittelwert abweicht.

Im Vergleich zu den Holzfeuerungsanlagen handelt es sich hier um einen geringen Mengenstrom. Vermutlich ist dies auch die Ursache für die sehr geringe Anzahl an Literatur- bzw. Medienhinweisen. Abgesehen von der Studie Mantau und Jochem (2012), liegt keine weitere Untersuchung vor, die das gesamte Holzverbrauchsvolumen quantifiziert. Es liegen ebenfalls keine Informationen über jährliche Verbrauchsschwankungen vor. Zur Ableitung einer Zeitreihe im Rahmen dieser Untersuchung wird daher der für das Jahr 2010 ermittelte Werte als konstant für die gesamte Zeitreihe 2003 bis 2017 angenommen.

4.5 Holzverbrauch in der amtlichen Energiestatistik¹⁴

Tabelle 32 zeigt die in Verbindung mit dem Holzeinsatz stehenden vier energiestatistischen Erhebungen des Statistischen Bundesamtes mit ihrer Periodizität sowie Aktualität. Es handelt sich dabei jeweils um Primärerhebungen mit Auskunftspflicht sowie mit oder ohne Abschneidegrenze(n). Allgemeine Angaben zu den Erhebungen bzw. Statistiken (z. B. zur Grundgesamtheit, zur Methodik sowie zur Genauigkeit und Zuverlässigkeit) sind den jeweiligen Qualitätsberichten¹⁵ zu entnehmen. Im Folgenden liegt der Fokus speziell auf Informationen zum Einsatz von Holz.

¹⁴ Dieses Kapitel basiert auf Zuarbeiten des Umweltbundesamtes und berücksichtigt auch die nicht in der amtlichen Statistik (Erhebungen 066 und 067) erfassten holzbasierten Stromerzeugungsanlagen.

¹⁵ Qualitätsberichte: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Qualitaetsberichte/Energie/Einfuehrung.html>

Tabelle 32: Energiestatistische Erhebungen des Statistischen Bundesamtes im Kontext des Holzverbrauchs

Name der Erhebung	StBA-Erhebung	Periodizität	Aktualität
Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe des verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden	060	jährlich	ca. 11 Monate nach Abschluss des Berichtsjahres
Erhebung über Stromerzeugungsanlagen der Betriebe des verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen	067	jährlich	ca. 9 Monate nach Ende des Berichtszeitraumes
Monatsbericht über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Stromerzeugungsanlagen für die allgemeine Versorgung	066k	monatlich	ca. 70 Tage nach Abschluss des Berichtmonats
Erhebung über die Erzeugung, Bezug, Verwendung und Abgabe von Wärme	064	jährlich	ca. 11 Monate nach Abschluss des Berichtsjahres

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Die statistischen Erhebungen 060 und 067 adressieren den Holzverbrauch des verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden (Industrie). Dabei erfasst die Erhebung 060 den gesamten Holzverbrauch aller Industriebetriebe (Abgrenzung zum GHD-Sektor über die Beschäftigtenzahl, siehe Kapitel 2.1). Die Erhebung 067, welche eine Teilmenge der Erhebung 060 ist, erfasst den Verbrauch der industriellen Stromerzeugungsanlagen.

Die Erhebungen 066 und 064 stehen im Zusammenhang mit den Anlagen der allgemeinen Versorgung. Während in der Erhebung 066 der Holzeinsatz im Kontext der Stromerzeugung bzw. der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung erfasst wird, wird in der Erhebung 064 der Holzverbrauch bei der ausschließlichen Wärmeversorgung erfasst. Aufgrund von Begrenzungen des Erhebungskreises werden durch die Erhebung 066 jedoch nicht sämtliche Anlagen erfasst. Dies trifft insbesondere auf Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 1 MW zu. Für diese Anlagen liegt jedoch die EEG-vergütete Strommenge vor, sodass über den durchschnittlichen Brennstoffausnutzungsgrad auch die Holzmenge relativ gut abgeschätzt werden kann. Im Vergleich zu dem über die Erhebungen 060, 064 und 066 erfassten Holzverbrauch ist die geschätzte Holzmenge momentan nur noch gering. Fehlschätzungen haben somit vermutlich lediglich einen geringen Einfluss auf den gesamten aktuellen Holzverbrauch. Die Erhebung 064 ist außerdem eine Primärerhebung mit Abschneidegrenze. Allerdings ist davon auszugehen, dass sämtliche größere Heizwerke mit u. a. Holz als Energieträger Bestandteil des Meldekreises sind. Der Gesamtholzverbrauch der nichterfassten kleineren Heizwerke sollte relativ klein sein.

Insgesamt wurden im Jahr 2016 über die amtliche Statistik – bei hundertprozentiger Zuordnung des Energieträgers 5105 (Feste biogene Stoffe) zu Holz – Hölzer mit einem Energiegehalt von etwa 183 PJ ausgewiesen, davon knapp 97,6 PJ in der Erhebung 060, 77,8 PJ in der Erhebung 066 und 7,9 PJ in der Erhebung 064. Der Holzeinsatz, der über die Stromeinspeisung der Stromerzeugungsanlagen geschätzt wurde belief sich in jenem Jahr auf 18 PJ. Insgesamt betrug der Holzeinsatz sämtlicher Stromerzeugungsanlagen, der in der Erhebung 064 erfassten Heizwerke und aller Industriebetriebe damit im Jahr 2016 knapp 201 PJ.

Die energiestatistischen Erhebungen unterscheiden insgesamt 12 verschiedene Holzsortimente, die teilweise die Herkunft (Altholz, Landschaftspflegeholz) und teilweise die Aufbereitung (Pellets, Schleifstaub, Holzhackschnitzel, Holzspäne/Sägemehl) charakterisieren. Dazu kommt noch der Energieträger „Feste biogene Stoffe“, unter dem sich ebenfalls u. a. Hölzer verbergen (Tabelle 33). Die verschiedenen Holzsortimente sind in den einzelnen Erhebungen in unterschiedlichem Umfang zu finden. Seit 2013 werden die Ergebnisse zu den Energieträger-Codes der amtlichen Erhebungen auf 4-Steller-Ebene ausgewiesen, davor wurden diese im 2-Steller 51 (Feste biogene Stoffe) zusammengefasst.

Neben den Bezeichnungen der Holzsortimente enthält Tabelle 33 die spezifischen Heizwerte der Holzsortimente aus den Gesamtverbräuchen der amtlichen Erhebungen 060, 064 und 066 sowie des „Rohstoffmonitoring Holz“. Im Wesentlichen basieren die Werte der amtlichen Energiestatistik auf Betreiberangaben. Falls diese fehlen oder als fehlerhaft einzuschätzen sind, werden sie von den Statistischen Landesämtern durch Standardwerte ersetzt.

Tabelle 33: Energieträgercode, Bezeichnung und Heizwerte (in MJ/kg lutro) der einzelnen Hölzer über den Gesamtverbrauch der Erhebungen 060, 064 und 066 in den Jahren 2013 und 2016

Bezeichnung	2013 (MJ/kg lutro)	2016 (MJ/kg lutro)
5101-Altholz	13,2	13,3
5104-Brennholz	11,9	12,2
5105-Feste biogene Stoffe	10,1	8,6
5106-Holz	13,7	12,6
5107-Holzreste (z. B. Schreinereien)	14,1	14,6
5108-Pellets (Holz)	17,4	16,1
5109-Rauchspan	16,2	15,0
5110-Restholz	10,2	11,3
5111-Schleifstaub, biogen	17,4	17,1
5118-Holzhackschnitzel	12,5	12,6
5119-Holzspäne, Sägemehl	15,1	15,5
5121-Rinde	7,1	9,1
5122-Landschaftspflegeholz	12,9	9,5
Gewichtete Summe (über alle Sortimente)	12,6	12,2

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Generell kann bei den amtlichen Erhebungen 060, 064 und 066 (sowie 067) durch die Auskunftspflicht sowie der Qualitätsstandards davon ausgegangen werden, dass der gesamte Verbrauch von

fester Biomasse (Holz) in Mengeneinheiten vollständig und mit guter Genauigkeit erfasst wird. In Energieeinheiten sollte der Fehler sicherlich etwas größer sein, da Heizwerte vielfach unzureichend bekannt sind. Insbesondere bei den Ergebnissen der Erhebung 060 können vermutlich (vor allem bei kleineren Anlagen) – aufgrund des häufigen Einsatzes von eigenen Holzproduktionsabfällen – Umfang und Beschaffenheit (Wassergehalt/Heizwert) nur teilweise gemessen werden und sind daher eher als grobe Schätzungen einzuordnen.

Außerdem kann die gesamte Holzmenge fehlerhaft ermittelt werden, wenn der Energieträger 5105 „Feste biogene Stoffe“ auf Holz bzw. Nichtholz aufgeteilt werden muss. Insbesondere der Gesamtholzeinsatz vor 2013 lässt sich aufgrund der nicht vorliegenden Ergebnisausweisung auf 4-Steller-Ebene nur auf Basis von Schätzungen für die Nicht-Holzanteile aus der Erhebung 051 ableiten.

Für die Jahre 2003 und 2004 ist aufgrund der in der Erhebung 060 im Jahr 2003 neu eingeführten Erfassung des Holzverbrauchs von größeren Fehlern und einer Untererfassung der Holzmenge auszugehen.

Außerdem sollten aufgrund der Unschärfen zwischen den Holzsortimenten die Ergebnisse für die einzelnen 4-Steller (auch im Zeitvergleich) unsicherer sein als für den Gesamtverbrauch. Es ist außerdem anzunehmen, dass Betreiber auch die Herkunft des Holzes (z. B. aus der Landschaftspflege) nicht in jedem Fall kennen.

4.6 Umrechnungsfaktoren

Um die Daten der amtlichen Energiestatistik und des Projekts „Rohstoffmonitoring Holz“ bzw. den weiter oben vorgenommenen Berechnungen gegenüberstellen zu können, müssen die Daten in einheitliche Bezugsgrößen umgerechnet werden. Dazu werden Umrechnungsfaktoren benötigt. Die Umrechnungsfaktoren, die im Zuge der amtlichen Erhebungen ermittelt wurden, sind in Tabelle 33 im vorherigen Kapitel 4.5 dargestellt.

Im Rahmen der Datenerhebung beim „Rohstoffmonitoring Holz“ können befragte Unternehmen Angaben zum Holzverbrauch in unterschiedlichen Einheiten vornehmen. Die Umrechnung in eine einheitliche Bezugsgröße erfolgt nach der Datenerhebung im Zuge der Datenaufbereitung. Weit überwiegend erfolgen die Angaben in t lutro, in geringerem Umfang in t atro oder, deutlich seltener, in Schüttraummeter (Srm) (vgl. z. B. Weimar und Mantau 2004 oder Döring et al. 2018b). Die Umrechnung von Srm in t atro erfolgte für 2016 mit einem pauschalen Faktor von 0,2 (Döring et al. 2018b nach FNR 2017). Die Umrechnung der Angaben von t lutro in t atro erfolgte über sortimentsspezifische Faktoren, die unterschiedliche Wassergehalte in den Holzsortimenten berücksichtigen. Diese Daten zum sortimentsspezifischen Wassergehalt wurden von Weimar und Mantau (2004) im Rahmen der Befragung zum „Rohstoffmonitoring Holz“ mit erhoben (die mengengewichteten Werte wurden jedoch erst in Weimar und Mantau (2006) veröffentlicht). Seither wurde diese Befragung nicht wiederholt. Diese Angaben bilden die Grundlage für die Umrechnungsfaktoren von t lutro in t atro (und umgekehrt) wie sie in Döring et al. (2018a) und Döring et al. (2018b) verwendet werden. Die amtliche Energiestatistik verwendet für ihre Darstellung die Energieeinheit Joule (in MJ, TJ oder PJ). Für die Umrechnung der Einheiten der Energiestatistik von Joule in t atro und umgekehrt verwenden wir einen Umrechnungsfaktor von 18,5 TJ/1.000 t atro (Krajnc 2015).

In nachstehender Tabelle sind die Umrechnungsfaktoren einzelner Sortimente der amtlichen Statistik sowie aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ gegenübergestellt, soweit eine weitgehende inhaltliche Übereinstimmung der Sortimente vermutet werden kann. Die Tabelle zeigt die Heizwerte in luftgetrocknetem Zustand sowie die prozentualen Abweichungen der Heizwerte aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ im Vergleich zu den amtlichen Werten von 2013 und 2016. Diese Gegenüberstellung liefert erste Hinweise zur Kohärenz der verwendeten Datenquellen.

Tabelle 34: Gegenüberstellung der Heizwerte vergleichbarer Sortimente der amtlichen Statistik und des „Rohstoffmonitoring Holz“ sowie deren prozentuale Abweichung

Bezeichnung	Amtliche Energiestatistik		RM Holz ($\geq 1\text{MW}$) zu aml. Statistik		$\geq 1\text{MW}$ 2016 (MJ/kg)	Bezeichnung
	2013 (MJ/kg)	2016 (MJ/kg)	2016 zu 2013	2016 zu 2016		
5101-Altholz	13,2	13,3	12,9 %	12,0 %	14,9	Altholz
5104-Brennholz	11,9	12,2	-0,8 %	-3,3 %	11,8	Waldderbholz
5105-Feste biogene Stoffe	10,1	8,6	26,7 %	48,8 %	12,8	Gewichtete Summe (alle Sortimente)
5106-Holz	13,7	12,6	-6,6 %	1,6 %	12,8	Gewichtete Summe (alle Sortimente)
5107-Holzreste	14,1	14,6	8,5 %	4,8 %	15,3	Sonstiges Industrierestholz
5108-Pellets (Holz)	17,4	16,1	-4,0 %	3,7 %	16,7	Holzpellets & -briketts
5110-Restholz	10,2	11,3	0,9 %	11,4 %	11,4	Sägenebenprodukte
5121-Rinde	7,1	9,1	35,2 %	5,5 %	9,6	lose Rinde
5122-Landschafts-pflegeholz	12,9	9,5	-22,5 %	5,3 %	10,0	Landschaftspflegeholz
Gewichtete Summe (alle Sortimente)	12,6	12,2	1,6 %	4,9 %	12,8	Gewichtete Summe (alle Sortimente)

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Beim Vergleich der Heizwerte (Tabelle 34) zeigen sich bei einigen Sortimenten deutliche prozentuale Abweichungen zwischen den Angaben der amtlichen Statistik und den Faktoren, die im „Rohstoffmonitoring Holz“ verwendet werden. Der Wert für feste biogene Stoffe (5105) weicht im Jahr 2013 mit 27 % und im Jahr 2016 mit 49 % stark von dem Mittelwert über alle Sortimente aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ ab. Es ist jedoch zu vermuten, dass es sich bei diesem Sortiment des Statistischen Bundesamtes um Nicht-Holz-Biomasse mit einem deutlich höheren Wassergehalt handelt. Sehr große Abweichungen sind noch bei den Werten für Rinde und für Landschaftspflegeholz für das Jahr 2013 zu verzeichnen. Allerdings nähern sich diese Werte im Jahr 2016 denen des „Rohstoffmonitoring Holz“ stark an und zeigen nur noch geringe Abweichungen. Während die Angaben für Brennholz/Waldderbholz eine hohe Übereinstimmung zeigen, ist beim mengenmäßig wichtigsten Sortiment Altholz eine recht stabile Abweichung von 12 % bis 13 % zu erkennen.

Diese Differenzen lassen sich zu einem Teil durch Unschärfen in der Abgrenzung der Sortimente erklären. Eine Verbesserung der Datenlage und Vergleichsmöglichkeit über die beiden hier genannten Datenerhebungen ist mit den vorliegenden Informationen nicht möglich. Die Definition der Sortimente im „Rohstoffmonitoring Holz“ zielt auf eine Einschätzung der Herkunft des Holzrohstoffs, während in der amtlichen Statistik neben der Herkunft auch die Art der Aufbereitung ein Kriterium ist. Die Gegenüberstellung der Heizwerte der einzelnen Sortimente lässt allein durch die Verwendung unterschiedlicher Heizwerte einen Fehler in der Größenordnung von etwa 5 % bis 15 % vermuten, ohne diesen jedoch genauer eingrenzen zu können. An dieser Stelle muss festgehalten werden, dass durch die notwendige Verwendung von Umrechnungsfaktoren in den unterschiedlichen Befragungen eine Fehlerquelle liegt. Grundsätzlich sind beim Wassergehalt bzw. beim Heizwert einzelner Sortimente Streuungen zu erwarten. Schwankungen, abhängig von der jeweiligen Herkunft, Aufbereitung und Lagerung des Sortiments, sind bei einem hygroskopischen Werkstoff wie Holz immanent. Vor diesem Hintergrund können auch höhere Schwankungen im Wassergehalt bei Landschaftspflegeholz und Rinde interpretiert werden. Einzig ein sehr homogenes und definiertes Sortiment wie Holzpellets ist hier eine

Ausnahme. Leider mangelt es an Literatur, die dieses Thema systematisch aufbereitet hätte. Vermutlich sind die Streumaße der einzelnen Sortimente sehr unterschiedlich. In diesem Zusammenhang sei nochmals angemerkt, dass wesentliche Angaben zum Wassergehalt einzelner Holzsortimente im „Rohstoffmonitoring Holz“ nach wie vor auf einer Untersuchung von Weimar und Mantau (2004) basieren. Eine Aktualisierung hat seither nicht stattgefunden. Vertiefende Stichproben bei Anlagenbetreibern würden sicher die Datengrundlage verbessern und auf eine aktuellere Basis stellen.

Das vorliegende Datenmaterial stellt somit für einige Sortimente eine problematische Situation hinsichtlich der Kohärenz dar. Gleichwohl positiv zu bewerten ist demgegenüber die recht geringe Abweichung der Summenwerte. Diese liegen bei 1,6 % bzw. 4,9 %. Offenbar gleichen sich höhere Abweichungen einzelner Sortimente gegenseitig aus. Diese Werte bilden somit zunächst eine stabile Grundlage für die Berechnung des GHD-Sektors mittels des Restrechnungsansatzes. Die Auswirkungen auf das Ergebnis der GHD-Restrechnung können jedoch deutlich sein. Eine weitergehende quantitative Einschätzung dieses Aspektes erfolgt daher mit der Diskussion der Ergebnisse in Kapitel 4.7.3.

4.7 Berechnung des Holzverbrauchs im GHD-Sektor mittels Restrechnungsansatz

Die Methode zum Restrechnungsansatz wurde bereits in der Einleitung zu Kapitel 4 grundsätzlich erläutert (vgl. Kapitel 4.1). Die beiden wichtigsten Rechenschritte dazu werden nachfolgend formal dargestellt. Die Restrechnung für den GHD-Sektor ergibt sich aus der Differenz des Holzverbrauchs aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ und der amtlichen Energiestatistik (Formel 3):

Formel 3: Restrechnungsansatz für den GHD-Sektor

$$\text{Holzverbrauch}_{\text{GHD}} = \text{Holzverbrauch}_{\text{RMHolz}} - \text{Holzverbrauch}_{\text{Statistik}}$$

Während der $\text{Holzverbrauch}_{\text{Statistik}}$ direkt aus der amtlichen Energiestatistik abgelesen werden kann, stellt $\text{Holzverbrauch}_{\text{RMHolz}}$ die Summe der Teilkomponenten des „Rohstoffmonitoring Holz“ dar (Formel 4):

Formel 4: Berechnung des gesamten energetischen Holzverbrauchs aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“

$$\text{Holzverbrauch}_{\text{RMHolz}} = \text{Holzverbrauch}_{<1\text{MW}} + \text{Holzverbrauch}_{\geq 1\text{MW}} + \text{Holzverbrauch}_{\text{sonstige}}$$

Die Variable $\text{Holzverbrauch}_{<1\text{MW}}$ stellt den Holzverbrauch der Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung < 1 MW, die Variable $\text{Holzverbrauch}_{\geq 1\text{MW}}$ den Holzverbrauch in Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung ≥ 1 MW und die Variable $\text{Holzverbrauch}_{\text{sonstige}}$ den Holzverbrauch in sonstigen Anlagen dar.

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden nun die einzelnen Ergebnisse aus den vorherigen Kapiteln 4.2, 4.3, 4.4 und 4.5 zur Restrechnung zusammengeführt. Die Ergebnisse des Restrechnungsansatzes werden im nachfolgenden Kapitel 4.7.1 dargestellt. In Kapitel 4.7.2 werden Ergebnisse des Restrechnungsansatzes auf Sortimentsebene dargestellt. Eine Einschätzung und Diskussion der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 4.7.3.

4.7.1 Ergebnisse des Restrechnungsansatzes

Tabelle 35 (in t atro) und Tabelle 36 (in PJ) zeigen die Ergebnisse zur Berechnung der Zeitreihen zum energetischen Holzeinsatz aus den Sektoren des „Rohstoffmonitoring Holz“ (Holzfeuerungsanlagen < 1 MW, ≥ 1 MW FWL und sonstige Anlagen) und der amtlichen Energiestatistik. Aus der Differenz dieser Angaben ergibt sich der Holzeinsatz im GHD-Sektor als rechnerische Restgröße.

Tabelle 35: Ergebnisse der GHD-Restrechnung in Mio. t atro

Jahr	Anlagen < 1 MW FWL	Anlagen ≥ 1 MW FWL	sonstige Anlagen	amtliche Energiestatistik	GHD-Sektor (rechnerisch)
2003	1,994	4,962	0,113	4,324	2,745
2004	2,359	5,681	0,113	6,914	1,239
2005	2,625	6,338	0,113	8,302	0,774
2006	2,764	7,585	0,113	9,831	0,632
2007	2,855	7,384	0,113	9,469	0,883
2008	3,317	7,662	0,113	9,722	1,370
2009	3,662	8,321	0,113	10,448	1,649
2010	4,586	9,456	0,113	11,748	2,408
2011	3,777	9,702	0,113	11,926	1,667
2012	4,115	9,955	0,113	12,139	2,044
2013	4,342	9,148	0,113	11,066	2,537
2014	3,801	9,300	0,113	11,159	2,055
2015	4,095	9,338	0,113	11,115	2,432
2016	4,219	9,197	0,113	10,859	2,671
2017	4,415	8,770	0,113	10,355	2,944

Quelle: Eigene Berechnung und UBA (2019)

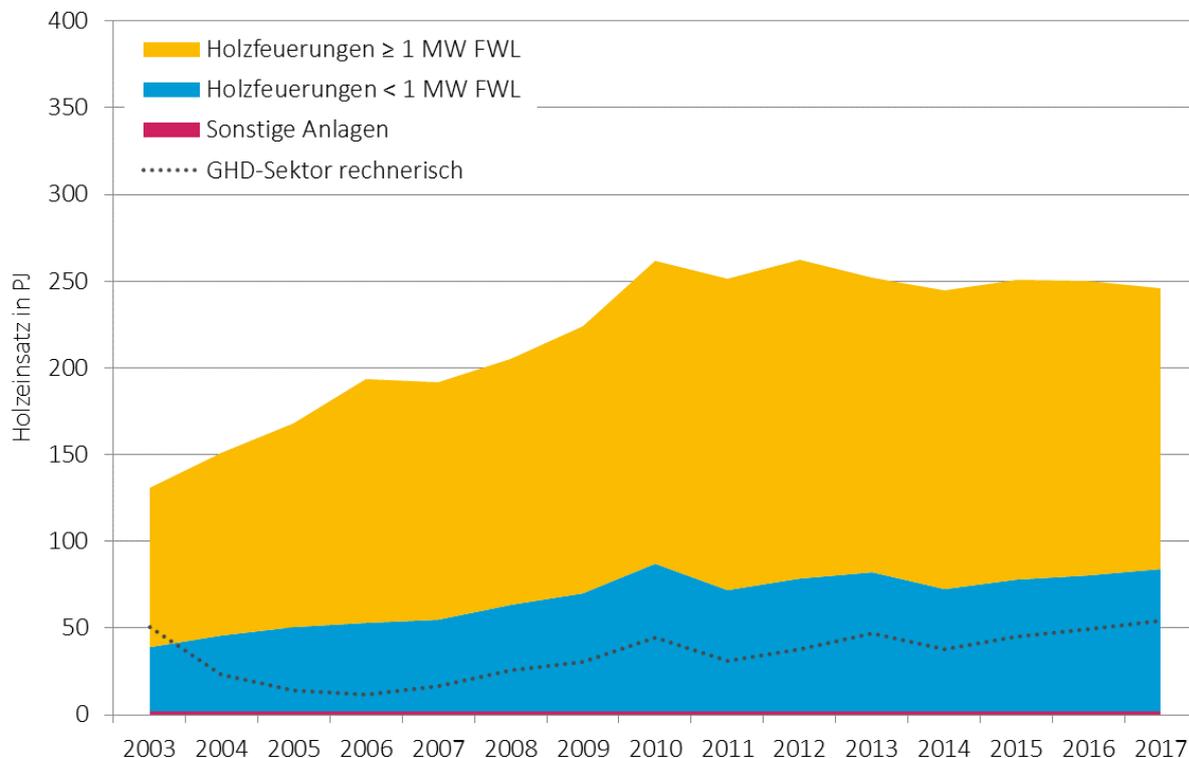
Tabelle 36: Ergebnisse der GHD-Restrechnung in PJ

Jahr	Anlagen < 1 MW FWL	Anlagen ≥ 1 MW FWL	sonstige Anlagen	amtliche Energiestatistik	GHD-Sektor (rechnerisch)
2003	36,9	91,8	2,1	80,0	50,8
2004	43,6	105,1	2,1	127,9	22,9
2005	48,6	117,3	2,1	153,6	14,3
2006	51,1	140,3	2,1	181,9	11,7
2007	52,8	136,6	2,1	175,2	16,3
2008	61,4	141,7	2,1	179,9	25,3
2009	67,7	153,9	2,1	193,3	30,5
2010	84,8	174,9	2,1	217,3	44,6
2011	69,9	179,5	2,1	220,6	30,8
2012	76,1	184,1	2,1	224,6	37,8
2013	80,3	169,2	2,1	204,7	46,9
2014	70,3	172,1	2,1	206,5	38,0
2015	75,8	172,8	2,1	205,6	45,0
2016	78,1	170,1	2,1	200,9	49,4
2017	81,7	162,2	2,1	191,6	54,5

Quelle: Eigene Berechnung und UBA (2019)

Abbildung 10 zeigt den gesamten Holzeinsatz in Deutschland in PJ, der für die Holzfeuerungen bis und ab 1 MW FWL sowie für sonstige Anlagen ermittelt wurde. Ergänzend dazu ist der mittels Restrechnung ermittelte Holzeinsatz im GHD-Sektor abgebildet.

Abbildung 10: Zeitreihe zum Holzeinsatz in Deutschland (kumuliert) und zum GHD-Sektor



Quelle: Eigene Berechnung

Insgesamt stieg der energetische Holzeinsatz in Nicht-Haushalten von 2003 um 131 PJ, auf 262 PJ im Jahr 2010. Ab dem Jahr 2010 sank der gesamte energetische Holzverbrauch in Nicht-Haushalten bis ins Jahr 2017 auf 246 PJ. Mit ca. 70 % macht der energetische Holzeinsatz in Holzfeuerungen ≥ 1 MW FWL durchschnittlich den größten Anteil aus. Holzfeuerungen < 1 MW FWL verbrauchten durchschnittlich 30 % des gesamten Holzeinsatzes. Allerdings sei angemerkt, dass ihr Anteil am gesamten Verbrauch im Zeitraum von 2003 bis 2017 um 5 Prozentpunkte stieg. Der Holzeinsatz in sonstigen Anlagen machte lediglich 1 % des gesamten Holzeinsatzes aus. Der als Restgröße der amtlichen Energiestatistik und den Ergebnissen des „Rohstoffmonitoring Holz“ berechnete Holzeinsatz im GHD-Sektor nahm von 2003 (50,8 PJ) bis 2006 (11,7 PJ) deutlich ab. Ab dem Jahr 2006 verzeichnete der energetische Holzeinsatz im GHD-Sektor wieder eine Zunahme und lag im Jahr 2017 bei 54,5 PJ. Auffallend sind die mit der Verbrauchskurve der Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL korrelierenden Verbrauchsspitzen in den Jahren 2010 (44,5 PJ) und 2013 (46,9 PJ). Eine ausführliche Diskussion der Ergebnisse ist in Kapitel 4.7.3.1 zu finden.

4.7.2 Ergebnisse des Restrechnungsansatzes nach Holzsortimenten für das Jahr 2016

Im Folgenden soll der sortimentspezifische Holzeinsatz im GHD-Sektor hergeleitet werden. In Tabelle 37 sind für das Jahr 2016 ausgewählte und sortimentspezifische Verbräuche vom Statistischen Bundesamt aus den Erhebungen 064, 066k, 060 sowie der nur über die Einspeisung erfassten Stromerzeugungsanlagen und aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ (Holzeinsatz in Holzfeuerungen $<$ und ≥ 1 MW FWL) gegenübergestellt. Es werden die Sortimente Holzpellets, Restholz, Altholz und Landschaftspflegeholz berücksichtigt. Angaben zu weiteren Sortimenten konnten zum Teil aus Geheimhal-

tungsgründen der amtlichen Statistik nicht zur Verfügung gestellt werden. Außerdem mussten einige Sortimente zusammengefasst werden, um die Vergleichbarkeit zu verbessern.

Das Statistische Bundesamt erfasste für Holzpellets im Jahr 2016 einen Verbrauch von 660.223 t atro. Damit werden die Angaben zum gesamten Einsatz von Holzpellets und -briketts aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ um ca. 200.000 t atro übertroffen. Das DEPI weist für dasselbe Jahr einen Inlandsverbrauch von 2 Mio. t (ca. 1,8 Mio. t atro) Holzpellets aus (DEPI 2018a). Es wird angenommen, dass ca. 65 % davon in Haushalten und ca. 35 % in Nicht-Haushalten verbraucht wurden (TI-WF 2018b). Damit ergibt sich für den Einsatz von Holzpellets in Nicht-Haushalten eine Verbrauchsmenge von 624.390 t atro. Dies stimmt sehr gut mit den Ergebnissen der amtlichen Energiestatistik überein. Würde man eine Restrechnung mit Holzpellets durchführen (Pelletverbrauch im „Rohstoffmonitoring Holz“ abzüglich Pelletverbrauch nach amtlicher Statistik, vgl. Kapitel 4.7), erhielte man einen negativen Wert von -207.478 t atro. Dieses hohe Defizit deutet eine Unterschätzung des Pelletverbrauchs im „Rohstoffmonitoring Holz“ vermutlich vor allen für die Anlagen < 1 MW FWL an. Eine detailliertere Analyse der Daten der amtlichen Statistik könnte genutzt werden, um die Datenerhebung für das „Rohstoffmonitoring Holz“ zu verbessern.

Die Definition von Restholz beim Statistischen Bundesamt ist nicht kohärent zum „Rohstoffmonitoring Holz“. Aus diesem Grund werden für diesen Sortimentsvergleich verschiedene Ansätze gewählt um den Restholzeinsatz zu berechnen. Im ersten Ansatz umfasst die Angabe vom Statistischen Bundesamt Holzreste (z. B. Schreinereien) und Restholz. Als Summe ergeben sich 2,1 Mio. t atro. Diesem Wert stehen 3,1 Mio. t atro aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ (als Summe der Sortimente Sägenebenprodukte, Sonstiges Industrierestholz, lose Rinde und Sonstiges) gegenüber. Das Ergebnis der Restrechnung beträgt 1 Mio. t atro, die dem GHD-Sektor zuzuordnen wären.

In einem zweiten Rechenansatz für Restholz werden die Angaben des Statistischen Bundesamtes um das Sortiment Hackschnitzel erweitert. Hierdurch steigt der gesamte Restholzeinsatz auf 3,6 Mio. t atro. Dies hat zur Folge, dass das Ergebnis der Restrechnung einen negativen Wert (-460.641 t atro) annimmt.

Im dritten Ansatz wird dem Wert des „Rohstoffmonitoring Holz“ das Sortiment Waldrestholz hinzugefügt. Dies wird damit begründet, dass Hackschnitzel aus den Erhebungen des Statistischen Bundesamtes nicht nur aus Industrierestholz hergestellt werden, sondern z. B. auch aus Waldrestholz, das direkt aus dem Wald entnommen wird. Würde Waldrestholz unter Restholz gefasst, erhöht sich der Restholzverbrauch im „Rohstoffmonitoring Holz“ auf 5,2 Mio. t atro und überträfe damit deutlich den Wert des Statistischen Bundesamtes (3,6 Mio. t atro). Für den GHD-Sektor würde ein Restholzverbrauch von 1,6 Mio. t atro ausgewiesen.

Auch beim Verbrauch von Altholz oder Landschaftspflegeholz kann die Ungewissheit über die Herkunft des Sortiments Hackschnitzel zu Ungenauigkeiten im Endergebnis führen. Es ist davon auszugehen, dass Altholz und Landschaftspflegeholz den Feuerungsanlagen in Form von Hackschnitzeln zugeführt und von den Betreibern zum Teil als solches gemeldet wird. Die Verbrauchsangaben vom Statistischen Bundesamt sind mit 3,5 Mio. t atro für Altholz und 0,687 Mio. t atro für Landschaftspflegeholz niedriger als die Ergebnisse aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ (5,3 Mio. t atro bzw. 1,5 Mio. t atro). Für den Holzeinsatz im GHD-Sektor ergibt sich bei einer Restrechnung für Altholz ein Wert von 1,8 Mio. t atro und für Landschaftspflegeholz ein Wert von 0,8 Mio. t atro.

Tabelle 37: Gegenüberstellung des Verbrauchs ausgewählter Energieholzsortimente für das Jahr 2016 in t atro

Sortiment	Stat. Bundesamt (inkl. Einspeiser) t atro	Rohstoffmonito- ring Holz (Nicht Haushalte) t atro	DEPI (Nicht Haushalte) t atro	Ergebnis GHD-Restrech- nung t atro
Holzpellets	660.223	452.745	624.390	-207.478
Restholz - Ansatz I	2.137.073	3.140.780	-	1.003.707
Restholz - Ansatz II	3.601.420	3.140.780	-	-460.641
Restholz - Ansatz III	3.601.420	5.211.846	-	1.610.425
Altholz	3.548.499	5.302.251	-	1.753.752
Landschaftspflege- holz	686.782	1.505.952	-	819.170

Anmerkung: *Holzpellets beinhalten auch Holzbriketts

Legende: Restholz für Stat. Bundesamt enthält: Holzreste (z. B. Schreinereien) und Restholz (Ansatz I)
 Restholz für Stat. Bundesamt enthält: Holzreste (z. B. Schreinereien), Restholz und Hackschnitzel (Ansatz II & III)
 Restholz für „Rohstoffmonitoring Holz“ enthält: Sägenebenprodukte, Sonstiges Industrierestholz, lose Rinde und Sonstiges (Ansatz I & II)
 Restholz für „Rohstoffmonitoring Holz“ enthält: Sägenebenprodukte, Sonstiges Industrierestholz, lose Rinde, Sonstiges und Waldrestholz (Ansatz III)

Als Alternative zur sortimentspezifischen Restrechnung kann die Sortimentsverteilung im GHD-Sektor näherungsweise auch unmittelbar aus den beiden Erhebungen des „Rohstoffmonitoring Holz“ zum Erhebungsjahr 2016 (Holzfeuerungen < 1 MW FWL: Döring et al. 2018a und Holzfeuerungen ≥ 1 MW FWL: Döring et al. 2018b) abgeleitet werden. Diese Ergebnisse können auch zur Einordnung der weiter oben vorgenommenen sortimentspezifischen Restrechnung dienen. Bei diesem Vorgehen wird zunächst über anlagenspezifische Gewichtungsfaktoren sichergestellt, dass die Stichprobe in den Merkmalen Feuerungswärmeleistung, sektorale Zuordnung (Gewerbe oder Kommune) und Anlagenzahl repräsentativ für die Grundgesamtheit des Anlagenbestands im Jahr 2016 ist.

Für einen Teil der Stichprobe sind Informationen zur Zugehörigkeit zu den Wirtschaftszweigen und Beschäftigtenzahlen bekannt. Mit Hilfe dieser Informationen kann die Zugehörigkeit von Feuerungsanlagen zum GHD-Sektor bestimmt werden. Folgende Anlagen werden dem GHD-Sektor zugeordnet:

- Anlage einer öffentlichen bzw. kommunalen Einrichtung, der Landwirtschaft oder Gartenbau, Forstwirtschaft oder dem Handel- bzw. Dienstleistungsgewerbe,
- Anlagen des verarbeitenden Gewerbes (sowohl aus der Holzwirtschaft sowie nicht aus der Holzwirtschaft) mit weniger als 20 Beschäftigten sowie
- Anlagen, die keiner der beiden vorgenannten Gruppen und nicht dem Umwandlungssektor zugeordnet werden können.

Anhand der gewichteten Angaben zum Verbrauch von Holzsortimenten und die Möglichkeit der Zuordnung zum GHD-Sektor wird nun die Sortimentsverteilung im GHD-Sektor bestimmt und auf die Grundgesamtheit übertragen. Die ermittelten Ergebnisse der anteiligen Sortimentsverteilung im GHD-Sektor sind in Tabelle 38 dargestellt und auf den absoluten Holzeinsatz aus den Ergebnissen der Restrechnung (vgl. Kapitel 4.7.1) übertragen.

Tabelle 38: Schätzung der Sortimentsverteilung im GHD-Sektor im Jahr 2016 auf Stichprobenbasis

Holzsortimente	Holzeinsatz in t atro	Anteil
Altholz	175.366	7 %
Sägenebenprodukte	199.442	7 %
Industrierestholz	40.066	2 %
Waldrundholz	307.998	12 %
Waldrestholz	743.339	28 %
Rinde	22.971	1 %
Holzpellets/-brikettes	588.240	22 %
Landschaftspflegeholz	373.606	14 %
Holz aus Kurzumtriebsplantagen	28.787	1 %
Altpapier	11	0 %
Sonstiges Holz	190.707	7 %
Summe	2.670.532	100 %

Quelle: Eigene Berechnung

Waldrestholz (28 %) und Holzpellets/-brikettes (22 %) stellen bei diesem Verfahren die bedeutendsten Sortimente für den GHD-Sektor dar. Beim Zusammenfassen der Sortimente Sägenebenprodukte, sonstiges Industrierestholz, lose Rinde und Sonstiges Holz, in Anlehnung an den Restholz-Ansatz I & II (vgl. Tabelle 37), kommen wir auf einen Verbrauch von 453.186 t atro für den GHD-Sektor. Bei Einbezug von Waldrestholz (Restholz-Ansatz III) steigt der Restholzeinsatz im GHD-Sektor auf 1.196.524 t atro. Die hier berechneten Werte zeigen leider nur wenig Übereinstimmung mit den in Tabelle 37 dargestellten Sortimentsabschätzungen. Altholz und Landschaftspflegeholz machen jeweils einen absoluten Verbrauch von 175.366 t atro und 373.606 t atro aus und liegen ebenfalls in anderen Größenordnungen als nach dem sortimentsbezogenen Restrechnungsansatz. Besonders deutlich zeigt sich der Unterschied beim Sortiment Altholz. Die beste Näherung kann noch für das Sortiment Pellets (und Holzbriketts) erzielt werden. Hier allerdings nur, wenn man die Angaben des DEPI heranzieht oder unterstellt, dass der Pelletverbrauch in Nicht-Haushalten nahezu ausschließlich Anlagen des GHD-Sektors zuzuschreiben ist. Insgesamt zeigt sich jedoch, dass sich die Ergebnisse aus dem Vorgehen auf Stichprobenbasis teilweise deutlich von den Ergebnissen nach dem sortimentsbasierten Restrechnungsansatz unterscheiden.

4.7.3 Diskussion der Ergebnisse

Im Folgenden Kapitel 4.7.3.1 wird der ermittelte energetische Holzverbrauch im GHD-Sektor im Kontext früherer Studien betrachtet. In Kapitel 4.7.3.2 liegt der Fokus auf dem sortimentspezifischen Verbrauch. In Kapitel 4.7.3.3 erfolgt eine abschließende Diskussion.

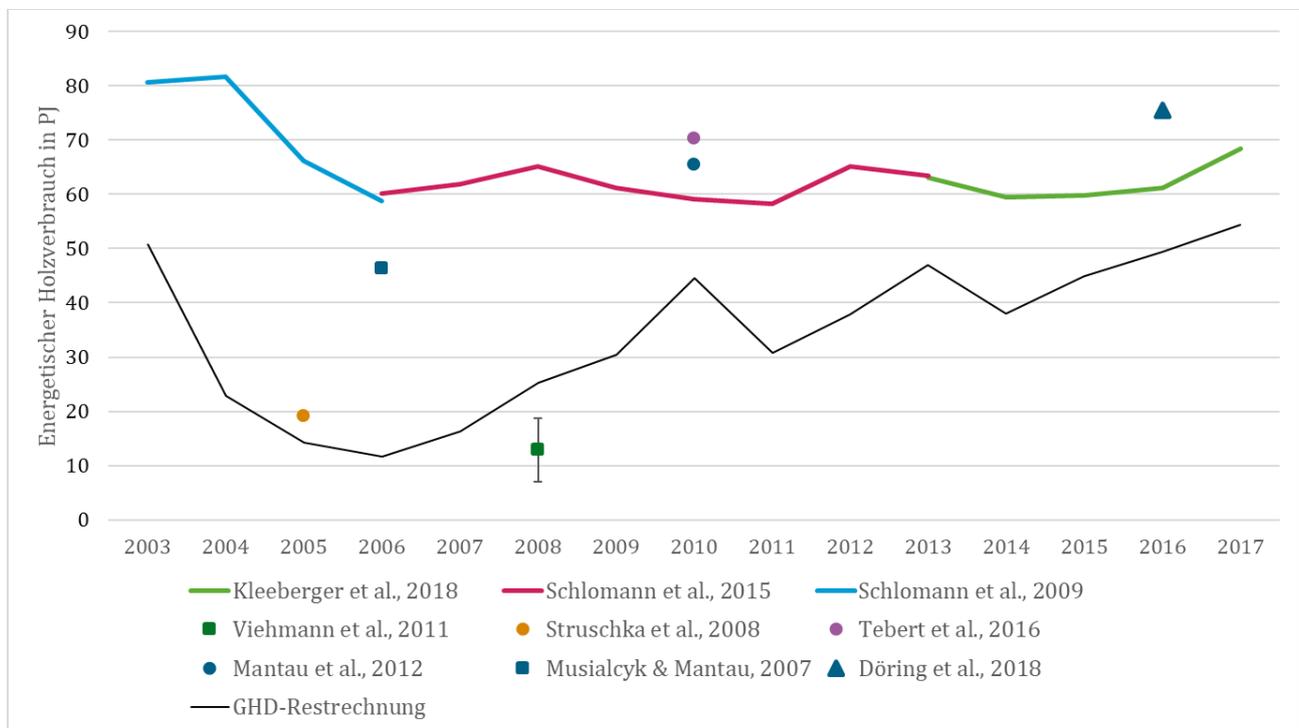
4.7.3.1 Einordnung des GHD-Gesamtverbrauchs in die verfügbare Literatur

Wie in Abbildung 11 zu sehen, sinkt der errechnete Holzeinsatz im GHD-Sektor von 51 PJ im Jahr 2003 auf 12 PJ im Jahr 2006. Der starke Rückgang lässt sich vor allem durch eine erhebliche Untererfassung der amtlichen Energiestatistik in den Jahren 2003 und 2004 erklären. Der Restrechnungsansatz kompensiert bei diesem Vorgehen die Untererfassung der amtlichen Statistik in diesen Jahren indem fehlende Verbrauchsmengen dem GHD-Sektor zugeordnet werden. Ab dem Jahr 2006 steigt der energetische Holzverbrauch von 16 PJ auf bis zu 55 PJ im Jahr 2017 an. Dies lässt sich vor allem durch den zunehmenden energetischen Holzeinsatz in Anlagen < 1 MW FWL erklären, wo insbesondere der Anlagenbestand im Leistungsbereich 100 bis 500 kW kontinuierlich zunimmt und maßgeblich für den gesteigerten Holzeinsatz

verantwortlich ist (vgl. Kapitel 4.2). In den Jahren 2010 und 2013 sind Spitzen im Holzverbrauch zu erkennen. Für das Jahr 2010 lässt sich dieser anhand der Modellierungsergebnisse der Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL erklären. Insbesondere der überdurchschnittlich kalte Winter sowie der Umbruch im Bestand an Anlagen im Leistungsbereich 15-100 kW forcierten in diesem Jahr den Holzeinsatz. Das Jahr 2013 zeichnete sich ebenfalls durch einen kälteren Winter aus (vgl. Kapitel 4.2), was den Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL und damit korrespondierend auch den Holzeinsatz im GHD-Sektor erhöhte. Zur selben Zeit ging allerdings der Holzeinsatz, der in der amtlichen Energiestatistik erfassten Anlagen, gegenüber dem Jahr 2012 deutlich zurück (20 PJ bzw. 8,8 %) und bleibt bis zum Jahr 2016 recht konstant auf einem Niveau von gut 200 PJ (vgl. Kapitel 4.3). Korrespondierend dazu verringert sich der geschätzte Holzverbrauch in den Anlagen mit einer FWL ≥ 1 MW ebenfalls von 2012 zum Jahr 2013 deutlich (um 15 PJ bzw. 8,1 %). Dies ist besonders anzumerken, da im Jahr 2013 mehr Heizgradtage zu verzeichnen waren als im Jahr 2012. Denkbar ist, dass es im Jahr 2013 zu Stilllegungen oder Stillständen von einigen größere Holzfeuerungen kam. Genauer ist in dieser Hinsicht jedoch nicht bekannt. In der Zusammenrechnung führen diese gegenläufigen Entwicklungen (besonders die steigenden GTZ) schließlich dazu, dass der Holzverbrauch im GHD-Sektor im Jahr 2013 einen deutlichen Anstieg von 9 PJ erfuhr. Im folgenden Jahr war der Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL vergleichsweise niedrig. Dies wurde vornehmlich durch den milden Winter im Jahr 2014 bestimmt und wirkte sich damit auch auf den GHD-Sektor aus.

Bei der Einordnung unserer Ergebnisse in die Literatur zeigt sich, dass es beim Zusammenspiel der verschiedenen Datenquellen, Annahmen und Modellrechnungen durch den Restrechnungsansatz durchaus auch zu scheinbar unplausiblen Entwicklungen für den GHD-Sektor kommen kann. Allerdings kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass sich der Holzeinsatz im GHD-Sektor mit einem entgegengesetzten Trend entwickelt als bei den Anlagen, die durch die amtliche Statistik erfasst werden.

Abbildung 11: Ergebnisse der GHD-Restrechnung im Vergleich zur bestehenden Literatur



Quelle: Nach eigenen Berechnung

Im Vergleich zu anderen Studien fügen sich die ermittelten Ergebnisse gut in die bisherigen Ergebnisse ein. Es fällt auf, dass der abnehmende Trend der Jahre 2003 bis 2006 auch bei Schlomann et al. (2009) zu finden ist, obwohl dieser Rückgang vornehmlich auf den deutlichen Anstieg der Angaben der amtlichen Energiestatistik

zurückzuführen ist. Ab dem Jahr 2006 weicht der über die Restrechnung modellierte Holzeinsatz allerdings von den relativ konstanten Ergebnissen aus Schlomann et al. (2015) und Kleeberger et al. (2018) ab.

Beim Vergleich mit den Ergebnissen von Musialczyk und Mantau (2007), Mantau et al. (2012) und Döring et al. (2018a) zeigt sich, dass die Ergebnisse aus dem Restrechnungsansatz im Jahr 2006 um 35 PJ, im Jahr 2010 um 21 PJ und im Jahr 2016 um 26 PJ niedriger ausfallen. Dies bestätigt die Vermutung, dass nicht alle Holzfeuerungen mit einer FWL < 1 MW aus Nicht-Haushalten dem GHD-Sektor zugeordnet werden können.

Der jahresspezifische Verbrauchswert für das Jahr 2005 aus Struschka et al. (2008) liegt in der gleichen Größenordnung wie das Ergebnis der GHD-Restrechnung. Es muss hier jedoch berücksichtigt werden, dass der Restrechnungsansatz auch 2005 noch von einer leichten Untererfassung der amtlichen Energiestatistik beeinflusst wird und damit vermutlich leicht überschätzt ist. Für das Jahr 2008 ermittelten Viehmann et al. (2011) einen geringeren Verbrauchswert als bei der GHD-Restrechnung. Aufgrund der in Kapitel 2.3 diskutierten statistischen Ungenauigkeiten, scheint es plausibel, dass die GHD-Restrechnung einen höheren Wert ausweist. Tebert et al. (2016) wiesen für das Jahr 2010 einen, im Vergleich zur GHD-Restrechnung, um ca. 26 PJ höheren Verbrauchswert aus. Auch im Vergleich zu Schlomann et al. (2015) ist dieser Wert noch um ca. 10 PJ höher.

4.7.3.2 Bewertung der Verfahren zum sortimentspezifischen Verbrauch für das Jahr 2016

Wie in Tabelle 37 dargestellt, werden beim ersten Ansatz der sortimentspezifischen Restrechnung zum Teil negative Verbräuche berechnet. Zudem ist es schwierig zu beurteilen welche Sortimente des Statistischen Bundesamtes mit den Sortimenten aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ übereinstimmen. Eine grundsätzliche Schwierigkeit der Datenerhebung der amtlichen Energiestatistik besteht darin, dass die Definitionen der Sortimente nicht ausschließlich nach Herkunft sondern auch nach Aufbereitungsart des Brennstoffes erfolgen können. Besonders das Sortiment Hackschnitzel ist hierbei problematisch, da in diesem Sortiment eine Vielzahl weiterer Sortimente bzw. Holzrohstoffe (z. B. Waldholz, Restholz, Altholz oder Landschaftspflegeholz) enthalten sein kann. Diese Probleme lassen den Restrechnungsansatz auf Ebene der Sortimente als ungeeignet erscheinen.

Eine Alternative zur sortimentspezifischen Restrechnung ist die Schätzung der Sortimentsverteilung auf Stichprobenbasis (vgl. Tabelle 38). Bei diesem Vorgehen werden für alle Sortimente des „Rohstoffmonitoring Holz“ Verbrauchswerte ermittelt. Die Sortimentsverteilungen aus Döring et al. (2018a), Döring et al. (2018b) und die Summe für Deutschland sind in Tabelle 39 zu sehen. Die wichtigsten Sortimente in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL sind Waldrestholz (28 %), Sägenebenprodukte (18 %) sowie Landschaftspflegeholz und Waldrundholz mit jeweils 14 %. In Holzfeuerungsanlagen \geq 1 MW FWL ist Altholz (56 %) das wichtigste verwendete Sortiment. Weitere relevante Sortimente, jedoch mit deutlich geringeren Anteilen sind Landschaftspflegeholz (10 %) und Waldrestholz (10 %). Für den gesamten energetischen Holzeinsatz in Deutschland ist Altholz ebenfalls das bedeutenste Holzsortiment (40 %), gefolgt von Waldrestholz mit 16 % und Landschaftspflegeholz 11 %.

Tabelle 39: Einsatz von Holzsortimenten in Deutschland in t atro im Jahr 2016

Sortiment	Anlagen < 1MW FWL		Anlagen \geq 1MW FWL		Summe	
	t	%	t	%	t	%
Altholz	114.952	3 %	5.187.299	56 %	5.302.251	40 %
Sägenebenprodukte	734.317	18 %	482.780	5 %	1.217.097	9 %
Industrierestholz	365.066	9 %	534.768	6 %	899.834	7 %
Waldrundholz	564.249	14 %	192.112	2 %	756.361	6 %

Sortiment	Anlagen < 1MW FWL		Anlagen ≥ 1MW FWL		Summe	
Waldrestholz	1.148.900	28 %	922.166	10 %	2.071.066	16 %
Rinde	45.148	1 %	584.847	6 %	629.995	5 %
Holzpellets/ -brikettes	423.942	10 %	28.803	0 %	452.745	3 %
Landschafts- pflegeholz	557.359	14 %	948.593	10 %	1.505.952	11 %
Holz aus Kurzumtriebs- plantagen	48.415	1 %	1.761	0 %	50.176	0 %
Sonstiges Holz	80.820	2 %	313.034	3 %	393.853	3 %

Quelle: Döring et al. (2018a) und Döring et al. (2018b)

Die auf Stichprobenbasis ermittelte Sortimentsverteilung des GHD-Sektors (vgl. Tabelle 38) ähnelt der Verteilung in Holzfeuerungen < 1 MW FWL, ist mit dieser jedoch nicht identisch. Das anteilig bedeutendste Sortiment ist, wie bei Holzfeuerungen < 1 MW FWL, Waldrestholz mit 28 %. Auch die Anteile der Sortimente Landschaftspflegeholz (14 %), Holz aus Kurzumtriebsplantagen (1 %) und Waldrundholz (12 %) sind in der Sortimentsverteilung von Holzfeuerungen < 1 MW FWL wiederzufinden. Es fällt allerdings auf, dass im GHD-Sektor mehr Holzpellets/-brikettes (+10 Prozentpunkte) und Altholz (+4 Prozentpunkte) sowie weniger Sägenebenprodukten (-11 %) und Industrierestholz (-7 %) eingesetzt werden als in der Sortimentsverteilung der Anlagen mit einer FWL < 1 MW. Diese Verschiebung ist durchaus plausibel. Holzfeuerungen im oberen Leistungsbereich der Anlagen bis 1 MW FWL werden vermutlich oftmals in Unternehmen des Holzgewerbes betrieben, die aufgrund ihrer Beschäftigtenzahlen von mehr als 20 Mitarbeitern (bei Sägewerken bereits ab 10 Beschäftigten) meldepflichtig gegenüber der amtlichen Statistik sind und nicht dem GHD-Sektor zugerechnet werden. Dies führt zu einem geringeren Anteilswert für besonders holzgewerbespezifische Sortimente wie Sägenebenprodukte oder Industrierestholz.

Probleme ergeben sich jedoch beim Betrachten der absoluten Zahlen. Nach den Ergebnissen des „Rohstoffmonitoring Holz“ wurden im Jahr 2016 452.745 t atro Holzpellets/-brikettes verbraucht. Für den GHD-Sektor kommen wir auf einen Verbrauch von 588.240 t atro Holzpellets/-brikettes. Interessanterweise entspricht dieser Wert in seiner Größenordnung dem Wert, wie er von der amtlichen Statistik ausgewiesen wird und wie er sich durch eine rechnerische Herleitung des inländischen DEPV-Verbrauchs abzüglich des Pelletvolumens in Privathaushalten ergibt.

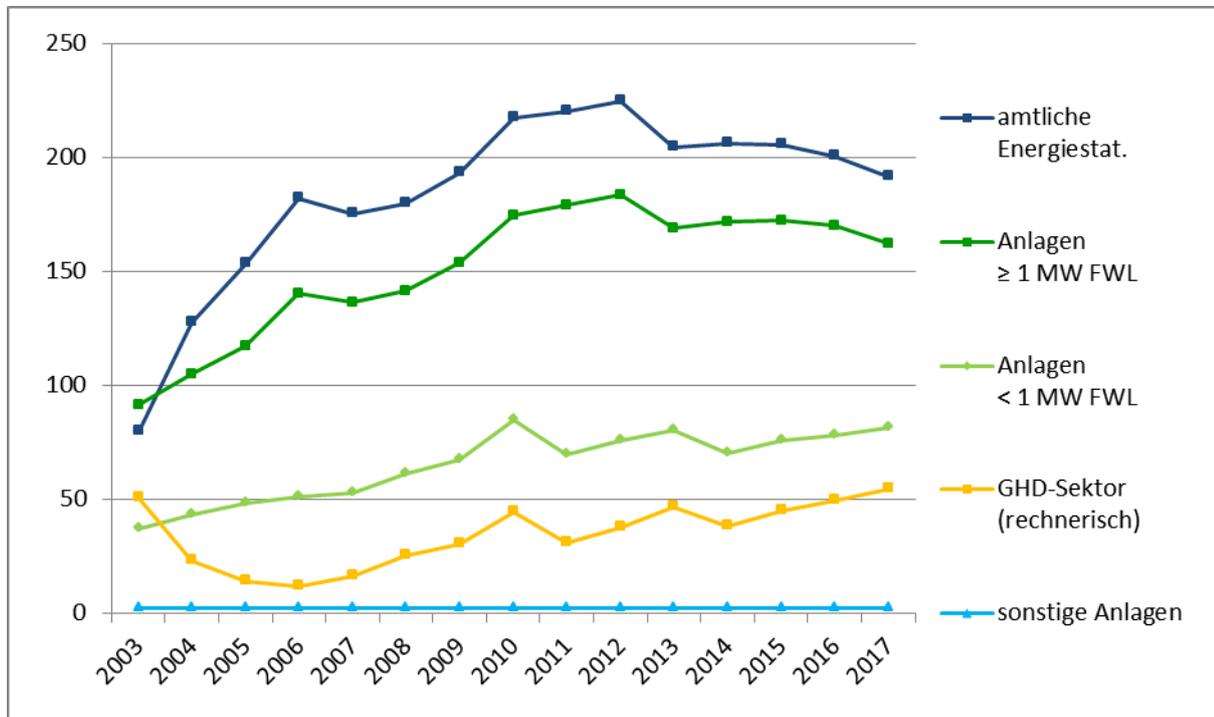
Die zum Teil deutlichen Unterschiede in den Sortimentsverteilungen des energetischen Holzeinsatzes verdeutlichen, dass für solcherart Detailbetrachtungen der Stichprobenumfang im „Rohstoffmonitoring Holz“ erhöht werden muss, um belastbarere Ergebnisse zu erhalten. Ein weiterer wichtiger Aspekt, der durch diesen sortimentspezifischen Vergleich deutlich wird, ist, dass die Datengrundlage zur Ermittlung des Anlagenbestands wie auch weitere differenzierende Merkmale für den Anlagenbestand in hinreichender Genauigkeit vorliegen müssen. Dies ist derzeit noch nicht der Fall, wie die starken Schwankungen bei der Detailauswertung zeigen.

4.7.3.3 Abschließende Diskussion

Wie in Kapitel 4.1 beschrieben, erfolgt die Berechnung des GHD-Sektors durch die Verschneidung von Daten aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ und der amtlichen Energiestatistik. In den Kapiteln 4.2 bis 4.5 wurden zu den einzelnen Komponenten des Restrechnungsansatzes bereits mögliche Fehlerquellen

len besprochen. In diesem Kapitel sollen die Datenunsicherheiten nun zusammenfassend in Bezug auf das Ergebnis für den Restrechnungsansatz diskutiert werden. Zur besseren Einordnung erfolgt zunächst eine Betrachtung der einzelnen Zeitreihen. Dazu sind die Daten aus Tabelle 36 in nachstehender Abbildung 12 grafisch aufbereitet.

Abbildung 12: Ergebnisse der GHD-Restrechnung in PJ



Quelle: Eigene Berechnungen

Bei einem Blick auf Abbildung 12 fallen zunächst einmal zwei ähnlich verlaufende Zeitreihenpaare ins Auge. Dies sind zum einen die Zeitreihen der amtlichen Energiestatistik und die der Anlagen mit einer FWL ≥ 1 MW sowie die der Anlagen mit einer FWL < 1 MW und des GHD-Sektors. Die ab dem Jahr 2005 weitgehend parallele Entwicklung der beiden erstgenannten Zeitreihen ist eine Konsequenz aus der Annahme, dass fehlende Werte in der Zeitreihe der Anlagen mit einer FWL ≥ 1 MW durch die angepassten Änderungsraten der amtlichen Energiestatistik abgeleitet werden (vgl. Kapitel 4.3). Mit diesem engen Zusammenhang ergibt sich für die über den Restrechnungsansatz abgeleitete Zeitreihe des GHD-Sektors, dass deren Verlauf maßgeblich durch die Entwicklung der Anlagen mit einer FWL < 1 MW bestimmt wird. Der als konstant angenommene Holzverbrauch in sonstigen Anlagen beeinflusst nicht die Entwicklung der Zeitreihe für den GHD-Sektor.

Nur in den ersten Jahren ist eine Abweichung der GHD-Zeitreihe von der Entwicklung der Anlagen < 1 MW FWL zu beobachten. Dies ist auf die unterschiedliche Entwicklung der Zeitreihen für die Holzfeuerungen mit einer FWL ≥ 1 MW und der amtlichen Energiestatistik bis zum Jahr 2006 zurückzuführen. Wie bereits erwähnt, kompensiert der Restrechnungsansatz die Untererfassung der amtlichen Statistik in diesem Zeitraum und rechnet fehlende Verbrauchsmengen dem GHD-Sektor zu.

Die weitere Entwicklung der GHD-Zeitreihe im Vergleich zur Zeitreihe der Holzfeuerungen < 1 MW FWL zeigt parallele Verläufe. Allerdings ist das Niveau der GHD-Zeitreihe etwa 30 bis 40 PJ niedriger als das der Anlagen < 1 MW FWL. Aus diesem Sachverhalt kann zum einen gefolgert werden, dass in diesen Erhebungen zum „Rohstoffmonitoring Holz“ der GHD-Sektor nahezu vollständig enthalten ist. Auf Grundlage dieser Annahme wurde in Kapitel 3.4 versucht, den Anlagenbestand für den GHD-Sektor direkt abzuschätzen. Die Ergebnisse konnten jedoch nicht in eine Zeitreihe übertragen werden. Zudem ist der Anteil an Anlagen ≥ 1 MW FWL, die dem GHD-Sektor zuzurechnen sind, nicht bekannt. Der Ansatz der direkten Ableitung bietet daher zwar

grundsätzlich die Möglichkeit, den Holzverbrauch im GHD-Sektor zu schätzen. Die problematische Datenlage lässt eine weitere Umsetzung derzeit jedoch nicht zweckmäßig erscheinen bzw. ein belastbareres Ergebnis erwarten als mittels des GHD-Restrechnungsansatzes. Sollte sich jedoch in Zukunft die Datengrundlage ändern, wäre diese Option erneut zu prüfen.

Bei einem genaueren Vergleich der beiden Zeitreihen fällt auf, dass das Verbrauchsvolumen des GHD-Sektors über den gesamten betrachteten Zeitraum im Vergleich zu den Holzfeuerungen mit einer FWL < 1 MW zunimmt. Die Differenz der beiden Zeitreihen beträgt im Jahr 2006 noch 40 PJ und verringert sich bis zum Jahr 2017 auf 27 PJ. Diese Entwicklung beruht vornehmlich auf der Relation der beiden Zeitreihen der amtlichen Energiestatistik und der Anlagen mit einer FWL ≥ 1 MW. Ab dem Jahr 2005 übertragen sich die jährlichen Veränderungen der Differenz dieser beiden Zeitreihen direkt auf das Ergebnis der GHD-Restrechnung. Ursache hierfür ist die enge Kopplung der beiden Zeitreihen (vgl. auch Kapitel 4.3.2). Für eine detailliertere Beurteilung ist daher auch eine Einschätzung wichtig, wie sich Veränderungen einer Komponente bzw. veränderte Annahmen zur Herleitung einer Komponente auf das GHD-Ergebnis auswirken. Daher sollen im Folgenden Auswirkungen von Veränderungen eines Parameters dargestellt werden. Dies erfolgt anhand einiger beispielhaft gerechneter Varianten der GHD-Restrechnung. Dazu werden die Jahre 2010 und 2016, jeweils Jahre mit empirischen Daten, sowie das Jahr 2017 als jüngster Jahreswert herangezogen (Tabelle 40).

Tabelle 40: Alternativrechnung der GHD-Restrechnung

Variante	Jahr	Komponente	Änderung	Änderung GHD-Wert
1	2010	Anlagen FWL < 1 MW	Empirischer Wert aus Rohstoffmonitoring Holz	-19,4 PJ
2	2016	Anlagen FWL ≥ 1 MW	Korrektur möglicher Untererfassung	+4,9 PJ
3	2017	Änderungsrate der amtlichen Statistik	Rate verringert sich gegenüber 2016 um 1 %Pkt weniger	+1,6 PJ
4	2016	Anlagen FWL ≥ 1 MW	Umrechnung mit Heizwert aus der amtlichen Statistik	-8,0 PJ

Quelle: Eigene Berechnungen

Das Jahr 2010 fällt in dieser Betrachtung durch eine Verbrauchsspitze in der Zeitreihe der Anlagen < 1 MW FWL auf. Diese entsteht durch den hohen Wert bei den Gradtagszahlen, die einen hohen spezifischen Holzverbrauch bewirken, und durch den Umbruch im Anlagenbestand (vgl. Kapitel 4.2). Eine alternative Restrechnung mit dem empirischen Wert aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ (vgl. Tabelle 40) würde den GHD-Wert um 19,4 PJ reduzieren. Der niedrigere Wert aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ beruht auf einem niedrigeren spezifischen Holzverbrauch (vgl. Tabelle 26).

Bei einer Alternativrechnung für das Jahr 2016 wird unterstellt, dass die Höhe der Untererfassung der Anlagen mit einer FWL ab 1 MW bekannt ist. Es wird hier das Beispiel aus Kapitel 2.3 herangezogen. Der höhere Holzverbrauch von 260.000 t atro in den Anlagen ab 1 MW FWL bedeutete schließlich einen um 4,9 PJ höheren Verbrauchswert in der GHD-Zeitreihe.

Als dritte Variante wird angenommen, dass sich der Rückgang des Holzverbrauchs der amtlichen Statistik um 1 Prozent (-3,6 % statt -4,6 %) verringert. Dies würde den rechnerischen Holzverbrauch im GHD-Sektor für das Jahr 2017 um 1,6 PJ erhöhen.

Die angeführten Varianten verdeutlichen, wie sich Änderungen in den einzelnen Komponenten auf die Verbrauchswerte der GHD-Zeitreihe auswirken. Eine Validierung des Restrechnungsansatzes sollen diese Beispiele jedoch nicht bedeuten. Die drei Szenarien zeigen vielmehr den Einfluss einzelner Dateninputs auf die GHD-Zeitreihe. Jede Veränderung in den Einzelkomponenten überträgt sich direkt auf die GHD-Zeitreihe und verdeutlicht wie eng die Komponenten miteinander in Beziehung stehen.

Mit der Untererfassung einer Komponente in Variante 2 wird ein wichtiger Aspekt adressiert. Grundsätzlich sollten die Datenquellen bzw. Schätzungen die beobachtete Gesamtheit vollständig abbilden. Diese Aspekte wurden bereits in den vorherigen Kapiteln zu den Studien aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“ adressiert (vgl. Kapitel 3.5, 4.2, 4.3 und 4.4) und werden daher an dieser Stelle nicht nochmals im Detail behandelt. Allerdings muss angemerkt werden, dass eine solche Unterschätzung durch Nicht-Erhebung einzelner Einheiten auch für die Datenerhebung in der amtlichen Statistik nicht auszuschließen ist. Im Bereich der Forst- und Holzstatistik lassen sich Beispiele finden, die Untererfassungen der amtlichen Statistik anzeigen (Lückge und Weber 1997, Jochem et al. 2015 und Zimmermann et al. 2018). Ob eine Untererfassung der amtlichen Energiestatistik überhaupt vorliegt und wenn ja in welcher Größenordnung, lässt sich an dieser Stelle jedoch nicht feststellen. Die Annäherung der Zeitreihen für die amtliche Energiestatistik und für die Anlagen mit einer FWL ≥ 1 MW, gemessen an den beiden aktuellen empirischen Datenpunkten im Jahr 2011 (41 PJ Differenz) und 2016 (31 PJ Differenz) kann allenfalls als Indiz für eine Untererfassung gewertet werden. Gleichwohl muss auch dieser Aspekt beim Vergleich mit neuen empirischen Datenpunkten berücksichtigt werden. Allein die unterschiedlichen Heizwerte der Holzsortimente können diese Entwicklung nicht erklären.

Der Aspekt der Kohärenz soll an dieser Stelle ebenfalls nochmals entsprechend thematisiert werden. Festgestellt wurde bereits, dass die Kohärenz der verwendeten Datenquellen ein wichtiges Kriterium für den Restrechnungsansatz ist. Grundsätzlich kann Kohärenz unterstellt werden. Dies gilt vor allem für die aggregierte Betrachtungsebene. Von Kohärenz, bei Betrachtung der Detailebene, kann nach derzeitigem Kenntnisstand jedoch nicht ausgegangen werden. Eine herausgelöste Betrachtung einzelner Daten erscheint nicht angezeigt. Für die aggregierte Ebene zeigt ein Vergleich der Heizwerte in Kapitel 4.6 eine Abweichung von 4,9 %, wenn man die Gesamtwerte der Jahre 2016 vergleicht (vgl. Tabelle 34). Dieser Unterschied kann allerdings deutliche Auswirkungen auf das GHD-Ergebnis haben. Variante 4 in Tabelle 40 stellt dies beispielhaft dar. Eine Umrechnung der empirischen Werte für die Anlagen mit einer FWL ≥ 1 MW mit dem gewichteten Heizwert der amtlichen Statistik (12,2 statt 12,8 MJ/kg) führt zu einem um 8 PJ niedrigeren GHD-Wert. Dies entspricht einer Abweichung von 16 % gegenüber dem eigentlichen Wert. Dieses einfache Beispiel verdeutlicht die Bedeutung dieses Aspekts. Es wäre daher wünschenswert, dass im Zuge der weiteren Auseinandersetzung mit der GHD-Berechnung die Umrechnungsfaktoren der verschiedenen Datenquellen bestmöglich aufeinander abgestimmt werden. Eine Aktualisierung der Heizwerte über die Erhebungen des „Rohstoffmonitoring Holz“ wäre eine zu prüfende Option, um mögliche Fehler im Zusammenspiel dieser unterschiedlichen Datenquellen weiter zu reduzieren oder besser einschätzen zu können.

5 Modell zur zeitnahen Ableitung des aktuellen Holzverbrauchs im GHD-Sektor

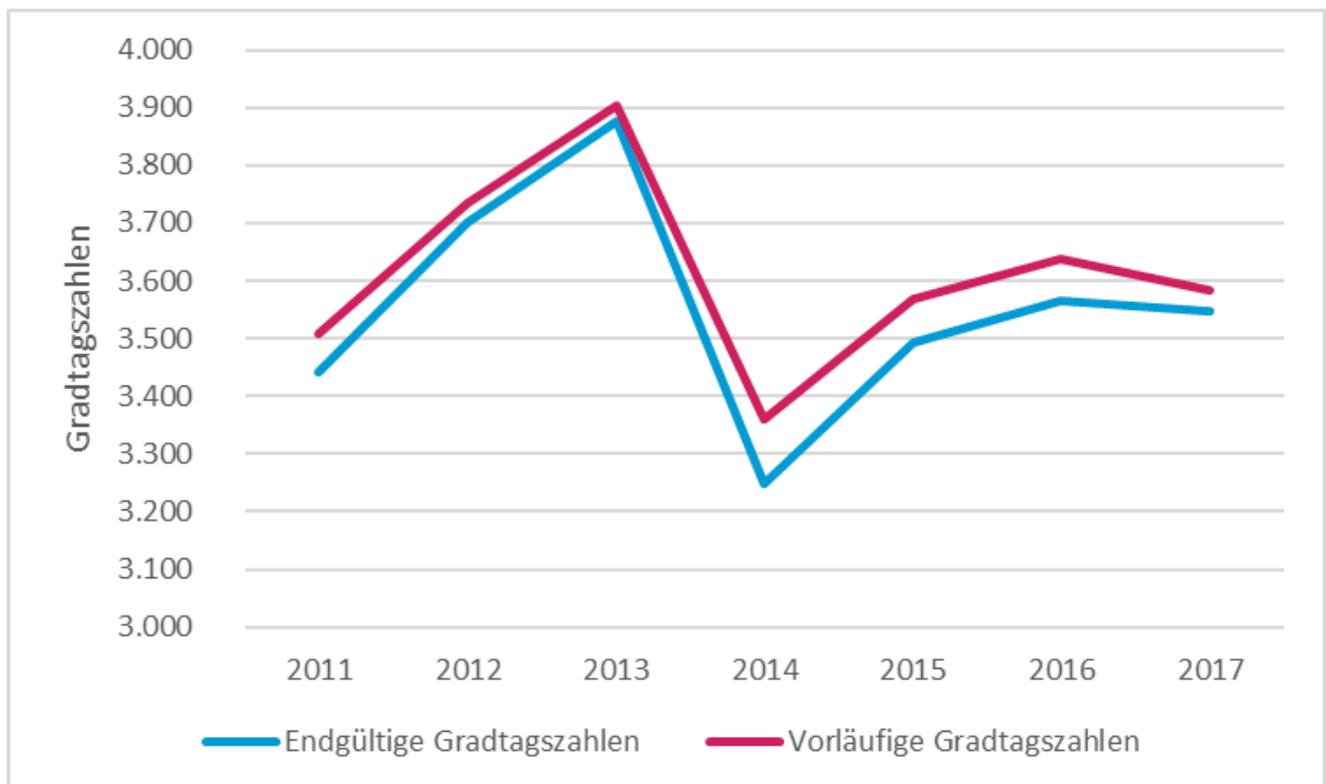
5.1 Berechnung des Holzverbrauchs

Der energetische Holzeinsatz in der Zeitreihe von 2003 bis 2017 kann auf Basis der in Kapitel 4 entwickelten Methode berechnet werden. Hierbei wird der energetische Holzeinsatz im GHD-Sektor aus der Differenz des gesamten Holzeinsatzes (Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL, Holzfeuerungsanlagen \geq 1 MW FWL und sonstige Anlagen) und der amtlichen Energiestatistik berechnet. Auf Grundlage dieses Vorgehens ist außerdem eine zeitnahe Schätzung der Verbrauchswerte der Folgejahre möglich.

Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, wird der energetische Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL über den Anlagenbestand nach Leistungsklassen (15 – 100 kW, 100 – 500 kW und 500 – 1.000 kW) und Gradtagszahlen ermittelt. Der Anlagenbestand wird aus Daten des ZIV und der BAFA Förderstatistik bestimmt (vgl. Kapitel 3.4). Eine vorläufige Schätzung des Anlagenbestands kann aufgrund der geringen jährlichen Bestandsänderungen durch Trendvorschreibung der letzten beiden Jahreswerte erfolgen. Dieser vorläufige Wert sollte nach Veröffentlichung der Bestandszahlen durch ZIV und BAFA, wie in Kapitel 3.4 beschrieben, aktualisiert werden.

Neben den Bestandsdaten verwendet das Schätzmodell jährliche Gradtagszahlen auf Bundesebene, die aus dem Mittelwert aller Gradtagszahlen nach Zustell-Postleitzahlen berechnet werden (vgl. Kapitel 4.2.1 und DWD 2018b). Für eine vorläufige Verbrauchsschätzung sollte aufgrund hoher jährlicher Temperaturschwankungen keine Trendfortschreibung der Gradtagszahlen erfolgen. DWD (2018a) veröffentlicht seit dem Jahr 2011 jeweils zum Monatsende Heizgradtage von 484 bis 512 ausgewählten Messstationen. Wie in Abbildung 13 zu sehen, entwickeln sich die Gradtagszahlen beider Quellen im zeitlichen Verlauf nahezu identisch. Für eine vorläufige Verbrauchsschätzung, wird die Gradtagszahl durch Multiplikation der relativen Änderungsrate aus DWD (2018a) und dem letzten Originalwerte aus DWD (2018b) berechnet.

Abbildung 13: Vergleich der Entwicklungen von Gradtagszahlen und vorläufigen Gradtagszahlen



Quelle: DWD (2018a) und DWD (2018b)

Der energetische Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL wird anhand der Änderungsraten der amtlichen Energiestatistik berechnet. Vorläufige Ergebnisse der amtlichen Energiestatistik werden zeitnah vom UBA ermittelt und können verwendet werden, um den Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL zu schätzen (vgl. Kapitel 4.3).

In der Zeitreihe von 2003 bis 2017 wird davon ausgegangen, dass der energetische Holzverbrauch in sonstigen Anlagen konstant bleibt (vgl. Kapitel 4.4). Für die Fortschreibung wird dies ebenfalls unterstellt.

5.2 Sensitivität des Modells mit simulierten zeitnahen Eingangsdaten

Im Folgenden wird untersucht wie sensitiv der berechnete Holzeinsatz im GHD-Sektor auf die Verwendung von simulierten, vorläufigen Eingangswerten reagiert. Die Betrachtung bezieht sich auf die Jahre 2015, 2016 und 2017. Für die Berechnungen werden folgende Eingangswerte benötigt:

1. Vorläufiger Holzverbrauch aus der amtlichen Energiestatistik (vgl. Kapitel 4.5)
2. Vorläufiger Bestand an Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL in Nicht-Haushalten nach Leistungsklassen (15 – 100 kW, 100 – 500 kW und 500 – 1.000 kW)
3. Vorläufige Gradtagszahlen für Deutschland

Für die amtliche Energiestatistik liegen rückwirkend für 2015 und 2016 keine vorläufigen Ergebnisse vor. Aus diesem Grund werden im Folgenden die veröffentlichten und endgültigen Werte der amtlichen Energiestatistik verwendet.

Der Bestand an Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL wird zwischen 2010 und 2016 für drei Leistungsklassen linear interpoliert. Ab dem Jahr 2016 werden Bestandsdaten aus den ZIV Daten verwendet (vgl. Kapitel 4.2.3). Für die Simulation der zeitnahen Ableitung des Holzverbrauchs in den Jahren 2015, 2016 und 2017 wird der Anlagenbestand anhand der Entwicklungsrate von 2013 bis 2014 fortgeschrieben. Um Auswirkungen einer veränderten Berechnung des Anlagenbestands besser einschätzen zu können, wird in einer Alternativrechnung außerdem der Anlagenbestand durch Vorjahreswerte aus dem Originaldatensatz ersetzt. Das bedeutet, dass für das Jahr 2015 die ermittelten Bestandsdaten für 2014, für das Jahr 2016 die Bestandswerte für 2015 und für 2017 die Bestandswerte für 2016 verwendet werden. Vorläufige Gradtagszahlen für 2015, 2016 und 2017 werden anhand der abgeleiteten Entwicklungen aus DWD (2018a) ermittelt. Die verwendeten Eingangsdaten sind in Tabelle 41 dargestellt.

Tabelle 41: Simulierte, vorläufige Eingangsdaten für die zeitnahe Ableitung des energetischen Holzeinsatzes im GHD-Sektor

Jahr	amtliche Energiestatistik in TJ	BMA<1MW						Gradtagszahlen
		Trendfortschreibung			Alternative: Fortschreibung des Anlagenbestands des Vorjahrs			
		Anlagen: 15 – 100 kW	Anlagen: 100 – 500 kW	Anlagen: 500 – 1.000 kW	Anlagen: 15 – 100 kW	Anlagen: 100 – 500 kW	Anlagen: 500 – 1.000 kW	
2015	205.634	23.170	13.508	2.333	26.224	12.976	2.250	3.449
2016	200.893	20.117	14.040	2.415	23.170	13.508	2.333	3.564
2017	191.566	17.063	14.572	2.498	20.117	14.040	2.415	3.512

Quelle: Nach DWD (2018a) ZIV (2018), UBA (2019) und eigenen Berechnung

In Tabelle 42 sind die Originalergebnisse (vgl. auch Tabelle 35) und die Ergebnisse auf Basis der simulierten, vorläufigen Eingangsdaten für den energetischen Holzeinsatz im GHD-Sektor dargestellt. Die Abweichungen der simulierten Werte von den Originalergebnissen übersteigen die Größenordnung von 250.000 t atro

(4,6 PJ) nicht. Im Vergleich zum gesamten Holzeinsatz im GHD-Sektor von 2,5 bis 3,0 Mio. t atro liegen die Abweichungen damit unter 10 %.

Tabelle 42: Ergebnisse des energetischen Holzeinsatz in Mio. t atro

Jahr	GHD- Restrechnung Originalrech- nung	GHD- Restrechnung Trendfort- schreibung	Abweichung	Alternative: GHD- Restrechnung Wiederholung des Anlagen- bestands	Abweichung
2015	2,432	2,392	0,040	2,324	0,107
2016	2,671	2,669	0,002	2,608	0,063
2017	2,944	2,768	0,176	2,703	0,240

Quelle: Eigene Berechnung

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das übergeordnete Ziel des Projekts bestand darin, den energetischen Holzeinsatz im GHD-Sektor zu quantifizieren, da die amtliche Energiestatistik zu diesem Sektor keine offiziellen Erhebungen vorsieht. Unter Ausschluss des Haushaltssektors unterstellt der sogenannte Restrechnungsansatz, dass die empirischen Erhebungen aus dem Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“ den gesamten energetischen Holzverbrauch in Deutschland (inkl. GHD-Sektor) vollständig und korrekt erfassen, während die Erhebungen in der amtlichen Energiestatistik alle Holzverbräuche außerhalb des GHD-Sektors dokumentieren. Bei Gültigkeit dieser Annahme ergibt die Differenz beider Datenreihen den energetischen Holzeinsatz im GHD-Sektor als rechnerische Restgröße.

Im Rahmen dieses Projekts konnten wir zeigen, dass sich die genannten Dateninputs des „Rohstoffmonitoring Holz“ in Verbindung mit weiteren Informationen sowie der amtlichen Energiestatistik grundsätzlich eignen, um über den Restrechnungsansatz plausible Ergebnisse für den Holzverbrauch im GHD-Sektor zu ermitteln. Neben dem Restrechnungsansatz ist es durchaus denkbar, den energetischen Holzeinsatz im GHD-Sektor auf Grundlage des Anlagenbestands und des spezifischen Holzeinsatzes in Anlagen des GHD-Sektors direkt zu berechnen. In Anbetracht einer sich vermutlich verbessernden Datenlage zum Bestand von Anlagen des GHD-Sektors und unter Voraussetzung einer Erweiterung der erfassten anlagenspezifischen Strukturmerkmale im „Rohstoffmonitoring Holz“ könnte dieses Vorgehen durchaus plausible Ergebnisse liefern. Für die von uns betrachtete Zeitreihe erscheint es allerdings fraglich, ob sich mit diesem Vorgehen sinnvolle Ergebnisse erzeugen lassen.

In den verschiedenen Abschnitten von Kapitel 4 wurden bereits die Datengrundlagen, die angewandten Methoden zur Ableitung der Zeitreihen und die Ergebnisse der GHD-Restrechnung diskutiert. Dies soll an dieser Stelle nicht wiederholt werden. Zusammenfassend lässt sich jedoch feststellen, dass mögliche Ungenauigkeiten beim Dateninput zum Teil erheblichen Einfluss auf die GHD-Zeitreihe haben. Zu nennen sind hier besonders die unterschiedlichen Heizwerte, die für die Ermittlung des Holzverbrauchs im „Rohstoffmonitoring Holz“ und in der amtlichen Statistik verwendet werden. In diesem Kapitel soll der Fokus auf wichtigen Aspekten liegen, die zukünftig zur Verbesserung vor allem der Datengrundlage und damit letztlich des Restrechnungsverfahrens führen können.

Die Zeitreihe zum energetischen Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL wird über die Entwicklung des Anlagenbestands sowie die jahres- und anlagenspezifischen Holzverbräuche geschätzt (vgl. Kapitel 4.2). Eine belastbare Zeitreihe für den Bestand an Holzfeuerungsanlagen bis 1 MW FWL ist nicht verfügbar. Bisher stammen Informationen zum Anlagenbestand aus unterschiedlichen Sekundärquellen, die zum Teil mit unterschiedlichen Methoden den Anlagenbestand schätzten. Dies führte zu erheblichen Problemen in der Vergleichbarkeit des Anlagenbestands und der Bildung von Zeitreihen. Allerdings lässt die derzeitige Datenlage keine Alternativen zu, die zu besseren Ergebnissen führen könnten. Nach unserem derzeitigen Kenntnisstand wird sich die Datenlage zum Anlagenbestand durch Neuerungen in der Datenerhebung des ZIV verbessern. Für zukünftige Studien werden diese Daten als zentrale Grundlage zur Verfügung stehen, sofern sich keine weiteren neuen oder vergleichbaren Datenquellen anbieten. Davon ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht auszugehen.

Die zur Verfügung stehenden Informationen zum Anlagenbestand und anlagenspezifische Holzverbräuche werden verwendet, um den gesamten Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen < 1 MW FWL bestmöglich zu berechnen. Die Erfassung des anlagenspezifischen Holzeinsatzes in Anlagen bis 1 MW FWL wurde für ausgewählte Jahre als Stichprobenerhebung konzipiert und unterliegt damit einem statistischen Fehler. Dieser Fehler kann durch eine Erhöhung der Stichprobengröße vermindert werden. Allerdings ist die Antwortbereitschaft bei Betreibern der Anlagenklassen bis 1 MW FWL gering, sodass eine Vergrößerung der Stichprobe einen deutlichen Mehraufwand bei der Befragung von Anlagen bedeuten würde.

Neben dem statistischen Fehler, können Unregelmäßigkeiten bei der Stichprobenziehung die Ergebnisse verzerren. Aufgrund der generellen Schwierigkeiten in der Datenerfassung ist davon auszuge-

hen, dass die Stichprobe zum Anlagenbestand bis 1 MW FWL die Verhältnisse in der Grundgesamtheit verzerrt bzw. nicht repräsentativ darstellen. Über Gewichtungsfaktoren wurde versucht diese Verzerrung zu korrigieren. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass die Verzerrung lediglich bezüglich der Merkmale korrigiert werden kann, die für die Grundgesamtheit bekannt sind. In zukünftigen Studien wäre es aus diesem Grund sinnvoll entweder die Stichprobenziehung bezüglich der Repräsentativität zu verbessern oder die Gewichtung zu verbessern indem relevante Strukturmerkmale erfasst werden, die auch für die Grundgesamtheit der Holzfeuerungsanlagen bis 1 MW FWL bekannt sind.

Die Erfassung zusätzlicher Strukturmerkmale der befragten Holzfeuerungsanlagen würden außerdem die Verbrauchsschätzung in den Jahren ohne empirische Erhebungsdaten verbessern. Anlagenspezifische Strukturmerkmale könnten bei der regressiven Modellierung verwendet werden, um Variationen im anlagenspezifischen Holzeinsatz präziser zu schätzen. Für zukünftige Befragungen erscheint insbesondere der Einbezug von z. B. Regionalinformationen (z. B. Postleitzahl), Umsatz des zugehörigen Betriebs, Verwendungszweck von Holzenergie und Verwendung konkurrierender Energieträger (z. B. fossile Energieträger) angeraten.

Der energetische Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL wird über bereits ermittelte Jahreswerte zum gesamten Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL und angepassten jährlichen Änderungsraten aus Erhebungen der amtlichen Energiestatistik geschätzt (Kapitel 4.3). Jahreswerte über den gesamten Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL stammen aus empirischen Erhebungen des „Rohstoffmonitoring Holz“. Diese Erhebungen werden als Vollerhebungen konzipiert. Es ist jedoch davon auszugehen, dass vor allem im kleineren Leistungsbereich nicht alle Anlagen bei den Recherchen erfasst wurden. Auf den gesamten energetischen Holzeinsatz in diesen Anlagen hat dies vermutlich keinen sehr großen Einfluss (eine Beispielrechnung in Kapitel 2.3 ergab eine Abweichung unter 3 %). Die Auswirkungen im Rahmen der Restrechnung, auf den energetischen Holzeinsatz im GHD-Sektor können sich jedoch deutlich bemerkbar machen (vgl. Kapitel 4.7.3.3).

Die tatsächliche Grundgesamtheit der Feuerungsanlagen ≥ 1 MW FWL ist aus den Erhebungen zum „Rohstoffmonitoring Holz“ nur näherungsweise bekannt. Zur bestmöglichen Erfassung des Holzverbrauchs muss der Datenbestand zur Grundgesamtheit der Anlagen über intensive Recherchen kontinuierlich aktuell gehalten werden. In diesem Zusammenhang können auch Regionalstudien von Interesse sein, deren Anlagenbestand im Einzelnen überprüft werden muss. Eine wichtige Datenquelle zur Ermittlung des tatsächlichen Anlagenbestands können die Immissionsschutzbehörden der Länder sein. Dieser Weg wurde bei den Recherchen des „Rohstoffmonitoring Holz“ bislang nicht genutzt, sollte jedoch im Rahmen der nächsten Erhebung versucht werden.

Der energetische Holzeinsatz in sonstigen Anlagen wird von uns als zeitlich konstant angenommen (vgl. Kapitel 4.4). Dies ist eine Vereinfachung, die vor allem der sehr begrenzten Datenlage geschuldet ist und nicht der Wirklichkeit entspricht. Da der gesamte Mengenstrom für sonstige Anlagen jedoch relativ klein ist, ist davon auszugehen, dass die Auswirkungen einer fehlerhaften Schätzung auf das Restrechnungsverfahren gering sind. Eine verbesserte Erfassung des energetischen Holzeinsatzes in sonstigen Anlagen wäre wünschenswert, sollte allerdings, in Anbetracht der Unsicherheiten bei der Zeitreihenschätzung für Holzfeuerungsanlagen bis und ab 1 MW FWL, nicht die erste Priorität sein.

Die amtliche Energiestatistik erfasst in jährlichen Erhebungen den energetischen Holzeinsatz in Holzfeuerungsanlagen des Industrie- und Umwandlungssektors. Hierbei werden sortimentspezifische Verbräuche nach Herkunft und Art der Aufbereitung des Holzes erfasst (vgl. Kapitel 4.5). Allerdings sind die erfassten Holzsortimente nicht trennscharf definiert, sodass es zu Überschneidungen kommen kann. Für einige Sortimente führt diese Situation zu Problemen in der Vergleichbarkeit der Zahlen aus der amtlichen Energiestatistik und dem Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“. Insbesondere die Heizwerte, die bei gleichen Sortimenten übereinstimmen sollten, liegen nur in wenigen Fällen in einer ähnlichen Größenordnung. Die Unterschiede von etwa 5 % beim Vergleich der gewichteten Summe über alle Sortimente (vgl. Kapitel 4.6), können im Rahmen der Restrechnung deutliche Auswirkungen auf

den GHD-Wert haben (vgl. Kapitel 4.7.3.3). Für eine verbesserte Vergleichbarkeit der Daten aus der amtlichen Energiestatistik und dem „Rohstoffmonitoring Holz“ ist zum einen eine Überarbeitung der erfassten Holzsortimente in der amtlichen Energiestatistik angeraten. Darüber hinaus wäre es sinnvoll mehr Informationen über Holzsortimente (insbesondere Wassergehalt) zu erfassen, auf dessen Grundlage standardisierte Heizwerte errechnet werden könnten.

Mit der Weiterführung der Verbrauchsschätzung zum GHD-Sektor wäre es wünschenswert, wenn die statistischen Analysen zum Holzeinsatz in Feuerungsanlagen bis 1 MW FWL und ab 1 MW FWL weitergeführt würden. Aufgrund fehlender anlagenspezifischer Merkmale in den Stichproben konnte die statistische Analyse des Holzverbrauchs in Nicht-Haushalten nicht in der analytischen Tiefe ausgeführt werden, wie zu Beginn des Projekts vorgesehen. Die nächsten Erhebungen in Nicht-Haushalten im „Rohstoffmonitoring Holz“ sind für das Jahr 2020 mit Datenbezug für das Jahr 2019 vorgesehen. Hier sollte besonders auch die vorgenannten Aspekte berücksichtigt werden, so dass neben der Erfassung von jahresspezifischen Verbrauchskennwerten, anlagenspezifische Strukturmerkmale erfasst werden, die die Berechnung von allgemeinen jahresspezifischen Verbrauchskennzahlen ermöglichen. Inwiefern durch neuere empirische Datenpunkte auch die Schätzungen für zurückliegende Jahre verbessert werden können, lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht sagen. Möglicherweise kann dies durch weitere Erhebungen in der langfristigen Fortführung des „Rohstoffmonitoring Holz“ (geplant sind nach derzeitigem Stand dreijährige Erhebungszyklen), erreicht werden.

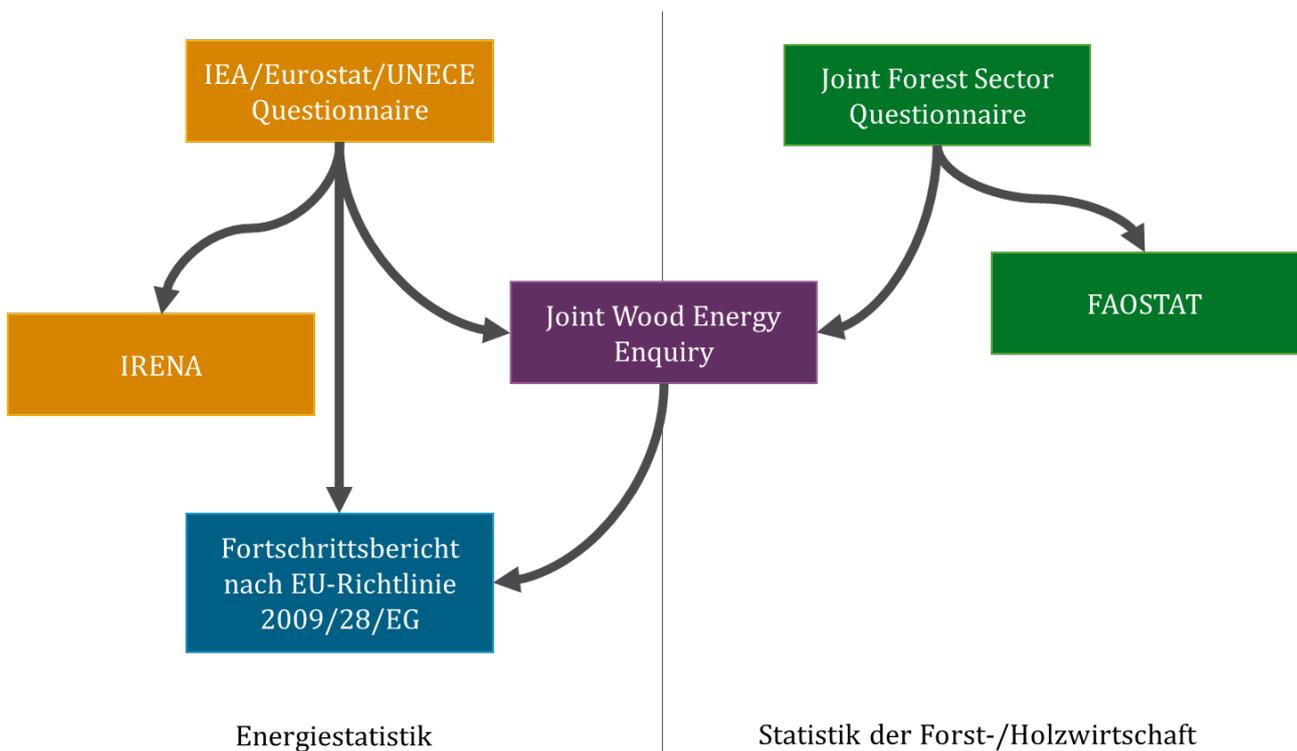
7 Internationale Berichterstattungen im Kontext der Holzenergie

7.1 Einleitung

Informationen über die energetische Holzverwendung sind in Bezug auf die Nachhaltigkeit der Holzentnahme aus dem Wald, Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Holznutzung sowie in Bezug auf die Zielsetzungen in Bereichen der erneuerbaren Energien und des Klimaschutzes von großem Interesse. Auf internationaler Ebene wird die energetische Verwendung von Holz durch unterschiedliche Berichterstattungen erfasst. Diese unterscheiden sich hinsichtlich des Detailgrades der erfassten und ausgewiesenen Holzsortimente und Verbrauchssektoren. Im Folgenden werden die Zusammenhänge der Berichterstattungen kurz dargestellt und anschließend in den Kapiteln 7.2 bis 7.6 detailliert beschrieben.

Abbildung 14 gibt einen Überblick über die Zusammenhänge der Berichterstattungen im Bereich Energie sowie Forst- und Holzwirtschaft. Für den Energiesektor ist der Fragebogen von IEA/Eurostat/UNECE (JAQ) zu den erneuerbaren Energien von besonderer Relevanz. Der energetische Holzverbrauch wird besonders im Hinblick auf die Verbrauchssektoren detailliert dargestellt (Kapitel 7.2). Allgemeine Daten zu Produktion und Handel von Holzprodukten werden über den Joint Forest Sector Questionnaire (JFSQ) erfasst, dessen Ergebnisse auch in FAOSTAT einfließen (Kapitel 7.3). Der Joint Wood Energy Enquiry (JWEE) von UNECE/FAO vereint in seinem Aufbau die Strukturen und Informationen aus dem Fragebogen von IEA/Eurostat/UNECE und dem JFSQ. Eine genaue Beschreibung des JWEE erfolgt in Kapitel 7.4. Auf europäischer Ebene ist der Fortschrittsberichts nach EU-Richtlinie 2009/28/EG ebenfalls eine zentrale Berichterstattung für erneuerbare Energien (Kapitel 7.5).

Abbildung 14: Zusammenhänge internationaler Berichterstattungen



Quelle: Eigene Darstellung

Weiterhin ist die Berichterstattung von IRENA zu erwähnen, die den Verbrauch von erneuerbaren Energien erfasst (Kapitel 7.6). Deutschland übermittelt dazu bisher keine Daten. Aus diesem Grund übernimmt IRENA für Deutschland die Daten für erneuerbare Energien aus dem JAQ von IEA/Eurostat/UNECE.

In Tabelle 43 sind die Berichtszeitpunkte dargestellt. JAQ, JFSQ und IRENA haben einen jährlichen Turnus.

Der JWEE und der EU Fortschrittsbericht erfassen den energetischen Holzverbrauch im Zweijahreszyklus. Im JWEE werden Daten für alle ungeraden Jahre gesammelt. Im Fortschrittsbericht nach RL 2009/28/EG wird der energetische Holzverbrauch für zwei aufeinander folgende Jahre dokumentiert.

Tabelle 43: Erfassungszyklen der Berichterstattungen im Zeitraum 2011 bis 2016

Berichterstattung	Turnus	Bezugsjahr und Veröffentlichungszeitpunkt
JAQ Renewable & Waste	Jährlich	y-2: ca. März
JFSQ	Jährlich	y-1: Veröffentlichung Ende Mai
JWEE	Alle zwei Jahr Jedes ungerade Jahr	y-2; (zzgl. 6-12 Monate bis zur Veröffentlichung)
Fortschrittsbericht nach RL 2009/28/EG	Alle zwei Jahre Für zwei Jahre	y-2 und y-1 (Veröffentlichung einige Monate nach Abgabe zum 31.12)
IRENA	Jährlich	y-1: Veröffentlichung 16 Monate nach Ende des Referenzjahrs

Quelle: JAQ (2018), JFSQ (2019), JWEE (2019), EC (2019) und Glasenapp und McCusker (2018)

7.2 Renewables Questionnaire (JAQ) von IEA/Eurostat/UNECE¹⁶

7.2.1 Hintergrundinformationen

Jedes Jahr erstellen die Internationale Energieagentur (IEA) und Eurostat in Kooperation mit der UNECE für alle OECD Länder Energiestatistiken, u. A. auch zu erneuerbaren Energien und Energie aus Abfällen. Außerdem werden Energiedaten von weiteren Nicht-OECD Ländern gesammelt. Die Verpflichtung zur Datenübermittlung ergibt sich auf Basis der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008, Anhang B, Punkt 6. Die erfassten Daten sind bei IEA teils kostenlos¹⁷, teils kostenpflichtig¹⁸ abrufbar. Außerdem können Daten direkt über Eurostat¹⁹ bezogen werden.

7.2.2 Strukturierung des Fragebogens

Der IEA/Eurostat/UNECE-Fragebogen für erneuerbare Energien und Abfälle (JAQ)²⁰ erfasst die Produktion, den Handel und Verbrauch von fester Biomasse. Tabelle 4 des Fragebogens beinhaltet die Produktion von fester Biomasse („solid biofuels, excluding charcoal“) und Biogas. Bei den festen Bioenergieträgern erfolgt eine Differenzierung in Holz („fuelwood“, „wood residues“ und „by-products“), Schwarzlauge, Bagasse, tierische Abfälle und andere pflanzliche Materialien und Reststoffe. Des Weiteren wird für Holz der Anteil an Holzpellets ausgewiesen.

In den Tabellen 5 (Importe) und 6 (Exporte) des Fragebogens wird der Handel von erneuerbaren Energieträgern differenziert nach Ländern thematisiert. Neben den verschiedenen flüssigen Bioenergieträgern werden bislang ausschließlich Holzpellets berücksichtigt.

¹⁶ Erstellt auf Basis von Zuarbeiten des UBA.

¹⁷ IEA kostenloses Datenportal: <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>

¹⁸ IEA kostenpflichtiges Datenportal: <http://wds.iea.org>

¹⁹ Eurostat Datenportal: <https://ec.europa.eu/eurostat/de/data/database>

²⁰ Renewables Questionnaire (<http://www.iea.org/statistics/resources/questionnaires/annual/>, abgerufen 21.02.2018)

Der Energieverbrauch nach Energieträgern²¹ und Sektoren ist Bestandteil von Tabelle 2 des Fragebogens. Feste Bioenergieträger (ohne Holzkohle) werden dort nur in Summe ausgewiesen. Daneben wird Holzkohle separat dargestellt. Die Verbrauchssektoren werden sehr differenziert dargestellt. Es werden drei Hauptkategorien unterschieden: Umwandlungssektor, Energiesektor und Endenergieverbrauch. Im Umwandlungssektor werden 14 und im Energiesektor 11 Unterkategorien unterschieden. Der Endenergieverbrauch wird differenziert in Industriesektor (mit einer Differenzierung in 13 Unterklassen), Transportsektor (4 Unterklassen) und andere Sektoren (5 Unterkategorien: Haushalte, gewerbliche und öffentliche Dienstleistungen, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und Fischzucht und Sonstige). Im Anhang (Tabelle 51) sind sämtliche Kategorien und Verbrauchssektoren des IEA/Eurostat/UNECE-Fragebogens dargestellt.

7.2.3 Deutsche Berichterstattung

Die deutsche Berichterstattung für den IEA/Eurostat/UNECE Fragebogen erfolgt im Auftrag des BMWi durch das UBA, unter Verwendung von Daten der Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), welche sich dabei selbst auf verschiedene Datenquellen stützt. Bei der festen Biomasse sind es für den Umwandlungsbereich und die Industrie im Wesentlichen die Ergebnisse der amtlichen Energiestatistik (vgl. Kapitel 4.5). Die aktuellen Angaben zum Holzverbrauch in Haushalten basierten bislang auf Forschungsarbeiten von RWI/forsa (Frondelet et al. 2005, Frondelet et al. 2011, Frondelet et al. 2013 und Frondelet et al. 2015), die durch die AGEE-Stat fortgeschrieben wurden. Mit dem Berichtsjahr 2017 werden die Ergebnisse des „Rohstoffmonitoring Holz“ und der im Zuge der Holzeinschlagrückrechnung durchgeführten Regressionsanalysen zum Holzverbrauch in Privathaushalten des Thünen Instituts herangezogen.

Die Angaben zum Verbrauch fester Biomasse im Bereich der gewerblichen und öffentlichen Dienstleistungen basieren auf den EEG-Daten der Bundesnetzagentur und zusätzlichen AGEE-Stat-Modellannahmen bzw. (bei Wärmeerzeugungsanlagen) auf der Verschneidung der Ergebnisse des „Rohstoffmonitoring Holz“ mit der amtlichen Energiestatistik (GHD-Restrechnungsansatz). Dies umfasst sowohl den Brennstoffeinsatz für die Wärmebereitstellung, der nur über die Einspeisung erfassten Stromerzeugungsanlagen, als auch den gesamten Holzverbrauch der Wärmeerzeugungsanlagen im GHD-Sektor. Durch die Zuordnung des gesamten Verbrauchs des GHD-Sektors zu den gewerblichen und öffentlichen Dienstleistungen erfolgen keine Angaben in den Feldern Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und Fischzucht und Sonstige.

7.3 Joint Forest Sector Questionnaire (JFSQ) von FAO/UNECE/ITTO/EUROSTAT

7.3.1 Hintergrundinformationen

Über den gemeinsamen Fragebogen der Forst- und Holzwirtschaft von FAO, UNECE, ITTO und Eurostat (Joint Forest Sector Questionnaire, JFSQ) werden Daten zu Produktion und Handel von Rohholz und der wichtigsten Holzprodukte erfasst. Die gesamten Daten stehen in den jeweiligen Datenportalen der Organisationen zur Ansicht und zum Herunterladen zur Verfügung. Als Beispiel sei hier mit FAOSTAT²² die umfangreichste Datenbank genannt. FAOSTAT beinhaltet als Datenportal der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) neben Informationen zur Forst- und Holzwirtschaft auch Daten über Produktion und Handel von Agrargütern, Landnutzung und Preisdaten. Insgesamt umfasst das Portal Daten von 245 Ländern.

Die Daten der Forst- und Holzstatistik reichen bis ins Jahr 1961 zurück. Sie bildet die wichtigste Grundlage für Analysen des globalen Holzmarktes. Die Produktions- und Handelsdaten umfassen sowohl klassische Holzprodukte wie Schnittholz, Holzwerkstoffe oder Papier als auch Energieholzprodukte wie z. B. Holzkohle, oder Brennholz und seit einigen Jahren auch Holzpellets.

²¹ Geothermal energy, Solar energy, Industrial waste, Renewable municipal waste, Non-renewable municipal waste, Solid biofuels excluding charcoal, Charcoal, Biogases, Biogasoline, Biogasoline of which bioethanol, Bio jet kerosene, Biodiesel, Other liquid biofuels

²² FAOSTAT Datenportal (<http://www.fao.org/faostat/en/#data>, abgerufen 21.02.2018)

Die Erfassung der Holzmarktdaten erfolgt über offizielle Länderkorrespondenten. Länder der Europäischen Union berichten ihre Daten zunächst an Eurostat. Dort erfolgt eine erste Datenprüfung. Anschließend werden die Daten an die regionale Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (United Nations Economic Commission for Europe, UNECE) übermittelt, dort erfolgt eine nochmalige Validierung sowie die Übermittlung der Daten an die FAO. Die Berichterstattung erfolgt auf freiwilliger Basis.

7.3.2 Strukturierung des Fragebogens JFSQ

In den beiden Haupttabellen des JFSQ werden Produktion und Handel der wichtigsten Holzsortimente erfasst. Wie in Tabelle 44 zu sehen, wird zwischen Rohholz, das direkt aus dem Wald entnommen wird, und Holzprodukten unterschieden.

Die Unterkategorien von Rohholz, Brennholz („wood fuel“) und industrielles Nutzholz („industrial roundwood“), grenzen die jeweiligen Verwendungszwecke von Holz ab. „Wood fuel“ ist als Holz definiert, das für die energetische Verwendung bestimmt ist. „Industrial roundwood“ umfasst das übrige Holz, das stofflich verwendet wird. Es sei angemerkt, dass diese Kategorisierung an der Waldstraße durch Aufkommensstatistiken schwierig ist und hinsichtlich der tatsächlichen Verwendung ungenau sein kann. Aussagen über die Verwendung, insbesondere nach stofflicher und energetischer Nutzung, können daher nicht eindeutig beantwortet werden. Um die energetische und stoffliche Verwendung von Holz besser unterscheiden zu können, wurde von UNECE/FAO die Entwicklung des JWEE (Kapitel 7.4) angeregt.

„Wood chips and particles“ umfassen Hackschnitzel und Sägespäne. Darüber hinaus stehen „wood residues“ für alles weitere Restholz, das bei Prozessen der Holzbe- und -verarbeitung anfällt. Unter „other agglomerates“ versteht man weitere Holzpresslinge, die nicht den Holzpellets zuzuordnen sind wie z. B. Holzbriketts (UNECE-FAO 2018).

Tabelle 44: Im Joint Forest Sector Questionnaire (JFSQ) erfasste Holzsortimente

Hauptkategorie	Unterkategorie
Roundwood removals	
Roundwood	Wood fuel
	Industrial roundwood
Production	
Wood charcoal	-
Wood chips, particles and residues	Wood chips and particles
	Wood residues
Wood pellets and other agglomerates	Wood pellets
	Other agglomerates
Sawnwood	-
	Veneer sheets
Wood based panels	Plywood
	Particle board
	Fibre board
	Mechanical wood pulp
Wood pulp	Semi-chemical wood pulp
	Chemical wood pulp
	Dissolving grades

Hauptkategorie	Unterkategorie
Production	
Other pulp	-
Recovered paper	-
Paper and paper board	Graphic papers
	Household and sanitary papers
	Packaging materials
	Other paper and paperboard

Quelle: JFSQ (2019)

7.3.3 Deutsche Berichterstattung

Die Berichterstattung für Deutschland erfolgt über das Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BMEL). Seit 2011 übernimmt das Thünen-Institut die Beantwortung des JFSQ im Auftrag des BMEL. Datengrundlage sind Angaben aus der amtlichen Produktions- und Handelsstatistik sowie Verbandsmeldungen.

7.4 Joint Wood Energy Enquiry (JWEE) von UNECE/FAO

7.4.1 Hintergrundinformationen

Als nach der Jahrtausendwende die energetische Nutzung von Holz zunahm, rückte besonders die Frage der unbefriedigenden Datenlage zu Holzenergie in den Fokus. Auf internationaler Ebene waren diese Informationen nicht, auf nationaler Ebene aber in einigen Ländern durchaus verfügbar. Aus diesem Grund wurde der Joint Wood Energy Enquiry (JWEE) von UNECE/FAO entwickelt, um die Informationslage zu Holzenergieprodukten und die Verwendung von Holz zur Energieerzeugung zu verbessern. Außerdem verfolgt der JWEE das Ziel, Länder darin zu unterstützen ihre Holzenergie-daten einheitlich zu strukturieren und die Zusammenarbeit von Forst- und Energiestatistikern zu verbessern (Glasenapp und McCusker 2018). Damit stellt der JWEE ein Verbindungsglied zwischen den Berichtsstrukturen der Forst- und Holzstatistik und der Energiestatistik dar.

Der Teilnehmerkreis des JWEE beschränkt sich bislang auf die Region der UNECE (Länder der nördlichen Hemisphäre). Die Befragung wurde erstmals für das Bezugsjahr 2005 und daran anschließend alle 2 Jahre durchgeführt. Die Teilnahme an der Berichterstattung ist freiwillig. Dies hat zur Folge, dass für manche Bezugsjahre Länderdaten fehlen. Dennoch konnte die Anzahl der teilnehmenden Mitgliedsländer kontinuierlich gesteigert werden. Im Jahr 2005 berichteten 14 Mitgliedsländer ihren Holzenergieverbrauch. Die Zahl stieg bis zum Berichtsjahr 2015 auf 31 Mitgliedsländer an (Glasenapp und McCusker 2018). Die gesammelten Daten sind frei verfügbar²³.

7.4.2 Strukturierung des Fragebogens

Der JWEE-Fragebogen erfasst die Produktion und den Handel von Holzrohstoffen und -produkten, die energetisch verwendet werden können (Tabelle I und II), die Transformation von Holz in Energieprodukte (Tabelle III) und als zentrale Tabelle die energetische Holznutzung nach Verbrauchssektoren (Tabelle IV). Informationen zur Produktion und dem Handel werden überwiegend aus dem JFSQ übernommen. Holzsortimente, die nicht im JFSQ vorkommen sind z. B. Altholz, Landschaftspflegematerial, Rinde oder Schwarzlauge.

In Tabelle IV des Fragebogens wird die energetische Holzverwendung nach Holzsortimenten und Verbrauchssektoren erfasst. Bei der Konzeption des Fragebogens wurden die Sortimente in Anlehnung an die Struktur des JFSQ in den JWEE Fragebogen übernommen und bezüglich der Besonderheiten in der energetischen Holzverwendung angepasst. In Tabelle 45 ist die Sortimentsstruktur beider Berichtssysteme gegen-

²³ JWEE Datenzugang: <http://www.unece.org/forests/jwee.html>

übergestellt. Im Gegensatz zum JFSQ wird im JWEE differenziert, ob die Rohholzsortimente „industrial roundwood“ und „fuelwood“ aus dem Wald oder nicht aus dem Wald stammen. Außerdem berücksichtigt der JWEE Rinde und Schwarzlauge als eigene Sortimente, die im JFSQ nicht abgefragt werden. Weitere Produkte, die in Tabelle IV des Fragebogens, nicht aber im JFSQ vorkommen, sind flüssige Energieholzprodukte (z. B. Pyrolyseöl oder Biodiesel aus Holz). Altholz wurde in der neuesten Version des JFSQ in den Fragebogen mit aufgenommen. Während flüssige Energieholzprodukte mengenmäßig in Deutschland derzeit kaum bedeutsam sind, ist das Aufkommen und die Verwendung von Altholz ein relevanter Mengenstrom.

Tabelle 45: Struktur der Holzsortimente im JWEE im Vergleich zu Sortimenten aus dem JFSQ

Herkunft im JWEE	Holzsortiment im JWEE	Äquivalent im JFSQ
Primärfasern		
Woody biomass from forests	Industrial Roundwood	1.1 Wood fuel
	Fuelwood	1.2 Industrial roundwood
Woody biomass from outside forests	Industrial Roundwood	-
	Fuelwood	-
Holzindustrie		
Solid co-products	Chips and Particles	3.1 Wood chips and particles
	Wood residues	3.2 Wood residues
	Bark	-
Liquid co-product	Black liquor	-
	Crude tall oil	-
Energieholzprodukte		
Processed solid biofuels from wood	Wood charcoal	2 Wood charcoal
	Wood pellets	5.1 Wood pellets
	...torrified wood pellets	-
	Wood briquettes	5.2 Other agglomerates
Processed liquid biofuels from wood	Pyrolysis Oils	-
	Cellulose based ethanol	-
	Wood based biodiesel	-
Altholz		
Post-consumer recovered wood	Non-hazardous wood waste	4. Recovered post-consumer wood
	Hazardous wood waste	

Quelle: JFSQ (2019) und JWEE (2019)

Die Verbrauchssektoren des JWEE in Tabelle IV wurden in Anlehnung an die Sektoren im JAQ für erneuerbare Energieträger aufgebaut. Wie in Tabelle 46 zu sehen, wird im JWEE zwischen den Sektoren Umwandlung, Industrie und Endverbraucher unterschieden. Im Vergleich zu den Verbrauchssektoren aus Tabelle 2 des IEA/Eurostat/UNECE Fragebogens (Tabelle 51 im Anhang) sind die Kategorien Energiesektor und Netzverluste nicht mit aufgeführt. Für „main activity producer“ und „final consumer“ sind die Definitionen im JWEE konsistent mit IEA/Eurostat/UNECE. Der Industriesektor aus dem JWEE unterscheidet sich jedoch von der Definition im IEA/Eurostat/UNECE Fragebogen für erneuerbare Energien.

Tabelle 46: Gegenüberstellung der Verbrauchssektoren im JWEE und IEA/Eurostat/UNECE

Verbraucher im JWEE	Äquivalent im JAQ
Main Activity Producer (Umwandlungssektor)	
Electricity	Electricity
CHP	CHP
Heat	Heat
Industry sector (Endverbraucher/Umwandlungssektor)	
Pulp and paper	Autoproducer (Pulp and paper) Pulp and Paper
Wood and wood products	Autoproducer (Wood and wood products) Wood and wood products
Other industry	Autoproducer (Other industry) Other industry
Other final consumer (Endverbraucher)	
Residential	Residential
Agriculture, Forestry and Fishing	Agriculture/forestry Fishing
Commercial and Public Service	Commercial and Public Service
Transport Sector	Transport Sector
Other	Other

Quelle: JAQ (2018) und JWEE (2019)

Der JAQ unterscheidet beim Industriesektor zwischen Endenergieverbrauchern und Autoproduzenten. Endenergieverbraucher verwenden Energie zur Erzeugung von z. B. Prozesswärme, mechanischer Energie oder Beleuchtung. Autoproduzenten sind dem Umwandlungssektor zugeordnet und umfassen Unternehmen, die Rohstoffe (z. B. Holz) bei ihrer primären Tätigkeit in Strom und/oder Wärme umwandeln. Der auf diese Weise erzeugte Strom und/oder Wärme wird als autoproduziert bezeichnet. Einzige Ausnahme ist Wärme, die von Autoproduzenten selbst verwendet wird. Diese wird unter Endenergieverbrauch im Industriesektor erfasst (Abbildung 15).

Abbildung 15: Erfassung der Autoproduzenten im JAQ von IEA/Eurostat/UNECE

Holzeinsatz zur Stromerzeugung	Holzeinsatz zur Wärmeerzeugung
Eigene Verwendung des Stroms	Eigene Verwendung der Wärme
Verkauf des Stroms	Verkauf der Wärme

Legende:

Erfassung als Verbrauch von Autoproduzenten
Erfassung als Endenergieverbrauch

Quelle: Nach Glasenapp und McCusker (2018)

Im JWEE wird auf eine derartige Unterscheidung verzichtet. Holz, das im Industriesektor zur Herstellung von Strom und/oder Wärme genutzt wird, wird ganzheitlich im Industriesektor in den Bereichen „pulp and paper“, „wood and wood products“ sowie „other industry“ erfasst. In der Berichterstattung für den JWEE unterscheidet Deutschland mangels Datengrundlage nicht zwischen diesen Bereichen des Industriesektors und gibt den energetischen Holzverbrauch im Industriesektor, bis auf den Schwarzlaugeeinsatz, als Aggregat unter nicht-spezifizierte Verbraucher an.

Im JWEE wird die energetische Holzverwendung wahlweise in der Volumeneinheit Kubikmeter oder in der Masseinheit Tonnen absolut trockenes Holz erfasst. Um die Vergleichbarkeit zur Energiestatistik herzustellen, werden aggregierte Werte zusätzlich in Terrajoule (oberer Heizwert) umgerechnet. Die voreingestellten Umrechnungsfaktoren stammen aus verschiedenen Quellen. Hauptsächlich wird auf österreichische Daten von Klimaaktiv zurückgegriffen (KlimaAktiv 2018 und Hagauer et al. 2008). Ergänzend werden Umrechnungsfaktoren von College of Environment (2018), Larson et al. (2006), UNECE-FAO (2010) und interne Annahmen als Referenzen für Umrechnungsfaktoren aufgeführt. In den letzten Berichten gab Deutschland Energieverbräuche in Masse- und Volumeneinheiten an. Die implizierten Umrechnungsfaktoren können sich von den Standardfaktoren unterscheiden. Gründe können z. B. länderspezifische Baumartenzusammensetzungen oder unterschiedliche Holzfeuchtegehalte der verwendeten Holzsortimente sein.

7.4.3 Berichterstattung für Deutschland

Seit dem Beginn der JWEE Berichterstattung nimmt Deutschland an der Befragung teil. Das Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie führt die Datenzusammenstellung und -berechnung im Auftrag des BMEL durch. Als Datengrundlage dienen Studien aus dem Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“ zu Holzfeuerungen bis 1 MW FWL (aktuellste Studie: Döring et al. 2018a) und ab 1 MW FWL (aktuellste Studie: Döring et al. 2018b), zu privaten Haushalten (aktuellste Studie: Döring et al. 2016) und zu sonstige Anlagen (Mantau und Jochem 2012) (vgl. Kapitel 3) sowie Informationen der AGEE-Stat und des VDP.

Da Daten aus dem Projekt „Rohstoffmonitoring Holz“ nicht jährlich erhoben werden, müssen die fehlenden Zwischenjahre geschätzt werden. Das Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie hat Schätzverfahren entwickelt um die energetische Holzverwendung für Jahre ohne empirische Daten zu berechnen (Jochem et al. 2015; Weimar 2016; TI-WF 2018a). Die Aufteilung des gesamten Holzverbrauchs auf die Holzsortimente erfolgt anhand der Ergebnisse aus dem „Rohstoffmonitoring Holz“. Die Sortimentsverteilungen werden direkt aus den jeweils jüngsten empirischen Erhebungen des „Rohstoffmonitoring Holz“ übernommen. Die Sortimentsangaben für private Haushalte können direkt in die Rubrik „Residential“ übertragen werden. Bei den Angaben zu gewerblichen und kommunalen Feuerungsanlagen sind weitere Zwischenrechnungen erforderlich. Zunächst werden die sortimentspezifischen Werte für das jeweilige Bezugsjahr zusammengefasst. Anschließend wird, nach dem in Weimar (2016) skizzierten Verfahren, die gesamte Holzmenge für den GHD-Sektor ermittelt. Für die Sortimentsverteilung im GHD-Sektor wird näherungsweise die Sortimentsstruktur aus der Erhebung zu den Feuerungsanlagen mit einer FWL < 1 MW unterstellt. Diese Daten werden in der Rubrik „other“ bei „other direct final consumption“ eingetragen. Die verbleibende Menge aus den Feuerungsanlagen wird auf die beiden Sektoren „main activity producer“ und „industry sector“ aufgeteilt. Dies erfolgt anhand der Aufteilung der AGEE-Stat zu diesen beiden Sektoren. Für die Sortimentsverteilung liegen keine spezifischen Angaben für diese beiden Sektoren vor. Sie müssen daher für beide Sektoren als gleich angenommen werden. Es ist zu vermuten, dass die Sortimentsstrukturen tatsächlich unterschiedlich sind, wie dies auch die Ergebnisse der letzten Jahre aus der amtlichen Energiestatistik anzeigen. Es fehlt jedoch eine Grundlage, um die Sortimente differenzierter auf die beiden Sektoren aufzuteilen. Die Daten werden jeweils in die Spalte „unspecified“ eingetragen. Eine weitere Differenzierung unter „main activity producer“ oder im „industry sector“ kann mangels Datengrundlage nicht vorgenommen werden. Daten zu Schwarzlauge werden aus Angaben des VDP ergänzt. Ebenfalls integriert wird der rechnerische Verbrauch von Holzkohle aus dem JFSQ in der Rubrik „residential“. Der Außenhandel wird im JWEE lediglich in Tabellen I und II berücksichtigt, nicht aber in der Verbrauchsübersicht in Tabelle IV. Für den Außenhandel werden Angaben des Statistischen Bundesamtes verwendet.

7.5 Fortschrittsbericht für erneuerbare Energien nach EU-Richtlinie 2009/28/EG²⁴

7.5.1 Hintergrundinformationen

Mit der EU-Richtlinie für erneuerbare Energien (2009/28/EC) wurden verbindliche Ziele für die gesamte EU gesetzt: 20 Prozent des Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien sowie ein Mindestanteil von 10 Prozent erneuerbarer Energien im Verkehrssektor sollen bis 2020 erreicht werden. Darüber hinaus sind in der Richtlinie differenzierte verbindliche nationale Gesamtziele der EU-Mitgliedsstaaten vorgesehen; für Deutschland sind es 18 Prozent Endenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien. Die Mitgliedsstaaten hatten bis zum 30.06.2010 Zeit, um nationale Aktionspläne zur Umsetzung ihrer Ziele zu erstellen und haben über die erzielten Fortschritte regelmäßig zu berichten²⁵, was in Artikel 22 der Richtlinie geregelt ist. Der erste Bericht (Berichtsjahre 2009 und 2010) war zum 31. 12.2011 einzureichen. Anschließend waren Fortschrittsberichte alle zwei Jahre vorzulegen. Die Pflicht endet mit dem sechsten Bericht, einzureichen am 31.12.2021.

7.5.2 Strukturierung des Fragebogens

Zur Unterstützung der Berichterstattung durch die Mitgliedsstaaten wurde von der europäischen Kommission ein Muster vorgegeben, welches sich stark an die entsprechenden Vorgaben für die Aktionspläne anlehnt. Ein wesentlicher Teil der Berichterstattung sind Angaben zum Nutzungsstand – differenziert nach den Sektoren Strom, Wärme und Kälte sowie Verkehr – der verschiedenen erneuerbaren Energieträger in den jeweiligen Berichtsjahren. Bei der Biomassenutzung erfolgt im Datenkapitel 1 des Fortschrittsberichts eine Differenzierung in fest, flüssig und gasförmig. Die Holznutzung als Bestandteil der Festbiomassenutzung wird an der Stelle nicht separat ausgewiesen, bei der Angabe für die privaten Haushalte jedoch indirekt, da dort ohnehin nur Holz eingesetzt wird. Neben der generellen Darstellung der Entwicklung des Nutzungsstandes sind auch spezielle Entwicklungen bei der Verfügbarkeit und der Nutzung von Biomasseressourcen zu energetischen Zwecken für die Berichtsjahre darzustellen (Artikel 22 Absatz 1 Buchstabe g). Wie in Tabelle 47 dargestellt, sieht das entsprechende Schema für Tabelle 4 des Fortschrittsberichts eine Differenzierung bei der Verfügbarkeit/Nutzung von Biomasse zwischen Wärme und Elektrizität sowie Verkehr vor. Im Bereich Wärme und Elektrizität werden sechs Kategorien unterschieden. Hierfür ist der Umfang der einheimisch genutzten Rohstoffe sowie der Importe, differenziert nach EU und Nicht-EU, möglichst genau in Mengen und Energieeinheiten anzugeben.

²⁴ Erstellt auf Basis von Zuarbeiten des UBA.

²⁵ Fortschrittsberichte: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/progress-reports>

Tabelle 47: Tabelle 4 des Fortschrittsberichts für erneuerbare Energien

**Table 4:
Biomass supply for energy use**

	Amount of domestic raw material (*)		Primary energy in domestic raw material (ktoe)		Amount of imported raw material from EU (*)		Primary energy in amount of imported raw material from EU (ktoe)		Amount of imported raw material from non EU(*)		Primary energy in amount of imported raw material from non EU (ktoe)	
	Year n-2	Year n-1	Year n-2	Year n-1	Year n-2	Year n-1	Year n-2	Year n-1	Year n-2	Year n-1	Year n-2	Year n-1
Biomass supply for heating and electricity:												
Direct supply of wood biomass from forests and other wooded land energy generation (fellings etc.)**												
Indirect supply of wood biomass (residues and co-products from wood industry etc.)**												
Agricultural by-products / processed residues and fishery by-products **												
Biomass from waste (municipal, industrial etc.) **												
Energy crops (grasses, etc.) and short rotation trees (please specify)												
Others (please specify)												
Biomass supply for transport:												
Common arable crops for biofuels (please specify main types)												
Energy crops (grasses, etc.) and short rotation trees for biofuels (please specify main types)												
Others (please specify)												

* Amount of raw material if possible in **m3 for biomass from forestry** and in **tonnes for biomass from agriculture and fishery and biomass from waste**

** The definition of this biomass category should be understood in line with table 7 of part 4.6.1 of Commission Decision C (2009) 5174 final establishing a template for National Renewable Energy Action Plans under Directive 2009/28/EC

Quelle: EC (2019)

7.5.1 Deutsche Berichterstattung

Die Berichterstattung für Deutschland erfolgt über das Umweltbundesamt. Bisher lagen insbesondere bei Holzbiomassen die Angaben in der benötigten Form nicht vor. Daher konnte Tabelle 4 in den ersten drei Fortschrittsberichten nicht ausgefüllt werden. Dies wurde erstmals auf Basis der JWEE-Ergebnisse für 2015

(Kapitel 7.4) und der Aufbereitungen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens für das Jahr 2016 vorgenommen. Informationen zum Anteil an Importbiomasse und inländischer Biomasse an den energetisch genutzten Mengen sind nicht verfügbar. Für diese Angaben müssen Annahmen getroffen werden. Grundsätzlich werden dazu die Anteile an Inlandsaufkommen und Einfuhren am Gesamtaufkommen herangezogen und, sofern verfügbar, mit weiteren Daten verknüpft.

Im engen Zusammenhang mit dem Fortschrittsbericht – unterstützend zu Artikel 22 der Richtlinie 2009/28/EG – steht das SHARES-Tool. Ziel dieses Tools ist die harmonisierte Berechnung des Anteils Erneuerbarer Energien (EE) am gesamten Bruttoendenergieverbrauch. Die Differenzierung der Biomassen erfolgt analog zu Kapitel 1 des Fortschrittsberichts. Die Verfügbarkeit und die Nutzung von Biomasseressourcen ist nicht Bestandteil der im Gegensatz zum Fortschrittsbericht jährlichen Berichterstattung.

Unter der EU Governance-Verordnung²⁶ werden die Berichte zum Fortschritt im Kontext der erneuerbaren Energien künftig mit anderen Bereichen gebündelt. Die speziellen Meldepflichten zur Biomasse sind in Anhang IX (Zusätzliche Meldepflichten, Teil 1: Zusätzliche Meldepflichten im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien) zu finden. Erfragt wird entsprechend der derzeitigen Tabelle 4 weiterhin die für die Energieerzeugung verwendete forstwirtschaftliche Biomasse, unterschieden nach inländischer Produktion und Einfuhr.

Forstliche Biomasse wird in diesem Zusammenhang nach (1) primärer Biomasse aus Wäldern, (2) unmittelbar für Energiezwecke genutzte Nebenerzeugnisse der Holz- und Forstwirtschaft, (3) unmittelbar für die Energieerzeugung genutztes Gebrauchtholz sowie (4) verarbeitete holzbasierte Brennstoffe unterteilt. Unter (1) primäre Biomasse aus Wäldern werden Industrierundholz und Brennholz sowie Äste, Baumkronen und Baumstümpfe erfasst. Unter (2) Nebenerzeugnissen der Holz- und Forstwirtschaft werden Rinde, Schnitzel, Sägemehl und andere Industrierestholz sowie Schwarzlauge und rohes Tallöl berücksichtigt. (3) Unmittelbar für die Energieerzeugung genutztes Gebrauchtholz wird nicht weiter unterteilt. Für (4) verarbeitete, holzbasierte Brennstoffe ist eine Differenzierung in Holzkohle sowie Holzpellets und Holzbriketts vorgesehen. Der erste Bericht im Zuge der Governance-Verordnung ist im Jahr 2023 fällig.

7.6 International Renewable Energy Agency (IRENA)

7.6.1 Hintergrundinformationen zur Berichterstattung von IRENA

Die Internationale Organisation für Erneuerbare Energien (IRENA) erstellt jährlich eine Energiebilanz für den Verbrauch von erneuerbaren Energien und veröffentlicht die Daten auf ihrer Internetseite²⁷. IRENA erfasst derzeit Daten von insgesamt 170 Ländern. Die Beteiligung an der Datenerfassung erfolgt freiwillig.

7.6.2 Strukturierung des Fragebogens von IRENA

Im Vergleich zum Fragebogen von IEA/Eurostat/UNECE unterscheidet der Fragebogen von IRENA mehr Holzsortimente. Wie in Tabelle 48 zu sehen, werden Daten zum Verbrauch von Energieholz, Altholz, Schwarzlauge sowie Pellets und Brikettes aus Biomasse erfasst. Unter Pellets und Brikettes aus Biomasse werden neben Holzpellets auch Pellets aus anderer Biomasse (z. B. Nusskerne oder Reste bei der Olivenverarbeitung) gezählt. Die Erfassungseinheit der Holzsortimente ist Masse in Tonnen (t). Die Daten werden in Energieeinheiten (TJ, unterer Heizwert) veröffentlicht. Auf welcher Grundlage IRENA die Umrechnungen vornimmt, lässt sich über die veröffentlichte Dokumentation nicht nachvollziehen.

²⁶EU Governance-Verordnung: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1548858769307&uri=CELEX:32018R1999>

²⁷ IRENA Datenzugang: <http://resourceirena.irena.org>

Tabelle 48: Bei IRENA verwendete Holzsortimente

Holzsortimente	Erfassungseinheit
Woodfuel	Tonnen
Woodwaste	Tonnen
Black liquor	Tonnen
Biomass pellets and briquettes	Tonnen

Quelle: Glasenapp und McCusker (2018)

Die Differenzierung des Verbrauchs nach Sortimenten erfolgt nach der Struktur einer Energiebilanz. Es werden die Bereiche Umwandlungssektor und Endverbraucher unterschieden. Der Umwandlungssektor umfasst Feuerungsanlagen („power plants“, „CHP plants“ und „commercial heat plants“), den Eigenverbrauch im Umwandlungssektor sowie die Herstellung von Holzkohle, Pellets und Brikettes. Der Holzverbrauch der Endverbraucher wird in fünf Sektoren eingeteilt („industry“, „transport“, „commercial and public services“, „residential“ und „other“).

7.6.3 Deutsche Berichterstattung

Von Deutschland werden keine Daten an IRENA berichtet.

7.7 Zusammenfassung

Im Folgenden werden die Strukturen der Berichtserstattungssysteme kurz gegenübergestellt. Bei der Unterscheidung der Holzsortimente ist der JWEE von UNECE/FAO der ausführlichste Fragebogen und wird als Referenz verwendet. Bei den Verwendungssektoren dient der JAQ von IEA/Eurostat/UNECE als Referenz.

7.7.1 Vergleich der Sortimente

Wie in Tabelle 49 zu sehen, weisen die Fragebögen des JWEE und JFSQ den höchsten Detailgrad bei der Erfassung von energetisch verwendeten bzw. verwendbaren Holzsortimenten auf. Beim JAQ von IEA/Eurostat/UNECE wird energetisch verwendetes Holz nicht nach Sortimenten differenziert. Holz wird neben weiterer fester Biomasse (z. B. aus der Landwirtschaft) als „solid biofuels“ erfasst. Im Allgemeinen erfasst IRENA vier Holzsortimente, die sich wie in Tabelle 49 dargestellt, auf die Holzsortimente der Forst- und Holzstatistik verteilen. Abweichungen können bei Holzpellets und -briketts auftreten, da der JWEE und JFSQ ausschließlich Presslinge aus Holz erfassen und IRENA neben Holz auch Pellets aus anderer Biomasse berücksichtigt.

Tabelle 49: Gegenüberstellung der energetisch verwendeten Holzsortimente in den Berichterstattungssystemen

JWEE	JFSQ	JAQ	IRENA
Industrial Roundwood from forests	1.1 Industrial Roundwood	Solid biofuels (excluding charcoal)	Wood fuel
Industrial Roundwood from outside forests			
Fuelwood from the forest	1.2 Woodfuel		
Fuelwood from outside forests			

JWEE	JFSQ	JAQ	IRENA
Chips and Particles	3.1 Wood chips and particles	Solid biofuels (excluding charcoal)	Wood fuel
Wood residues	3.2 Wood residues		
Bark	-		
Black liquor	-		
Crude tall oil	-		
Wood charcoal	2 Wood charcoal		
Wood pellets	4.1 Wood pellets		Biomass pellets and briquettes
Torrified wood pellets	-		
Wood briquettes	Other Agglomerates		
Pyrolysis Oils	-		Other liquid biofuels
Cellulose based ethanol	-		
Wood based biodiesel	-		
Non-hazardous wood waste	-		Wood waste
Hazardous wood waste	-		

Quelle: JAQ (2018), JFSQ (2019), JWEE (2019), EC (2019) und Glasenapp und McCusker (2018)

7.7.2 Vergleich der Verbrauchssektoren

Mit ca. 50 Verbrauchssektoren weißt der JAQ von IEA/Eurostat/UNECE die detaillierteste sektorale Aufteilung auf. Der Fragebogen von IRENA aggregiert die Kategorien auf ca. 15 Sektoren, wobei die allgemeine Struktur der Energiebilanz beibehalten wird. Es wird zwischen dem Umwandlungssektor und den Endverbraucher unterschieden. Der JWEE unterscheidet zehn Verwendungssektoren. Im Grunde sind alle Sektoren konsistent mit denen des JAQ von IEA/Eurostat/UNECE. Allerdings fasst der JWEE den Holzverbrauch im Industriesektor und von Autoproduzenten in einem Sektor zusammen und unterscheidet sich damit von der Definition des JAQ (vgl. Kapitel 7.4.2).

Auf Grundlage des JFSQ lässt sich der Verbrauch von Holzprodukten rechnerisch ermitteln:

$$Verbrauch = Produktion + Import - Export$$

Bei den Holzprodukten Holzkohle, Holzpellets und Holzbriketts kann von einer ausschließlich energetischen Verwendung ausgegangen werden. Bei Brennholz ist dies auch wahrscheinlich, auch wenn es grundsätzlich möglich ist, dass als Brennholz bewertete Mengen auch stofflich genutzt werden können. Für weitere Holzrohstoffe wie z. B. Hackschnitzel, Sägemehl oder industrielles Restholz, die im JFSQ angegeben sind, kann ebenfalls der rechnerische Gesamtverbrauch ermittelt werden. Eine Unterscheidung in eine energetische oder stoffliche Verwendung ist jedoch nicht möglich.

Tabelle 50: Gegenüberstellung der Verbrauchssektoren im JWEE und IEA/Eurostat/UNECE

JAQ	IRENA	JWEE	JFSQ
Main activity producer electricity plants	Power plants	Main Activity Producer: Electricity	+ Produktion + Importe - Exporte = stoffl. und energetischer Verbrauch
Main activity producer CHP plants	CHP plants	Main Activity Producer: CHP	
Main activity producer heat plants	Commercial heat plants	Main Activity Producer: Heat	
Autoproducer electricity plants	-	Pulp and Paper Wood and wood product Other industry	
Autoproducer CHP plants	-	Pulp and Paper Wood and wood product Other industry	
Autoproducer heat plants	-	Pulp and Paper Wood and wood product Other industry	
Patent fuel plants (Transformation)	-	-	
BKB plants (Transformation)	-	-	
Gas works (Transformation)	-	-	
Blast furnaces (Transformation)	-	-	
Natural gas blending plants	-	-	
For blending with Motor gasoline/ Diesel/Kerosene	-	-	
Charcoal production plants (Transformation)	Charcoal production	-	
Not elsewhere specified (Transformation)	Biomass pellet and briquette production Other transformation	-	
Gasification plants for Biogas		-	
Own use in electricity, CHP and heat plants	Energy sector and own use	-	
Coal mines		-	
Patent fuel plants (Energy)		-	
Coke ovens (Energy)		-	

JAQ	IRENA	JWEE	JFSQ
Oil refineries	Energy sector and own use	-	+ Produktion + Importe - Exporte = stoffl. und energetischer Verbrauch
BKB plants (Energy)		-	
Gas works (Energy)		-	
Blast furnaces (Energy)		-	
Charcoal production plants (Energy)		-	
Not elsewhere specified (Energy)		-	
Iron and steel	Industry sector	-	
Chemical and petrochemical		-	
Non-ferrous metals		-	
Non-metallic minerals		-	
Transport equipment		-	
Machinery		-	
Mining and quarrying		-	
Food, beverages and tobacco		-	
Paper, pulp and printing		Pulp and Paper	
Wood and wood products		Wood and wood products	
Construction		-	
Textiles and leather		-	
Not elsewhere specified (Industry)		Other industry	
Rail		Transport Sector	
Road			
Domestic navigation			
Not elsewhere specified (Transport)			
Commercial and public services	Commercial and Public Service	Commercial and Public Service	
Residential	Residential	Residential	
Agriculture/Forestry	Other	Agriculture, Forestry and Fishing	
Fishing			
Not elsewhere specified (Other)			

Quelle: JAQ (2018), JFSQ (2019), JWEE (2019), EC (2019) und Glasenapp und McCusker (2018)

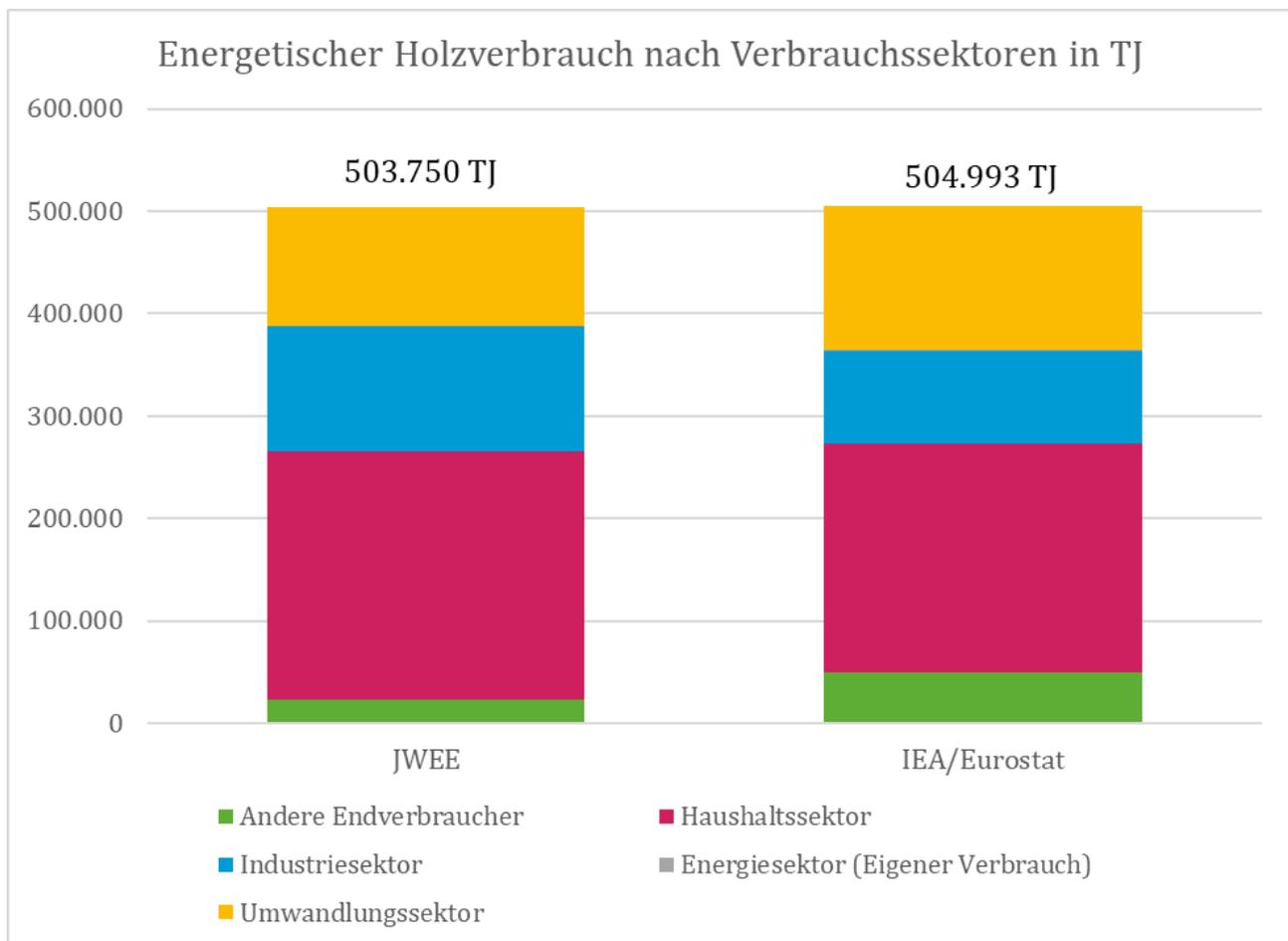
7.7.3 Vergleichbarkeit der Daten

Im Folgenden werden Angaben vom JAQ und JWEE zum energetischen Einsatz von fester Biomasse (ohne Holzkohle) in Deutschland verglichen. Ein Vergleich mit den Daten des JFSQ ist aufgrund der fehlenden Diffe-

renzierung hinsichtlich der energetischen Verwendung nicht hinreichend genau und wird daher hier nicht weiter berücksichtigt. Der Vergleich erfolgt in Energieeinheiten (TJ). Der Verbrauch von festen Biobrennstoffen (ohne Holzkohle) aus dem JAQ wird in Energieeinheiten veröffentlicht. Der JWEE gibt den energetischen Holzeinsatz in Tonnen absolut trockenem Holz (t atro) und in Kubikmetern (m³) an und wurden mit Hilfe der Umrechnungsfaktoren aus dem JWEE und Krajnc (2015) in Energieeinheiten (TJ) umgerechnet.

Abbildung 16 zeigt den energetischen Holzverbrauch nach Verbrauchssektoren in TJ. Für das Jahr 2015 ergeben Daten aus dem JAQ einen Verbrauch von insgesamt ca. 505 PJ. Der Haushalts- (223 PJ) und Umwandlungssektor (141 PJ) waren die wichtigsten Konsumenten von fester Biomasse (ohne Holzkohle). Es folgen der Industriesektor (90 PJ) und sonstige Endverbraucher (50 PJ). Mit 1 PJ war der Eigenverbrauch im Energiesektor marginal. Der Gesamtverbrauch aus dem JAQ stimmt mit den Angaben aus dem JWEE nahezu überein. Beim Vergleich der sektoralen Aufteilung zeigen sich Unterschiede. Der JWEE weist einen höheren Holzverbrauch im Industriesektor (122 PJ) und einen niedrigeren Verbrauch im Umwandlungssektor (116 PJ) aus. Dies liegt an der unterschiedlichen Zuordnung der Autoproduzenten; im JWEE werden Autoproduzenten zum Industriesektor gezählt, während sie im JAQ dem Umwandlungssektor zugerechnet werden (siehe Kapitel 7.4.2).

Abbildung 16: Energetische Holzverbrauch in TJ im Jahr 2015 in Deutschland nach Verbrauchssektoren



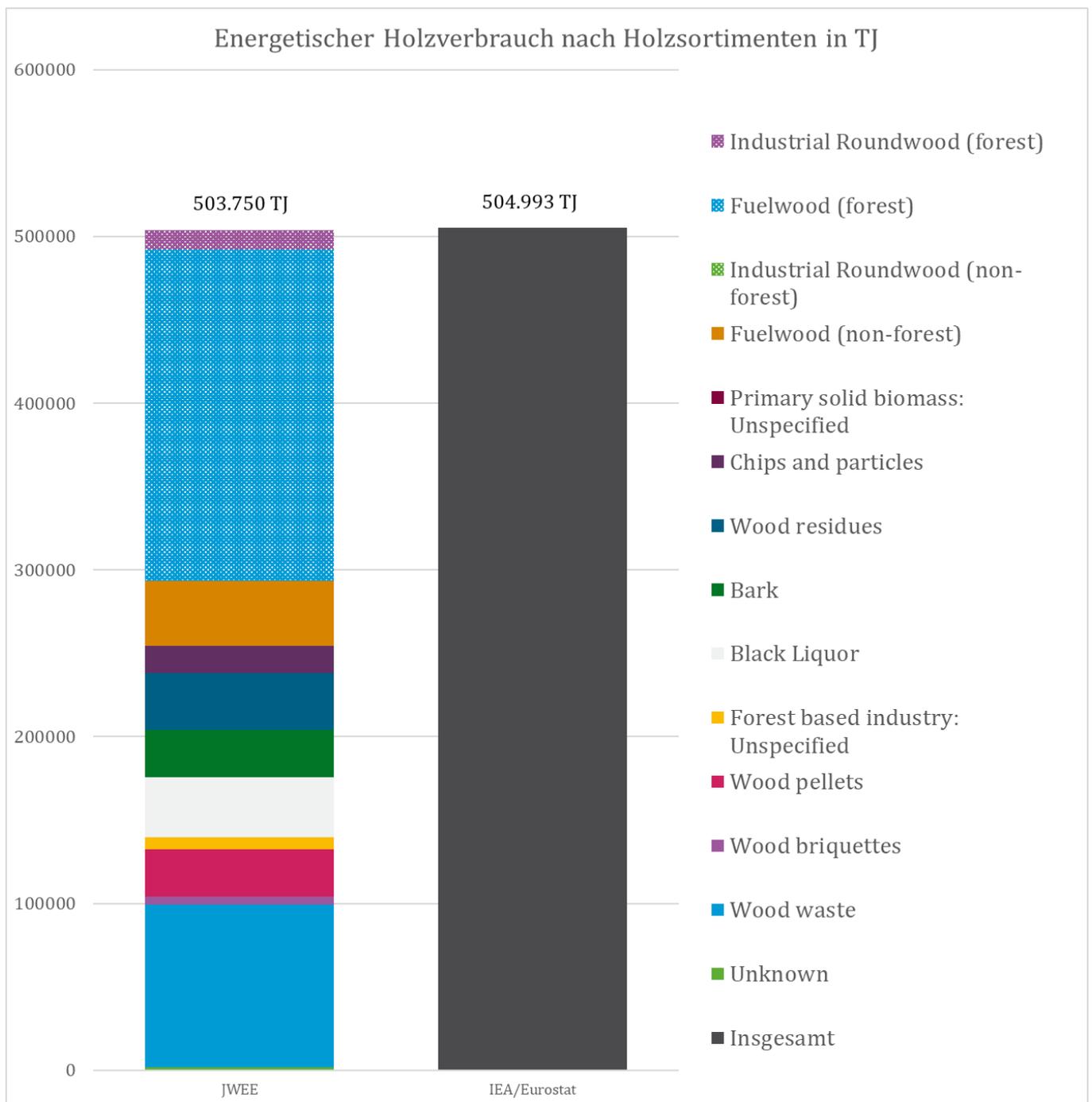
Quelle: Eurostat (2018a) und JWEE (2019)

Der Holzverbrauch im Haushaltssektor des JWEE wird mit 242 PJ höher angegeben als im JAQ. Dies ist auf unterschiedliche Datenquellen zu den Privathaushalten zurückzuführen (vgl. Kapitel 7.2 und 7.4). Unterschiede zeigen sich ebenfalls bei den anderen Energieverbrauchern, hier jedoch mit einem höheren Verbrauch in der Berichterstattung des JAQ. Dies kann man vermutlich darauf zurückführen, dass im JAQ neben Holz auch andere Arten von fester Biomasse berücksichtigt werden. Ein weiter relevanter Aspekt für Unter-

schiede in den Daten kann die Verwendung unterschiedlicher Umrechnungsfaktoren sein. Wie bereits in Kapitel 4.6 ausgeführt, ist dies den spezifischen Eigenschaften von Holz geschuldet und kann zu Abweichungen führen.

Abbildung 17 zeigt den energetischen Holzverbrauch nach Holzsortimenten in TJ. Nach den Angaben aus dem JWEE ist Brennholz aus dem Wald mit 40 % das bedeutendste Sortiment, gefolgt von Altholz (19 %). Feuerholz, das nicht aus dem Wald bezogen wird, Sägenebenprodukte, sonstiges Restholz, Rinde, Schwarzlauge sowie Holzpellets haben jeweils einen Anteil von 6 % bis 8 % am gesamten energetischen Holzverbrauch. Informationen aus dem JAQ lassen keine Differenzierung der energetisch verwendeten, festen Biomasse (ohne Holzkohle) nach Holzsortimenten zu.

Abbildung 17: Energetische Holzverbrauch in TJ im Jahr 2015 in Deutschland nach Holzsortimenten



Quelle: Eurostat (2018a) und JWEE (2019)

8 Anhang

Tabelle 51: Für die energetische Holzverwendung relevante Verbrauchssektoren im JAQ

Kategorien der Verbrauchssektoren	Verbrauchssektoren
1. Umwandlungssektor	Main activity producer electricity plants
	Main activity producer CHP plants
	Main activity producer heat plants
	Autoproducer electricity plants
	Autoproducer CHP plants
	Autoproducer heat plants
	Patent fuel plants (Transformation)
	BKB plants (Transformation)
	Gas works (Transformation)
	Blast furnaces (Transformation)
	Natural gas blending plants
	For blending with Motor gasoline/Diesel/Kerosene
	Charcoal production plants (Transformation)
	Not elsewhere specified (Transformation)
2. Energiesektor	Gasification plants for Biogas
	Own use in electricity, CHP and heat plants
	Coal mines
	Patent fuel plants (Energy)
	Coke ovens (Energy)
	Oil refineries
	BKB plants (Energy)
	Gas works (Energy)
	Blast furnaces (Energy)
	Charcoal production plants (energy)
Not elsewhere specified (Energy)	
3. Netzverluste	-
4. Endenergieverbraucher	<i>4.1 Industry sector</i>
	Iron and steel
	Chemical and petrochemical
	Non-ferrous metals
	Non-metallic minerals
	Transport equipment
	Machinery
	Mining and quarrying
	Food, beverages and tobacco
	Paper, pulp and printing
	Wood and wood products

Kategorien der Verbrauchssektoren	Verbrauchssektoren
4. Endenergieverbraucher	Construction
	Textiles and leather
	Not elsewhere specified (Industry)
	<i>4.2 Transport sector</i>
	Rail
	Road
	Domestic navigation
	Not elsewhere specified (Transport)
	<i>4.3 Other sectors</i>
	Commercial and public services
	Residential
	Agriculture/Forestry
	Fishing
	Not elsewhere specified (Other)

Quelle: JAQ 2018

9 Quellenverzeichnis

- AGEB 2018a. Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, 1990 bis 2017. DIW Berlin, Energy Environment Forecast Analysis (EEFA).
- AGEB. 2018b. Daten und Fakten: Bilanzen 1990-2016. AG Energiebilanzen e.V., Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e.V. (DEBRIV).
<http://www.ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2014.html> [Zugriff 08.06.2018].
- AGEB 2018c. Energieverbrauch in Deutschland, Daten für das 1.-4- Quartal 2018. AG Energiebilanzen.
- AGEB 2019. Gradtagszahlen über 16 Messtationen bereitgestellt durch das UBA am 30.11.2018.
- BAFA 2019. Biomasseatlas - Der Vertriebskompass für die Biomassebranche.
<http://www.biomasseatlas.de/> [Zugriff 09.07.2018, 15:23].
- BDH 2015. https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/pressemitteilungen_pdf/gesamtzahl_waermeerzeuger_2015.pdf [Zugriff: 28.01.2018, 16:48].
- BImSchV 2010. https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_1_2010/BjNR003800010.html [Zugriff: 07.11.2018, 16:04].
- BMWi 2018. Erneuerbare Energien in Zahlen, Nationale und internationale Entwicklung in 2017. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- CollegeOfEnvironment 2018.
<http://www.ocean.washington.edu/courses/envir215/energynumbers.pdf> [Zugriff: 27.09.2018, 12:40].
- DEPI 2018a. <https://depi.de/assets/c6452e2c-a698-43ae-af21-c5875b1aaf04> [Zugriff: 15.06.2018; 11:34].
- DEPI 2018b. <https://depi.de/de/p/Pelletfeuerungen-in-Deutschland-aqzgTdfJwz77hk1Vrr3kHy> [Zugriff: 28.01.2019, 16:53].
- DEPV 2017. www.depv.de/de/holzpellets/was_sind_pellets/zertifizierung_pellets [Zugriff am 29.11.2017].
- Destatis 2018a. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> [Zugriff: 07.12.2018, 18:15].
- Destatis 2018b. Preise - Daten zur Energiepreisentwicklung. Lange Reihen von Januar 2000 bis Mai 2018.
- Döring P, Glasenapp S und Mantau U 2016. Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2014. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Rohstoffmonitoring Holz, Hamburg: Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, S. 37.
- Döring P, Glasenapp S, Weimar H und Mantau U 2018a. Die energetische Nutzung von Holz in Biomassefeuerungsanlagen unter 1 MW in Nichthaushalten im Jahr 2016. Universität Hamburg, INFRO - Informationssysteme für Rohstoffe, S. 21.
- Döring P, Weimar H und Mantau U 2018b. Einsatz von Holz in Biomasse-Großfeuerungsanlagen 2016. Universität Hamburg, INFRO - Informationssysteme für Rohstoffe, S. 23.

- DWD 2018a. Heizgradtage, Deutscher Wetterdienst. ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/derived_germany/techn/monthly/heating_degreedays/hdd_3807/recent/ [Zugriff: 14.01.2019, 16:48].
- DWD 2018b. Klimafaktoren (KF) für Energieverbrauchsabweise. <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html> [Zugriff: 14.09.2018, 15:10].
- EC 2019. Template for Member State progress reports under Directive 2009/28/EC. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/template_-original-2011.pdf [Zugriff: 14.03.2019, 16:14].
- Energiebilanzen 2015. Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland. AG Energiebilanzen. <https://ag-energiebilanzen.de/files/vorwort.pdf> [Zugriff: 21.02.2017, 17:34].
- Eurostat 2018a. <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do> [Zugriff: 01.10.2018, 12:52].
- Eurostat 2018b. Heizgradtage und Kühlgradtage nach Land - jährliche Daten [nrg_chdd_a]. http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_chdd_a&lang=de [Zugriff: 28.01.2019].
- Friedrich S, Schumann C, Zormaier F, Schulmeyer F, Dietz E, Burger F, Hammerl R, Borchert H und Egner J-P 2012. Energieholzmarkt Bayern 2010. Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- Frondel M, Andor M, Ritter N, Sommer S, Vance C, Matuschek P und Müller U 2015. Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2011-2013. Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), forsa Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH.
- Frondel M, Andor M, Ritter N, Tauchmann H, Vance C, Matuschek P und Müller U 2013. Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2009-2010, Teilbericht für das Projekt Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2010. Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), forsa Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH.
- Frondel M, Grösche P, Ritter N, Tauchmann H, Van Benthem M, Matuschek P und Müller U 2011. Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2008, Teilbericht für das Projekt Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2010. Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), forsa Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH.
- Frondel M, Grösche P, Tauchmann H, Vance C, Christiansen G und Müller U 2005. Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für das Jahr 2005. Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), forsa Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH.
- Gaggermeier A, Friedrich S, Hiendlmeier S und Zettinig C 2014. Energieholzmarkt Bayern 2012, Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern hinsichtlich Aufkommen und Verbrauch. . Freising, Straubing: LWF, C.A.R.M.E.N. e.V.
- Gareth J, Witten D, Hastie T und Tibshirani R 2017. An Introduction to Statistical Learning: with Applications in R Springer.
- Glaser S und McCusker A 2018. Wood energy data: the joint wood energy enquiry. In: Aguilar, F (Ed.) Wood Energy in the ECE Region - Data, trends and outlook in Europe, the Commonwealth of Independent States and North America: United Nations.

- Görge R, Maaßen U und Nickel M 2012. Energie in Zahlen. Arbeit und Leistungen der AG Energiebilanzen, Berlin: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.
- Hagauer D, Lang B und Nemestothy KP 2008. Calculation of Wood Fuel Parameters.
- JAQ 2018. Renewables Questionnaire. <https://www.iea.org/statistics/resources/questionnaires/annual/> [Zugriff: 30.01.2019, 16:29].
- JFSQ 2019. Joint Forest Sector Questionnaire. <http://www.unece.org/forests/fpm/onlinedata.html> [Zugriff: 30.01.2019, 16:31].
- Jochem D, Weimar H, Bösch M, Mantau U und Dieter M. 2015. Estimation of wood removals and fellings in Germany: a calculation approach based on the amount of used roundwood. Eur J Forest Res 134: 869-888.
- JWEE. 2019. Joint Wood Energy Enquiry. <http://www.unece.org/forests/jwee.html> [Zugriff: 30.01.2019, 16:42].
- Kemmler A, Straßburg S, Seefeldt F, Anders N, Rohde C, Fleiter T, Aydemir A, Kleeberger H, Hardi L und Geiger B 2017. Datenbasis zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen in der Zeitreihe 2005 – 2014. Prognos AG, ISI Fraunhofer, TU München, S. 314.
- Kleeberger H, Hardi L und Geiger B 2018. Erstellen der Anwendungsbilanzen 2013 bis 2017 für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (IfE), Technische Universität München (TUM), S. 67.
- KlimaAktiv. 2018. <https://www.klimaaktiv.at/service/tools/erneuerbare/kenndatenkalkulation.html> [Zugriff: 27.09.2018, 12:40].
- Krajnc N 2015. Wood Fuels Handbook. FAO.
- Kralemann M 2015. Verbrauchsdatenerhebung Holzfeuerungen Niedersachsen - für holzbefeuerte Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV. Göttingen: 3N-Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V., Landesinnungsverband für das Schornsteinfegerhandwerks Niedersachsen (LIV), S. 20.
- Kralemann M und Röther T 2016. Feuerstättenzählung Niedersachsen 2015 - für holzbefeuerte Anlagen im Geltungsbereich der 1. und 4. BImSchV. Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe und Bioökonomie e.V. (3N); Landesinnungsverband für das Schornsteinfegerhandwerk Niedersachsen (LIV); Zentralen Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe (ZUS LLG), S. 26.
- Larson E, Consonni S, Katofsky R, Iisa K und Frederick J 2006. A Cost-Benefit Assessment of Gasification-Based Biorefining in the Kraft Pulp and Paper Industry Princeton University, Politecnico di Milano, Navigant Consulting, Georgia Institute of Technology.
- Lückge F-J, Weber H 1997. Untersuchung der Struktur- und Marktverhältnisse der deutschen Sägeindustrie, Freiburg, 91 S.
- Lumley T 2018. Package survey. <https://cran.r-project.org/web/packages/survey/survey.pdf> [Zugriff: 04.12.2018, 16:31].
- Mantau U 2008. Holzrohstoffbilanz Deutschland, Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung bis 2012. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich: Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, S. 79.

- Mantau U 2012. Holzrohstoffbilanz Deutschland: Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich: Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, S. 65.
- Mantau U und Jochem D 2012. Standorte der Holzwirtschaft - Holzrohstoffmonitoring: Holzverwendung in Müllverbrennungsanlagen, Kohlekraftwerken und Zementwerken im Jahr 2010., Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, S. 23.
- Mantau U, Möller B und Jochem D 2012. Standorte der Holzwirtschaft - Holzrohstoffmonitoring: Die energetische Nutzung von Holz in Biomasseanlagen unter 1 MW in Nicht Haushalten im Jahr 2010. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, S. 30.
- Matthes F C, Busche J, Döring U, Emele L, Gores S, Harthan R O, Hermann H, Förß W, Loreck C, Scheffler M, Hansen P, Diekmann J, Horn M, Eichhammer W, Elsland R, Fleiter T, Schade W, Schlomann B, Sensfuß F und Ziesing H J 2013. Politiksznarien für den Klimaschutz VI Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Öko-Institut, Institut für Angewandte Ökologie, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung, Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEK-STE), Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin), Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (FhG-ISI).
- Merten D, Falkenberg D, Nil M und Kaltschmitt M 2004. Wärmegewinnung aus Biomasse: Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) - Abschlussbericht 17/02, Leipzig: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, S. 113.
- Musialczyk C und Mantau U 2007. Standorte der Holzwirtschaft. Die energetische Nutzung von Holz in kommunalen und gewerblichen Kleinanlagen. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, S. 46.
- NREAP 2009. Template for Member State progress reports under Directive 2009/28/EC. European Commission.
- Pfeiffer F, Struschka M und Baumbach G 2000. Ermittlung der mittleren Emissionsfaktoren zur Darstellung der Emissionsentwicklung aus Feuerungsanlagen im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher - Abschlussbericht. Forschungsbericht 295 46 364. UBA-FB 000048.
- Schlomann B, Kleeberger H und Herzog T 2009. Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006 - Abschlussbericht. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI); Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (IfE), Technische Universität München, S. 246.
- Schlomann B, Wohlfarth K, Kleeberger H, Hardi L, Geiger B, Pich A, Gruber E, Gerspacher A, Holländer E und Roser A 2015. Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013 - Schlussbericht. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI); Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (IfE), Technische Universität München; GfK Retail and Technology GmbH; IREES GmbH; BASE-ING. GmbH, S. 327.
- Ströbele W, Pfaffenberger W und Heuterkes M 2013. Energiewirtschaft - Einführung in die Theorie und Politik. n. 3. Auflage, München: Oldenbourg Verlag München, 377 Seiten.
- Struschka M, Kilgus D, Springmann M und Baumbach G 2008. Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung. Forschungsbericht 205 42 322 UBA-FB 001217: Umwelt Bundesamt S. 107.

- Teibert C, Volz S und Töfge K 2016. Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher - Hauptteil. ÖKOPOL GmbH – Institut für Ökologie und Politik.
- TI-WF 2018a. Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie. <https://www.thuenen.de/de/wf/zahlen-fakten/produktion-und-verwendung/clusterstatistik-forst-holz/?key=0&cHash=a440d67dc74a53fb91e62ff5ce3d07a4> [Zugriff: 07.12.2018, 18:20].
- TI-WF 2018b. Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie. Interne Expertenschätzung auf Grundlage der Arbeiten zum Rohstoffmonitoring Holz.
- UBA 2019. Amtliche Zahlen zum energetischen Holzverbrauch wurden vom Umweltbundesamt auf Basis von Angaben aus Erhebungen des statistischen Bundesamtes zur Verfügung gestellt.
- UNECE-FAO 2010. <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/DP-49.pdf> [Zugriff: 27.09.2018, 12:40].
- UNECE-FAO 2018. <http://www.unece.org/forests/fpm/onlinedata.html> [Zugriff: 21.02.2018, 14:42].
- VDI 3807. https://www.vdi.de/nc/richtlinie/vdi_3807_blat_1-verbrauchskennwerte_fuer_gebaeude_grundlagen/ [Zugriff: 28.09.2018, 11:51].
- Viehmann C, Westerkamp T, Schwenker A, Schenker M, Thrän D, Lenz V und Ebert M 2011. Ermittlung des Verbrauchs biogener Festbrennstoffe im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD-Sektor). Endbericht. DBFZ-Report 10, DBFZ, 197 S..
- Weidener U, Hiendlmeier S, Zenker M, Borchert H, Friedrich S, Schulmeyer F und Leuchtweis C 2016. Energieholzmarkt Bayern 2014 – Abschlussbericht. Freising: Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- Weimar 2016. 9th International Scientific Conference :The path forward for wood products: A global perspective, 2016. WoodEMA, i.a. – International Association for Economics and Management in Wood Processing and Furniture Manufacturing, Svetošimunska 25, Zagreb, Croatia, 135-142 Seiten.
- Weimar H, Döring P und Mantau U 2012. Standorte der Holzwirtschaft - Holzstoffmonitoring: Einsatz von Holz in Biomasse-Großfeuerungsanlagen 2011. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, S. 27.
- Weimar H und Mantau U 2004. Standorte der Holzwirtschaft - Einsatz von Biomasse in Energieanlagen, Abschlussbericht. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft.
- Weimar H und Mantau U 2006. Standorte der Holzwirtschaft. Einsatz von Holz in Biomasse- und Holzfeuerungsanlagen. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, S. 25.
- Zimmermann K, Döring P, Weimar H 2018. Analyse der Abweichung empirischer und amtlicher Meldungen zur Produktionsmenge von Schnittholz. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Thünen Working Paper 87, 20 S.
- ZIV 2018. Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe, ausgenommen Einzelraumfeuerungsanlagen. Datenbereitstellung durch den Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks - Zentralinnungsverband (ZIV) - Technische Abteilung.