



# Entwicklung einer Methode zur Verwendung der Daten des Schorn- steinfegerhandwerks für die energie- wirtschaftliche Berichterstattung

Dissertationsschrift  
Cornelia Rönsch

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## IMPRESSUM

### Herausgeber:

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum  
gemeinnützige GmbH  
Torgauer Straße 116  
04347 Leipzig  
Tel.: +49 (0)341 2434-112  
Fax: +49 (0)341 2434-133  
[info@dbfz.de](mailto:info@dbfz.de)

### Förderung:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

### Geschäftsführung:

Prof. Dr. mont. Michael Nelles  
(Wissenschaftlicher Geschäftsführer)  
Daniel Mayer  
(Administrativer Geschäftsführer)

### DBFZ Report Nr. 34

Entwicklung einer Methode zur Verwendung  
der Daten des Schornsteinfegerhandwerks für  
die energiewirtschaftliche Berichterstattung  
Leipzig: DBFZ, 2019  
ISSN: 2197-4632 (Online)  
ISSN: 2190-7943 (Print)  
ISBN: 978-3-946629-45-0

### Bilder:

Sofern nicht am Bild vermerkt: DBFZ, Jan Gutzeit, Stefanie Bader (Karte), Pixabay, Grzegorz Polak – stock.adobe.com (Titel), [angieconscious/pixelio.de](http://angieconscious/pixelio.de) (oben)

### Copyright:

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Broschüre darf ohne die schriftliche Genehmigung des Herausgebers vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fällt insbesondere auch die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf CD-ROM.

### Datum der Veröffentlichung:

25. November 2019

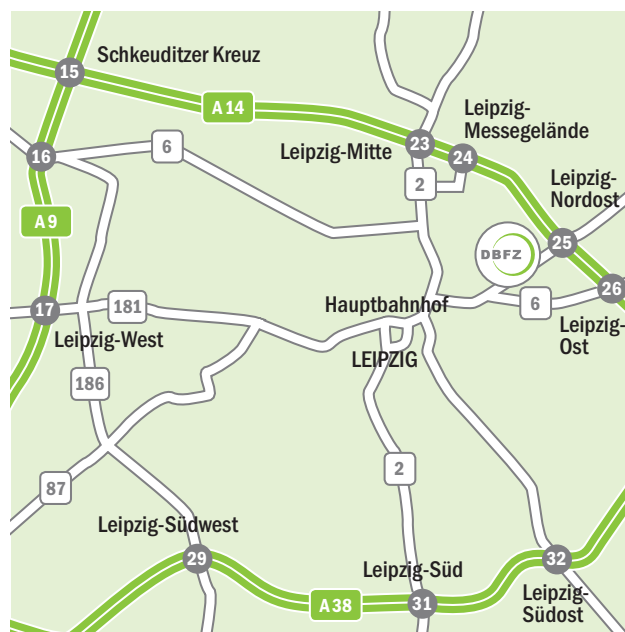
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter der Adresse [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

## ANFAHRT:

**Mit dem Zug:** Ankunft Leipzig Hauptbahnhof; Straßenbahn Linie 3/3E (Richtung Taucha/Sommerfeld) bis Haltestelle Bautzner Straße; Straße überqueren, Parkplatz rechts liegen lassen, geradeaus durch das Eingangstor Nr. 116, nach ca. 100 m links, der Eingang zum DBFZ befindet sich nach weiteren 60 m auf der linken Seite.

**Mit dem Auto:** Über die Autobahn A 14; Abfahrt Leipzig Nord-Ost, Taucha; Richtung Leipzig; Richtung Zentrum, Innenstadt; nach bft Tankstelle befindet sich das DBFZ auf der linken Seite (siehe „... mit dem Zug“).

**Mit der Straßenbahn:** Linie 3/3E (Richtung Taucha/Sommerfeld); Haltestelle Bautzner Straße (siehe „... mit dem Zug“).



# **Entwicklung einer Methode zur Verwendung der Daten des Schornsteinfegerhandwerks für die energiewirtschaftliche Berichterstattung**

Der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Leipzig  
eingereichte

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur  
Dr.-Ing.

vorgelegt

von Dipl.-Ing. Cornelia Rönsch (geb. Viehmann)  
geboren am 14.04.1983 in Gera

Gutachter: Frau Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän  
Herr Prof. Dr.-Ing. Robert Holländer

Tag der Verleihung 13.11.2019





## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich den Personen danken, die auf fachlicher sowie persönlicher Ebene zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Thrän, die mir mit viel Gespür für die Relevanz des Promotionsthemas zum richtigen Zeitpunkt die Erstellung dieser Arbeit erst ermöglichte. Mit ihren Anregungen hat sie entscheidend zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Auch Prof. Dr. Holländer möchte ich meinen Dank für die Übernahme der Gutachtertätigkeit sowie die damit verbundenen konstruktiven Anmerkungen aussprechen.

Weiterhin möchte ich mich bei den Kolleginnen und Kollegen am Deutschen Biomasseforschungszentrum für die zahlreichen fachlichen und persönlichen Gespräche bedanken sowie bei Herrn Dr. Peltri (HTWK) für seine äußerst hilfreichen Ratschläge zu den Untiefen der statistischen Gewässer. Gleiches gilt für den Bundesverband des Schornstiefegerverbandes – Zentralinnungsverband (ZIV) und die entsprechende Unterstützung bei der Durchführung der Erhebungen sowie die vielen Einblicke in das Schornstiefegerhandwerk.

Schließlich gilt ein ganz besonderer Dank meiner Familie, deren Unterstützung, Verständnis und Geduld nicht nur die Basis für die erfolgreiche Umsetzung meines Dissertationsvorhabens legten.

Cornelia Rönsch

## Lebenslauf

04/2015 – 04/2018	Doktorandin am Deutschen Biomasseforschungszentrum gemeinnützige gGmbH (DBFZ) im Bereich Bioenergiesysteme in Kooperation mit der Universität Leipzig
11/2013 – 03/2015	Elternzeit
01/2009 – 11/2013	Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Deutschen Biomasseforschungszentrum gemeinnützige gGmbH (DBFZ)
10/2005 – 08/2008	Studium an der Bauhaus-Universität Weimar des Fachs „Infrastruktur und Umwelt mit dem Abschluss Dipl.-Ing.
10/2001 – 09/2005	Studium an der Bauhaus-Universität Weimar des Fachs „Infrastruktur und Umwelt mit dem Abschluss B.Sc.
09/1993 – 06/2001	Schulische Ausbildung am Albert-Schweitzer-Gymnasium in Gera

## Bibliographische Beschreibung

Rönsch, Cornelia

Entwicklung einer Methode zur Verwendung des Schornsteinfegerhandwerks für die energie-wirtschaftliche Berichterstattung

Universität Leipzig, Dissertation

XIV+176 Seiten, 118 Literaturangaben, 100 Abbildungen, 60 Tabellen, 2 Anlagen

### Kurzreferat:

Der Einsatz von Holz in Kleinfeuerungsanlagen ist ein wichtiger Baustein der erneuerbaren Wärmebereitstellung. Nicht nur für die (inter-)nationale Energie- und Emissionsberichterstattung, sondern auch für eine Vielzahl weiterer Fragestellungen werden umfangreiche Informationen zum Bestand und Brennstoffeinsatz der Kleinfeuerungsanlagen benötigt, die derzeit nicht vorliegen. Daraus ergibt sich die Forschungsthese dieser Arbeit:

Der Anlagenbestand von Kleinfeuerungsanlagen kann anhand der regional vorliegenden Kkehrbuchdaten des Schornsteinfegerhandwerks abgebildet und basierend darauf der Brennstoffeinsatz abgeschätzt werden.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel dieser Arbeit, eine Methode zur Quantifizierung und Charakterisierung des Bestandes sowie Brennstoffeinsatzes in biomassebasierten Kleinfeuerungsanlagen in Deutschland zu entwickeln.

Zur Quantifizierung und Charakterisierung wurde zunächst eine weitestgehend automatisierte Datenerhebung basierend auf den elektronisch geführten Kkehrbüchern des Schornsteinfegerhandwerks entwickelt. Aufbauend auf den gewonnenen Daten wurde der Bestand an Kleinfeuerungsanlagen hochgerechnet und hinsichtlich Technologieparameter (Brennstoffsortiment, Leistung, Inbetriebnahmejahr) charakterisiert.

Zur Abschätzung des Brennstoffeinsatzes wurde eine Online-Erhebung mit dem Schornsteinfegerhandwerk konzipiert und durchgeführt, um Erfahrungswerte zum typischen Brennstoffeinsatz und der sektoralen Verortung der Anlagen zu generieren. Diese Ergebnisse werden in Kombination mit dem hochgerechneten Anlagenbestand für eine Abschätzung des Brennstoffeinsatzes in den Kleinfeuerungsanlagen verwendet.

## Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	III
Lebenslauf .....	IV
Bibliographische Beschreibung.....	V
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	IX
Glossar .....	XIII
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund.....	1
1.2 Problemstellung.....	2
1.3 Zielstellung .....	2
1.4 Vorgehensweise .....	3
<b>2 Stand des Wissens.....</b>	<b>5</b>
2.1 Überblick über die Kleinf Feuerungstechnologien.....	5
2.1.1 Einzelraumfeuerungen.....	5
2.1.2 Zentralfeuerstätten.....	6
2.1.3 Sonderfeuerstätten.....	7
2.1.4 Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen .....	7
2.2 Analyse bestehender Erhebungen zu Kleinf Feuerungsanlagen.....	8
2.2.1 Studien mit sektoralem Bezug (Haushalte, GHD).....	8
2.2.2 Studien mit Einbezug des Schornsteinfegerhandwerks .....	10
2.2.3 Förderstatistiken .....	12
2.3 Überblick über das Schornsteinfegerhandwerk.....	12
2.4 Zwischenfazit.....	14
<b>3 Methodischer Hintergrund .....</b>	<b>15</b>
3.1 Datenerhebung .....	15
3.1.1 Methoden der Datenerhebung.....	15
3.1.2 Verfahren der Datenerhebung .....	16
3.2 Datenaufbereitung und Datenhaltung .....	19
3.2.1 Datentransformation.....	19
3.2.2 Datenbereinigung .....	20
3.2.3 Datenintegration .....	22
3.2.4 Datenhaltung.....	22
3.3 Hochrechnungsverfahren .....	22
3.3.1 Horvitz-Thompson-Schätzung/freie Hochrechnung.....	23
3.3.2 Exkurs: Korrelationsanalyse .....	26
3.3.3 Lineare Regression .....	28
3.4 Brennstoffeinsatz.....	30
3.5 Zwischenfazit.....	31

<b>4</b>	<b>Methodische Vorgehensweise.....</b>	<b>32</b>
4.1	Datenerhebungen .....	32
4.1.1	Primärstatistische Erhebung zum Anlagenbestand .....	33
4.1.2	Primärstatistische Erhebung zum Brennstoffeinsatz.....	34
4.1.3	Sekundärstatistische Erhebungen der Kehrbezirke .....	36
4.1.4	Tertiärstatistische Erhebungen zur Ergebnisvalidierung.....	37
4.2	Datenaufbereitung und Datenhaltung .....	37
4.2.1	Primärstatistische Erhebung zum Anlagenbestand .....	37
4.2.2	Primärstatistische Erhebung zum Brennstoffeinsatz.....	40
4.2.3	Sekundärstatistische Erhebungen .....	41
4.2.4	Datenbankmodell .....	42
4.3	Hochrechnung des Anlagenbestandes .....	44
4.3.1	Horvitz-Thompson-Schätzer .....	45
4.3.2	Automatische Lineare Modellierung.....	46
4.3.3	Regressionsschätzung.....	46
4.3.4	Exkurs: Quantifizierung des Anlagenbestandes für 2012 .....	47
4.4	Charakterisierung des Anlagenbestandes.....	47
4.5	Brennstoffeinsatz.....	48
<b>5</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>50</b>
5.1	Analyse der erhobenen Daten .....	50
5.1.1	Primärstatistische Erhebung zum Anlagenbestand .....	50
5.1.2	Primärstatistische Erhebung zum Brennstoffeinsatz.....	55
5.1.3	Sekundärstatistische Erhebung zur Kehrbezirkscharakterisierung.....	57
5.2	Quantifizierung des Anlagenbestandes.....	58
5.2.1	Korrelationsanalyse - Einfluss der regionalen Parameter auf den Anlagenbestand .....	59
5.2.2	Bestand an Einzelraumfeuerungen.....	63
5.2.3	Bestand an Zentralfeuerstätten.....	68
5.2.4	Bestand an Sonderfeuerstätten.....	73
5.3	Charakterisierung des Anlagenbestandes.....	76
5.3.1	Einzelraumfeuerungen .....	76
5.3.2	Zentralfeuerstätten .....	82
5.3.3	Sonderfeuerstätten.....	87
5.4	Brennstoffeinsatz.....	93
5.4.1	Durchschnittlicher Brennstoffeinsatz.....	93
5.4.2	Kumulierter Brennstoffeinsatz.....	97
5.5	Sektorale Zuordnung der Anlagen .....	98
5.6	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	101
<b>6</b>	<b>Diskussion der Methoden und Ergebnisse .....</b>	<b>104</b>
6.1	Quantifizierung des Kleinf Feuerungsanlagenbestandes .....	104
6.2	Charakterisierung der Kleinf Feuerungsanlagen .....	106
6.3	Brennstoffeinsatz in Kleinf Feuerungsanlagen .....	109

6.4	Kritische Würdigung der Methoden .....	110
6.5	Verstetigung der Erhebung.....	112
6.6	Verwendung in der Energieberichterstattung.....	112
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>113</b>
	<b>Literatur- und Referenzverzeichnis.....</b>	<b>116</b>
<b>A 1</b>	<b>Zusatz zu den Methodischen Vorgehensweisen (Kapitel 4).....</b>	<b>128</b>
A 1.1	Primärstatistische Datenerhebung zum Brennstoffeinsatz.....	128
A 1.2	Datenaufbereitung .....	136
	A 1.2.1 Datentransformation.....	136
	A 1.2.2 Datenbereinigung – Gültigkeitsbereiche & Plausibilitätsregeln .....	138
<b>A 2</b>	<b>Zusatz zu den Ergebnissen (Kapitel 5).....</b>	<b>140</b>
A 2.1	Analyse der erhobenen Daten .....	140
	A 2.1.1 Primärstatistische Erhebungen zum Brennstoffeinsatz .....	141
	A 2.1.1 Sekundärstatistische Erhebungen zur Kehrbezirkscharakterisierung .....	143
A 2.2	Hochrechnungsergebnisse .....	151
A 2.3	Charakterisierung des Anlagenbestandes.....	164



## Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BB	Brandenburg
bBSF	bevollmächtigte Bezirksschornsteinfeger
BDH	Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie
BE	Berlin
BGBl.	Bundesgesetzblatt
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
DEPI	Deutsches Pelletinstitut
DEPV	Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EF	Einzelraumfeuerungen
EnEV	Energieeinsparverordnung
EW	Einwohner
EZFH	Ein- und Zweifamilienhäuser
FM	Festmeter
Geb	Gebäude
GG	Grundgesamtheit
GHD	Gewerbe Handel Dienstleistung
HAWK	Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst
HB	Hansestadt Bremen
HE	Hessen
HH	Hansestadt Hamburg

Abkürzung	Bedeutung
HKI	Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V.
ID	Identifikationsnummer
KFA	Kleinf Feuerungsanlagen
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KÜO	Kehr- und Überprüfungsordnung
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LAI	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
Log	Logarithmiert
MAP	Marktanreizprogramm
MAR	Missing at random
MCAR	Missing completely at random
MFH	Mehrfamilienhäuser
MNAR	Missing not at random
MOD	Modell
MV	Mecklenburg-Vorpommern
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NI	Niedersachsen
NW	Nordrhein-Westfalen
PriWald	Privatwaldfläche
RP	Rheinland-Pfalz
SchfHwG	Schornsteinfeger-Handwerkgesetz
SF	Sonderfeuerstätten
SH	Schleswig-Holstein
SL	Saarland
SN	Sachsen
ST	Sachsen-Anhalt
TH	Thüringen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VIF	Variance Inflation Factor
Wald	Waldfläche
ZF	Zentralfeuerstätten
ZIV	Zentralinnungsverband

Formelzeichen	Erklärung	Einheit
$B$	Menge des eingesetzten Energieträgers	Mengeneinheit
$CI(s)$	Approximatives Konfidenzintervall für	-
$E$	Endenergieverbrauch	kWh
$EW$	Einwohner	-
<i>Fläche</i>	Fläche	ha
$H_i$	unterer Heizwert	kWh/Mengeneinheit
$k$	Störgröße	-
$M$	Umfang der Cluster in der Grundgesamtheit	-
$m$	Umfang des Clusters in der Stichprobe	-
$N$	Umfang der Grundgesamtheit	-
$n$	Umfang der Stichprobe	-
$n$	Anzahl	-
$p$	Anteil	-
$\bar{q}$	mittlerer Brennstoffeinsatz	MJ
$Q$	Brennstoffeinsatz	GJ
$R$	Empirische Varianz des Ranges	-
$r$	(Rang-)Korrelationskoeffizient	-
$R^2$	Bestimmtheitsmaß	-
$s$	Standardabweichung	-
$S$	Stichprobenvarianz	-
$t$	Merkmalssumme	-
$t$	Zeiteinheit	h
$u$	Fraktile der Standardnormalverteilung	-
$X$	beobachteten Werte der Regressoren	-
$x$	interessierendes Merkmal X	-
$\hat{Y}$	Vorhersagewert des Regressands	-
$y$	interessierendes Merkmal Y	-
$\bar{y}$	Mittelwert des interessierenden Merkmals $y$	-
$1 - f$	Endlichkeitskorrektur	-

Formelzeichen	Erklärung	Einheit
$\beta$	Regressionskonstante/Regressionskoeffizient	-
$\varepsilon$	Störgröße	-
$\Phi$	Feuerungswärmeleistung	-
$\pi$	Auswahlwahrscheinlichkeit	-

Indizes	Erklärung	Einheit
<i>AG</i>	Anlagengruppe	-
<i>GEM</i>	Gemeinde	-
<i>h</i>	Schicht	-
<i>HT</i>	Horvitz-Thompson-Schätzer	-
<i>i</i>	Individuum	-
<i>in</i>	zugeführt	-
<i>j</i>	Zeiteinheit	-
<i>KB</i>	Kehrbezirk	-
<i>korr.</i>	korrigiert	-
<i>l</i>	Cluster	-
<i>SI</i>	uneingeschränkte Zufallsauswahl	-
<i>sp</i>	Spearman	-
<i>STSI</i>	geschichtete uneingeschränkte Zufallsauswahl	-
<i>vg</i>	verbrauchte gemessene	-
<i>x</i>	Merkmal x	-
<i>xy</i>	Bravais-Pearson	-
<i>y</i>	Merkmal y	-

## Glossar

**Bezirksschornsteinfeger.** Bevollmächtigte Bezirksschornsteinfeger sind für einen Kehrbezirk zuständig und haben die Einhaltung der Pflichten durch die Eigentümer zu kontrollieren und Kehrbücher zu führen.

**Einzelraumfeuerungen.** Einzelraumfeuerungen werden vorwiegend zur Beheizung des Aufstellraumes eingesetzt und nur gelegentlich, zusätzlich zu anderen Heizsystemen betrieben.

**Grundgesamtheit.** Die Summe der interessierenden Einheiten (z. B. Kleinfeuerungsanlagen) wird Grundgesamtheit genannt.

**Kehrbezirk.** Ein Kehrbezirk ist eine durch Behörden eingerichtete Organisationseinheit des Schornsteinfegerhandwerks. Für jeden Kehrbezirk ist ein bevollmächtigter Bezirksschornsteinfeger zuständig

**Kleinfeuerungsanlagen.** Kleinfeuerungsanlagen bedürfen keiner Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz. Diese sind auf eine Obergrenze der Feuerungswärmeleistung von 1 MW bei holzartigen Biomassen und 100 kW bei Stroh und sonstigen nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) gemäß der 4. BImSchV (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) beschränkt. Kleinfeuerungsanlagen umfassen Einzelraumfeuerungen, Zentralfeuerstätten und Sonderfeuerstätten.

**Sonderfeuerstätten.** Sonderfeuerstätten umfassen Sonderbauarten von Feuerungsanlagen sowie Prozessfeuerungsanlagen, die maßgeblich im gewerblichen Bereich zum Einsatz kommen.

**Stichprobe.** Eine Stichprobe ist eine Teilmenge, die unter Verwendung statistischer Auswahlverfahren für eine Untersuchung aus der Grundgesamtheit entnommen wurde.

**Zentralfeuerstätten.** Zentralfeuerstätten werden für die räumlich getrennte Erzeugung und Nutzung von Wärme eingesetzt.





## 1 Einleitung

### 1.1 Hintergrund

Die Energiewende ist derzeit eine der großen gesamtgesellschaftlichen Herausforderungen und nur dann zu realisieren, wenn die verfügbaren erneuerbaren Energieressourcen effizient eingesetzt werden. Viele Jahre haben sich die politischen Aktivitäten auf den Stromsektor konzentriert. Angekurbelt durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz konnte deren Anteil an erneuerbaren Energien beachtlich ausgebaut werden. Allerdings umfasst der Stromsektor – ebenso wie der Verkehrssektor – nur ein Viertel des Endenergieverbrauchs in Deutschland. Die Hälfte des Endenergieverbrauchs ist hingegen auf den Wärmesektor zurückzuführen, der die Bereitstellung von Raumwärme/-kälte, Prozesswärme/-kälte und Warmwasser umfasst. [BMWi 2018]. Daher ist in den letzten Jahren der Wärmesektor zunehmend ins Blickfeld gerückt, denn ohne eine Wärmewende ist die Energiewende nicht zu schaffen [Bundesregierung 2014].

Ziel der Bundesregierung ist ein Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte von 14 % im Jahr 2020 [BMWi et al. 2007]. Zudem wird die Reduzierung des Wärmebedarfs im Gebäudesektor in zwei Etappen angestrebt. Bezogen auf das Jahr 1990 soll der Wärmebedarf bis 2020 um 20 % reduziert werden und bis 2050 nahezu klimaneutral gestaltet werden [BMWi et al. 2010] angestrebt. Wesentliche Maßnahmen sind in der 10-Punkte-Energie-Agenda des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) festgelegt, darunter die Definition eines Sanierungsfahrplanes für den Gebäudesektor, die Fortführung, Stabilisierung und Aufstockung von Förderprogrammen sowie die Weiterentwicklung des Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) und der Energieeinsparverordnung (EnEV) [BMWi 2015].

Bis 2017 konnte ein Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte von 13,1 % erreicht werden. Im Zuge des Ausbaus von Solarthermie, Erd- und Umweltwärme hat die Bedeutung der Bioenergie zwar um 6 % abgenommen, spielt jedoch mit 88 % auch in 2017 noch die zentrale Rolle [BMWi 2017]. Zurückzuführen ist dies auf die Vielfalt biogener Brennstoffe (Holz, Biogas, Pflanzenöle), die in einer großen Bandbreite an Technologien eingesetzt werden können. Diese reichen von gelegentlich betriebenen Einzelraumfeuerungen und Heizkesseln im Kilowattbereich (kW) bis hin zu zentralen Heiz-(kraft-)werken im zweistelligen Megawattbereich (MW). Feste Brennstoffe dominieren mit 77 % die biogene Wärmeerzeugung, die maßgeblich (70 %) in Kleinfeuerungsanlagen in den beiden Sektoren Haushalte und Gewerbe/Handel/Dienstleistung (GHD) eingesetzt werden. Nach § 1 1. BImSchV und Anhang 1 4. BImSchV weisen Kleinfeuerungsanlagen eine Feuerungswärmeleistung kleiner 1 MW bei holzartigen bzw. 100 kW bei nicht holzartigen Brennstoffen auf und bedürfen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) keiner Genehmigung.

Kenntnis über den Bestand und Brennstoffeinsatz der Kleinfeuerungsanlagen ist nicht nur für die (inter-)nationale Energie- und Emissionsberichterstattung von zentraler Bedeutung, sondern auch für die Beurteilung des Erfolgs der Wärmewende. Zusätzlich bilden diese Informationen die Grundlage für Markt Betrachtungen, Evaluierung und Ausgestaltung von Gesetzen, Förderprogrammen und sonstigen politischen Entscheidungen.

## 1.2 Problemstellung

Ein wichtiger Baustein der erneuerbaren Wärmbereitstellung ist der Einsatz von Holz in Kleinfeuerungsanlagen. Daher ist die Kenntnis über den Brennstoffeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen für die (inter-)nationale Energieberichterstattung unabdingbar. Die Verbrennung von Holz ist jedoch mit dem Ausstoß an Emissionen verbunden und sehr stark von der eingesetzten Technologie (und dem Brennstoff) abhängig. So verursachen alte Kaminöfen deutlich höhere Emissionen als neue, automatisch betriebene Zentralfeuerstätten basierend auf Pellets. Folglich sind umfangreiche Kenntnisse zum Bestand der Kleinfeuerungsanlagen mit Aussagen zu den Technologien und Altersklassen ein wichtiger Grundstein für die (inter-)nationale Emissionsberichterstattung. Allerdings existiert keine gesetzlich verankerte Datenerhebung zur Quantifizierung des Bestandes und Brennstoffeinsatzes der Kleinfeuerungsanlagen.

Die Quantifizierung des Brennstoffeinsatzes in Kleinfeuerungsanlagen wird in einer Vielzahl an Forschungsvorhaben (mit-)bearbeitet. Grundlage für die Ergebnisse liefern in der Regel Schätzungen der Anlagenbetreiber die insbesondere bei der hohen Anzahl an den gelegentlich mit Scheitholz betriebenen Einzelraumfeuerungen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. Aussagen zum Bestand an Kleinfeuerungsanlagen auf Bundesebene sind nur unzureichend vorhanden und bewegen sich in der Größenordnung von 11 bis 15 Millionen. Weitergreifende Angaben zu den eingesetzten Technologien sowie Leistungs- und Altersklassen liegen nur begrenzt vor. Als Ursache für die fehlenden Daten ist auch der aus der vergleichsweise geringen Verbreitung biomasse- gegenüber fossilbasierter Kleinfeuerungsanlagen resultierende, erhebliche Stichprobenumfang und somit Befragungsaufwand zu nennen.

## 1.3 Zielstellung

Ausgehend von der skizzierten Problemstellung ergibt sich folgende Forschungsthese für das Promotionsvorhaben:

Der Anlagenbestand von Kleinfeuerungsanlagen kann anhand der regional vorliegenden Kehrbuchdaten des Schornsteinfegerhandwerks abgebildet und basierend darauf der Brennstoffeinsatz abgeschätzt werden.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel dieser Arbeit, eine Methode zur Quantifizierung und Charakterisierung des Bestandes sowie Brennstoffeinsatzes in biomassebasierten Kleinfeuerungsanlagen in Deutschland zu entwickeln. Daraus folgend können drei Unterziele abgeleitet werden:

1. Entwicklung einer Methode zur Datenerhebung basierend auf den elektronisch geführten Kehrbüchern des Schornsteinfegerhandwerks. Da generell keine gesetzliche Verpflichtung der Bezirksschornsteinfeger zur Übertragung der Daten besteht, ist die Primärdatenerhebung so zu konzipieren, dass diese für den teilnehmenden, bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger mit einem geringen zeitlichen und somit monetären Aufwand verbunden ist.
2. Entwicklung eines Hochrechnungsverfahrens zur Quantifizierung und Charakterisierung des Anlagenbestandes auf Bundesebene. Datenerhebungen, die nicht gesetzlich für einen definierten Teilnehmerkreis verankert sind, zeichnen sich in der Regel als Stichprobenerhebung aus. Somit bedarf es eines fundierten Hochrechnungsmodells. Mit dem Bestreben einer kontinuierlichen und fortschreibbaren Datenerhebung besteht die Herausforderung in der Entwicklung eines an die Anzahl und Verteilung der Teilnehmer angepassten Hochrechnungsmodells.

- Ermittlung des Brennstoffeinsatzes in Kleinfeuerungsanlagen. Die Angabe zum Brennstoffeinsatz ist in den Kehrbüchern nicht enthalten. Somit bedarf es einer zusätzlichen Primärdatenerhebung, die auf die Erfahrungswerte des Schornsteinfegerhandwerks abzielt. Zusätzlich zu dem durchschnittlichen Brennstoffeinsatz je Anlagengruppe soll die Bedeutung der beiden Sektoren Haushalte und GHD ermittelt werden.

## 1.4 Vorgehensweise

Zum Erreichen der gesetzten Ziele wird entsprechend Abbildung 1-1 vorgegangen.

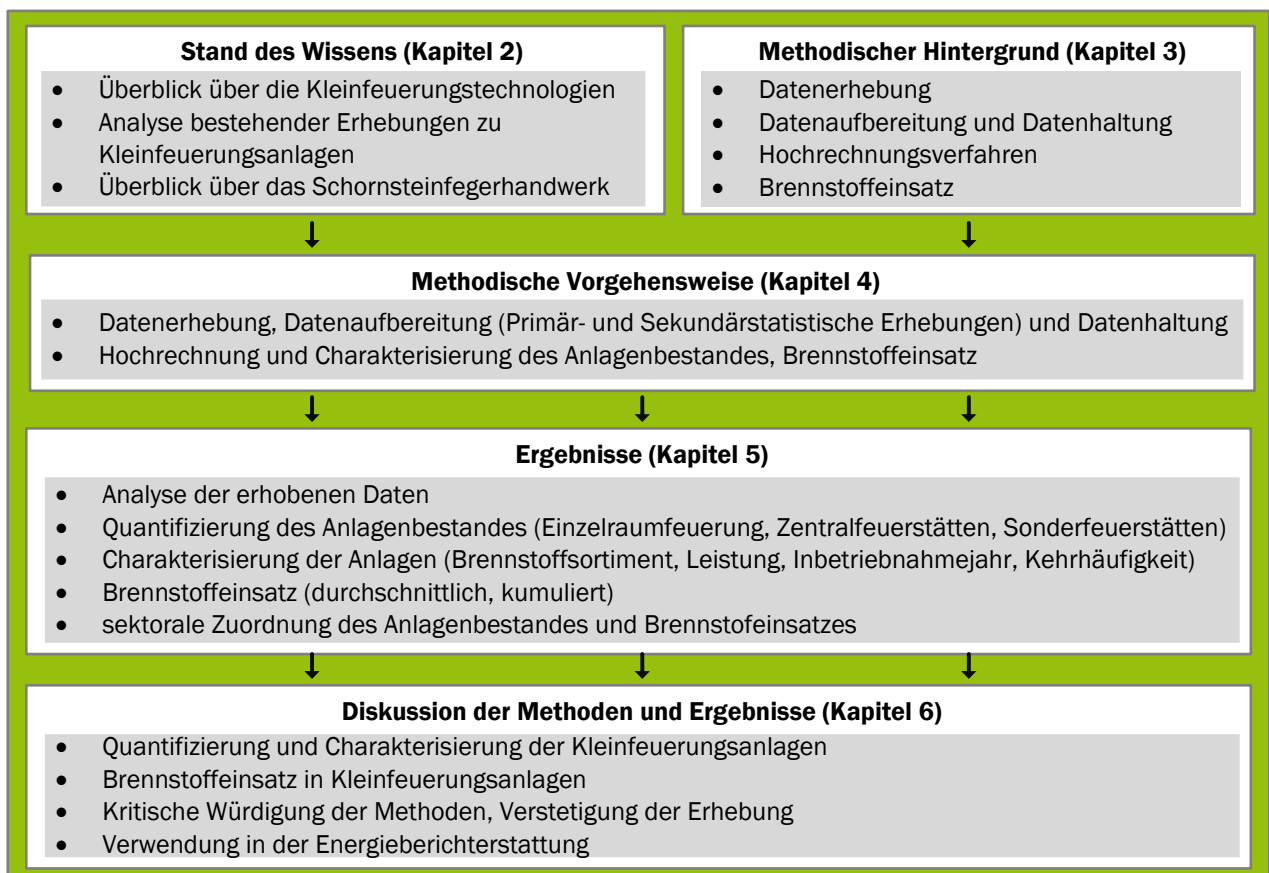


Abbildung 1-1 Vorgehensweise der Arbeit [eigene Darstellung]

Grundlage für die Arbeit bilden der Stand des Wissens (Kapitel 2) und der methodische Hintergrund (Kapitel 3). Der Stand des Wissens (Kapitel 2) umfasst neben dem Überblick über die Kleinfeuerungstechnologien auch eine Analyse bestehender Erhebungen zu Kleinfeuerungsanlagen hinsichtlich der angewandten Methoden zur Quantifizierung und Charakterisierung des Bestandes und des Brennstoffeinsatzes. Ergänzend dazu wird ein Überblick über das Schornsteinfegerhandwerk hinsichtlich deren Struktur, Aufgabengebiete sowie Datenhaltung gegeben. Im Rahmen des methodischen Hintergrundes (Kapitel 3) werden die anerkannten Methoden zur Datenerhebung und -aufbereitung sowie Hochrechnungsverfahren dargestellt. Zusätzlich werden Verfahren zur Ermittlung des Brennstoffeinsatzes aufgezeigt.

Aufbauend darauf wird die methodische Vorgehensweise (Kapitel 4) abgeleitet, die die Konzeption von Primärdatenerhebungen und darauf aufbauenden Hochrechnungsmodellen umfasst. Dabei bedarf die

Quantifizierung und Charakterisierung des Anlagenbestandes andere Primärdatenerhebungen und Hochrechnungsmodelle als die Quantifizierung des Brennstoffeinsatzes und die sektorale Zuordnung.

Unter Anwendung der Methoden werden eine Vielzahl an Ergebnissen (Kapitel 5) generiert und dargestellt. Der Bestand an Kleinfeuerungsanlagen wird quantifiziert und hinsichtlich des eingesetzten Brennstoffsportiments, Leistung sowie Inbetriebnahmejahre charakterisiert. Dabei wird zwischen den Technologien bei den Einzelraumfeuerungen (z. B. Kaminofen, Grundofen) und dem eingesetzten Brennstoffsportiment bei den Zentralfeuerstätten (z. B. Scheitholzkessel, Pelletkessel) differenziert. Zudem wird der erhobene, durchschnittliche Brennstoffeinsatz je Anlagengruppe ausgewiesen. Darauf aufbauend wird in Kombination mit dem ermittelten Anlagenbestand der Brennstoffeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen abgeschätzt. Abgerundet wird dieser Abschnitt mit der Zuordnung des Anlagenbestandes und des Brennstoffeinsatzes zu den Sektoren Haushalte und GHD.

Abschließend werden die Methoden und Ergebnisse diskutiert (Kapitel 6). Dies umfasst einerseits die Einordnung der generierten Ergebnisse in die Literaturwerte. Andererseits werden die angewandten Methoden, die Optionen einer Verstetigung sowie die Verwendung im Rahmen der Energieberichterstattung erörtert.

## 2 Stand des Wissens

Der Überblick über die Kleinf Feuerungstechnologien dient lediglich der Abgrenzung der Technologien und deren Einsatzgebiete. Ferner wird in diesem Kapitel die Literatur hinsichtlich der angewandten Methoden zur Ermittlung des Bestandes und des Brennstoffeinsatzes der biomassebasierten Kleinf Feuerungsanlagen analysiert. Abschließend wird das Schornsteinfegerhandwerk hinsichtlich der Datenhaltung analysiert.

### 2.1 Überblick über die Kleinf Feuerungstechnologien

Der Begriff Kleinf Feuerungsanlagen steht für sämtliche Feuerungsanlagen, die keiner Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) bedürfen. Dies gilt gemäß der 4. BImSchV (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) für Feuerungsanlagen in denen holzartige Biomasse eingesetzt werden bis zu einer Feuerungswärmeleistung von 1 MW und für Feuerungsanlagen in denen Stroh oder sonstige nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) eingesetzt werden bis zu einer Feuerungswärmeleistung von 100 kW. Die Überwachung dieser Anlagen fällt in den Zuständigkeitsbereich des Schornsteinfegerhandwerks.

Kleinf Feuerungsanlagen umfassen neben den Einzelraumfeuerungen auch Zentral- und Sonderfeuerstätten. Diese drei Technologiegruppen wiederum umfassen eine Vielzahl an Technologien, die [Kaltschmitt et al. 2016] und [Hartmann et al. 2013] folgend, nach dem Feuerungsprinzip, der Art der Beschickung, der Bauartengruppe oder nach dem Vorhandensein und der Lage eines Rostes differenziert werden können.

#### 2.1.1 Einzelraumfeuerungen

Einzelraumfeuerungsanlagen werden gemäß § 3 Abs. 3 1. BImSchV (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV) vorwiegend zur Beheizung des Aufstellraumes verwendet, können nach [ZIV 2010a] aber auch angrenzende Räume mitversorgen. In der Regel werden Einzelraumfeuerungen nur gelegentlich, zusätzlich zu anderen Heizsystemen betrieben und – mit Ausnahme von Pellets – manuell beschickt [Kaltschmitt et al. 2016]. Nachstehend werden die wesentlichen Technologien kurz beschrieben, wobei technische Details [Kaltschmitt et al. 2016] und [Hartmann et al. 2013] entnommen werden können.

- Offener Kamin. Nach § 2 Abs. 12 1. BImSchV werden Einzelraumfeuerungen, die offen betrieben werden können als Offene Kamine bezeichnet, sofern sie nicht ausschließlich der Zubereitung von Speisen dienen. Die Heizleistung richtet sich nach der Größe des Aufstellraumes und liegt typischerweise zwischen 0 und 5 kW [Kaltschmitt et al. 2016]. Infolge der hohen Luftmenge, die für die vollständige Verbrennung erforderlich ist, ist der Verbrennungsprozess in der Regel unzureichend, welches zu niedrigen Wirkungsgraden und hohen Schadstoffemissionen führt [Kaltschmitt et al. 2016]. Aus diesem Grund ist laut § 4 Abs. 4 1. BImSchV der Betrieb nur gelegentlich und mit naturbelassenem Scheitholz oder Holzbriketts/Holzpellets zulässig. Grundlegend tritt bei offenen Kaminen der eigentliche Nutzen als Zusatzheizsystem in den Hintergrund [Kaltschmitt et al. 2016].

- Kamineinsatz/Kaminkassette. Offene Kamine können mit Kamineinsätzen oder Kaminkassetten nachgerüstet werden. Die Verbrennung in dem geschlossenen Feuerraum führt zu einer deutlichen Steigerung der Verbrennungsqualität, mit dem Resultat einer Wirkungsgraderhöhung um bis das Drei- bis Fünffache [Bochmann et al. 2011]. Die Heizleistung liegt nach [Kaltschmitt et al. 2016] typischerweise zwischen 5 und 15 kW. Alternativ werden diese Anlagen auch als geschlossener Kamin, Heizkamin oder Heizcheminée bezeichnet [Kaltschmitt et al. 2016].
- Kaminöfen. Frei im Wohnraum aufgestellte, meist gusseiserne Einzelraumfeuerungen mit einer im Betrieb stets luftdicht verschlossenen Tür werden als Kaminöfen bezeichnet. Die typische Heizleistung beträgt zwischen 3 und 12 kW. Aufgrund der kurzen Nachlegeintervalle gelten Kaminöfen nicht als dauerbrandfähig. Das Bedienverhalten des Nutzers hat erheblichen Einfluss auf den Brennstoffeinsatz und das Emissionsverhalten der Anlage [Kaltschmitt et al. 2016]. Kaminöfen werden bevorzugt in der Übergangszeit oder als Zusatzheizung eingesetzt [Hartmann et al. 2013]. Weitere Bezeichnungen für Kaminöfen sind Schwedenöfen, Zimmeröfen, Einzelöfen, Eiserner Ofen [Kaltschmitt et al. 2016].
- Speicheröfen. Vergleichsweise langsam wird die in der Speichermasse gespeicherte Wärme an die Umgebung abgegeben [Kaltschmitt et al. 2016]. Entsprechend den Wanddicken der Speichermasse kann zwischen der schweren (Grundöfen) und der leichten (Warmluftöfen) Bauart unterschieden werden. Speicheröfen weisen eine Heizleistung zwischen 3 und 15 kW auf [Kaltschmitt et al. 2016].
  - Grundöfen. Die Bezeichnung Grundöfen steht für die an Ort und Stelle, aus mineralischem Speichermaterial handwerklich gesetzten, klassischen Wärmespeicheröfen. Die vergleichsweise große Speichermasse bedingt eine träge, dafür langanhaltende Wärmeabgabe bis zu 24 Stunden. Dies ist der Hauptunterschied zu den anderen Einzelraumfeuerungen [Kaltschmitt et al. 2016]. Alternativ werden Grundöfen auch als Kachelgrundöfen oder Specksteinöfen bezeichnet [Kaltschmitt et al. 2016].
  - Warmluftöfen. Gegenüber dem Grundöfen besitzen Warmluftöfen eine geringere Speichermasse. Unter dem Begriff Warmluftöfen können Kachelöfen oder Warmluftkachelöfen zusammengefasst werden [Kaltschmitt et al. 2016].
- Küchenherd. Für die Zubereitung von Speisen dienen Küchenherde, bei denen verschiedene Verbrennungsprinzipien Anwendung finden [Hartmann et al. 2013]. Die Heizleistung beträgt nach [Kaltschmitt et al. 2016] zwischen 3 und 12 kW.
- Heizherd. Eine Weiterentwicklung der Küchenherde sind Heizherde, die vom Kochbetrieb auf einen Heizbetrieb umgestellt werden können, indem der Rost heruntergeklappt wird, so dass der gesamte Füll- bzw. Feuerraum des darunterliegenden Rostes genutzt werden kann [Kaltschmitt et al. 2016].
- Badeöfen. Badeöfen sind Warmwasserbereiter und dienen neben dem Aufheizen von Dusch- und Badewasser auch der Beheizung des Aufstellraumes. Der Wirkungsgrad beträgt mindestens 40 % [Laasch et al. 2013].

## 2.1.2 Zentralfeuerstätten

Zentralfeuerstätten zeichnen sich im Gegensatz zu den Einzelraumfeuerungen durch die räumlich getrennte Erzeugung und Nutzung von Wärme aus. Folglich sind diese mit einem Wärmeüberträger ausgestattet und an einen Heißwasserkreislauf angeschlossen [Kaltschmitt et al. 2016]. Zentralfeuerstätten können sowohl manuell als auch automatisch beschickt werden.



- Manuell beschickte Zentralfeuerstätten werden in der Regel im häuslichen Bereich mit Scheitholz, vereinzelt aber auch in der Holzbe- und Holzverarbeitung zur Verbrennung grobstückiger Resthölzer betrieben. In Haushalten liegt die Leistung bei circa 10 kW und im gewerblichen Bereich bei bis zu 250 kW (maximal 800 kW) [Kaltschmitt et al. 2016].
- Automatisch beschickte Zentralfeuerstätten ermöglichen eine höhere thermische Leistung und automatisierte und rationellere Betriebsabläufe. Neben Hackschnitzel und Pellets werden auch Sägeprodukte und Resthölzer in diesen Anlagen eingesetzt [Kaltschmitt et al. 2016]. §5 1. BImSchV stellt aufgrund des Emissionsverhaltens Anforderungen an den Einsatz der Brennstoffe aus der Holzbe- und Holzverarbeitung (Brennstoff 6 und 7 gemäß §3 Abs. 1 1. BImSchV) sowie an Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe (Brennstoff 8 und 13 gemäß §3 Abs. 1 1. BImSchV). Aufgrund deren erhöhten Emissionspotentials dürfen die Brennstoffe 6 und 7 lediglich in Betrieben der Holzbe- und Holzverarbeitung in Anlagen mit einer Nennwärmeleistung von mindestens 30 kW und Brennstoffe 8 und 13 ausschließlich in automatisch beschickten Anlagen eingesetzt werden.

Hervorgegangen aus Einzelraumfeuerungen sind Sonderbauarten und Mischformen aus Einzelraumfeuerungen und Zentralfeuerstätten, die einen Teil der erzeugten Nutzwärme an den umgebenden Raum abgeben bzw. zum Kochen/Backen verwenden und den anderen Teil zur Brauchwassererwärmung nutzen bzw. über einen zusätzlich vorhandenen Wasserwärmeüberträger an einen Heißkreislauf abgeben [Kaltschmitt et al. 2016]. Eine Abgrenzung dieser Anlagen ist nicht trivial, jedoch maßgeblich für die aus der 1. BImSchV resultierenden Anforderungen hinsichtlich Überwachungspflichten und einzuhaltende Grenzwerte. Zu diesem Zweck hat die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) im Rahmen des Auflegungskatalogs eine Entscheidungsmatrix für die Zuordnung der Feuerstätte herausgegeben [LAI 2011].

### 2.1.3 Sonderfeuerstätten

Sonderfeuerstätten umfassen Sonderbauarten von Feuerungsanlagen sowie Prozessfeuerungsanlagen, die maßgeblich im gewerblichen Bereich zum Einsatz kommen:

- Backofen/Pizzaofen. Per Definition dienen Back- und Pizzaofen zum Backen und Zubereiten von Speisen durch die unmittelbare Berührung mit heißen Gasen.
- Brennofen. Brennöfen dienen der thermisch aktivierten Stoffumwandlung des Brenngutes. Zum Einsatz kommen Brennöfen bei der Herstellung von Zement/Ziegeln sowie Keramiken/Porzellan.
- Kochkessel. Nach [ZIV 2010a] zählen Kochkessel zu den Sonderbauarten von Feuerungsanlagen, in deren Behälter mit eigener Befuerungstechnik große Mengen an Speisen zubereitet werden.
- Lufterhitzer. Lufterhitzer nutzen die zirkulierende Luft zur Erzeugung von Raumwärme und finden insbesondere in großen Ausstellungs- und Industriehallen ihren Einsatz [Laasch et al. 2013].
- Räucheranlage. Zur Konservierung oder Geschmacksveränderung von Lebensmitteln werden Räucheranlagen (Räucherschränke, Räucherkammern) eingesetzt [ZIV 2010a].
- Waschkessel. Waschkessel dienen der Bereitstellung von Warmwasser.

### 2.1.4 Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen

Feste Bioenergieträger können auch zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) eingesetzt werden. Vorangetrieben durch das EEG wurden circa 640

Biomasseheizkraftwerke und Holzvergaseranlagen bis Ende 2013 errichtet [Scheffelowitz et al. 2014]. KWK-Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV sind überwiegend Holzvergaser. Mit weit weniger als 1.000 Anlagen in 2015 sind diese Anlagen gegenüber Einzelraumfeuerungen und Zentralfeuerstätten hinsichtlich Anzahl und Brennstoffeinsatz zu vernachlässigen. Indem mit den Daten der Übertragungsnetzbetreiber sowie dem Monitoring des EEGs umfangreiche Informationen zu dieser Anlagengruppe vorliegen, werden in dieser Arbeit KWK-Anlagen nicht betrachtet.

## 2.2 Analyse bestehender Erhebungen zu Kleinf Feuerungsanlagen

Eine gesetzliche Grundlage für die Quantifizierung des Bestandes und Brennstoffeinsatzes der Kleinf Feuerungsanlagen liegt nicht vor. Das Schornsteinfegerhandwerk ist gemäß § 16 1. BImSchV lediglich dazu verpflichtet, die Ergebnisse der Emissionsüberwachung auf Landes- und Bundesebene zusammenzufassen und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) vorzulegen. Gegenstand dessen ist die Anzahl der überwachten Anlagen, differenziert nach dem Messergebnis (1. BImSchV eingehalten, Staubgehalt zu hoch, CO-Wert zu hoch, Staub und CO-Wert zu hoch) sowie dem Brennstoff (Natur-Holz, Pellets, Rest-Holz und Stroh) [ZIV 2016]. Mit der Novellierung der 1. BImSchV in 2010 sind alle Zentralfeuerstätten >4 kW bei Inbetriebnahme und wiederkehrend alle zwei Jahre einer Emissionsüberwachung zu unterziehen. Bis zur Novellierung waren die Zentralfeuerstätten <15 kW gänzlich und die handbeschickten Zentralfeuerstätten von der wiederkehrenden Emissionsüberwachung ausgenommen. Die Einführung der wiederkehrenden Messung der bisher ausgenommenen Zentralfeuerstätten unterliegt Übergangsfristen, so dass diese Datenbasis erst ab 2025 zur vollumfänglichen Abbildung des Bestands an Zentralfeuerstätten genutzt werden kann [Rönsch et al. 2015].

Einzelraumfeuerungen bleiben auch mit der Novellierung ausgenommen von der Emissionsüberwachung. Mit dem Ziel Aussagen zu dem Bestand von Einzelraumfeuerungsanlagen zu treffen, hat der „Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV)“ eine Vollerhebung bei den Innungsmitgliedern durchgeführt. Als Ergebnis dieser Befragung wird der Bestand an Einzelraumfeuerungen auf circa 11 Millionen geschätzt [ZIV 2016]. Dieses Ergebnis sowie die Ergebnisse der Emissionsüberwachung werden bundesweit als Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks [ZIV 2016] und gesondert für die Bundesländer Bayern [LIV BY 2015], Mecklenburg-Vorpommern [LIV MV 2015] und Rheinland-Pfalz [LIV RP 2012] publiziert.

Informationen zu dem Bestand an Kleinf Feuerungsanlagen und den darin eingesetzten Brennstoffmengen zu generieren, ist und war das Ziel einer Vielzahl von Forschungsvorhaben und sonstigen Erhebungen (Unternehmenserhebung, Förderstatistik), die in [Rönsch et al. 2015] analysiert und hinsichtlich der Verwertbarkeit für die Quantifizierung des Anlagenbestandes und des Brennstoffeinsatzes bewertet wurden. Nachstehend werden die wesentlichen Datenquellen hinsichtlich der angewandten Methoden analysiert und die wesentlichen Ergebnisse aufgeführt.

### 2.2.1 Studien mit sektoralem Bezug (Haushalte, GHD)

Kleinf Feuerungsanlagen werden maßgeblich in den beiden Sektoren Haushalte und GHD eingesetzt. Somit umfassen Forschungsvorhaben, die sich mit dem Endenergieverbrauch dieser beiden Sektoren beschäftigten, anteilig den Brennstoffeinsatz in biomassebasierten Kleinf Feuerungsanlagen. Grundsätzlich verbindet all diese Studien eine Befragung der Anlagenbetreiber zum Brennstoffeinsatz

(Art und Umfang). Aufbauend auf den gewonnenen Verbrauchskennzahlen wird in Kombination mit der gewählten Aktivitätsgröße (z. B. Haushalte, Betriebe) der Brennstoffeinsatz hochgerechnet. In Tabelle 2-1 sind die relevanten Studien aufgelistet, die nachstehend im Detail hinsichtlich der angewandten Methoden und erzielten Ergebnisse betrachtet werden.

Tabelle 2-1 Übersicht zu den Studien mit sektoralem Bezug

Titel der Datenquelle	Quelle	Sektor	erhobene Kenngrößen
Erhebung des Energieverbrauchs privater Haushalte	[FrondeI et al. 2015]	Haushalte	Brennstoffeinsatz
Analyse der aktuellen Marktsituation bei Festbrennstoffen	[Rheinbraun n.d.]	Haushalte	Anlagenbestand, Brennstoffeinsatz
Energieholzverwendung in privaten Haushalten	[Döhrling et al. 2016]	Haushalte	Biomasseeinsatz
Erhebung des Energieverbrauchs des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	[Schlomann et al. 2015]	GHD	Brennstoffeinsatz
Studie zur energetischen Nutzung von Holz in Biomasseanlagen unter 1 MW in Nichthaushalten	[Mantau et al. 2012]	GHD	Biomasseeinsatz
Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher	[TeberI et al. 2016]	Haushalte, GHD	Anlagenbestand, Brennstoffeinsatz

Mit Ausnahme von [TeberI et al. 2016] verbindet die in Tabelle 2-1 aufgelisteten Studien, dass die Erhebungen mit einer geschichteten Stichprobe durchgeführt wurden. In den Erhebungen wurden die Haushalte nach Regionen und Gebäudekategorien [FrondeI et al. 2015], Eigentumsverhältnissen und Gebäudekategorien [Döhrling et al. 2016] oder den neuen/alten Bundesländern [Rheinbraun n.d.] geschichtet. Beim GHD-Sektor wurde hingegen zwischen den Branchen [Schlomann et al. 2015] oder zwischen den kommunalen und gewerblichen Betrieben sowie Größenklassen [Mantau et al. 2012] unterschieden. Um ein repräsentatives Abbild der Sektoren zu gewährleisten, wurden in allen Vorhaben Repräsentativgewichtungen für die Schichten vorgenommen. [TeberI et al. 2016] schrieb den in [Struschka et al. 2008] ausgewiesenen Anlagenbestand unter Verwendung von Daten des Industrieverbandes Haus-, Heiz- und Küchentechnik (HKI), dem Deutschen Pelletinstitut (DEPI), dem Bundesverband der deutschen Heizungsindustrie (BDH) sowie [Mantau 2012] und eigenen Einschätzungen zu Stilllegungsraten fort. Einen Einblick in [Struschka et al. 2008] liefert Kapitel 2.2.2.

In den Forschungsvorhaben wurde separat gebunden für die einzelnen Schichten hochgerechnet. Unter Berücksichtigung der Schichtung nach Regionen und Gebäudekategorien wurden in [FrondeI et al. 2015] die Brennstoffsortimente gesondert hochgerechnet. Für das Jahr 2013 wurde somit der Einsatz von Biomasse in 2013 auf 251 PJ geschätzt. Davon entfallen 87 % auf das Stückholz, 9 % auf Pellets und 4 % auf Hackschnitzel/Briketts. In [Mantau et al. 2012] wurde die Grundgesamtheit der Kleinf Feuerungsanlagen unter Verwendung eines Verteilungsschlüssels in die drei Kategorien privat, kommunal und betrieblich aufgeteilt und die Daten gesondert erhoben und hochgerechnet. Für das Jahr 2010 weist [Mantau et al. 2012] in Summe einen Holzeinsatz von 5,25 Millionen  $t_{atro}$  aus. Im Vergleich dazu liefert [Schlomann et al. 2015] für das Jahr 2013 einen Holzverbrauch von 17,6 TWh/a. Zusätzlich dazu weist [Döhrling et al. 2016] für 2014 einen Einsatz von 27,6 Millionen Fm in Haushalten aus, wovon knapp 80 % auf Scheitholz (Wald und Garten) entfallen. Abweichend dazu wurde in [Rheinbraun 2010]

keine Schichtung der Grundgesamtheit vorgenommen. Der Anlagenbestand betrug im Jahr 2010 circa 12 Millionen Einzelraumfeuerungen, in denen 15,4 Millionen t Holz in der Heizperiode 2009/2010 eingesetzt wurden [Rheinbraun 2010]. Ergänzend dazu schätzte [Teibert et al. 2016] den Einsatz von Holz und Kohle auf 410 PJ. Dabei entfallen 340 PJ auf den Sektor Haushalte und 70 PJ auf den GHD-Sektor.

Aufbauend auf den Studien zum Energieverbrauch in den beiden werden Anwendungsbilanzen für Haushalte [Frondelet al. 2016] und für den GHD-Sektor [Kleeberger et al. 2017] erstellt, die bis zum Jahr 2016 vorliegen. Für das Jahr 2014 wird der Einsatz von Holz auf knapp 205 PJ in Haushalten [Frondelet al. 2016] und 63 PJ im GHD-Sektor [Kleeberger et al. 2017] beziffert.

## 2.2.2 Studien mit Einbezug des Schornsteinfegerhandwerks

Alternativ zu den Anlagenbetreibern griffen einzelne Studien auf das Wissen des Schornsteinfegerhandwerks zurück. Mit Ausnahme von [Diefenbach et al. 2010] und [Struschka et al. 2008] haben die, in Tabelle 2-2 gelisteten Studien, einen regionalen Bezug auf Bundeslandebene.

Tabelle 2-2 Übersicht zu den Studien mit Einbezug des Schornsteinfegerhandwerks

Titel der Datenquelle	Quelle	Region	erhobene Kenngrößen
Datenbasis Gebäudebestand	[Diefenbach et al. 2010]	Bund	Analyse Gebäudebestand (inkl. Heizsysteme, Dämmstandard)
Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung	[Struschka et al. 2008]	Bund	Bestand und Brennstoffeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen
Grunddaten und Modelle zur Biomasse-nutzung und Biomassepotenzial in Hessen	[Projektgemeinschaft Biorohstoffe 2005]	HE	Brennstoffeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen
Entwicklung und Erprobung einer Methode zur Abschätzung von regionalen Dendromasse-Bilanzen am Beispiel von Nordrhein-Westfalen	[Wenzelides et al. 2008]	NW	Holzverbrauch
Feuerstättenzählung Niedersachsen 2015 für holzbefeuerte Anlagen	[Kralemann 2015a]	NI	Bestand und Brennstoffeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen
Verbrauchsdatenerhebung Holzfeuerung Niedersachsen für holzbefeuerte Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV	[Kralemann 2015b]	NI	Holzverbrauch
Holzkleinfeuerungsanlagen in Sachsen	[Hausmann 2010]	SN	Brennstoffeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen
Thüringer Emissionskataster und Treibhausgasbilanz	[Ebert et al. 2015]	TH	Endenergieverbrauch der Kleinfeuerungsanlagen
Emissionskataster Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012	[Toenges-Schuller et al. 2014]	RP	Bestand, Leistung und Brennstoffeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen
Energie- und Emissionskataster Sachsen-Anhalt	[Bell et al. 2012]	ST	Bestand und Brennstoffeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen

Auf Bundesebene wurde das Wissen der Schornsteinfeger in [Struschka et al. 2008] einbezogen, um Aussagen zum Bestand der Kleinfeuerungsanlagen zu generieren, wohingegen [Diefenbach et al. 2010]

den Wohngebäudebestand inklusive Informationen zur Heizungsstruktur abbildete. Beide Studien arbeiten mit Fragebögen, die durch die Teilnehmer händisch auszufüllen waren. Während in [Struschka et al. 2008] nur Kehrbezirke aus den vier Bundesländern Baden-Württemberg (BW), Bayern (BY), Nordrhein-Westfalen (NW) und Sachsen (SN) berücksichtigt wurden, sah [Diefenbach et al. 2010] eine nach Bundesländern proportional geschichtete Zufallsstichprobe vor. Für die Wahrung des Zufallsprinzips wurden Zufallszahlen und darauf basierend die zugehörigen bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger je Schicht ermittelt. Durch Nachziehen von Zufallszahlen wurde dem Effekt der in den Bundesländern abweichenden Teilnahmebereitschaft begegnet. Diese Studie kam zu dem Ergebnis, dass 4 % der Heizkessel und 48 % der Einzelraumfeuerungen mit Biomasse befeuert werden [Diefenbach et al. 2010]. Die nachstehend analysierten Studien nutzten die Daten des Schornsteinfegerhandwerks, um auf Bundeslandebene Aussagen zu Kleinf Feuerungsanlagen zu generieren.

Die auf Kehrbezirksebene vorliegenden Daten wurden erstmals in Hessen (HE) für ein Bundesland zusammengetragen und ausgewertet [Projektgemeinschaft Biorohstoffe 2005]. In dieser Studie wurden nicht die Einzelfeuerstätten, sondern die Anzahl der Rauchschorne steine (617.600 im Jahr 2003) und die Kehrintervalle in den Bezirken erfasst. Dabei dominierten mit 45 % die einmal und 32 % die zweimal im Kalenderjahr zu kehrenden Rauchschorne steine. Neben dem Anlagenbestand wurde auch der durchschnittliche Brennstoffverbrauch je Kehrintervall aufgeführt. Diese Vorgehensweise zur Ermittlung des Anlagenbestandes und des Brennstoffeinsatzes in Einzelraumfeuerungen wurde auch in [Wenzelides et al. 2008] für Nordrhein-Westfalen angewandt. Gegenüber Hessen wies Nordrhein-Westfalen die Besonderheit des Kohleeinsatzes in Einzelraumfeue rstätten auf, dem bei der Berechnung des Holzeinsatzes durch einen Faktor begegnet wurde. Dieser betrug bei den einmal zu kehrenden Rauchschorne steinen 80 % und bei den zweimal zu kehrenden 50 % [Wenzelides et al. 2008].

Während diese beiden Erhebungen einmalig durchgeführt wurden, wurde in 2003 für Niedersachsen (NI) eine Datenerhebung mit dem Schornsteinfegerhandwerk entwickelt und seitdem jährlich aktualisiert. Der ausgewiesene Anlagenbestand basierte auf einer Vollerhebung mit dem Bezugsjahr 2006. Dabei wurde ein standardisierter Fragebogen eingesetzt und von dem Landesinnungsverband des Schornsteinfegerhandwerks Niedersachsen an alle bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger verteilt, gesammelt und an die Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) in Göttingen zur Auswertung übermittelt. Für die Fortschreibung des Anlagenbestandes wurden ebenso standardisierte Fragebögen eingesetzt, um in den 47 Kreisgruppen die Anzahl der in Betrieb genommenen Anlagen zu ermitteln [Kralemann 2015a]. In 2014 wurde der Bestand biomassebasierter Kleinf Feuerungsanlagen auf circa 1,1 Millionen Anlagen geschätzt, die zu 98 % mit Scheitholz betrieben wurden. Ergänzend dazu wurden in [Kralemann 2015b] zusätzlich Kennwerte zur Menge, Qualität und Herkunft des eingesetzten Holzes erhoben. Dies erfolgte im Zuge von Schornsteinfegerarbeiten bei den Anlagenbetreibern mittels standardisierter Fragebögen. Resultierend aus dieser Erhebung wurde der Holzeinsatz mit 1,5 Srm/a bei selten und 5 Srm/a bei häufig benutzten Anlagen angegeben [Kralemann 2015b].

Während in [Kralemann 2015a] mit einer Vollerhebung gearbeitet wird, wurde in [Hausmann 2010] auf eine Stichprobe von 5 % der Kehrbezirke zurückgegriffen. Die teilnehmenden 14 Kehrbezirke wählte der Landesinnungsverband des Schornsteinfegerhandwerkes Sachsen unter der Prämisse aus, die Ausstattung und Nutzung der circa 400.000 Holzkleinf Feuerungsanlagen in Sachsen repräsentativ abzubilden. Somit konnten detaillierten Angaben zu circa 1.400 Kleinf Feuerungsanlagen erhoben werden. Darauf aufbauend wurden Kennwerte für die drei definierten Kehrbezirkstypen (Land/Stadtrand/Innenstadt) gebildet, als Grundlage für die Hochrechnung auf Bundeslandebene. [Hausmann 2010].

Mit dem Ziel Emissionskataster zu erstellen wurden in Rheinland-Pfalz (RP), Sachsen-Anhalt (ST) und Thüringen (TH) die Daten des Schornsteinfegerhandwerks verwendet. Die Teilnahmebereitschaft war in den drei Bundesländern sehr unterschiedlich. So stellten zwar 50 % der Thüringer Kehrbezirke ihre Daten zur Verfügung. Der heterogenen Datenqualität geschuldet konnten jedoch nicht alle Datensätze verwendet werden [Ebert et al. 2015]. Eine größere Bereitschaft konnte in Rheinland-Pfalz erreicht werden. Durch den Landesinnungsverband für das Schornsteinfegerhandwerk wurden von 90 % der Kehrbezirke Angaben zu den Feuerungsanlagen – differenziert nach den Brennstoffen der 1. BImSchV, den Anlagengruppen sowie Errichtungszeitpunkt und Leistungsklasse – zur Verfügung gestellt. Daraus resultierte für das Jahr 2012 ein Bestand von 346.000 Einzelraumfeuerungen und 19.700 Zentralfeuerstätten mit einem Holzeinsatz von 2,5 TWh/a [Toenges-Schuller et al. 2014]. In Sachsen-Anhalt wurden die Daten zu den überprüfungspflichtigen Heizanlagen sowie die Anzahl der gekehrten Schornsteine mit Angaben zur Leistung, Brennstoff und Inbetriebnahmejahr über eine Auslesesoftware ausgelesen und an das Konsortium übermittelt. Dabei konnte eine Rücklaufquote von 70 % erreicht werden. Aussagen zum Anlagenbestand wurden nicht getroffen, jedoch der Einsatz von Biomasse mit 3.461 GWh/a für das Jahr 2010 in Sachsen-Anhalt ausgewiesen [Bell et al. 2012].

### 2.2.3 Förderstatistiken

Alternativ zu den bisherigen Studien werden für den Bereich der handbeschickten Anlagen in der Literatur wiederholt die Förderstatistiken des Marktanzreizprogrammes zur Förderung von erneuerbaren Energien in Wärmemarkt (MAP) zitiert. Das MAP besteht aus den zwei Programmteilen, die durch die installierte Leistung der Anlage abgegrenzt sind. Für die Heizanlagen  $\leq 100$  kW ist das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zuständig und für die Anlagen  $> 100$  kW sowie Wärmenetze die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

Auf Anfrage stellt die BAFA die Anzahl der geförderten Anlagen und installierten Leistung je Jahr, Bundesland, Wirtschaftszweig sowie Größenklasse, Brennstoff und Technologie zur Verfügung [Rönsch et al. 2015]. Die Förderstatistiken bilden immer nur einen Teil der zugebauten Anlagen ab, da lediglich die in den Förderrichtlinien definierten Technologien für den Gebäudebestand gefördert werden. Diese Problematik wurde in der „Studie zu Regionalen Konzepten zum Ausbau der Bioenergieerzeugung aus Holz am Beispiel Saarland“ [Stockmann et al. 2012] aufgegriffen. Für die Ermittlung der Zentralfeuerstätten wurden die seitens der BAFA geförderten Anlagen im Saarland (SL) mit einer Verhältniszahl der geförderten zu den vorhandenen Zentralfeuerstätten (verfügbar aus anderen Bundesländern) ermittelt [Stockmann et al. 2012].

Die Anzahl der geförderten Anlagen wird auch auf Anfrage nicht durch die KfW zur Verfügung gestellt. Allerdings wird die Anzahl (428 Biomasseanlagen zur Wärmeerzeugung in 2014) im Rahmen der Evaluierungsberichte veröffentlicht [Stuible et al. 2016].

## 2.3 Überblick über das Schornsteinfegerhandwerk

Die Basis für die Organisation und Arbeiten des Schornsteinfegerhandwerks bildet das Gesetz über das Berufsrecht und die Versorgung im Schornsteinfegerhandwerk (Schornsteinfeger-Handwerksgesetz – SchfHWG) vom 25. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2467). Erweitert wird dies um die 1. BImSchV, in der die durchzuführenden Schornsteinfegerarbeiten und der Geltungsbereich benannt werden. Ergänzend dazu



sind in der Verordnung über die Kehrungen und Überprüfungen von Anlagen (Kehr- und Überprüfungsordnung – KÜO) vom 08. April 2013 (BGBl. I S. 760) die Zeiträume von Kehr- und Überprüfungsarbeiten an den Feuerstätten und sonstigen technischen Einrichtungen geregelt.

Gemäß § 1 SchfHwG sind Eigentümer von Grundstücken und Räumen verpflichtet, die vorgeschriebenen Schornsteinfegerarbeiten zu veranlassen. Für die Überprüfung der Einhaltung dieser Pflichten werden Kehrbezirke eingerichtet, für die nach öffentlicher Ausschreibung bevollmächtigte Bezirksschornsteinfeger oder Bezirksschornsteinfegermeister (bBSF) bestellt werden. Gemäß § 7 SchfHwG sind für die Einteilung von den Bundesländern Behörden festzulegen. In den 16 Bundesländern sind die Behörden auf allen drei Ebenen angesiedelt:

- Bundeslandebene. z. B. in Brandenburg (SchfZV) und Thüringen (ThürZustErmGeVO)
- (Bezirks-)Regierungen. z. B. in Bayern (ZuVSchw) und Nordrhein-Westfalen (SchfZustVO)
- Landkreis/Kreisfreie Städte. z. B. in Mecklenburg-Vorpommern (SchfHwGZustVO M-V).

Zur Dokumentation der fristgerechten Durchführung der gesetzlich vorgeschriebenen Arbeiten dienen die gemäß § 13 SchfHwG elektronisch zu führenden Kkehrbücher. Für jede Anlage im Geltungsbereich der 1. BImSchV sind nach § 19 Abs. 1 Satz 2 SchfHwG neben kundenbasierten Daten auch Angaben zur Technologie, Brennstoff, Nennwärmeleistung, Alter sowie Betrieb und Standort der Anlage aufzunehmen. Darüber hinaus ist durch den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger die Kkehrhäufigkeit unter Anwendung der Anlage 1 KÜO festzulegen. Diese ist abhängig von der Art des Brennstoffes (fest, flüssig, gasförmig), der eingesetzten Technologien und der durch den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger geschätzten Häufigkeit der Benutzung. Mit dem Ziel einer einheitlichen Führung des Kkehrbuches wurden beispielsweise in Brandenburg oder Schleswig-Holstein Kkehrbuchrichtlinien erlassen.

Grundsätzlich sind die bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger nach § 19 Abs. 2 SchfHwG verpflichtet, das elektronisch zu führende Kkehrbuch vollständig und aktuell zu halten. Dieser Aspekt hat mit dem Wegfall des Schornsteinfegermonopols zum 01.01.2013 zusätzlich an Bedeutung gewonnen. Während für die Feuerstättenschau und Überwachung der fristgerechten Durchführung der gesetzlich vorgeschriebenen Arbeiten weiterhin ausschließlich die bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger zuständig sind, können beispielsweise Kkehrarbeiten auch von externen Schornsteinfegern durchgeführt werden. Zusätzlich führte die im Rahmen der novellierten 1. BImSchV festgelegte, schrittweise Verschärfung der Grenzwerte zu einer umfangreichen Überprüfung des Anlagenbestandes bis Ende 2012 und somit zur Aktualisierung der Kkehrbücher – insbesondere in Hinblick auf das Datum der Anlageninbetriebnahme.

Derzeit sind in Deutschland für 7.704 Kkehrbezirke bevollmächtigte Bezirksschornsteinfeger bestellt, deren Anzahl gemäß [BMWi 2009] nach Auffassung der Bundesregierung Bestand haben soll. Mit 97 % der bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger ist ein Großteil des Handwerks im Verband des Schornsteinfegerhandwerks organisiert. Dies ist aufgebaut aus einem Bundesverband, 16 Landesinnungsverbänden und 54 Innungen [ZIV 2015].

Aus den vorangestellten Ausführungen ist zu schlussfolgern, dass die Kleinf Feuerungsanlagen flächendeckend auf der Ebene der Kkehrbezirke und in den elektronisch zu führenden Kkehrbüchern erfasst sind. Darüber hinaus bietet die nahezu vollumfassende Organisation des Handwerks im Verband eine gute Kommunikationsplattform zu den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfegern.

## 2.4 Zwischenfazit

Basierend auf den Erfahrungen der verfügbaren Datenerhebungen/Studien sowie der Analyse des Schornsteinfegerhandwerks und den Kleinfeuerungstechnologien können folgende Rückschlüsse für die Ausgestaltung der Datenerhebung zum Erreichen der Zielstellung gezogen werden:

- Überblick über die Kleinfeuerungstechnologien. Biomassebasierte Kleinfeuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV umfassen ein breites Spektrum unterschiedlichster Technologien, beginnend bei den Offenen Kaminen bis hin zu Heizwerken mit angeschlossenem Nahwärmenetz. Damit gehen große Bandbreiten an Einsatzgebieten, Leistung, Brennstoffsortiment und letztendlich dem Brennstoffeinsatz einher. Diese Heterogenität erfordert für ein repräsentatives Abbild des Anlagenbestandes eine Erhebungsform, die einen ausreichenden Stichprobenumfang auf Bundesebene mit einem vertretbaren Aufwand ermöglicht.
- Analyse bestehender Erhebungen zu Kleinfeuerungsanlagen. Grundlegend ist zwischen zwei Gruppen an Erhebungen zu Kleinfeuerungsanlagen zu unterscheiden. Einerseits die Schätzung des Brennstoffeinsatzes durch die Anlagenbetreiber. Dieser Ansatz wird insbesondere auf Bundesebene zur Ausweisung des sektoralen Brennstoffeinsatzes verfolgt (Kapitel 2.2.1). Andererseits wird auf das Wissen der Schornsteinfeger zurückgegriffen, insbesondere dann, wenn der Anlagenbestand/Emissionen im Vordergrund stehen (Kapitel 2.2.2). Die Einschätzung des Brennstoffeinsatzes ist insbesondere bei den häufig nur sporadisch genutzten Einzelraumfeuerungen häufig mit Unsicherheiten verbunden. Daher gilt es zu prüfen, inwiefern Vertreter des Schornsteinfegerhandwerks den Brennstoffeinsatz einschätzen können.
- Überblick über das Schornsteinfegerhandwerk. Das Schornsteinfegerhandwerk verfügt auf Kehrbezirksebene über Daten zu dem gesamten Anlagenbestand im Geltungsbereich der 1. BImSchV. Diese Daten eignen sich prinzipiell für die Quantifizierung und Charakterisierung des Anlagenbestandes auf Bundesebene. Gesetzlich verankert ist die Bereitstellung der Daten hingegen nicht. Daher bedarf es der Bereitschaft des Handwerkes beim Zusammenführen der Daten mitzuwirken.

### 3 Methodischer Hintergrund

Theoretische Aspekte zur Datenerhebung, -aufbereitung und -haltung, sowie zu Hochrechnungs- und Schätzverfahren sind Gegenstand dieses Kapitels. Zudem wird auf die Ermittlung des Brennstoffeinsatzes eingegangen.

#### 3.1 Datenerhebung

Im empirischen Forschungsprozess ist die Datenerhebung ein Grundbaustein zur Beantwortung von Forschungsfragen und umfasst nach [Kaya 2007] systematische und gezielte Aktivitäten zur Beschaffung von Informationen.

Grundsätzlich sind Daten gezielt und systematisch zu erheben, wobei zwischen primärstatistischen, sekundärstatistischen und tertiärstatistischen Erhebungen differenziert wird [Kaya 2007]. Primärstatistische Erhebungen werden neu für die Beantwortung einer Fragestellung durchgeführt. Wird hingegen auf vorhandenen Originaldaten zurückgegriffen, handelt es sich um eine sekundärstatistische Erhebung. Häufig liegen Daten jedoch nicht im Original, sondern in einer aggregierten oder manipulierten Form vor. In diesem Fall spricht man von einer tertiärstatistischen Erhebung [Hartung et al. 2009]. Die nachstehenden Ausführungen zu den Methoden der Datenerhebung beziehen sich ausschließlich auf die Konzeption neuer Datenerhebungen (=primärstatistische Erhebungen).

##### 3.1.1 Methoden der Datenerhebung

Bei der Konzeption der Datenerhebung ist zunächst zu klären, ob die Ergebnisse sich auf einen bestimmten Zeitpunkt (Querschnitts-Untersuchung) beziehen oder einen definierten Zeitraum (Längsschnitt-Untersuchung) betrachten [Kuß et al. 2014]. Methoden der Datenerhebung sind in Abbildung 3-1 zusammengefasst.

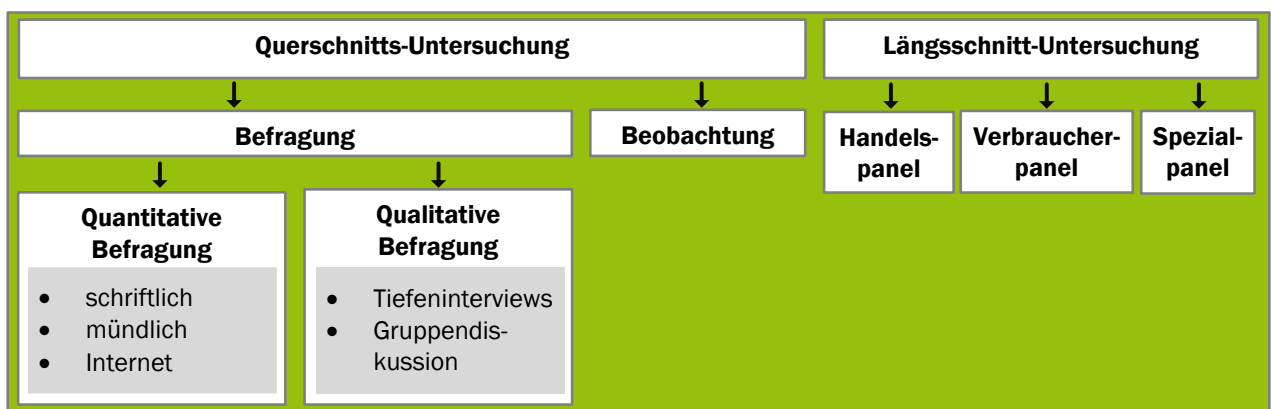


Abbildung 3-1 Überblick zu den Methoden der Datenerhebung [eigene Darstellung]

Mit der Zielstellung der Arbeit den Anlagenbestand und Brennstoffeinsatz zu einem definierten Zeitpunkt abzubilden, wird nachstehend ausschließlich auf die Methoden der Querschnitts-Untersuchungen eingegangen. Zu denen zählen Befragungen und Beobachtungen. Bei den Beobachtungen werden die Gegebenheiten und Verhaltensweisen unmittelbar und ohne direkte Kommunikation zwischen erhebender und auskunftsgewebender Person erfasst [Kuß et al. 2014]. Im Gegensatz dazu beruht die

Befragung auf direkter Kommunikation zwischen den erhebenden und auskunftsgewährenden Personen [Kuß et al. 2014]. Dabei ist zwischen qualitativen und quantitativen Befragungen zu unterscheiden. Repräsentative Aussagen unter Verwendung statistischer Analysemethoden können ausschließlich anhand quantitativer Befragungen gewonnen werden. Dem hingegen steht die interpretierende Analyse bei den qualitativen Befragungen im Vordergrund, in der nicht standardisierte Fragebögen bei kleinen Fallzahlen eingesetzt werden.

Voraussetzung für quantitative Befragungen sind standardisierte Erhebungen, beispielsweise in Form eines Fragebogens. Ziel dessen ist die Minimierung von Störeinflüssen durch die strategische Anordnung der vorformulierten Fragen und gegebenenfalls der Angabe von Antwortkategorien [Möhring et al. 2013], [Reinecke 2014]. Bei der Frageformulierung sind auf eine klare Formulierung der Fragen und die Vermeidung von komplexen, hypothetischen und mehrdimensionalen Fragen zu achten. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist das Herstellen eines eindeutig zeitlichen Bezugs [Möhring et al. 2013]. Zudem beeinflussen vorgegebene Antwortkategorien bzw. -alternativen die Antwort der Befragten. Daher sind die Abdeckung des gesamten Spektrums sowie die klare Abtrennung der Antwortkategorien und die eindeutige Zuordnung des Bezugsrahmens (z. B. Einheiten) essentiell [Möhring et al. 2013]. Ein weiterer Aspekt ist die Dramaturgie des Gesamtfragebogens. Hierzu zählt neben dem Spannungsbogen auch der Halo-Effekt - die Ausstrahlung einer auf die nächste Frage [Häder 2015]. Nicht zuletzt ist auch auf das Layout zu achten, denn es erleichtert nicht nur die Arbeit der Befragungspartner, sondern hinterlässt zusätzlich bei den Befragten einen positiven Eindruck auf das Forschungsvorhaben [Häder 2015].

Standardisierte Fragebögen können für verschiedene Kommunikationsformen (persönlich, telefonisch, schriftlich, Online) eingesetzt werden. Während mündliche Befragungen bei einer beabsichtigten regionalen Streuung der Interviewpartner einen erheblichen organisatorischen Aufwand erfordern, kann dieser durch die telefonische oder schriftliche Befragung sowie Online-Erhebungen deutlich minimiert werden [Kuß et al. 2014]. Internetbasierte bzw. Online-Erhebungen zeichnen sich nach [Ehling 2003] dadurch aus, dass die Teilnehmer den Fragebogen online ausfüllen oder per Mail erhalten bzw. aus dem Internet herunterladen und zurücksenden.

Nach [Bethlehem et al. 2011] kann ein adaptives Umfragedesign, auch Mixed Mode Survey genannt, die Teilnahmebereitschaft erhöhen, indem der Interviewpartner aus verschiedenen Erhebungsmodi wählen kann. Dabei besteht zum einen die Möglichkeit für verschiedene Befragungsgruppen (z. B. jung/alt) unterschiedliche Befragungsmodi (z. B. Internet/Telefon) bereitzustellen. Zum anderen kann der Gruppe der Antwortverweigerer in einer zweiten Phase ein anderes Erhebungsinstrument angeboten werden [de Leeuw 2015].

In die Entwicklung standardisierter Fragebögen sind Experten einzubinden, deren distanzierte Sicht gegebenenfalls die Form und Struktur der Fragen und Antwortkategorien beeinflussen. Zudem ist die technische Umsetzung, das Fragebogenkonzept sowie die Fragenformulierung und die Antwortmöglichkeiten des Erhebungsinstruments im Rahmen eines Pretests zu testen [Weichbold 2014].

### 3.1.2 Verfahren der Datenerhebung

Datenerhebungen werden mit dem Ziel, Aussagen über eine definierte Grundgesamtheit zu treffen, durchgeführt. Grundlegend kann dabei zwischen Vollerhebungen und Stichprobenerhebungen unterschieden werden, wobei letztgenannte nur einen definierten Teil der Grundgesamtheit betrachtet.

Zurückzuführen auf den organisatorischen, zeitlichen und damit auch monetären Aufwand von Vollerhebungen werden in der Praxis meist Stichprobenerhebungen durchgeführt [Hartung et al. 2009], [Schulz et al. 2012]. Eine Stichprobe lässt sich als Teilmenge definieren, die für eine Untersuchung aus der Grundgesamtheit – unter Verwendung statistischer Auswahlverfahren – entnommen wird [Eckstein 2014].

Grundlage für Stichprobenerhebungen ist eine sachliche, räumliche und zeitliche Abgrenzung der Einheiten (z. B. Einwohner, Betriebe, Anlagen), die im Rahmen einer statistischen Untersuchung zu beschreiben sind. Die Summe der interessierenden Einheiten wird Grundgesamtheit genannt [Leiner 1994], [Kuß et al. 2014]. Während Auswahlseinheiten oder Merkmalsträger die unmittelbar in der Datenerhebung beobachteten Einheiten umfassen, beschreiben die Untersuchungseinheiten die Einheiten, über die repräsentative Aussagen zu treffen sind. Entsprechend des Untersuchungsdesigns stimmen Auswahl- und Untersuchungseinheiten nicht zwingend überein [Stenger 1971].

Für die Durchführung von Stichprobenerhebungen sind eine Vielzahl an Verfahren etabliert, die entsprechend Abbildung 3-2 gegliedert werden können.

nicht zufallsgesteuerte Stichprobenverfahren	zufallsgesteuerte Stichprobenverfahren
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typische Auswahl</li> <li>• Willkürliche Auswahl</li> <li>• Quotenverfahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfache Zufallsstichprobe</li> <li>• Geschichtete Zufallsstichprobe</li> <li>• Clusteranalyse</li> <li>• Mehrphasige und mehrstufige Zufallsstichprobe</li> </ul>

Abbildung 3-2 Überblick zu den Stichprobenverfahren [eigene Darstellung]

Zahlreiche statistische Verfahren können nur dann angewendet werden, wenn vor der Ziehung die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Merkmalsträger in die Stichprobe gelangt, bekannt ist [Kauermann et al. 2010], [Schwaiger 1993]. Nicht zufällige Verfahren erfüllen diese Prämisse nicht, so dass diese weiterführend nicht näher betrachtet werden.

### Einfache Zufallsstichprobe

Die einfache Zufallsstichprobe zeichnet sich dadurch aus, dass jedes Element der Grundgesamtheit über die gleiche Auswahlwahrscheinlichkeit  $\pi$  verfügt, um in die Stichprobe zu gelangen, siehe Gleichung (1) nach [Kauermann et al. 2010].

$$\pi_i = \frac{n}{N} \tag{1}$$

$\pi_i$  Auswahlwahrscheinlichkeit für das i-te Individuum

$n$  Umfang der Stichprobe

$N$  Umfang der Grundgesamtheit

Grundgesamtheiten zeichnen sich häufig durch einen hohen Umfang sowie Heterogenität aus. Um diesem Aspekt zu begegnen und die Aussagequalität der Stichprobenergebnisse zu verbessern, wurden Stichprobenverfahren entwickelt, die auf der Zerlegung der Grundgesamtheit beruhen – darunter die geschichtete oder mehrstufige Zufallsstichprobe sowie die Clusteranalyse [Kauermann et al. 2010].

### Geschichtete Zufallsstichprobe

Bei der geschichteten Stichprobe wird die Grundgesamtheit, unter Verwendung eines mit dem Untersuchungsmerkmal korrelierenden Hilfsmerkmals (=Schichtungsmerkmal), gruppiert. Ziel dieser Vorgehensweise ist die Unterteilung der heterogenen Grundgesamtheit in in sich homogene, jedoch untereinander heterogene Schichten [Hartung et al. 2009]. Dies ist nur dann möglich, wenn Untersuchungs- und Schichtungsmerkmale gut messbar sind [Cochran 1977]. Voraussetzung hierfür ist die Kenntnis über die Verteilung der Schichtungsmerkmale in der Grundgesamtheit und die Möglichkeit, alle Elemente der Grundgesamtheit genau einer Schicht zuzuordnen [Stier 1999].

Vorangestellte Ausführungen beziehen sich auf die Schichtung anhand eines sachlichen Schichtungsmerkmals (z. B. Alter, Geschlecht). Aus organisatorischen Gründen kann auch eine Schichtung nach regionalen Aspekten (z. B. Land, Bundesland) von Bedeutung sein. Dies trifft beispielsweise auf die amtliche Statistik zu, bei der die Landesämter die Erhebungen durchführen [Stenger 1971]. In [Cochran 1977] werden unterschiedliche Anforderungen an die Erhebung innerhalb einer Population als weiteren Grund für die Durchführung einer geschichteten Stichprobe angeführt.

Der Stichprobenumfang einer Schicht kann sowohl proportional als auch disproportional zum Anteil in der Grundgesamtheit vorgenommen werden. Insbesondere bei schwach besetzten Schichten ist nach [Hartung et al. 2009] eine disproportionale Schichtung von Vorteil. Zusätzlich ist von einer proportionalen Schichtung abzusehen, wenn die Grundgesamtheit aus sehr großen und sehr kleinen Einheiten besteht und die Datenerhebung für einige Schichten einen deutlich größeren Aufwand darstellen als für andere Schichten [Cochran 1977]. Die Auswahlwahrscheinlichkeit in einer Schicht kann für eine Auswahleinheit gemäß [Kauermann et al. 2010] nach Gleichung (2) bestimmt werden.

$$\pi_{hi} = \frac{n_h}{N_h} \quad (2)$$

$\pi_{hi}$	Auswahlwahrscheinlichkeit für das i-te Individuum in der h-ten Schicht
$n_h$	Umfang der Stichprobe in der h-ten Schicht
$N_h$	Umfang der Grundgesamtheit in der h-ten Schicht

Bei der geschichteten Stichprobe wird zunächst die Grundgesamtheit in Schichten zerlegt und anschließend je Schicht eine einfache Zufallsstichprobe gezogen (Prä-Stratifizierung). Alternativ dazu kann die Schichtung auch nach der Stichprobenentnahme erfolgen (Post-Stratifizierung), beispielsweise, wenn die Schichtungsvariablen erst mit der Datenerhebung ermittelt werden oder die Genauigkeit der Schätzung bei großen Unterschieden des interessierenden Merkmals erhöht werden kann [Cochran 1977]. Sind die Schichtgrößen bekannt, so kann die Schichtung nach Erhebung vorgenommen werden [Quatember 2014]. Darüber hinaus kann mit einer nachträglichen Schichtung Verzerrungen durch unterschiedliche Rücklaufquoten begegnet werden. Dies wird auch als Gewichtung bezeichnet [Kauermann et al. 2010].

Im Wesentlichen kann zwischen drei verschiedenen Gewichtungsverfahren differenziert werden, die Designgewichtung, die Kalibrierungsschätzer und die Anpassungsgewichtung. Grundlegend zeigt eine Simulationsstudie in [Arzheimer 2009], dass nur bei einem sehr engen Zusammenhang zwischen Untersuchungs- und Schichtungsmerkmal die Gewichtung einen substantiellen Einfluss auf das Ergebnis hat. In Regressionsmodellen werden diese Merkmale häufig schon berücksichtigt, so dass eine Gewichtung nicht notwendig ist. Grundlegend ist das Ziel der Post-Stratifizierung, durch die Reduzierung

der Verzerrung in der Stichprobenerhebung die Genauigkeit der Schätzung und somit die Qualität des Ergebnisses zu verbessern [Little 1993].

### Clusteranalyse

Eine Einteilung der Grundgesamtheit in überlappungsfreie Gruppen spielt auch bei der Clusteranalyse eine Rolle. Abweichend zur geschichteten Stichprobe sind Cluster jedoch in sich heterogen und untereinander homogen. Nachdem ein Cluster per einfacher Zufallsstichprobe ausgewählt wurde, wird in dem Cluster eine Vollerhebung durchgeführt [Kauermann et al. 2010], [Quatember 2014].

Die Auswahlwahrscheinlichkeit für ein Cluster ist nach [Kauermann et al. 2010] gemäß Gleichung (3) definiert.

$$\pi_{li} = \frac{m}{M} \quad (3)$$

$\pi_{li}$  Auswahlwahrscheinlichkeit für das i-te Individuum im l-te Cluster

$m$  Umfang des Clusters in der Stichprobe

$M$  Umfang des Clusters in der Grundgesamtheit

### Mehrstufige und mehrphasige Zufallsstichprobe

Darüber hinaus können auch mehrstufige und mehrphasige Auswahlverfahren angewendet werden. Mehrstufige Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass die in der ersten Stufe gezogene Stichprobe die Basis für die in der zweiten Stufe zu ziehende Stichprobe bildet [Kauermann et al. 2010]. Abweichend davon werden bei mehrphasigen Verfahren in einer ersten Phase eine große Zufallsstichprobe und in einer zweiten Phase kleinere Stichproben gezogen [Kauermann et al. 2010].

## 3.2 Datenaufbereitung und Datenhaltung

Bevor die erhobenen Daten analysiert werden können, sind in der Regel umfangreiche Verfahrensschritte zur Aufbereitung der gesammelten Daten notwendig. Hierzu zählen die Datentransformation, Datenbereinigung und Datenintegration. Diese werden nachstehend beschrieben, ergänzt um die Grundzüge der Datenhaltung.

### 3.2.1 Datentransformation

Die Datentransformation versteht im Allgemeinen die Umwandlung der vorliegenden Daten in ein für die Weiterverarbeitung geeignetes Format. In diesem Zusammenhang ist neben der Anpassung von Datentypen, Maßeinheiten und Skalierungen auch eine einheitliche Codierung der Daten zu nennen [Cleve et al. 2014]. Insbesondere beim Zusammenführen verschiedener Datenquellen besteht die Herausforderung darin, die Angaben zu vereinheitlichen. Im Rahmen eines Codeplans sind neben den Informationen zu den gespeicherten Inhalten der Variablen (Variablenlabel) auch deren Ausprägungen (Wertelabels) zu dokumentieren. Dies ist vor allem dann von Bedeutung, wenn die Information keine Zahl ist [Lück et al. 2014].



### 3.2.2 Datenbereinigung

Unbenommen der Sorgfalt bei der Durchführung einer Datenerhebung ist es nicht auszuschließen, dass unmögliche, unwahrscheinliche oder widersprüchliche Werte erhoben werden, die im Rahmen der Datenbereinigung zu identifizieren und zu korrigieren oder eliminieren sind [Hippner et al. 2001] [Lück et al. 2014]. Ergänzend dazu treten in nahezu jeder Datenerhebung fehlende Datensätze sowie fehlende Werte auf. Während der Umgang mit fehlenden Daten in der Methodenlehre Berücksichtigung findet, erfolgt dies nach [Lück 2011] kaum für fehlerhafte Daten.

Auf die Qualität der Ergebnisse haben jedoch beide Aspekte einen erheblichen Einfluss. Folglich werden nachstehend die Ursachen und der Umgang sowohl mit fehlerhaften als auch mit fehlenden Daten näher beleuchtet.

#### Fehlerhafte und inkonsistente Daten

Eine Vielzahl an Verfahren dienen dem Aufdecken von unmöglichen/unrealistischen Werten und fehlerhaften Variablenformatierungen. Eine erste Datensichtung ermöglicht die Identifikation nicht zulässiger Werte. Extremwerte und Ausreißer können anhand von Häufigkeitsverteilungen identifiziert werden. Dabei ist jedoch im Kontext zu prüfen, inwiefern diese realistisch sein können [Lück 2011].

Die Ursachen von fehlerhaften und inkonsistenten Daten sind vielfältig und können bereits in der Gestaltung des Erhebungsinstrumentes (z. B. Filterführung, Antwortoptionen) begründet sein. Zusätzlich kann die Interpretation des Fragebogens, die Reaktivität, irrtümlich oder bewusst falsche Antworten der Befragten, die Kommunikation zwischen Interviewer und Befragten sowie Fälschungen durch den Interviewer zu fehlerhaften Daten führen. Komplettiert wird die Liste der Ursachen durch technische Fehler bei der Datenerfassung sowie Tippfehler bei der Dateneingabe [Lück et al. 2014].

Grundlegend sind fehlerhafte Daten durch Nachrecherche zu beheben. Ist dies nicht möglich, kann das betroffene Merkmal oder der gesamte Merkmalsträger gelöscht werden. Alternativ können auch Attribute, in denen wiederholt fehlerhafte Werte enthalten sind, entfernt werden [Cleve et al. 2014], [Lück et al. 2014]. Eine andere Möglichkeit ist das Eliminieren von Ausreißern infolge der Korrelationsuntersuchung zweier Variablen. Sowohl in [Runkler 2010] als auch [Hippner et al. 2001] wird diese Vorgehensweise allerdings kritisch gesehen, da so selten auftretende, jedoch reale Aspekte entfernt werden.

#### Fehlende Datensätze und Werte

Grundlegend ist zwischen dem Fehlen ganzer Datensätze (Unit-Nonresponse) und dem Fehlen einzelner Werte/Merkmalausprägungen (Item-Nonresponse) zu unterscheiden [Graham 2012].

- Unit-Nonresponse kann bei Datenerhebungen nicht vollständig ausgeschlossen werden und ist bei der Untersuchungsplanung zu berücksichtigen. Maßgeblich führen Verweigerung und Nichterreichbarkeit zu Unit-Nonresponse. Reduziert werden kann die Unit-Nonresponse durch Nachrecherche von Adressen, Erinnerungsschreiben an die noch ausstehende Teilnahme sowie das Angebot einer Mixed-Mode-Survey (z. B. Telefon- anstelle Online-Erhebung) [Engel et al. 2014].



- Item-Nonresponse kann ebenfalls auf den Befragungsmodus und Designelemente einer Umfrage, aber auch auf den kognitiven Prozess der Antwortfindung, die Interaktion zwischen den Interviewpartnern oder eine mangelnde Motivation sowie den Sensitivitätsgrad einer Frage zurückgeführt werden. Darüber hinaus verursachen auch Übertragungsfehler sowie das Löschen fehlerhafter, nicht korrigierbarer Werte Item-Nonresponse [Decker et al. 2008], [Göthlich 2007].

Der Frage nach dem Umgang mit Unit- und Item-Nonresponse ist die Fragestellung zu den Mechanismen voranzustellen, die zum Ausfall führen. Grundlegend ist zwischen den drei nachstehenden Ausfallmechanismen zu differenzieren:

- Missing completely at random (MCAR). Mit MCAR wird der rein zufällige Datenausfall beschrieben. Dieser führt lediglich zu ungenaueren und nicht verfälschten Analyseergebnissen [Göthlich 2007].
- Missing at random (MAR) MAR wurde erstmals in [Rubin 1976] definiert und beschreibt einen bedingt zufälligen Datenausfall. Die Antwortwahrscheinlichkeit hängt nicht von der Ausprägung des interessierenden Merkmals (z. B. Einkommen) ab, sondern von der Ausprägung eines anderen erhobenen Merkmals (z. B. Alter) [Rässler 2000].
- Missing not at random (MNAR). Bei dem Mechanismus MNAR (oder NMAR) hängt die Antwortwahrscheinlichkeit von der Ausprägung des interessierenden Merkmals (z. B. Einkommen) ab. Dies führt zu einer Verzerrung der Analyseergebnisse [Graham 2012].

Schlussfolgernd können MCAR und MAR bei großen Stichproben ignoriert werden. Dies gilt aufgrund der verzerrenden Wirkung von MNAR auf das Analyseergebnis nicht [Decker et al. 2008].

Der Umgang mit fehlenden Werten ist ein weites Feld, welches nachstehend nur angerissen werden kann. Grundlegend können die verfügbaren Verfahren in die drei Gruppen Fallreduktion, Gewichtung und Imputation eingeteilt werden.

- Die Fallreduktion steht für den Ausschluss der Datensätze aus der Datenanalyse, die mindestens für ein Merkmal einen fehlenden Wert aufweisen (Item-Nonresponse) [Decker et al. 2008]. Dieses Verfahren bietet zwar eine einheitliche Fallzahl bei der Auswertung, führt jedoch gleichzeitig zu gegebenenfalls erheblichen Informationsverlusten sowie Verzerrungen bei MAR und MNAR [Decker et al. 2008], [Göthlich 2007].
- Mittels Gewichtung kann einer unterschiedlichen Teilnahmebereitschaft einzelner Schichten begegnet und somit eine unverzerrte Schätzung erhalten werden [Arzheimer 2009], [Kiesl 2014]. Der Einfluss von Gewichtungsverfahren wird in [Arzheimer 2009] in Bezug auf die Schätzung von Mittelwerten und Varianzen nur einen geringen Einfluss zugesprochen und ist bei Regressionsanalysen obsolet, wenn die Gewichtungsvariable ohnehin im Regressionsmodell enthalten ist [Arzheimer 2009].
- Imputationsverfahren stehen für das Ersetzen fehlender Werte in einer Datenmatrix und sind beim Umgang mit Unit- und Item-Nonresponse eine große Bedeutung zuzusprechen.

Bei der einfachen Imputation wird der fehlende Wert mit einem Wert ersetzt. Hierzu zählen die in [Rässler 2000] umfangreich beschriebenen Verfahren der Expertenschätzung, Mittelwertergänzung, Doppeln, Dummy Variable Adjustment, der Regressionsimputation, dem Predictive Mean Matching und den Hot-Deck-Verfahren. Diese Methoden werden jedoch in [Graham et al. 2003] als nicht akzeptabel und in [Schafer et al. 2002] als nicht mehr zeitgemäß eingestuft. Maßgeblich basiert die

Kritik auf der Unsicherheit hinsichtlich der tatsächlichen Ausprägung der nicht beobachteten Werte [Decker et al. 2008]. Zudem führen diese Verfahren zur Verzerrung von Verteilungsmaßen und Schätzern, zur Unterschätzung der Standardfehler und zur Überschätzung von Teststatistiken [Göthlich 2007].

Bei der multiplen Imputation werden für jeden fehlenden Wert auf Basis statistischer Modelle mehrere Werte – gewöhnlich zwischen 3 und 10 – eingesetzt [Rubin 1987]. Somit werden die mit den Schätzwerten verbundenen Unsicherheiten berücksichtigt. Die allgemeine Vorgehensweise kann dabei in drei Schritte untergliedert werden: Imputation, Einzelanalyse und Integration [Decker et al. 2008]. Bei der Imputation werden die fehlenden Werte unter Berücksichtigung der Informationen aus dem Datensatz durch  $m$  Werte ersetzt. In der Einzelanalyse werden Standardverfahren zur Datenanalyse angewandt, deren Ergebnisse unter Berücksichtigung der Unsicherheiten zu dem Endergebnis integriert werden. Die multiplen Imputationsverfahren können eingeteilt werden in die Maximum-Likelihood-Modelle und Bayesscher Verfahren [Göthlich 2007]. Weiterführende Informationen liefern [Göthlich 2007] und [Bankhofer 1995].

### 3.2.3 Datenintegration

Die Datenintegration steht für das Zusammenführen von Daten unterschiedlicher Quellen [Cielebak et al. 2014]. Anhand eindeutig identifizierbarer Schlüssel sind die Daten zusammenzuführen. Liegen diese fehlerfrei vor, so kann ein einfacher Ist-Gleich-Abgleich angewendet werden. Anderenfalls bedarf es einer Ähnlichkeitssuche in den Datensätzen [Cielebak et al. 2014]. Grundlegend besteht der Datenintegrationsprozess aus fünf Schritten: Bereitstellung der zu verknüpfenden Datensätze, Standardisierung von Verknüpfungsschlüsseln, Berechnung der Ähnlichkeit potentieller Paare, Verknüpfung der ungeklärten Fälle und Zusammenführung der Datensätze [Schnell et al. 2005].

### 3.2.4 Datenhaltung

Für die Verwaltung großer Datenmengen werden in der Regel Datenbanksysteme eingesetzt. Wesentlicher Vorteil eines Datenbanksystems gegenüber einer isolierten Datenhaltung liegt in der Vermeidung der redundanten Speicherung einzelner Informationen, die bei einer Aktualisierung zu Inkonsistenzen führen kann oder – entsprechend des Umfangs – einen erheblichen Arbeits- und Organisationsaufwand bedürfen. Darüber hinaus bieten Datenbanksysteme die entscheidenden Vorteile einer Verknüpfung der sonst isolierten Daten sowie eine Kontrolle und Erzwingung zur Einhaltung von Integrations- und Konsistenzbedingungen [Kemper et al. 1999]. Die Grundlage für eine Datenbankentwicklung bildet die Definition der Entitäten und deren Beziehungen in einem Entity-Relationship-Modell.

## 3.3 Hochrechnungsverfahren

Ziel einer Stichprobenerhebung ist das Schließen von der Stichprobe auf die Grundgesamtheit. Die statistische Methodenlehre weist eine Vielzahl an Verfahren für diese Fragestellung auf. Bevor nachstehend die Methoden der Horvitz-Thompson-Schätzung und der Regressionsschätzung dargestellt werden, sollen die relevanten Begriffe der Punktschätzung und Intervallschätzung voneinander abgegrenzt werden.

Werden basierend auf dem Ergebnis einer Stichprobe die unbekanntes Populationsparameter auf einen Wert festgelegt, spricht man von einer Punktschätzung. Im Gegensatz dazu wird bei der Intervallschätzung ein Wertebereich angegeben, in dem die unbekanntes Populationsparameter mit einem Sicherheitsniveau  $1-\alpha$  mit dem Signifikanzniveau  $\alpha$  liegen. Dieser Wertebereich dient zudem als Indikator für die Genauigkeit der Schätzung [Bortz et al. 2006], [Bamberg et al. 2012], [Quatember 2014].

### 3.3.1 Horvitz-Thompson-Schätzung/freie Hochrechnung

Das einfachste Verfahren, um von einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit zu schließen, ist die freie Hochrechnung. Lediglich die Ausprägungen eines Erhebungsmerkmals sowie der Auswahlsatz fließen gemäß Gleichung (4) in die Schätzung ein [Schwaiger 1993]. Dieses Vorgehen kann sowohl bei einer einfachen Zufallsstichprobe als auch bei einer geschichteten Zufallsstichprobe angewandt werden. Nachstehend werden die die Punktschätzer und Konfidenzintervalle für die Intervallschätzung der Merkmalssumme, Anteilswerte und Mittelwerte aufgeführt.

#### Schätzer der Merkmalssumme

Die Merkmalssumme einer einfachen Stichprobe  $t_{SI}$  kann unter Verwendung des Horvitz-Thompson-Schätzers nach [Quatember 2014] gemäß Gleichung (4) berechnet werden.

$$t_{HT,SI} = N * \bar{y}_{SI} \quad (4)$$

$t_{HT,SI}$  Horvitz-Thompson-Schätzer der Merkmalssumme einer einfachen Zufallsauswahl  $SI$

$N$  Umfang der Grundgesamtheit

$\bar{y}_{SI}$  Mittelwert der interessierenden Variable  $y$  einer einfachen Zufallsauswahl

Unter Verwendung der geschätzten Merkmalssumme  $t_{SI}$  und der unverzerrten Varianz kann das approximative Konfidenzintervall  $CI(s)$  mit einem Sicherheitsniveau  $1-\alpha$  gemäß Gleichung (5) berechnet werden [Quatember 2014].

$$CI(s)_{SI} = N * \bar{y}_{SI} \pm u_{1-\alpha/2} \sqrt{N^2 * (1 - f) * \frac{S_{SI}^2}{n_{SI}}} \quad (5)$$

$CI(s)_{SI}$  Approximatives Konfidenzintervall für den Horvitz-Thompson-Schätzer der Merkmalssumme einer einfachen Zufallsauswahl  $SI$

$N$  Umfang der Grundgesamtheit

$\bar{y}_{SI}$  Mittelwert der interessierenden Variable  $y$  einer einfachen Zufallsauswahl

$u_{1-\alpha/2}$   $1 - \alpha/2$ -Fraktile der Standardnormalverteilung

$1 - f$  Endlichkeitskorrektur

$S_{SI}^2$  Stichprobenvarianz einer einfachen Zufallsauswahl

$n_{SI}$  Umfang der Stichprobe einer einfachen Zufallsauswahl

Bei einer geschichteten Stichprobe  $STSI$  wird die Merkmalssumme  $t_{STSI}$  gemäß Gleichung (6) zunächst je Schicht berechnet und nach [Quatember 2014] dann aufsummiert.

$$t_{HT,STSI} = \sum_{h=1}^H N_h * \bar{y}_{STSI_h} \quad (6)$$

$t_{HT,STSI}$	Horvitz-Thompson-Schätzer der Merkmalssumme einer geschichteten Zufallsauswahl <i>STSI</i>
$N_h$	Umfang der Grundgesamtheit in der h-ten Schicht
$\bar{y}_{STSI_h}$	Mittelwert der interessierenden Variable <i>y</i> in der h-ten Schicht einer geschichteten Zufallsauswahl <i>STSI</i>

Folglich ergibt sich Gleichung (7) zur Bestimmung des approximierten Konfidenzintervalls für eine geschichtete Stichprobe nach [Quatember 2014].

$$CI(s)_{STSI} = \sum_{h=1}^H N_h * \bar{y}_{STSI_h} \pm u_{1-\alpha/2} \sqrt{N_h^2 * (1 - f_h) * \frac{S_{STSI_h}^2}{n_{STSI_h}}} \quad (7)$$

$CI(s)_{STSI}$	Approximatives Konfidenzintervall für den Horvitz-Thompson-Schätzer der Merkmalssumme einer geschichteten Zufallsauswahl <i>STSI</i>
$N_h$	Umfang der Grundgesamtheit in der h-ten Schicht
$\bar{y}_{STSI_h}$	Mittelwert der interessierenden Variable <i>y</i> in der h-ten Schicht einer geschichteten Zufallsauswahl <i>STSI</i>
$u_{1-\alpha/2}$	$1 - \alpha/2$ -Fraktile der Standardnormalverteilung
$1 - f$	Endlichkeitskorrektur
$S_{STSI_h}^2$	Stichprobenvarianz einer geschichteten Zufallsauswahl <i>STSI</i>
$n_{STSI_h}$	Umfang der Stichprobe in der h-ten Schicht einer geschichteten Zufallsauswahl <i>STSI</i>

### Schätzer des Mittelwerts

Interessiert nicht nur die Merkmalssumme, sondern auch die Ausprägung eines Merkmals, können unter Verwendung von Horvitz-Thompson-Schätzern auch Mittelwerte der Grundgesamtheit basierend auf der Stichprobe geschätzt werden. Bei der einfachen Zufallsauswahl entspricht gemäß Gleichung (8) der unter Verwendung des Horvitz-Thompson-Schätzers geschätzte Mittelwert dem der Stichprobe [Quatember 2014].

$$\bar{y}_{HT,SI} = \bar{y}_{SI} \quad (8)$$

$\bar{y}_{HT,SI}$	Horvitz-Thompson-Schätzer des Mittelwerts einer einfachen Zufallsauswahl <i>SI</i>
$\bar{y}_{SI}$	Mittelwert der interessierenden Variable <i>y</i> einer einfachen Zufallsauswahl <i>SI</i>

Das approximative Konfidenzintervall für den Mittelwert kann unter Verwendung von Gleichung (9) bestimmt werden [Quatember 2014].

$$CI(s)_{SI} = \bar{y}_{SI} \pm u_{1-\alpha/2} \sqrt{N^2 * (1 - f) * \frac{S_{SI}^2}{n_{SI}}} \quad (9)$$

$CI(s)_{SI}$  Approximatives Konfidenzintervall für den Horvitz-Thompson-Schätzer des Mittelwertes einer einfachen Zufallsauswahl  $SI$

$\bar{y}_{SI}$  Mittelwert der interessierenden Variable  $y$  einer einfachen Zufallsauswahl  $SI$

$u_{1-\alpha/2}$   $1 - \alpha/2$ -Fraktile der Standardnormalverteilung

$N$  Umfang der Grundgesamtheit

$1 - f$  Endlichkeitsfaktor

$S_{SI}^2$  Stichprobenvarianz einer einfachen Zufallsauswahl  $SI$

$n_{SI}$  Umfang der Stichprobe einer einfachen Zufallsauswahl  $SI$

Auch bei einer geschichteten uneingeschränkten Zufallsauswahl  $STSI$  entspricht gemäß Gleichung (10) der geschätzte Mittelwert je Schicht dem Mittelwert der Stichprobe je Schicht [Quatember 2014].

$$\bar{y}_{HT,STSI} = \frac{1}{N} \sum_{h=1}^H N_h * \bar{y}_{STSI_h} \quad (10)$$

$\bar{y}_{HT,STSI}$  Horvitz-Thompson-Schätzer des Mittelwertes einer geschichteten Zufallsauswahl  $STSI$

$N$  Umfang der Grundgesamtheit

$N_h$  Umfang der Grundgesamtheit in der  $h$ -ten Schicht

$\bar{y}_{STSI_h}$  Mittelwert der interessierenden Variable  $y$  in der  $h$ -ten Schicht einer geschichteten Zufallsauswahl  $STSI$

Das approximative Konfidenzintervall für den Schätzer des Mittelwerts bei einer geschichteten uneingeschränkten Zufallsauswahl ist nach Gleichung (11) zu berechnen [Quatember 2014].

$$CI(s)_{STSI} = \frac{1}{N} * \sum_{h=1}^H N_h * \bar{y}_{STSI_h} \pm u_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{N^2} * \sum_{h=1}^H N_h^2 (1 - f_h) * \frac{S_{STSI_h}^2}{n_{STSI_h}}} \quad (11)$$

$CI(s)_{STSI}$  Approximatives Konfidenzintervall einer geschichteten uneingeschränkten Zufallsauswahl  $STSI$

$N$  Umfang der Grundgesamtheit

$N_h$  Umfang der Grundgesamtheit in der  $h$ -ten Schicht

$\bar{y}_{STSI_h}$  Mittelwert der interessierenden Variable  $y$  in der  $h$ -ten Schicht einer geschichteten uneingeschränkten Zufallsauswahl  $STSI$

$u_{1-\alpha/2}$   $1 - \alpha/2$ -Fraktile der Standardnormalverteilung

$1 - f$  Endlichkeitsfaktor

$S_{STSI_h}^2$  Stichprobenvarianz einer geschichteten uneingeschränkten Zufallsauswahl  $STSI$

$n_{STSI_h}$  Umfang der Stichprobe in der  $h$ -ten Schicht einer geschichteten uneingeschränkten Zufallsauswahl  $STSI$

### Schätzer von Anteilswerten

Für verschiedene Fragestellungen sind auch die Anteile der Merkmalsausprägungen von Interesse. Bei der uneingeschränkten Zufallsauswahl entsprechen laut Gleichung (12) die unter Verwendung des Horvitz-Thompson-Schätzer geschätzten Anteile denen der Stichprobe [Quatember 2014].

$$p_{HT,SI} = p_{SI} \quad (12)$$

$p_{HT,SI}$  Horvitz-Thompson-Schätzer des Anteils in einer uneingeschränkten Zufallsauswahl  $SI$   
 $p_{SI}$  Stichprobenanteil einer uneingeschränkten Zufallsauswahl  $SI$

Daraus lässt sich das approximative Konfidenzintervall des Anteilswertes unter Verwendung der unverzerrt geschätzten Varianz nach Gleichung (13) berechnen [Quatember 2014].

$$CI(s)_{SI} = p_{SI} \pm u_{1-\alpha/2} \sqrt{(1-f) * \frac{p_{SI} * (1-p_{SI})}{n_{SI} - 1}} \quad (13)$$

$CI(s)_{SI}$  Approximatives Konfidenzintervall für den  $f$  Horvitz-Thompson-Schätzer des Mittelwertes einer einfachen Zufallsauswahl  $SI$

$p_{SI}$  Stichprobenanteil einer einfachen Zufallsauswahl  $SI$

$u_{1-\alpha/2}$   $1 - \alpha/2$ -Fraktile der Standardnormalverteilung

$1 - f$  Endlichkeitsfaktor

$n_{SI}$  Umfang der Stichprobe einer einfachen Zufallsauswahl  $SI$

Auch bei der geschichteten Stichprobe entspricht gemäß Gleichung (14) die Schätzung der Anteilswerte je Schicht dem Anteil der Stichprobe.

$$p_{HT,STSI_h} = p_{STSI,S_h} \quad (14)$$

$p_{STSI_h}$  Horvitz-Thompson-Schätzer des Anteils in einer geschichteten u Zufallsauswahl  $STSI$

$p_{STSI,S_h}$  Stichprobenanteil einer geschichteten Zufallsauswahl  $STSI$

Unter Anwendung dieser Methoden können Merkmalssummen, Mittelwerte sowie Anteile für die Grundgesamtheit beziehungsweise für definierte Schichten der Grundgesamtheit basierend auf einer Stichprobe ermittelt werden.

### 3.3.2 Exkurs: Korrelationsanalyse

Für eine Vielzahl an Fragestellungen – darunter die Wahl eines mit dem Untersuchungsmerkmal im Zusammenhang stehenden Schichtungsmerkmal – ist es wichtig, den Einfluss eines unabhängigen Merkmals  $X$  (Regressor) auf ein abhängiges Merkmal  $Y$  (Regressand) zu quantifizieren. Dies ist das Ziel einer Korrelationsanalyse [Bourier 2014]. Abhängig von der Skalierung der Merkmale stehen die in Tabelle 3-1 aufgeführten Korrelationskoeffizienten zur Verfügung.

Tabelle 3-1 Korrelationskoeffizienten entsprechend dem Skalenniveau der Variablen nach [Kronthaler 2014]

Korrelationskoeffizient	Skalierung des Regressors (X)	Skalierung der Regressanden (Y)
Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson	metrisch	metrisch
Spearmanischer Rangkorrelationskoeffizient	metrisch/ordinal	ordinal
Punktbiseriale Korrelation	metrisch	nominal
Biseriale Rangkorrelation	ordinal	nominal
Kontingenzkoeffizient nach Pearson und Cramer Assoziationskoeffizient von Yule	nominal	nominal

Nachstehend werden mit dem Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson und dem Spearmanischen Rangkorrelationskoeffizient ausschließlich die für dieses Vorhaben interessierenden Verfahren für metrisch und ordinal skalierte Merkmale dargestellt. Sowohl der Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson  $r_{xy}$  als auch der Spearmanische Rangkorrelationskoeffizient  $r_{sp}$  weisen dank Normierung einen Wertebereich von  $-1 \leq r_{xy}$  bzw.  $r_{sp} \leq +1$  auf, wobei der Betrag für die Stärke und das Vorzeichen für die Richtung des linearen Zusammenhangs steht. Dabei weist ein positiver Koeffizient für einen gleichgerichteten und ein negativer Wert für einen entgegen gerichteten Zusammenhang der Merkmale  $X$  und  $Y$  hin [Burkschat et al. 2012]. In der Literatur wird die Korrelation im Wertebereich von  $r_{xy}$  bzw.  $r_{sp}$  kleiner 0,2 als schwach und größer 0,8 als stark bezeichnet [Bourier 2014].

### Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson

Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson  $r_{xy}$  erfolgt anhand Gleichung (15) [Burkschat et al. 2012].

$$r_{xy} = \frac{s_{XY}}{s_X \cdot s_Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (15)$$

$r_{xy}$	Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson
$n$	Umfang der Stichprobe
$s_{xy}$	Empirische Kovarianz
$s_x$	Standardabweichung des Merkmals $X$
$s_y$	Standardabweichung des Merkmals $Y$
$x_i$	Messwert des Merkmals $X$
$y_i$	Messwert des Merkmals $Y$
$\bar{x}$	Mittelwert des Merkmals $X$
$\bar{y}$	Mittelwert des Merkmals $Y$

Der Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson  $r_{xy}$  kann ausschließlich für die Bestimmung der Stärke linearer Zusammenhänge verwendet werden. Weisen die interessierenden Merkmale keinem linearen Zusammenhang auf, kann dieser mittels Transformation hergestellt werden [Kronthaler 2014].

### Spearmanischer Rangkorrelationskoeffizient

Für die Berechnung des Spearmanischen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  werden gemäß Gleichung (16) nicht die tatsächlichen Beobachtungswerte, sondern die Reihenfolge (=Ränge) der Beobachtungswerte verwendet [Burkschat et al. 2012].

$$r_{SP} = 1 - \frac{6}{n(n^2-1)} \sum_{i=1}^n (R(x_i) - R(y_i))^2 \quad (16)$$

$r_{SP}$	Spearmanischer Rangkorrelationskoeffizienten
$R(x_i)$	Empirische Varianz des Ranges des Merkmales $X$
$R(y_i)$	Empirische Varianz des Ranges des Merkmales $Y$
$n$	Umfang der Stichprobe

### Korrelation und Kausalität

Anhand der Korrelationsanalyse wird die formale Abhängigkeit zweier Merkmale bestimmt. Damit wird lediglich der Grundstein für die Analyse der Kausalität gelegt. Zusätzlich ist die sachbegründete Abhängigkeit zu überprüfen, um die Wirkungszusammenhänge richtig zu beschreiben und Scheinkorrelation auszuschließen. Dies erfordert theoretisches Wissen und zusätzliche Informationen zu dem inhaltlichen Hintergrund [Kuckartz et al. 2013].

### 3.3.3 Lineare Regression

Die lineare Regression bietet die Möglichkeit, den Erwartungswert für jeden Nicht-Merkmalsträger einer Grundgesamtheit zu berechnen, anhand einer unsicheren Zielfunktion unter Berücksichtigung einer oder mehrerer Regressoren  $X$  [Bättig 2015]. Da Zusammenhänge selten monokausale Phänomene sind, werden in der Regel mehrere Regressoren berücksichtigt (multiple Regression). Bei der Wahl der Regressoren liegt die Herausforderung darin, eine Unter- oder Überangepasstheit zu vermeiden. Grundsätzlich gilt, so wenig Regressoren wie nötig einzubinden [Bättig 2015].

#### Regressionsmodell

Ein Regressionsmodell beschreibt am Beispiel des linearen Zusammenhangs gemäß Gleichung (17) den Einfluss der Regressoren  $X$  auf den Regressanden  $Y$  [Hartung et al. 2009].

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \dots + \beta_{k-1} * X_{k-1} + \varepsilon_i \quad (17)$$

$Y_i$	Vorhersagewert des Regressands
$\beta_0$	Regressionskonstante
$\beta_1, \beta_2, \beta_{k-1}$	Regressionskoeffizient der Regressoren 1, 2 und $k - 1$
$X_1, X_2, X_{k-1}$	Beobachteten Werte der Regressoren 1, 2 und $k - 1$
$\varepsilon$	Störgröße

Das Regressionsmodell umfasst zum einen mit der Regressionskonstante  $\beta_0$  und den die Effekte der Regressanden abbildenden Regressionskoeffizienten  $\beta_{k-1}$  einen systematischen Teil. Zum anderen werden in dem unsystematischen Teil in Form der Störgröße  $\varepsilon$  die Einflüsse der Regressoren auf den Regressanden abgebildet, die nicht in das Regressionsmodell aufgenommen werden können. Grundsätzlich sind die Parameter des Regressionsmodells so zu bestimmen, dass die geschätzten Werte möglichst gering von den beobachteten Werten abweichen. Für diese Aufgabenstellung wird bei der



linearen Regression standardmäßig die Methode der kleinsten Quadrate angewandt [Wolf et al. 2010], [Ohr 2010].

### Rahmenbedingungen des Regressionsmodells

Ein Regressionsmodell ermöglicht anhand von Regressoren  $X$  einen unbekanntes Regressanden  $Y$  möglichst effizient und unverzerrt (=erwartungstreu) zu schätzen. Hierfür sind die nachstehenden Rahmenbedingungen einzuhalten [Ohr 2010], [Wolf et al. 2010] und [Fahrmeir et al. 2009].

- Metrisches Skalenniveau. Die Regressanden müssen zwingend ein metrisches Skalenniveau aufweisen, während bei den Regressoren auch dichotome Indikatorvariablen (Dummy-Variable) berücksichtigt werden können.
- Linearität der Regressionskoeffizienten. Die Grundvoraussetzung für erwartungstreue Schätzer ist ein linearer Zusammenhang zwischen den Regressionskoeffizienten. Doch auch nichtlineare Beziehungen können unter Verwendung der Variablentransformation oder Polynomen auf ein einfaches lineares Modell zurückgeführt werden. Für die Diagnose der funktionalen Form werden Residuen-Plots angefertigt und bei Bedarf Linearitätstests durchgeführt.
- Multikollinearität. Hinter dem Begriff Multikollinearität verbirgt sich die lineare Abhängigkeit zwischen den Regressoren. Diese wirkt sich negativ auf die Präzision der Schätzer aus und ist daher zu vermeiden. Aufschluss über das Vorliegen von Multikollinearität bietet der Toleranzindex. Dieser beschreibt den Anteil der Varianz eines Regressors, der nicht von den übrigen Regressoren erklärt wird.
- Homoskedastizität. Ein Synonym für die Varianzhomogenität ist die Homoskedastizität und stellt die Forderung einer gleichmäßigen Streuung der Streuungsgrößen dar. Wird diese Voraussetzung verletzt, sind unverzerrte und ineffiziente Schätzer, die sich negativ auf die Konfidenzintervalle auswirken, die Folge. Homoskedastizität kann graphisch mit Hilfe eines Streudiagramms der standardisierten oder studentisierten Residuen diagnostiziert werden. Dabei sollte kein Muster der Streuung erkennbar sein.
- Normalverteilung. Die Annahme der Normalverteilung ist lediglich für kleine Fallzahlen von Relevanz. Dank des zentralen Grenzwertsatzes gleichen wachsende Stichprobengrößen die Störungen durch Abweichungen von der Normalverteilung aus. Gemäß [Bühner et al. 2009] gilt dies ab einem Stichprobenumfang von 100 und nach [Backhaus et al. 2008] bereits ab 40. Die Normalverteilung kann mithilfe eines P-P-Plots (Probability-Probability-Plot) analysiert werden.

Grundlegend sind diese Annahmen bei den generierten Daten mal mehr mal weniger gut erfüllt, so dass die generierten Schätzer der Regressionskoeffizienten und/oder Standardfehler immer vom Ideal des effizienten, unverzerrten Schätzers abweichen.

### Güte des Regressionsmodells

Letztendlich stellt sich die Frage nach der Güte des aufgestellten Regressionsmodells, die von der Diskrepanz zwischen erwarteten und beobachteten Wert abhängt. Als Maßzahl kann das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  verwendet werden, dem Verhältnis aus der erklärten Streuung zur gesamten Streuung. Bei der multiplen linearen Regression ist das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  als Maßzahl umstritten, da unabhängig des Einflusses auf das Modell die Hinzunahme weiterer Einflussfaktoren zwingend zu

einer Erhöhung von  $R^2$  führt. Dieser Aspekt wird mit dem korrigierten Bestimmtheitsmaß  $R_{korr.}^2$  nach Gleichung (18) umgangen, da die Maßzahl sinkt, sofern die aufgenommene Variable das Modell nicht verbessert.

$$R_{korr.}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} (1 - R^2) \quad \text{mit} \quad R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2} \quad (18)$$

$R_{korr.}^2$	Korrigiertes Bestimmtheitsmaß
$n$	Umfang der Stichprobe
$k$	Störgröße
$R^2$	Bestimmtheitsmaß
$\hat{y}$	Beobachteter Wert des Merkmals $Y$
$\bar{y}$	Mittelwert des Merkmals $Y$

Grundlegend ist die Modellgüte nicht ausschließlich anhand statistischer Maßzahlen zu bewerten. Vielmehr ist das Ergebnis im Kontext der untersuchten Fragestellungen und kausalen Zusammenhängen einzuordnen. [Kockläuner 1988] folgend, gibt es keine Grenze des Bestimmtheitsmaßes für eine sinnvolle regressionsanalytische Modellierung.

### 3.4 Brennstoffeinsatz

Der Brennstoffeinsatz ist ein Synonym für den Endenergieverbrauch und entspricht gemäß [AGEB 2015] der unmittelbar für die Erzeugung von Nutzenergie eingesetzte Energie.

#### Ansatz 1 – Durchschnittlicher Brennstoffeinsatz

Der Brennstoffeinsatz bzw. Endenergieverbrauch  $E_{Vg}$  berechnet sich gemäß Gleichung (19) aus der verbrauchten Menge  $B_{Vg}$  und dem unteren Heizwert  $H_i$  des Energieträgers [VDI 3807-1: 2007-03].

$$E_{Vg} = B_{Vg} * H_i \quad (19)$$

$E_{Vg}$	Endenergieverbrauch [kWh], basierend auf der gemessenen verbrauchten Menge des eingesetzten Energieträgers
$B_{Vg}$	Gemessene verbrauchte Menge des eingesetzten Energieträgers [Mengeinheit]
$H_i$	Unterer Heizwert des eingesetzten Energieträgers [kWh/Mengeinheit]

#### Ansatz 2 – Durchschnittliche Leistung und Vollbenutzungsstunden

Alternativ zur gemessenen verbrauchten Menge des Energieträgers  $B_{Vg}$  sind für die Bestimmung des Endenergieverbrauchs einer Anlage auch die Verfahren zur Auslegung von Heizungsanlagen in [DIN EN 12831-2] von Interesse. Dabei wird die in einer Zeiteinheit zugeführte Menge eines Energieträgers  $B_{g,in,j}$  verwendet, um auf die Feuerungsleistung  $\phi_{g,in,j}$  zu schließen, siehe Gleichung (20).

$$\phi_{g,in,j} = \frac{E_j}{t_j} = \frac{B_{g,in,j} * H_i}{t_j} \quad (20)$$

$\phi_{g,in,j}$	Errechnete, mittlere Feuerungsleistung in der Zeiteinheit $j$ [kW]
$E_j$	Endenergieverbrauch in der Zeiteinheit $j$ [kWh]
$t_j$	Zeiteinheit der Messung [h]
$B_{g,in,j}$	Menge des zugeführten Energieträgers in der Zeiteinheit $j$ [Mengeinheit]
$H_i$	Unterer Heizwert des Energieträgers [kWh/Mengeinheit]

### 3.5 Zwischenfazit

Basierend auf den Einblick in die anerkannten Methoden können folgende Rückschlüsse für die Ausgestaltung der Datenerhebungen sowie Datenaufbereitung und -haltung und den darauf aufbauenden Hochrechnungsverfahren und Methoden zur Bestimmung des Brennstoffeinsatzes gezogen werden:

- **Datenerhebung.** Ausgehend von der Vielzahl an Möglichkeiten Datenerhebungen zu konzipieren, bedarf die Fragestellung dieser Arbeit nach dem Bestand und Brennstoffeinsatz von Kleinfeuerungsanlagen einer Querschnittserhebung. Mit dem Anspruch repräsentative Aussagen auf der konzipierten Erhebung zu treffen, ist die Befragung auf quantitativen Untersuchungen aufzubauen. Hierfür stehen Erhebungstechniken zur Verfügung, die über den klassischen Fragebogen hinausgehen. Während die Erhebung zum Brennstoffeinsatz auf einen Online-Fragebogen hinausläuft, ist für die Erhebung zum Anlagenbestand die Implementierung einer Online-Schnittstelle zu prüfen.
- **Datenaufbereitung und Datenhaltung.** Die Verwendung von Datenbanken bieten für umfangreiche Datensammlungen große Vorteile und ermöglichen zugleich erste Auswertungsoptionen. Durch das Zusammenführen verschiedenster Datenquellen in der Datenbank ist ein Schwerpunkt auf die Datenaufbereitung zu legen. In diesem Kontext ist die Vereinheitlichung von Begriffen (z. B. Brennstoffsortimenten), aber auch die Bereinigung fehlerhafter/inkonsistenter Daten (z. B. Prüfung von Wertebereichen (Baujahr) und Wertepaare (Technologie und Leistung)) zu nennen.
- **Hochrechnungsverfahren.** Indem eine Vollerhebung für diese Fragestellung nicht realisierbar ist, ist ausgehend von der Stichprobe auf die Gesamtheit zu schließen. Zu diesem Zweck werden sowohl Horvitz-Thompson-Schätzer als auch die multiple lineare Regression angewendet und deren Ergebnisse vergleichend gegenübergestellt.
- **Brennstoffeinsatz.** Für die Ermittlung stehen zwei Methoden zur Verfügung, die an den Bilanzraum Kleinfeuerungsanlagen anzupassen sind. Es ist jedoch davon auszugehen, dass seitens der Befragten der durchschnittliche Brennstoffeinsatz leichter zu erheben ist, als typische Vollbenutzungsstunden.

Im nachstehenden Kapitel wird ausführlich die Anwendung der beschriebenen Methoden auf die Fragestellung dargestellt.

## 4 Methodische Vorgehensweise

Gegenstand dieses Kapitels ist die Übertragung des methodischen Hintergrundes aus Kapitel 3 auf die eingangs skizzierte Problemstellung dieser Arbeit. In Abbildung 4-1 ist das Zusammenwirken der einzelnen Arbeitsschritte grundlegend dargestellt und nachstehend im Detail betrachtet.

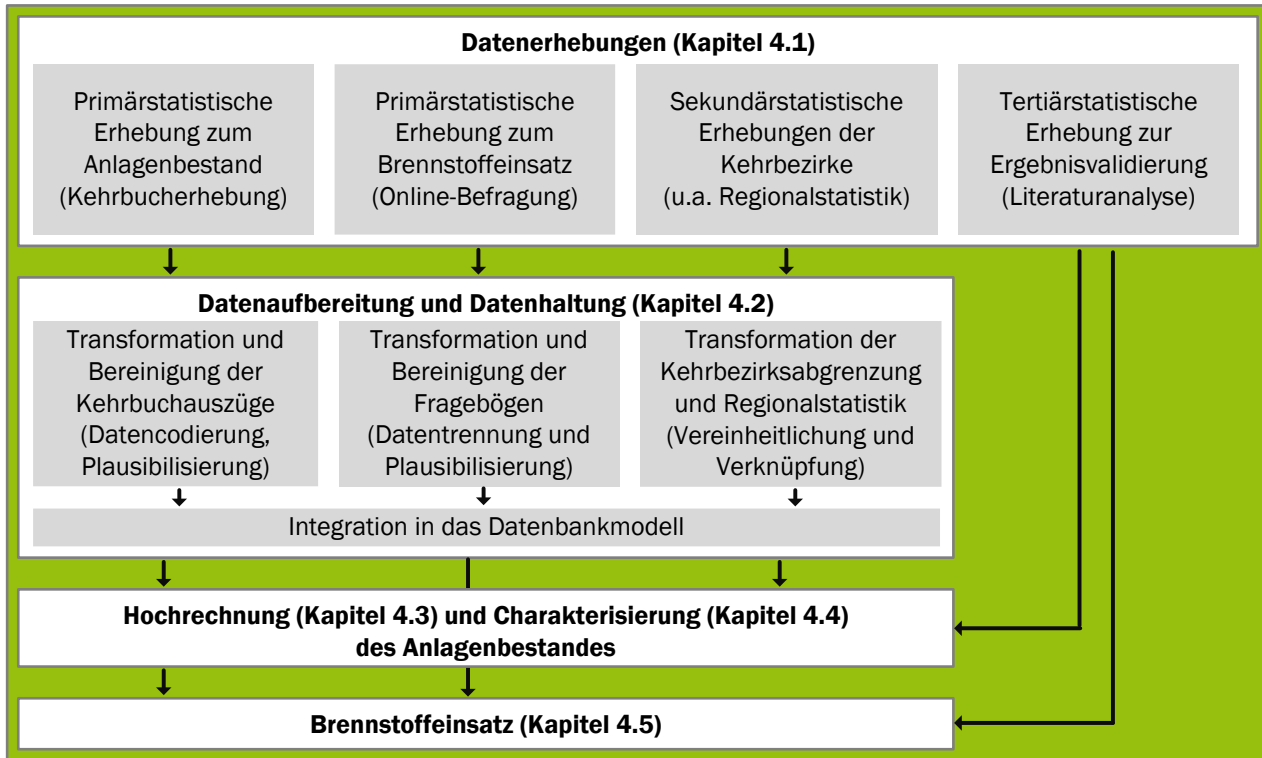


Abbildung 4-1 Zusammenwirken der Arbeitsschritte in der methodischen Vorgehensweise [eigene Darstellung]

Die Datenerhebung umfasst vier Teilbereiche, auf deren Konzeption in Kapitel 4.1 eingegangen wird. In Kapitel 4.2 werden die umfangreichen Aufbereitungsschritte der erhobenen Daten sowie der schematische Aufbau des Datenbankmodells zur Datenhaltung beschrieben. Aufbauend auf den Daten der primärstatistischen Erhebung zum Anlagenbestand und den sekundärstatistischen Erhebungen zu den Kehrbezirken wird der Bestand an Kleinf Feuerungsanlagen hochgerechnet (Kapitel 4.3) und charakterisiert (Kapitel 4.4). Abschließend erfolgt die Ermittlung des Brennstoffeinsatzes (Kapitel 4.5) als Resultat des hochgerechneten Anlagenbestandes und der primärstatistischen Erhebung zum Brennstoffeinsatz.

### 4.1 Datenerhebungen

Für die Bearbeitung der Zielstellung werden eine Vielzahl an Daten benötigt. Während die Daten zu den Charakteristika der Kehrbezirke und zur Validierung verfügbar sind (sekundär- und tertiärstatistische Erhebungen), bedarf es der Konzeption neuer (primärstatistischer) Erhebungen zum Anlagenbestand und Brennstoffeinsatz in Zusammenarbeit mit dem Schornsteinfegerhandwerk.

### 4.1.1 Primärstatistische Erhebung zum Anlagenbestand

Nachstehend werden die Methoden und Verfahren der primärstatistischen Erhebung zum Anlagenbestand im Detail beschrieben.

#### Methoden der Datenerhebung

Mit dem Ziel den Anlagenbestand zu einem definierten Zeitpunkt abzubilden, ist diese primärstatistische Erhebung als Querschnitts-Erhebung konzipiert. Die Durchführung der Erhebung sowohl Anfang 2013 (für das Bezugsjahr 2012) als auch Anfang 2015 (für das Bezugsjahr 2014) dient ausschließlich der Erhöhung des Teilnehmerkreises und dem Ergebnisvergleich und nicht dem Aufzeigen von Trends.

Zentraler Aspekt bei der Konzeption der Datenerhebung zum Anlagenbestand ist ein geringer zeitlicher und somit monetärer Aufwand für den einzelnen Teilnehmer. Dieser Anforderung kann eine automatisierte Übermittlung bereits elektronisch vorliegender Daten gerecht werden. Neben dem geringen zeitlichen Aufwand bietet diese Vorgehensweise zudem den positiven Effekt, manuelle Fehler bei der Datenübertragung und -eingabe zu vermeiden. Gemäß den Ausführungen in Kapitel 2.3 beinhalten die elektronisch zu führenden Kkehrbücher der bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger alle relevanten Angaben zu den im Kkehrbezirk vorhandenen Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV.

Daher wird eine modifizierte Form der Online-Befragung genutzt. Eigens für dieses Vorhaben programmierten die Hersteller der Kkehrbuchsoftware vordefinierte Schnittstellen und integrierten diese in die Schornsteinfegersoftware unter der Kategorie Statistik. Nach Aktivierung durch den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger liest die Schnittstelle die definierten Daten in Form einer Textdatei (.csv) aus, die per Mail übermittelt wird.

Die auszulesenden Daten bestehen gemäß Abbildung 4-2 aus den zwei Bereichen Biomasseanlagen und fossilbefeuerte Anlagen. Für jede im Kkehrbezirk verortete und im Kkehrbuch eingetragene Biomasseanlage werden die Parameter Brennstoff, Technologie, Nennwärmeleistung (NWL), Inbetriebnahmejahr sowie Kkehrhäufigkeit ausgelesen. Mit dem Ziel, die Bedeutung von Biomasseanlagen im Kkehrbezirk zu quantifizieren, wird zusätzlich die Anzahl der fossilbefeuerten Anlagen ausgelesen. Dabei wird zwischen der Art des Brennstoffes einerseits und den Einzelraumfeuerungen sowie Zentralfeuerstätten (inklusive fünf Leistungsklassen) differenziert. Sensible standort- bzw. kundenbasierten Daten werden aus Datenschutzgründen nicht ausgelesen und übermittelt.

Biomasseanlagen – Angaben je Anlagen zu						Fossilbefeuerte Anlagen – Anlagenanzahl nach						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Art des Brennstoffes</li> <li>• Art der Technologie</li> <li>• Nennwärmeleistung (NWL)</li> <li>• Inbetriebnahmejahr</li> <li>• Kkehrhäufigkeit (Anzahl Kkehrung)</li> </ul>						<ul style="list-style-type: none"> <li>• Art des Brennstoffes</li> <li>• Art der Technologie (Einzelraumfeuerung, Zentralfeuerstätten (5 Leistungsklassen))</li> </ul>						
Art der Feuerstätte	Art des Brennstoffes	NWL	Baujahr	Abgasreinigung	Anzahl Kkehrungen	Art des Brennstoffes	Einzelraumfeuerung	Zentralfeuerungen				
								<50 kW	50-100	>100-150	>150-500	>500-1.000
KO	naturbelassenes Holz	4	2001	Nein	2	1 Steinkohle	3	0	0	0	0	0
KE	naturbelassenes Holz	7	2009	Nein	2	2 Braunkohle	187	2	0	0	0	0
HK	Holzpellets	190	2012	Nein	2	9 Heizöl	10	14	10	8	4	2
						10 Gase	46	2778	170	36	56	4

Abbildung 4-2 Struktur der Erhebung zum Anlagenbestand [eigene Darstellung]

Bereits in die Entwicklungsphase des Erhebungsinstruments war ein Vertreter des „Bundesverbands des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV)“ eingebunden, um seine Expertise hinsichtlich der Funktionsweise aufzunehmen. Ergänzend dazu wurde ein Pretest mit 1 % der Kehrbezirke aus 15 Bundesländern durchgeführt. Dabei konnte die Funktionstüchtigkeit und Handhabbarkeit der Schnittstelle überprüft, aber auch Kommunikationslücken und daraus entstehende Vorbehalte der Teilnehmer gegenüber der Datenerhebung aufgedeckt werden. Letztgenannte betreffen vor allem das Thema Datenschutz, dass daraufhin in dem Informationsmaterial hervorgehoben wurde.

### Verfahren der Datenerhebung

Die Datenerhebung wurde vom „Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV)“ aufgrund seines Interesses an den Ergebnissen für die Verbandsarbeit unterstützt. Wenngleich über die verbandsinternen Kommunikationswege alle im Verband organisierten und somit 97 % aller bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger in Deutschland [ZIV 2015] mit dem Anliegen an der Datenerhebung teilzunehmen, angeschrieben wurden, handelt es sich nicht um eine Vollerhebung.

Den Ausführungen in Kapitel 3.1.2 folgend, bildet die sachlich, räumliche und zeitliche Abgrenzung der Einheiten die Grundlage für Stichprobenerhebung. Die Begriffe der Grundgesamtheit, Auswahl- und Untersuchungseinheit sind für die Erhebung zum Anlagenbestand folgendermaßen definiert:

- Grundgesamtheit. Die Grundgesamtheit entspricht dem Bestand der biomassebasierten Kleinf Feuerungsanlagen zur reinen Wärmeerzeugung im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Deutschland zu den Zeitpunkten 31.12.2011 für den Pretest sowie 31.12.2012 und 31.12.2014 für die Erhebungen.
- Untersuchungseinheit. Folglich entspricht die Untersuchungseinheit den im Kkehrbuch enthaltenen biomassebasierten Kleinf Feuerungsanlagen der Teilnehmer an der Datenerhebung.
- Auswahlinheit. Aus organisatorischen Gründen werden die Daten bei den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfegern erhoben, deren Kkehrbücher die Informationen zu den Untersuchungseinheiten (=den biomassebasierten Kleinf Feuerungsanlagen) enthalten. Somit weichen Auswahl- und Untersuchungseinheit bei den konzipierten Erhebungen voneinander ab.

### 4.1.2 Primärstatistische Erhebung zum Brennstoffeinsatz

Im Kkehrbuch der Bezirksschornsteinfeger sind keine Angaben zur eingesetzten Brennstoffmenge in einem Kalenderjahr enthalten. Lediglich die im Kkehrbuch eingetragene Kkehrhäufigkeit liefert bei den Einzelraumfeuerungen gemäß Anlage 1 KÜO ein Indiz für die Regelmäßigkeit der Benutzung und lässt somit möglicherweise Rückschlüsse auf den Brennstoffeinsatz zu. Daher bedarf es einer zusätzlichen Erhebung zum Brennstoffeinsatz, die nachstehend im Detail erläutert wird.

### Methoden der Datenerhebung

Auch die Erhebung zum Brennstoffeinsatz ist als Querschnitts-Erhebung konzipiert. Abweichend zu den in Kapitel 2.2 aufgeführten Datenerhebungen und Studien wird keine neue Betreiberbefragung angestrebt, sondern der bestehende Kontakt zu den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfegern genutzt, um eine qualitative Befragung durchzuführen.

Für die Befragung wird ein adaptives Umfragedesign entwickelt, so dass die Teilnehmer zwischen zwei Befragungsmodi – Online-Befragung oder leitfadengestütztes Telefoninterview – wählen können. Per Mail erhalten die potentiellen Teilnehmer den Aufruf zur Teilnahme an der Erhebung inklusive dem Link zu der Online-Befragung. Alternativ dazu können Sie direkt anrufen oder einen Termin für das Interview vereinbaren. Fällt die Wahl des Teilnehmers auf ein Telefoninterview, wird dem Teilnehmer zur Vorbereitung vorab eine kurze Übersicht der Fragen zugesandt. Einen Überblick über die Online-Befragung liefert Abbildung 4-3.

<p><b>Brennstoffeinsatz in Einzelraumfeuerungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• je EF-Technologie (Badeofen, Grundofen, Heizherd, Herd, Kamineinsatz/Kaminkassette, Kaminofen, Offener Kamin, Warmluftofen)</li> <li>• je Kkehrhäufigkeit (1,2,3,4)</li> </ul>	<p><b>Brennstoffeinsatz in Zentralfeuerstätten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• je Brennstoffsoriment (Scheitholz, Hackschnitzel, Sägeprodukte, Pellets, Restholz, NawaRo)</li> <li>• je Leistungsklasse (&lt;15 kW, 15≤50 kW, &gt;50≤100 kW, &gt;100≤150 kW, &gt;150≤500 kW, &gt;500 kW)</li> </ul>	<p><b>Brennstoffeinsatz in Sonderfeuerstätten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• je SF-Technologie (Backofen, Brennofen, Kochkessel, Lufterhitzer, Räucheranlage, Waschkessel, Sonstige)</li> <li>• je Kkehrhäufigkeit (1,2,3,4)</li> </ul>
<p><b>Einsatzbereich der Technologien – Anteil des Sektors Haushalte am Anlagenbestand</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einzelraumfeuerungen – je EF-Technologie</li> <li>• Zentralfeuerstätten – je Brennstoffsoriment und 3 Leistungsklassen (&lt;50 kW, 50≤100 kW, &gt;100 kW)</li> <li>• Sonderfeuerstätten – je SF-Technologie</li> </ul>		

Abbildung 4-3 Struktur der Erhebung zum Brennstoffeinsatz [eigene Darstellung]

Kern der Befragung ist die Schätzung des durchschnittlichen Brennstoffeinsatzes je vordefinierter Anlagengruppe, wobei Durchschnittswerte sowie Spannweiten angegeben werden können. Bei den Einzelraumfeuerungen sowie Sonderfeuerstätten unterscheiden sich die Anlagengruppen nach Technologie und Kkehrhäufigkeit und bei den Zentralfeuerstätten zwischen dem eingesetzten Brennstoffsoriment und Leistungsklassen (siehe Abbildung 4-3). Um den Teilnehmern die Dateneingabe zu erleichtern, können mit der Option „Brennstoffeinsatz vergleichbar mit“ Technologiegruppen bzw. Brennstoffsorimente ausgewählt werden, deren Brennstoffeinsatz vergleichbar eingeschätzt wird. Zudem wird um eine Abschätzung zum Anteil des Sektors private Haushalte am Bestand der verschiedenen Anlagengruppen gebeten.

In Anhang A 1.1 ist die Online-Erhebung, die gleichzeitig als Leitfaden für die Telefoninterviews genutzt wird, im Detail dargestellt. Umgesetzt wurde diese mit der Software LimeSurvey.

### Verfahren der Datenerhebung

Dem Aufwand geschuldet ist von einer geringeren Bereitschaft zur Teilnahme an der Erhebung zum Brennstoffeinsatz gegenüber der weitestgehend automatisierten Erhebung zum Anlagenbestand auszugehen. Folglich werden ausschließlich bevollmächtigte Bezirksschornsteinfeger angeschrieben, die bereits an den Erhebungen 2012 und 2014 teilgenommen und besonderes Interesse und Bereitschaft gezeigt haben. Zusätzlich wurde bei der Teilnehmerauswahl darauf geachtet, dass alle Regionen (Zusammenfassung von Bundesländern) und regionale Strukturen (Stadt/Land) berücksichtigt werden.

Somit ist die Datenerhebung als Stichprobenverfahren konzipiert, deren Grundgesamtheit Auswahl- und Untersuchungseinheit folgendermaßen definiert ist:



- Grundgesamtheit. Die Grundgesamtheit entspricht dem Brennstoffeinsatz der biomassebasierten Kleinf Feuerungsanlagen zur reinen Wärmeerzeugung im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Deutschland für die Heizperiode 2016/2017 (Durchführung der Erhebung im Juni 2017).
- Untersuchungs- und Auswahlinheit. Die Untersuchungseinheit ist der durchschnittliche Brennstoffeinsatz je Anlagengruppe in einem Kehrbezirk und nicht der Brennstoffeinsatz einer einzelnen Anlage. Indem die Daten bei den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfegern auf Ebene der Kehrbezirke erhoben werden, sind die Untersuchungs- und Auswahlinheit deckungsgleich.

### 4.1.3 Sekundärstatistische Erhebungen der Kehrbezirke

Neben den beiden primärstatistischen Erhebungen sind eine Vielzahl sekundärstatistische Erhebungen für die organisatorische, räumliche und strukturelle Beschreibung der Kehrbezirke notwendig.

- Organisatorische Beschreibung der Kehrbezirke. Um die Teilnehmer und deren Daten eindeutig einem Kehrbezirk zuzuordnen, sind die Kehrbezirke und Namen aller bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger zu ermitteln. Diese Informationen werden per Online-Abfrage über die zuständigen Behörden auf den Ebenen Bundesländer, Regierungspräsidien oder Landkreise/kreisfreien Städte erhoben. Lückenhafte Angaben werden über die Portale der Landesinnungen geschlossen
- Räumliche Beschreibung der Kehrbezirke. Hierzu zählt die räumliche Abgrenzung der Kehrbezirke, die nicht zwingend mit den Gemeindegrenzen übereinstimmen. Diese Informationen werden analog der organisatorischen Beschreibung der Kehrbezirke erhoben.
- Strukturelle Beschreibung der Kehrbezirke. Für die Beschreibung der Kehrbezirke werden Parameter ausgewählt, die auf Gemeindeebene verfügbar sind und den Bestand an Kleinf Feuerungsanlagen eventuell beeinflussen. Die Statistischen Ämter des Bundes und der Länder stellen auf der Plattform [www.regionalstatistik.de](http://www.regionalstatistik.de) (nachstehend Regionalstatistik genannt) eine Vielzahl an Parametern bereit, wie z. B. Einwohner, Flächennutzung, Gebäudestruktur, Steuereinnahmen. Ergänzend dazu liefert die dritte Bundeswaldinventur die Anteile des Privatwaldes an den Waldflächen auf Bundeslandesebene [Thünen-Institut n.d.]. Anhand dieser Parameter können Verhältniszahlen zur strukturellen Beschreibung der Kehrbezirke (nachstehend regionale Parameter genannt) gebildet werden. In Tabelle 4-1 sind die regionalen Parameter mit denkbaren Einfluss auf den Anlagenbestand gelistet.

Tabelle 4-1 Regionale Parameter zur strukturellen Beschreibung der Kehrbezirke

Kategorie	Regionale Parameter
Regionalstruktur	EW, EW/Fläche, Geb/Fläche, EZFH/Fläche
Gebäudestruktur	EZFH, Geb, EZFH/Geb, EW/Geb
Flächenstruktur	Fläche, Wald, PriWald, Wald/Fläche, PriWald/Fläche, PriWald/Wald
Ökonomiestruktur	Steuer, Steuer/EW, Steuer/Geb
Bedeutung Wald	Wald/Geb, PriWald/Geb

*EW - Einwohner, Fläche - Gebietsfläche, Geb - Gebäude, EZFH - Ein- und Zweifamilienhäuser, Wald - Waldfläche, PriWald - Privatwaldfläche, Steuer - Grund- und Gewerbesteuer*

Inwiefern diese regionalen Parameter tatsächlich in einem Zusammenhang mit dem Anlagenbestand in den Kehrbezirken steht, wird im Zuge einer Korrelationsanalyse untersucht.



## 4.1.4 Tertiärstatistische Erhebungen zur Ergebnisvalidierung

Zu den tertiärstatistischen Erhebungen zählen die in Kapitel 2.2 aufgeführten Erhebungen zu Kleinf Feuerungsanlagen. Deren Ergebnisse werden für die Validierung der Hochrechnungsergebnisse herangezogen.

## 4.2 Datenaufbereitung und Datenhaltung

Anschließend an die Datenerhebungen sind diese aufzubereiten. Nachstehend werden für die beiden primärstatistischen Erhebungen (Anlagenbestand und Brennstoffeinsatz) die Schritte der Datentransformation, Datenbereinigung und Datenintegration dargelegt. Abschließend wird das Datenbankmodell vorgestellt, welches die Datenhaltung der primär- und sekundärstatistisch erhobenen Daten umfasst.

### 4.2.1 Primärstatistische Erhebung zum Anlagenbestand

Da die bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger verschiedene Software zur Kkehrbuchführung nutzen, besteht die Herausforderung der Datenbereinigung in der Vereinheitlichung der Variablenlabels im Zuge der Datentransformation. Nachstehend werden zudem die erforderlichen Arbeitsschritte der Datenbereinigung und -integration betrachtet.

#### Datentransformation

Das Hauptaugenmerk der Datentransformation liegt in der Vereinheitlichung der Variablen- und Wertelabels der Brennstoffe und Technologien. Zurückzuführen ist dies auf die sechs verschiedenen Softwareanbieter für die Kkehrbuchführung. Die vereinheitlichte Einteilung der Brennstoffe erfolgt in Anlehnung an die in § 3 1. BImSchV definierten, biogenen Brennstoffe Scheitholz, Hackschnitzel, Sägeprodukte, Pellets, Restholz und Stroh/NawaRo (siehe Tabelle A- 1), wobei zwei Softwareanbieter nicht zwischen Scheitholz und Hackschnitzel unterscheiden.

Bei den Technologien besteht neben der abweichenden Bezeichnung die Herausforderung darin, den unterschiedlichen Detaillierungsgrad aller Programme angemessen zu vereinheitlichen. Das mit dem Schornsteinfegerhandwerk abgestimmte Resultat ist in Tabelle 4-2 zusammengefasst.

Tabelle 4-2 Einteilung der Technologiegruppen und -arten von Kleinf Feuerungsanlagen

Technologiegruppe	Technologiearten
Einzelraumfeuerung	Badeofen, Grundofen, Heizherd, Herd, Kamineinsatz/Kaminkassette, Kaminofen, Offener Kamin, Warmluftofen, Einzelfeuerstätte
Zentralfeuerstätte	Heizkessel
Sonderfeuerstätte	Backofen, Brennofen, Kochkessel, Lufterhitzer, Räucheranlage, Schmiedefeuer; Waschkessel, Sonstige
keine Zuordnung	keine Zuordnung

Ergänzend zu Tabelle 4-2 sind in dem Codierungsplan im Anhang die Variablen- und Wertelabels für die Brennstoffe (Tabelle A- 1) und Technologien (Tabelle A- 2) definiert. Diese weichen zwischen den sechs Softwareanbietern erheblich voneinander ab.

Zusätzlich beinhaltet die Datentransformation die Vereinheitlichung der Skalen. Dies ist ausschließlich bei den Leistungsangaben notwendig, da in den Kkehrbüchern die Leistung einzelner Anlagen in Kilokalorie anstelle Kilowatt eingetragen und übermittelt wurden.

### Datenbereinigung

Im Zuge der Datenbereinigung werden fehlerhafte und inkonsistente Daten mittels definierter Gültigkeitsbereiche sowie Plausibilitätsregeln identifiziert. Diese sind in Tabelle A- 3 zusammengefasst. Für jeden Parameter werden Gültigkeitsbereiche (z. B. Inbetriebnahmejahr  $1850 \leq 2014$  für die Erhebung mit dem Bezugsjahr 2014) definiert. Zusätzlich werden für die Kombination von Technologie und Brennstoffsortiment Plausibilitätsregeln aufgestellt und eine maximale Leistung je Technologie definiert. Bei Verletzung der Gültigkeitsbereiche und Plausibilitätsregeln werden die Datensätze als „zu prüfen“ markiert und näher analysiert. Lediglich offensichtlich fehlerhafte Daten werden korrigiert (z. B. Inbetriebnahmejahr 5012 in 2012) oder gelöscht (z. B. Inbetriebnahmejahr „alt“). Liegen nicht offensichtlich fehlerhafte Daten vor, wird bei den Teilnehmern nachgefragt. Diese Vorgehensweise zeigt, dass Datenpaare außerhalb des Gültigkeitsbereiches nicht zwingend einen Eingabefehler implizieren, sondern beispielsweise auf Sonderanfertigungen in besonderen Einsatzbereichen der Anlagen (z. B. Öfen in Werkstätten der Holzbearbeitung) zurückgeführt werden können.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die beschriebenen Schritte der Codierung und Plausibilitätsprüfung in einem Excel-Tool weitestgehend automatisiert durchgeführt. Für jeden Softwareanbieter wurde ein gesondertes Tool erstellt. Zu begründen ist dies mit der zwischen den Softwareanbietern unterschiedlichen Bezeichnungen der Brennstoffe und Technologien einerseits. Andererseits weicht die Anordnung der ausgelesenen Daten zwischen den Softwareanbietern ab. In Abbildung 4-4 sind die vier Bereiche des Excel-Tools und deren Zusammenspiel dargestellt.

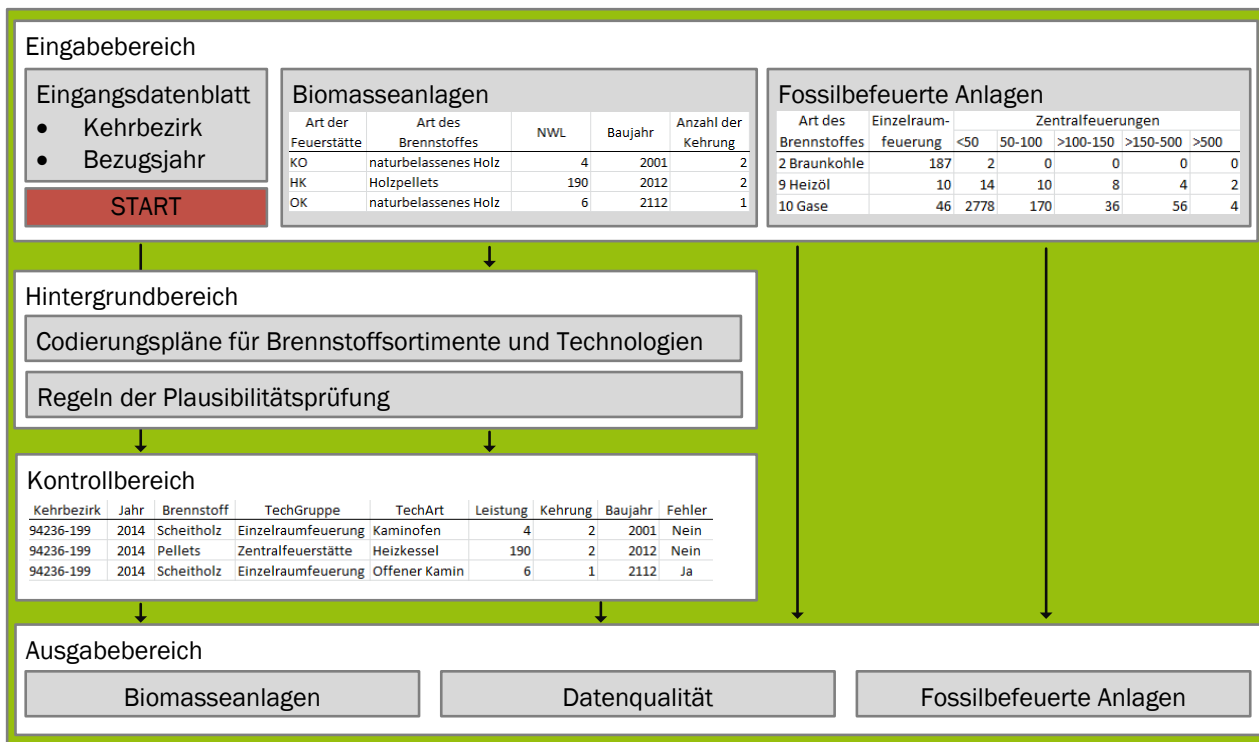


Abbildung 4-4 Aufbau des Tools zur automatisierten Codierung und Plausibilitätsprüfung der erhobenen Daten zum Anlagenbestand [eigene Darstellung]

Nachstehend werden die vier Bereiche im Detail beschrieben:

- **Eingabebereich.** Der Eingabebereich besteht aus einem Eingangsdatenblatt, in dem der Kehrbezirk und das Bezugsjahr eingetragen werden. Zudem sind in die beiden Tabellen „Biomasseanlagen“ und „Fossilbefeuerte Anlagen“ die übermittelten Daten einzufügen. Nach Abschluss der Dateneingabe ist der Button „Start“ zu betätigen.
- **Hintergrundbereich.** In dem Tool sind die Regeln für die Codierung und Plausibilitätsprüfung hinterlegt. Ausschließlich ein berechtigter Personenkreis kann die Codierungspläne und Gültigkeitsbereiche/Plausibilitätsregeln bearbeiten. Dies ist gegebenenfalls dann erforderlich, wenn durch die Benutzer die Technologien/Brennstoffe manuell eingetragen werden können.
- **Kontrollbereich.** Kernstück ist die automatisch ablaufende Transformation der Eingabedaten unter Verwendung der im Hintergrundbereich hinterlegten Codierungspläne und Gültigkeitsbereiche/Plausibilitätsregeln. Zusätzlich werden die Eingangsdaten um die für die Datenbank benötigten IDs (KehrbezirkID und AnlagenID) ergänzt. Ergebnis der Transformation ist die Ausgabe im Kontrollbereich, erweitert um die Spalte „Fehler“. Diese Spalte zeigt die Datensätze an, die entsprechend den Plausibilitätsregeln fehlerhaft/inkonsistent sind. In dieser Tabelle werden dann die betroffenen Merkmale gelöscht oder korrigiert.
- **Auslesebereich.** Nach Abschluss der Datenbereinigung werden durch erneutes Betätigen eines Buttons drei Auslesetabellen erzeugt. In der Tabelle „Biomasseanlagen“ ist eine um die IDs erweiterte und bereinigte Liste der Biomasseanlagen und in der Tabelle „Fossilbefeuerte Anlagen“ eine vereinheitlichte Zusammenfassung zur Anzahl der mit Öl, Gas und Kohle betriebenen Anlagen enthalten. Zudem umfasst die Tabelle „Datenqualität“ auch Aspekte des Umfangs und der Qualität der erhaltenen Daten. Der Datenumfang steht für das Vorhandensein der Biomasseanlagen mit/ohne Fossilbefeuerten Anlagen. Die Datenqualität steht für das Verhältnis der Biomasseanlagen mit Angaben zu einem bestimmten Technologieparameter (z. B. Inbetriebnahmejahr) zu allen Biomasseanlagen eines Teilnehmers. Diese Qualitätskriterien werden sowohl für die verschiedenen Technologieparameter als auch Technologiegruppen (Einzelraumfeuerungen, Zentral- und Sonderfeuerstätten) ermittelt (z. B. bei 90 % aller Einzelraumfeuerungen sind Angaben zum Inbetriebnahmejahr vorhanden).

Umgang mit fehlenden Daten. Das Fehlen ganzer Datensätze „Unit-Nonresponse“ wird beim Hochrechnungsverfahren berücksichtigt, so dass nachstehend lediglich auf den Umgang mit „Item-Nonresponse“ für die einzelnen Parameter eingegangen wird.

- **Technologie.** Fehlenden Angaben zur Technologie wird unter Verwendung der Fallreduktion sowie Imputation begegnet. Für die Hochrechnung und Charakterisierung des Anlagenbestandes ist die Zuordnung zu den drei Technologiegruppen Einzelraumfeuerungen sowie Zentral- und Sonderfeuerstätten fundamental. Enthält der Kkehrbuchauszug eines Teilnehmers bei mehr als 5 % der Biomasseanlagen keine Angaben zur Technologie, wird dieser in der Auswertung nicht berücksichtigt (=Fallreduktion). Doch auch bei den weiterführend berücksichtigten Kkehrbüchern sind bei maximal 5 % der Datensätze keine Angaben zur Technologie vorhanden. Unter Berücksichtigung der Parameter Brennstoff und Leistungsklasse wird den Datensätzen eine Technologiegruppe zugewiesen (=Imputation). Bei den Einzelraumfeuerungen und Sonderfeuerstätten zugeordnetem Anlagenpark wird nicht weiter zwischen den Technologiearten (z. B. Kaminofen) differenziert, sondern unter den Technologiearten „Einzelfeuerstätte“ bzw. „Sonstige“ subsumiert. Die Ergebnisse finden ausschließlich bei der Hochrechnung des Anlagenparks eine Berücksichtigung. Bei der

Charakterisierung des Anlagenbestandes werden lediglich die Biomasseanlagen berücksichtigt, die im Kehrbuch einer Technologiegruppe und -art zugewiesen wurden.

- **Brennstoff.** Grundlegend sind bei allen Anlagen die Brennstoffe hinterlegt, da ansonsten eine Trennung der Biomasseanlagen von den fossilbefeuerten Anlagen bei der Datenauslese nicht möglich ist. Kehrbuchauszüge von Teilnehmern, bei denen Lücken bei der Angabe des Parameters Brennstoff auftreten, werden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Zudem unterscheiden zwei Softwareanbieter nicht zwischen Scheitholz und Hackschnitzel. Bei Einzelraumfeuerungen ist davon auszugehen, dass ausschließlich Scheitholz und keine Hackschnitzel eingesetzt werden (Prüfung der These anhand der Teilnehmerdaten). Für die Zentral- und Sonderfeuerstätten werden hingegen nach Region, Leistungsklasse und Inbetriebnahmejahr die Anteile der Brennstoffsortimente Scheitholz und Hackschnitzel ermittelt, basierend auf den Teilnehmern mit einer Unterscheidung zwischen Scheitholz und Hackschnitzel.
- **Leistung.** Analog zum Parameter Technologie werden die Methoden der Fallreduktion und Imputation angewendet. Nur die Teilnehmer die bei einem definierten Anteil der Anlagen Angaben zur Leistung aufweisen (z. B. 80 % der Einzelraumfeuerungen), werden bei der Charakterisierung der Leistungsklassen berücksichtigt. Somit weisen auch die berücksichtigten Teilnehmer bei maximal 20 % der Anlagen keine Angabe auf. Diese wird in der Auswertung vermerkt und bei der Schätzung der Anteile proportional den Leistungsklassen zugeordnet.
- **Inbetriebnahmejahr.** Auch bei dem Inbetriebnahmejahr werden ausschließlich die Teilnehmer bei der Charakterisierung der Inbetriebnahmezeiträume berücksichtigt, die für einen definierten Anteil der Anlagen Angaben zum Inbetriebnahmejahr aufweisen. Abweichend zum Parameter Leistung wird mit den Anlagen der berücksichtigten Teilnehmer verfahren, die keine Angabe aufweisen. Hintergrund ist die Annahme, dass es sich bei den Anlagen ohne Angabe zum Inbetriebnahmejahr verstärkt um alte Anlagen handelt. Folglich wird bei der Schätzung der Anteile die Gruppe ohne Angabe nicht proportional gewichtet, sondern folgendermaßen auf die Inbetriebnahmezeitraum aufgeteilt: 50 % den Inbetriebnahmezeitraum <1995, 30 % den Inbetriebnahmezeitraum 1995-1999 und 20 % den Inbetriebnahmezeitraum 2000-2004.
- **Kehrhäufigkeit.** Treten fehlende Werte bei dem Parameter Kehrhäufigkeit auf, so wird analog dem Parameter Leistung vorgegangen.

### Datenintegration

Die drei Tabellen des Auslesebereichs dienen dem Import in die Access-basierte Datenbank. Für den Datenimport wird die Importmaske des Programms Access genutzt. Fehler beim Import werden von dem Programm angezeigt und entsprechend behoben.

## 4.2.2 Primärstatistische Erhebung zum Brennstoffeinsatz

Analog zur primärstatistischen Erhebung zum Anlagenbestand werden im Folgenden für die Erhebung zum Brennstoffeinsatz die notwendigen Arbeitsschritte Datentransformation, Datenbereinigung und Datenintegration beschrieben.

### Datentransformation

Das Hauptaugenmerk liegt hierbei in der Vereinheitlichung der Skalen, da die Maßeinheiten seitens der Teilnehmer frei gewählt werden können. Pellets werden in der Regel in Tonnen ausgewiesen und die übrigen Brennstoffsortimente in Raummeter (rm) oder Festmeter (fm). Zudem können die Teilnehmer in der gleichen Spalte sowohl Durchschnittswerte als auch Wertebereiche je Anlagengruppe angeben. Den Anforderungen der Datenbank und Auswertung folgend, bedarf es einer Trennung dieser Werte in drei Spalten (Minimum, Mittelwert und Maximum). Die Angaben zum Brennstoffeinsatz kann für jede Technologie neu eingetragen werden. Wird seitens des Teilnehmers der Brennstoffeinsatz einer Anlagengruppe (z. B. Kamineinsatz/Kaminkassetten) vergleichbar mit dem einer Anderen (z. B. Kaminofen) geschätzt, so kann die Option „Brennstoffeinsatz vergleichbar mit“ ausgewählt werden. In diesem Fall sind die Daten der ausgewählten Anlagengruppe zu übernehmen.

### Datenbereinigung

Wie bei der Erhebung zum Anlagenbestand können fehlerhafte und inkonsistente Angaben zum Anlagenbestand über Gültigkeitsbereiche und Plausibilitätsprüfungen ermittelt werden. In der Literatur liegen nur unzureichende Vergleichswerte für den Brennstoffeinsatz einzelner Technologien vor, die für die Definition von Gültigkeitsbereichen herangezogen werden können. Daher werden die von den Teilnehmern ausgewiesenen Werte als Vergleich herangezogen. Die somit definierten Ausreißer/Extremwerte werden anschließend bei den Teilnehmern hinterfragt.

Eine Regel jedoch wurde für die Plausibilitätsprüfung festgelegt. Es wird davon ausgegangen, dass der Brennstoffeinsatz in den Anlagen die häufiger benutzt werden bzw. eine größere Leistung aufweisen mindestens den gleichen Brennstoffeinsatz aufweisen wie Anlagen mit einer geringeren Kehrhäufigkeit/Leistung der gleichen Technologieart.

### Datenintegration

Als Ergebnis der Datentransformation und -bereinigung werden Tabellen erzeugt die dem Import in die Access-basierte Datenbank dienen. Für den Datenimport kann die Importmaske des Programms Access genutzt werden. Fehler beim Import werden programmseitig angezeigt und können entsprechend behoben werden.

## 4.2.3 Sekundärstatistische Erhebungen

Die sekundärstatistischen Erhebungen umfassen zum einen die Daten der Regionalstatistik für die strukturelle Charakterisierung der Kehrbezirke. Zum anderen zählen die in unterschiedlichster Form durch die Landkreise, kreisfreien Städte sowie Bundesländer bereitgestellten Informationen zur organisatorischen und räumlichen Abgrenzung hierzu.

### Datentransformation

Eine Transformation der Daten der Regionalstatistik ist nicht erforderlich, da das von dem Portal der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder ausgelesene Datenformat übernommen werden kann. Es gilt lediglich zu beachten, dass im Zuge der Gebietsreformen in Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen die Gemeindenamen und -schlüssel geändert wurden. Dies bedarf einem einmaligen

Zusatzaufwand bei der Verknüpfung der Regionalstatistiken der einzelnen Jahresscheiben (2011, 2012 und 2014) mit den Kehrbezirken.

Informationen zur räumlichen Abgrenzung und Besetzung (Name der bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger) der Kehrbezirke stellen je nach Zuständigkeit die Bundesländer, Regierungsbezirke oder Landkreise/kreisfreien Städte zur Verfügung. Dementsprechend heterogen sind die verfügbaren Formate (Excel-Tabellen, Listen im Word- oder PDF-Format). Im Rahmen der Transformation wird die Information manuell in das vorgegebene Format übernommen. Der entsprechend hohe zeitliche Aufwand ist jedoch nur einmalig erforderlich, da der Zuschnitt der Kehrbezirke im Zuge der Neuregelung des Schornsteinfegerhandwerks im SchfHwG so beibehalten werden soll. Zuvor wurde in vielen Landkreisen der Zuschnitt der Kehrbezirke verändert.

### Datenbereinigung

Die Statistischen Ämter des Bundes und der Länder markieren in Ihren Tabellen den Wert 0 durch „/“ und zu wenig Fallzahlen durch „.“. Diese werden in der Datenbank für die späteren Berechnungen mit SPSS folgendermaßen gekennzeichnet: 0 für „/“ und leere Felder für „.“. Die Hansestadt Hamburg und Berlin werden jeweils als eine Gemeinde betrachtet und die Hansestadt Bremen in Bremen und Bremerhaven unterschieden. Dies erfordert für die Regionalstatistik die Zusammenfassung der auf Bezirksebene ausgewiesenen Angaben für Berlin.

Die Kehrbezirkseinteilung enthält teilweise nicht mehr tätige, bevollmächtigte Bezirksschornsteinfeger. Sind die Dokumente zur Einteilung vor 2015 angefertigt worden, so wurden Neubesetzungen, die in der Regel im Amtsblatt etc. veröffentlicht werden, nachrecherchiert und eingetragen.

### Datenintegration

Die transformierten und bereinigten Daten liegen in einer für den Import in die Access-basierte Datenbank Form vor und können unter Verwendung der Importmaske eingelesen werden.

## 4.2.4 Datenbankmodell

Die vorangestellten Ausführungen haben den erheblichen Umfang der für die Beantwortung der Fragestellung notwendigen primär- und sekundärstatistischen Daten gezeigt. Diese Daten werden in einer mit dem Programm ACCESS erstellten Datenbank zusammengeführt. Die Eingangsdaten der Datenbank können in die folgenden drei Bereiche unterteilt werden:

- Raumstruktur. Dieser Bereich umfasst zum einen Listen zu den Bundesländern, Landkreisen und Gemeinden und zum anderen die Daten der Regionalstatistik auf Gemeindeebene (z. B. Waldfläche) mit den Bezugsjahren 2011, 2012 und 2014 analog des Pretests und den beiden Erhebungen.
- Schornsteinfegerhandwerk. Hierzu zählt eine Liste mit den 7.704 Kehrbezirken mit Angaben zum Kehrbezirksname, Name der bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger und einer zentral vergebenen Identifikationsnummer (ID). Zusätzlich ist die Schnittstelle zwischen dem Schornsteinfegerhandwerk und Raumstruktur zu nennen, in der die Gemeinde- und Kehrbezirkszuordnung erfolgt.
- Teilnehmerdaten. Dieser Bereich umfasst die Daten sowohl der Erhebung zum Anlagenbestand als auch der Erhebung des Brennstoffeinsatzes. Die Daten zum Anlagenbestand umfassen die drei

Tabellen „Biomasseanlagen“, „Fossilbefeuerte Anlagen“ und „Datenqualität“. Diese Tabellen werden für den Pretest 2011 und die beiden Erhebungen 2012 und 2014 jeweils neu erstellt. Die Daten der Erhebung zum Brennstoffeinsatz werden in sechs gesonderten Tabellen in der Datenbank gehalten – jeweils eine Tabelle für den Brennstoffeinsatz (Brennstoff) und der sektoralen Bedeutung (Sektor) der Technologiegruppen Einzelraumfeuerung, Zentral- und Sonderfeuerstätten.

Die Daten dieser drei Bereiche werden entsprechend des in Abbildung 4-5 dargestellten Entity-Relationship-Modell verknüpft.

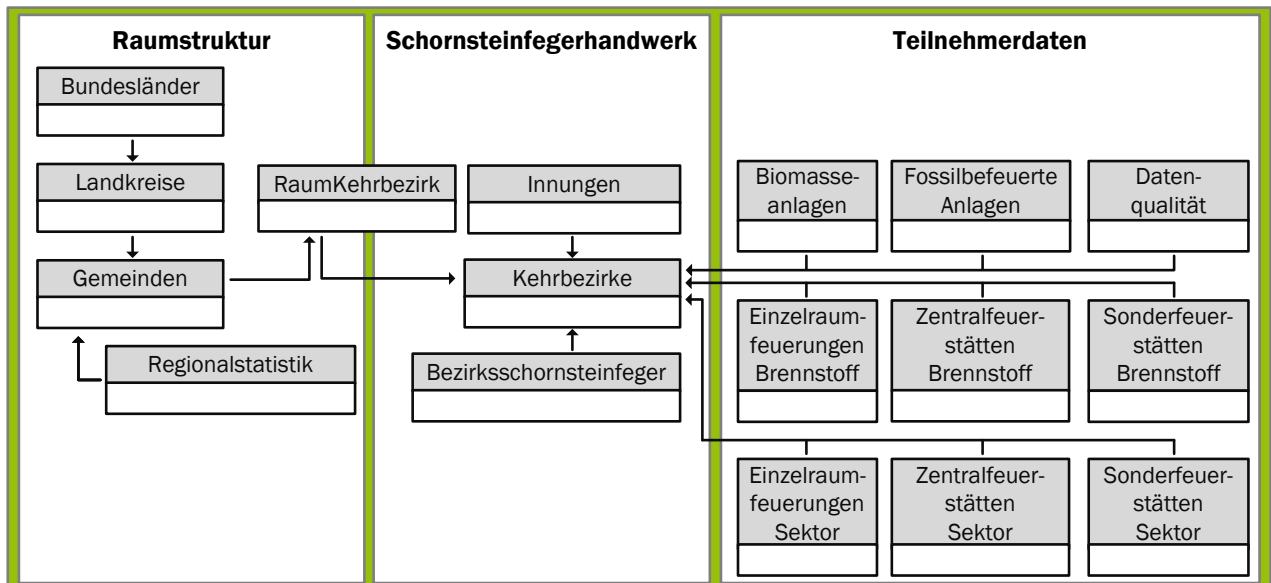


Abbildung 4-5 Entity-Relationship-Modell der Datenbank [eigene Darstellung]

Bisher wurde ausschließlich auf die Datenhaltung eingegangen. Die in Abbildung 4-5 aufgezeigte Verknüpfung der einzelnen Bereiche ermöglicht zusätzlich eine Bandbreite an Abfragen und Auswertungsoptionen. In diesem Kontext ist insbesondere die Verknüpfung der Raumstruktur mit den Teilnehmerdaten, als Basis für die Analyse zum Einfluss der regionalen Parameter auf den Bestand der Biomasseanlagen, zu nennen.

Vor dem Hintergrund der abweichenden Gemeinde- und Kehrbezirksgrenzen sind die regionalen Parameter auf Kehrbezirksebene zu ermitteln. Schließlich umfassen 44 % der circa 11.500 Gemeinden mehrere Kehrbezirke und 60 % der 7.704 Kehrbezirke mehrere Gemeinden. Eine Recherche der prozentualen Aufteilung der Gemeinden auf die Kehrbezirke ist nicht möglich. Demnach werden gemäß Gleichung (21) als Beispiel für den regionalen Parameter Einwohnerdichte (Einwohner/Fläche) die Werte der regionalen Parameter gleichermaßen auf die Anzahl der Kehrbezirke je Gemeinde aufgeteilt,

$$EW/Fläche_{KB} = \sum \frac{\sum EW_{GEM} / \sum Fläche_{GEM}}{n_{KBjeGEM}} \quad (21)$$

$EW/Fläche_{KB}$  Einwohner/Fläche im Kehrbezirk  $KB$

$EW_{GEM}$  Einwohner einer Gemeinde  $GEM$

$Fläche_{GEM}$  Fläche einer Gemeinde  $GEM$

$n_{KBjeGEM}$  Anzahl der Kehrbezirke  $KB$  in der Gemeinde  $GEM$



Die Berechnung wird für alle Kehrbezirke sowie regionalen Parameter im Rahmen der Datenbank durchgeführt. Exemplarisch sind für den regionalen Parameter Einwohnerdichte in Abbildung 4-6 die Werte je Kehrbezirk auf Landkreisebene (grüne Raute) und Gemeindeebene (graue Punkte) für neun Flächenlandkreise gegenübergestellt.

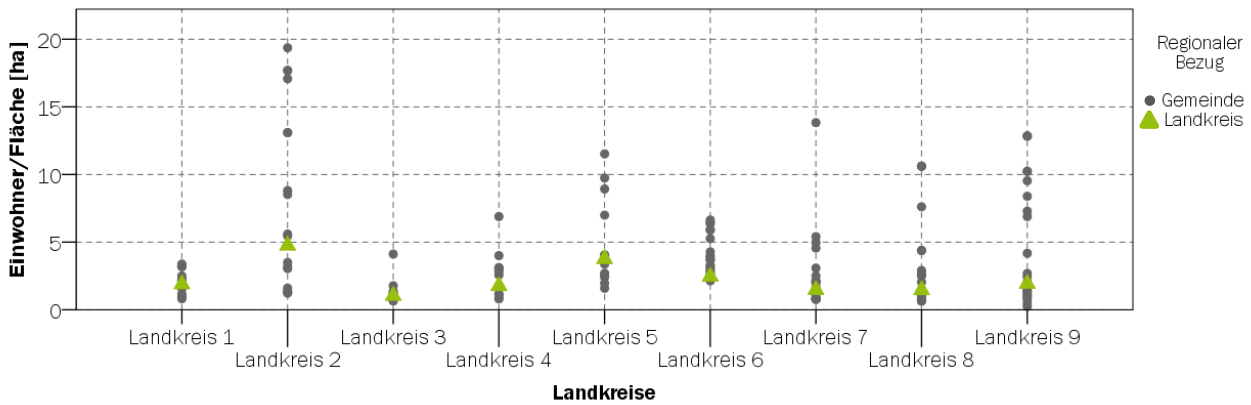


Abbildung 4-6 Gegenüberstellung des regionalen Parameters Einwohner/Fläche je Kehrbezirk; basierend auf der Regionalstatistik 2014 auf Gemeindeebene (graue Kreis) und Landkreisebene (grüne Raute)

Mit Ausnahme der in sich homogenen Landkreise 1, 3 und 7 zeigen die übrigen sechs Landkreise große Unterschiede auf Gemeindeebene und gegenüber der Landkreisebene auf, siehe Abbildung 4-6. Dies unterstreicht die Notwendigkeit die regionalen Parameter auf Kehrbezirksebene zu ermitteln und entsprechend zu berücksichtigen.

### 4.3 Hochrechnung des Anlagenbestandes

Kern dieser Arbeit ist die Quantifizierung der Biomasseanlagen basierend auf den in Kapitel 4.1 erhobenen Daten und einer darauf aufbauenden Auswertung und Hochrechnung dieser. In Abbildung 4-7 ist die Vorgehensweise zur Hochrechnung des Anlagenbestandes zusammengefasst.

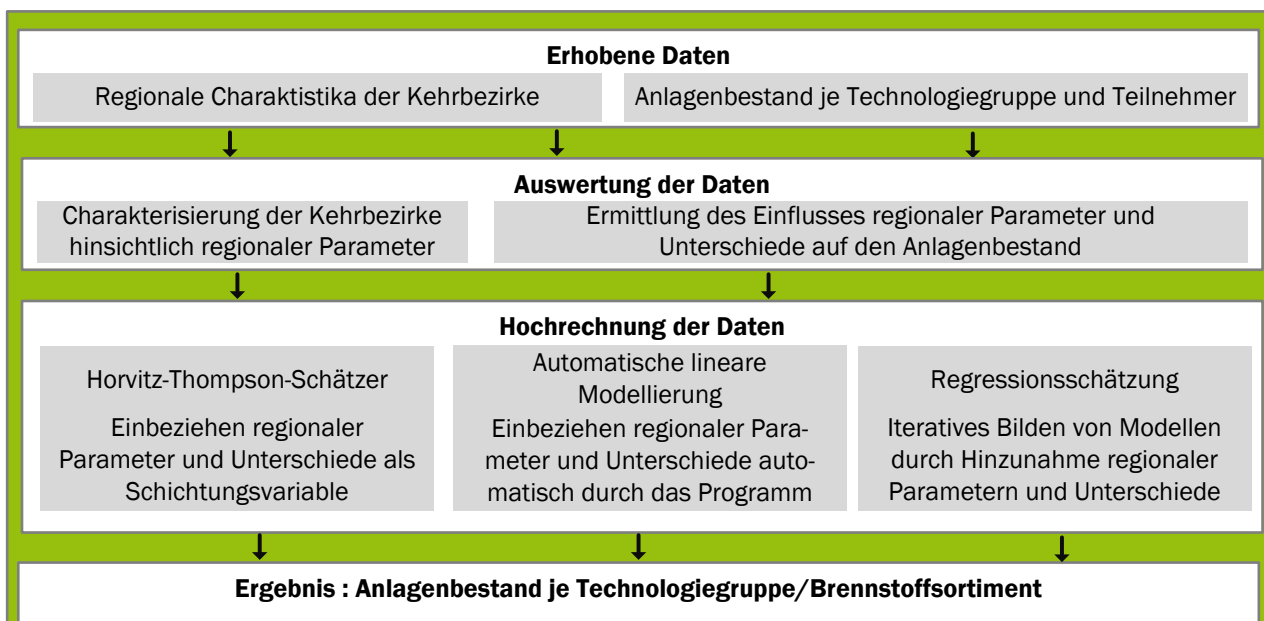


Abbildung 4-7 Vorgehensweise zur Hochrechnung des Anlagenbestandes [eigene Darstellung]



Grundlage für die Hochrechnung bilden die erhobenen Daten zur regionalen Charakteristika und dem Anlagenbestand je Technologiegruppe je Teilnehmer. Bevor die erhobenen Daten mittels der drei in Abbildung 4-7 aufgeführten Methoden (Horvitz-Thompson-Schätzer, Automatische lineare Modellierung, Regressionsschätzung) hochgerechnet werden, werden diese folgendermaßen ausgewertet:

- Charakterisierung der Kehrbezirke hinsichtlich regionaler Parameter. Die Grenzen der Kehrbezirke und Gemeinden sind nicht deckungsgleich. Mit der Zuordnung der circa 11.500 Gemeinden zu den 7.704 Kehrbezirken können die Kehrbezirke hinsichtlich der in Tabelle 4-1 dargelegten regionalen Parametern charakterisiert werden.
- Ermittlung des Einflusses regionaler Parameter und Unterschiede auf den Anlagenbestand. Die Stärke des Zusammenhangs wird mittels des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  bestimmt. Im Gegensatz zu dem häufig verwendeten Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson  $r_{xy}$  ist dieser robust, sofern Rahmenbedingungen wie Linearität des Zusammenhangs und Normalverteilung der Parameter eingehalten werden. Somit werden die regionalen Parameter mit einem starken Einfluss auf den Bestand der Einzelraumfeuerungen sowie Zentral- und Sonderfeuerstätten herausgefiltert. Ergänzend zu den regionalen Parametern wird auch der Einfluss der Regionen auf den Anlagenbestand (Nord-Süd-, Ost-West-Gefälle) untersucht. Hierfür werden signifikante Unterschiede der Mittelwerte des Anlagenbestandes je Bundesland unter Verwendung des Man-Whitney-U-Tests ermittelt. Nach [Benesch 2013] setzt dieser Test weder eine Normalverteilung noch eine Varianzhomogenität voraus.

Mit diesen Erkenntnissen kann der Bestand an Einzelraumfeuerungen sowie Zentral- und Sonderfeuerstätten hochgerechnet werden. Zu diesem Zweck werden Abbildung 4-7 folgend die nachstehend im Detail erläuterten drei Methoden Horvitz-Thompson-Schätzer, Automatische lineare Modellierung und Regressionsschätzung angewandt. Diese drei Methoden ermöglichen eine Punktschätzung, also das Festlegen eines unbekanntes Populationsparameters auf einen bestimmten Wert. Sowohl der Horvitz-Thompson-Schätzer als auch die Regressionsschätzung ermöglichen mit der Intervallschätzung zudem den Wertebereich anzugeben, in dem die unbekanntes Populationsparameter mit einem Sicherheitsniveau  $1-\alpha$  mit dem Signifikanzniveau  $\alpha$  liegen.

### 4.3.1 Horvitz-Thompson-Schätzer

In dieser Arbeit wird der Horvitz-Thompson-Schätzers sowohl für die uneingeschränkte als auch für die geschichtete uneingeschränkte Zufallsauswahl angewendet:

- Uneingeschränkte Zufallsauswahl. Bei der uneingeschränkten Zufallsauswahl wird der Anlagenbestand einer Technologiegruppe aus dem Produkt des durchschnittlichen Anlagenbestandes je Teilnehmer (Strichprobenmittelwert) und der Anzahl aller Kehrbezirke (Umfang der Grundgesamtheit) berechnet.
- Geschichtete uneingeschränkte Zufallsauswahl. Bei der geschichteten uneingeschränkten Zufallsauswahl werden hingegen die regionalen Parameter berücksichtigt, die den stärksten Zusammenhang mit dem Anlagenbestand aufweisen, gemessen unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$ . Sowohl die Summe aller Kehrbezirke (=Grundgesamtheit) als auch die Teilnehmer (=Stichprobe) werden nach den fünf regionalen Parametern mit dem stärksten Zusammenhang ( $r_{SP}$ ) geschichtet (=Post-Stratifizierung).

Die Ergebnisse der uneingeschränkten als auch der geschichteten uneingeschränkten Zufallsauswahl werden sowohl ohne als auch mit Berücksichtigung der regionalen Unterschiede ausgewiesen.

### 4.3.2 Automatische Lineare Modellierung

Eine Möglichkeit die lineare Regression anzuwenden, liefert die Software SPSS mit der Option der Automatischen linearen Modellierung. Dem Namen folgend wählt das Programm automatisch aus der Vielzahl der eingegebenen regionalen Parameter diejenigen aus, die der Beschreibung der Zielvariablen Anlagenbestand dienen und transformiert diese.

### 4.3.3 Regressionsschätzung

Neben dem Horvitz-Thompson-Schätzer und der Automatischen linearen Modellierung wird zur Quantifizierung des Anlagenbestandes auch die Regressionsschätzung angewandt. Im Zuge dieser Arbeit werden mehrere regionale Parameter (=multiple lineare Regression) zur Beschreibung des Anlagenbestandes mithilfe eines Regressionsmodells herangezogen. Die Herausfilterung eines geeigneten Regressionsmodells erfolgt iterativ in den drei nachstehend beschriebenen Schritten.

- Bilden eines Regressionsmodells. Die Suche nach einem geeigneten Regressionsmodell erfolgt in einem iterativen Prozess, indem die regionalen Parameter auf verschiedene Weise miteinander kombiniert werden. Dabei steht im Vordergrund, die Anzahl der regionalen Parameter auf ein Mindestmaß zu beschränken.
- Analyse des Regressionsmodells. Die Einhaltung der Randbedingungen Linearität des Zusammenhangs, Homoskedastizität, Normalverteilung der Residuen sowie Multikollinearität wird für jedes Modell überprüft und der Betrag des korrigierten Bestimmtheitsmaßes  $R_{korr}^2$  als Maß der Modellgüte ermittelt. Ein gutes Regressionsmodell zeichnet sich nicht allein durch ein möglichst hohes korrigiertes Bestimmtheitsmaß aus, sondern auch durch die Einhaltung der Randbedingungen und eine minimale Auswahl der Regressoren.
- Modifizierung des Regressionsmodells. Infolge der Verletzung von Randbedingungen der linearen Regression sowie einem geringen korrigierten Bestimmtheitsmaß  $R_{korr}^2$  werden weitere regionale Parameter in das Modell aufgenommen bzw. ausgetauscht. Dabei ist der Blick auf das korrigierte Bestimmtheitsmaß von Interesse, anhand dessen abgelesen werden kann, inwiefern ein neu aufgenommener regionaler Parameter tatsächlich der Verbesserung des Regressionsmodells dient. Insbesondere vor der Herausforderung ein gut erklärendes Modell mit so wenig Regressoren wie nötig zu bilden, ist dieser Schritt von großer Bedeutung. Führt auch die Aufnahme beziehungsweise der Austausch regionaler Parameter nicht zur Einhaltung der Randbedingung Linearität des Zusammenhangs, besteht die Möglichkeit Variablen zu transformieren. Eine häufige Transformation ist die Logarithmische, die jedoch die Besonderheit aufweist, dass der Logarithmus von Null – in diesem Fall keine Anlage je Anlagengruppe und Teilnehmer – nicht definiert ist. Dies kann durch einen Versatz der zu transformierenden Variable um den Wert 0,5 gelöst werden [McDonald 2014].

Regionale Unterschiede werden zusätzlich bei den Modellen berücksichtigt, die ein hohes Gütemaß in Form des korrigierten Bestimmtheitsmaßes  $R_{korr}^2$  aufweisen und die Randbedingungen erfüllen. In der Software SPSS wird dies realisiert, indem die Regionen als Dummy-Variable als Regressor in das Regressionsmodell aufgenommen werden.

Lineare Regressionsmodelle haben als Ergebnis eine Schätzfunktion. Die daraus abzuleitenden Vorhersagewerte und das individuelle Konfidenzintervall je Vorhersagewert weist die Software SPSS zusätzlich aus. Die Punktschätzung auf den Ebenen Bund und Bundesland kann durch Summenbildung der Vorhersagewerte ermittelt werden. Für die Intervallschätzung ist zunächst die Varianz der einzelnen Vorhersagewerte abzuleiten und daraus die Summe zu bilden.

#### 4.3.4 Exkurs: Quantifizierung des Anlagenbestandes für 2012

Anhand der drei Methoden (Horvitz-Thompson-Schätzer, Automatische lineare Modellierung, Regressionsschätzung) wird der Anlagenbestand für das Jahr 2014 ermittelt. Der Anlagenbestand für das Jahr 2012 kann analog zur Vorgehensweise für das Jahr 2014 oder mittels einer Rückrechnung anhand von Trends der wiederkehrenden Teilnehmer ermittelt werden. Nachstehend werden beide Vorgehensweisen im Detail beschrieben.

- Analoge Vorgehensweise zur Erhebung 2014. Diese Vorgehensweise umfasst die Verwendung der gleichen Schichtungsvariablen (Horvitz-Thompson-Schätzer) sowie Regressionsmodelle (Automatische lineare Modellierung, Regressionsschätzung) auf den Teilnehmerkreis 2012. Nachteil dabei ist, dass Veränderungen zwischen beiden Erhebungsjahren nicht nur auf die tatsächliche Entwicklung zurückzuführen sind, sondern möglicherweise durch den unterschiedlichen Erhebungskreis beeinflusst werden.
- Rückrechnung anhand des Trends der wiederkehrenden Teilnehmer. Der Anlagenbestand für 2012 wird basierend auf dem geschätzten Anlagenbestand 2014 unter Berücksichtigung der Entwicklung des Anlagenbestandes zwischen 2012 und 2014 bei den wiederkehrenden Teilnehmern ermittelt. Dieser Ansatz kompensiert den Einfluss des unterschiedlichen Teilnehmerkreises auf die Entwicklung des Anlagenbestandes. An dieser Stelle wird vorweggegriffen, dass in 2014 mehr Teilnehmer gewonnen werden konnten als in 2012 (siehe Kapitel 5.1.1).

#### 4.4 Charakterisierung des Anlagenbestandes

Die im Zuge dieser Arbeit erhobenen Daten ermöglichen auch Aussagen zur Verteilung des eingesetzten Brennstoffsortiments und der Leistungsklassen, der Inbetriebnahmezeiträume sowie der Kehrhäufigkeit in Kleinfeuerungsanlagen. In Abbildung 4-8 ist die Vorgehensweise zur Charakterisierung des Anlagenbestandes zusammengefasst.

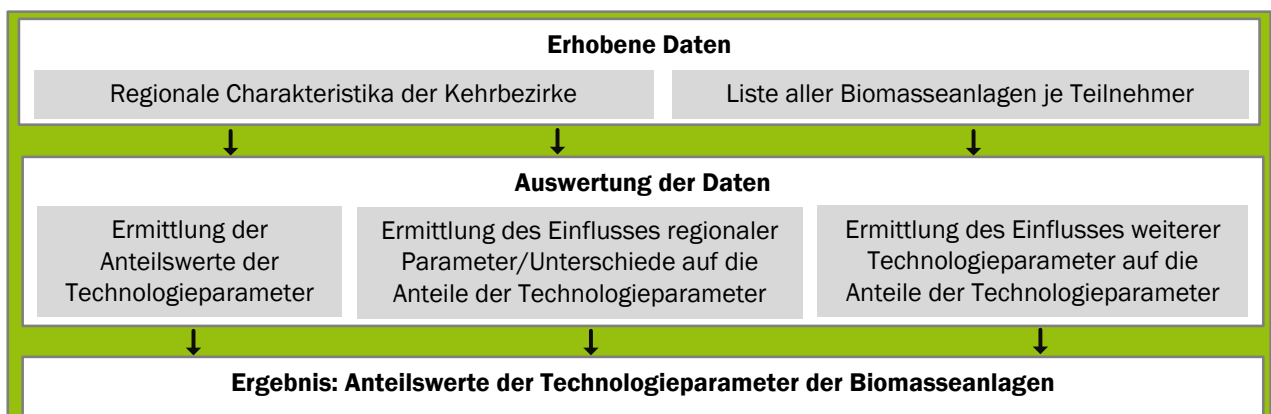


Abbildung 4-8 Vorgehensweise zur Charakterisierung des Anlagenbestandes [eigene Darstellung]

Grundlage für die Charakterisierung des Anlagenbestandes bilden die erhobenen Daten zur regionalen Charakteristika der Kehrbezirke zum einen und eine Liste aller Kleinf Feuerungsanlagen je Teilnehmer zum anderen. Die Auswertung wird bei den Einzelraumfeuerungen und Sonderfeuerstätten je Technologieart und bei den Zentralfeuerstätten je Brennstoffsortiment vorgenommen und gemäß Abbildung 4-8 in die drei folgenden Bereiche unterteilt werden:

- Ermittlung der Anteilswerte der Technologieparameter. Zunächst werden die Anteile der einzelnen Technologieparameter (Brennstoffsortiment, Leistung, Inbetriebnahmejahr, Kehrhäufigkeit) je Technologieart bei den Einzelraumfeuerungen und Sonderfeuerstätten beziehungsweise je Brennstoffsortiment bei den Zentralfeuerstätten ermittelt. Darauf aufbauend werden die Anteilswerte unter Berücksichtigung der in Kapitel 5.1.1 definierten Regionen berechnet und gesondert ausgewiesen.
- Ermittlung des Einflusses regionaler Parameter/Unterschiede auf die Anteile der Technologieparameter. Unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizient  $r_{sp}$  wird die Stärke des Zusammenhangs zwischen den regionalen Parametern und den Anteilen der Technologieparameter bestimmt. Somit wird der Frage nachgegangen, ob die regionale Ausprägung der Kehrbezirke einen nennenswerten Einfluss auf den Anteil der verschiedenen Technologieparameter (eingesetzte Brennstoffe, Leistungsklassen etc.) hat.
- Ermittlung des Einflusses weiterer Technologieparameter auf die Anteile der Technologieparameter. Für einzelne Technologiegruppen und -parameter kann ein kausaler Zusammenhang zwischen zwei Technologieparametern bestehen, beispielsweise der Einfluss des Inbetriebnahmejahres auf die Anteile des Brennstoffsortiments. Sofern ausreichende Fallzahlen vorliegen, können anhand der beschriebenen Methoden die Auswirkungen auf die Anteile untersucht werden.

In Abhängigkeit davon, welchen Einfluss die regionalen Parameter/Unterschiede beziehungsweise andere Technologieparameter haben, werden die Anteile der Technologieparameter unter Verwendung des Horvitz-Thompson-Schätzers für die Anteilswerte und die Konfidenzintervalle bestimmt.

Zudem ist bei der Charakterisierung des Anlagenbestandes zu berücksichtigen, dass in den Kkehrbüchern nicht für jede Anlage Angaben zu den Technologieparametern Leistung, Inbetriebnahmejahr und Kehrhäufigkeit vorhanden sind. Zur Vermeidung von Verzerrungen – beispielsweise der Unterschätzung alter Anlagen bei Nichtangabe des Inbetriebnahmejahres – werden zur Charakterisierung nur die Teilnehmer berücksichtigt, bei denen mindestens zu einem definierten Anteil der Technologiegruppe Angaben zu den einzelnen Technologieparametern vorliegen (z. B. Angabe zur Leistung bei 90 % der Zentralfeuerstätten). In der Ergebnisdarstellung in Kapitel 5.3 wird die damit einhergehende reduzierte Fallzahl dokumentiert.

## 4.5 Brennstoffeinsatz

In Kapitel 3.4 werden die beiden Ansätze (durchschnittlicher Brennstoffeinsatz (Ansatz 1) sowie durchschnittliche Leistung und Vollbenutzungsstunden (Ansatz 2)) vorgestellt, um den Brennstoffeinsatz einer Anlage zu berechnen. Beide Ansätze können auch für die Betrachtung einer Anlagengruppe (z. B. Kaminöfen in Deutschland) angewandt werden. In der Literatur werden beide Ansätze verfolgt.

- Ansatz 1 – Durchschnittlicher Brennstoffeinsatz. Diese Methode bietet den Vorteil, dass lediglich die Anlagenanzahl je Anlagengruppe, die verbrauchte Menge des eingesetzten Energieträgers und

dessen Heizwert bekannt sein müssen. Gleichwohl zeigt die Literatur, wie schwierig es ist, den durchschnittlichen Brennstoffeinsatz je Anlage zu ermitteln. Dieser Ansatz wird in [Fronde et al. 2015], [Kralemann 2015a] als auch in [Wenzelides et al. 2008] und [Projektgemeinschaft Biorohstoffe 2005] angewendet.

- Ansatz 2 – Durchschnittliche Leistung und Vollbenutzungsstunden. Neben dem Anlagenbestand je Anlagengruppe sind bei diesem Ansatz Kenntnisse über die durchschnittliche Leistung und Vollbenutzungsstunden notwendig. Dieser Ansatz wird von [Wenzelides et al. 2008] ausschließlich für die Zentralfeuerstätten angewendet. Nach [Wenzelides et al. 2008] ist dieser Ansatz bei Einzelraumfeuerungen nicht anzuwenden, da diese häufig nur als Zusatzheizsystem fungieren. In [Struschka et al. 2008] und [Teibert et al. 2016] wird dieser Ansatz auch für Einzelraumfeuerungen angewandt. Der Kritik in [Wenzelides et al. 2008] wird mit deutlich geringen Vollbenutzungsstunden der Einzelraumfeuerungen gegenüber den Zentralfeuerstätten begegnet.

In dieser Arbeit wird für alle Technologiegruppen der Brennstoffeinsatz unter Verwendung des durchschnittlichen Brennstoffeinsatzes (Ansatz 1) berechnet. Dieser ist seitens der teilnehmenden Bezirksschornsteinfeger leichter abzuschätzen, als die durchschnittlichen Vollbenutzungsstunden, insbesondere bei den Einzelraumfeuerungen. Aus Gleichung (19) in Kapitel 3.4 kann Gleichung (21) für die Berechnung des Brennstoffeinsatzes je Anlagengruppe abgeleitet werden.

$$Q_{AG} = n_{AG} * \bar{q}_{AG} \quad (22)$$

$Q_{AG}$  Brennstoffeinsatz [MJ] je Anlagengruppe

$n_{AG}$  Anzahl der Anlagen je Anlagengruppe

$\bar{q}_{AG}$  Mittlerer Brennstoffeinsatz [MJ] je Anlagengruppe

## 5 Ergebnisse

Eingangs werden die primärstatistisch (Anlagenbestand, Brennstoffeinsatz) und sekundärstatistisch (Kehrbezirkscharakterisierung) erhobenen Daten hinsichtlich Rücklaufquote und Datenqualität analysiert, bevor die Ergebnisse zur Quantifizierung und Charakterisierung des Bestandes an Einzelraumfeuerungen, Zentral- und Sonderfeuerstätte dargestellt werden. Aufbauend darauf wird der durchschnittliche und kumulierte Brennstoffeinsatz ausgewiesen. Abschließend wird auf die Bedeutung der Sektoren Haushalte und Gewerbe/Handel/Dienstleistung für die drei Technologiegruppen bezogen auf den Anlagenbestand und Brennstoffeinsatz eingegangen.

### 5.1 Analyse der erhobenen Daten

In diesem Kapitel werden die erhobenen Daten in den beiden primärstatistischen Erhebungen (Anlagenbestand, Brennstoffeinsatz) und der sekundärstatistischen Erhebung zur Kehrbezirkscharakterisierung analysiert.

#### 5.1.1 Primärstatistische Erhebung zum Anlagenbestand

Die Erhebung zum Anlagenbestand wurde Anfang 2013 für das Bezugsjahr 2012 (nachstehend Erhebung 2012 genannt) und Anfang 2015 für das Bezugsjahr 2014 (nachstehend Erhebung 2014 genannt) durchgeführt. Grundsätzlich wurden alle im Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV) organisierten bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger (97 % aller Bezirksschornsteinfeger) über die Kommunikationskanäle des Verbandes angeschrieben, an der Erhebung teilzunehmen. Zuvor wurde Anfang 2012 ein Pretest im Feld mit 1 % der Kehrbezirke durchgeführt. Dieser diente jedoch ausschließlich dem Test des Erhebungsinstruments. Daher werden in der nachstehenden Ergebnisdarstellung ausschließlich die beiden Erhebungen 2012 und 2014 ausgewertet.

#### Umfang der erhobenen Daten

Für die Erhebung 2012 konnten 558 Teilnehmer gewonnen werden. Dies entspricht einem Anteil von 7 %, der für die Erhebung 2014 mit 844 Teilnehmern auf 11 % gesteigert werden konnte. In Abbildung 5-1 sind die Rücklaufquoten für die 16 Bundesländer beider Erhebungsjahre (2012 und 2014) dargestellt.

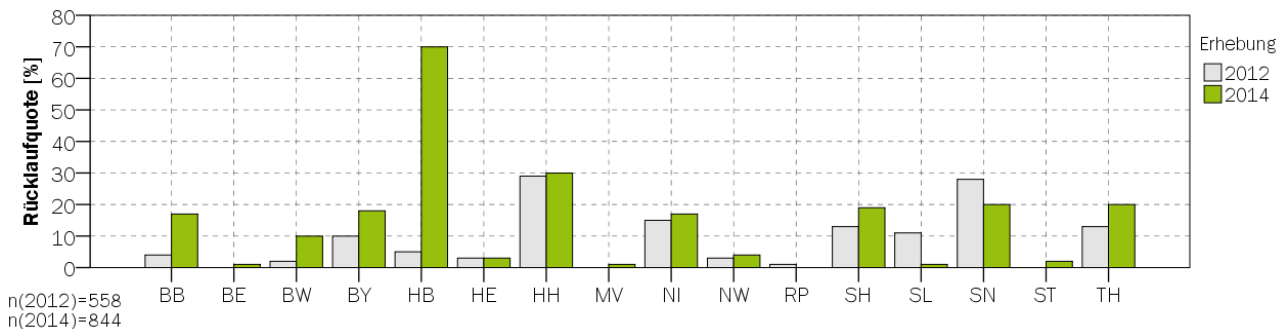


Abbildung 5-1 Rücklaufquote der Erhebungen 2012 (n=558) und 2014 (n=844) je Bundesland

Die Bereitschaft zur Teilnahme variiert zwischen den Bundesländern gemäß Abbildung 5-1 erheblich. Einerseits konnte die Rücklaufquote in 12 der 16 Bundesländer erhöht werden. Andererseits ist in Hinblick auf eine Verstetigung der Erhebung hervorzuheben, dass jeder dritte Teilnehmer (36 %) der Erhebung 2012 auch in 2014 seine Daten zur Verfügung stellte.

Die Teilnehmer liefern eine große Anzahl an Datensätzen zu Biomasseanlagen. In Tabelle 5-1 ist die Anzahl der übermittelten Datensätze zusammengetragen, differenziert in die drei Technologiegruppen (Einzelraumfeuerungen, Zentral- und Sonderfeuerstätten). Zusätzlich wird die Anzahl der Datensätze ohne Technologiezuordnung („keine Angabe“) ausgewiesen.

Tabelle 5-1 Anzahl der übermittelten Datensätze zu Biomasseanlagen in den beiden Erhebungsphasen 2012 und 2014

Technologiegruppe	Datensätze der Erhebung 2012	Datensätze der Erhebung 2014
Einzelraumfeuerung	692.866	1.083 969
Zentralfeuerstätten	63.990	105.621
Sonderfeuerstätten	15.814	23.247
keine Angabe	23.409	27.501
Summe	796.079	1.240.338

In beiden Erhebungsjahren dominieren die Einzelraumfeuerungen mit über 85 % deutlich. Zusätzlich ist eine Verringerung des Anteils der Datensätze ohne Technologieangabe von 2,9 % und 2,2 % zu verzeichnen. Zurückzuführen ist der Rückgang möglicherweise auf die Anforderungen der 1. BImSchV. Dass dieser Unterschied nicht nur dem unterschiedlichen Teilnehmerkreis in 2012 und 2014 geschuldet ist, zeigt der Vergleich der 202 wiederkehrenden Teilnehmer. Bei diesem Teilnehmerkreis konnte der Anteil der Anlagen ohne Angabe zur Technologie sogar von 3 % in 2012 auf 1,8 % in 2014 verringert werden.

### Qualität der erhobenen Daten

Die Qualität der übermittelten Datensätze ist für die Verwendung der Datensätze nicht nur in Bezug auf die Angabe der Technologie ein wichtiger Aspekt. Unter dem Begriff Qualität wird nachstehend das Verhältnis der Datensätze mit einer Angabe zu einem bestimmten Parameter zur Summe der Datensätze je Teilnehmer verstanden. Diese Quotienten werden für den Bestand an Biomasseanlagen oder differenziert für die drei Technologiegruppen ermittelt. In Abbildung 5-2 ist die Verteilung der Anteile der Anlagen mit Datensätzen für die Parameter Technologie, Leistung, Inbetriebnahmejahr und Kkehrhäufigkeit je Teilnehmer der Erhebungen 2012 und 2014 in einem Box-Plot-Diagramm dargestellt.

Box-Plot-Diagramme dienen der Veranschaulichung statistischer Maßzahlen zur Charakterisierung metrischer Parameter. Die Box umfasst 50 % der Fälle und repräsentiert den Interquartilsabstand vom 1. Quartil am unteren Rand der Box bis zum Median (schwarzer Balken in der Box) bis zum 3. Quartil am oberen Rand der Box. Damit ermöglichen Box-Plot-Diagramme neben einem Vergleich zwischen den Kategorien und den Medianen, Aussagen zur Lage und Streuung der Verteilung. Zudem liefern sie Hinweise zu Minima/Maxima sowie Ausreißern/Extremwerten. Ausreißer, definiert mit einem Abstand des 1,5- bis 3-fachen Interquartilsabstands entfernt vom oberen oder unteren Boxenrand, werden mit einem Kreis (◦) gekennzeichnet. Extremwerte liegen hingegen mehr als den dreifachen Interquartilsabstand ober- oder unterhalb des Boxenrandes und werden im Diagramm mit einem Stern (\*) gekennzeichnet [Janssen et al. 2013].



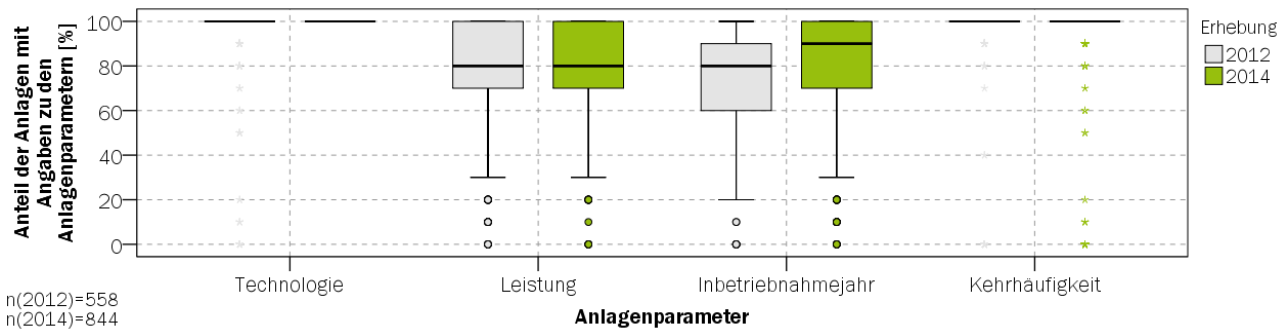


Abbildung 5-2 Verteilung des Anteils der Biomasseanlagen mit Angaben zu den Anlagenparametern (Technologie, Leistung, Inbetriebnahmejahr und Kkehrhäufigkeit); basierend auf den Teilnehmern der Erhebungen 2012 (n=558) und 2014 (n=844)

Erhebliche Differenzen sind in Abbildung 5-2 nicht nur zwischen den Parametern, sondern auch zwischen den Teilnehmern zu erkennen. In beiden Erhebungsjahren (2012 und 2014) sind für Biomasseanlagen die Angaben zur Technologie bzw. Kkehrhäufigkeit im Median zu 99,5 % bzw. 100 % in den Kkehrbüchern enthalten. Bei den beiden Parametern Leistung und Inbetriebnahmejahr sind in den Kkehrbüchern häufiger Datenlücken vorhanden. So liegt der Anteil mit Angaben zur Leistung bei der Erhebung 2014 bei 84,4 % - einen Prozentpunkt gegenüber der Erhebung 2012 höher. Ein deutlicherer Unterschied zwischen den beiden Erhebungen ist bei dem Inbetriebnahmejahr zu erkennen, dessen Anteil von 80,5 % in 2012 auf 85,7 % in 2014 stieg. Dies kann möglicherweise auf die Novellierung der 1 BImSchV zurückgeführt werden, die eine Festschreibung der Termine zur Einhaltung der Grenzwerte – in Abhängigkeit des Inbetriebnahmejahres der Anlagen – vorsieht. In diesem Kontext wurden gegebenenfalls die fehlenden Angaben zum Inbetriebnahmejahr im Kkehrbuch ergänzt.

Aufschluss, inwiefern nicht doch der abweichende Teilnehmerkreis Ursache für die Unterschiede sind, bietet die Gegenüberstellung der Kkehrbuchqualität der Teilnehmer beider Erhebungsjahre (nachstehend wiederkehrende Teilnehmer genannt) in Abbildung A- 1. Diese zeigt gegenüber Abbildung 5-2 eine deutliche Erhöhung des Anteils der Anlagen mit Angaben zu den Technologieparametern Inbetriebnahmejahr (um 6 %) und zur Leistung (um 7 %).

Zusätzlich unterscheidet sich die Qualität der Datensätze zwischen den Technologiegruppen erheblich. Gemäß Abbildung A- 2 sind bei den Zentralfeuerstätten deutlich häufiger Angaben zu den Anlagenparametern vorhanden, als bei den Einzelraumfeuerungen und Sonderfeuerstätten. Zum Vergleich beträgt der Median für den Anlagenparameter Leistung bei den Zentralfeuerstätten 98 %, bei den Einzelraumfeuerungen 83 % und bei den Sonderfeuerstätten lediglich 38 %.

### Biomasseanlagen in den erhobenen Daten

Die übermittelten Daten der Teilnehmer umfassen eine Liste aller, im Kkehrbuch geführten Biomasseanlagen und optional eine Zusammenfassung der fossilen Anlagen. In den beiden Erhebungsjahren 2012 und 2014 haben 86 % bzw. 77 % der Teilnehmer neben den Biomasseanlagen auch den Bestand fossiler Anlagen im Kkehrbezirk übermittelt. Daraus lassen sich Aussagen zur Bedeutung der Biomasseanlagen am Anlagenbestand in den Kkehrbezirken ableiten. Das Box-Plot-Diagramm in Abbildung 5-3 bildet die Verteilung des Anteils der Biomasseanlagen am Anlagenbestand je Bundesland ab. Bundesländer, in denen weniger als fünf Bezirksschornsteinfeger teilnahmen, werden nicht gesondert aufgeführt, unter anderem Mecklenburg-Vorpommern (MV), Saarland (SL) und Berlin (BE) für beide Erhebungsjahre 2012 und 2014.



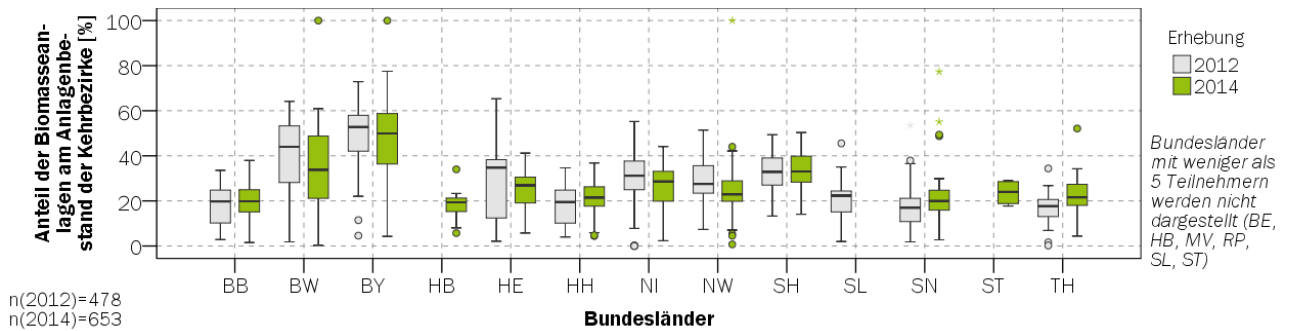


Abbildung 5-3 Verteilung des Anteils der Biomasseanlagen am Anlagenbestand der Kehrbezirke je Bundesland; basierend auf den Teilnehmern mit Angaben zum Bestand der biomasse- und fossilbefeuerten Kleinf Feuerungsanlagen der Erhebungen 2012 (n=478) und 2014 (n=653)

Der Stellenwert der Biomasseanlagen ist in den Bundesländern sehr unterschiedlich. Während im Median im Bayern jede zweite Kleinf Feuerungsanlage mit Biomasse befeuert wird, ist es in den drei Stadtstaaten Hamburg, Bremen und Berlin aber auch in Sachsen und Thüringen nur jede Fünfte. Vergleichsweise große Interquartilsabstände weisen Baden-Württemberg und Bayern auf. Dies ist primär auf die Diversität der Kehrbezirke zurückzuführen.

In Schleswig-Holstein (SH), Hamburg (HH) und Brandenburg (BB) sind zwischen den beiden Erhebungen nur geringe Unterschiede in Bezug auf den Anteil der Biomasseanlagen zu verzeichnen. Dem gegenüber liegt der Median der Erhebungen 2014 in Bayern, Baden-Württemberg, Hessen sowie Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen unter dem der Erhebung 2012. Dies kann mit einem Rückgang des Anteils von Biomasseanlagen, aber auch mit dem abweichenden Teilnehmerkreis beider Erhebungsjahre begründet werden. Dieser Aspekt wird im späteren Verlauf des Kapitels näher beleuchtet.

Neben dem Anteil ist auch der Bestand an Biomasseanlagen je Teilnehmer von zentralem Interesse, insbesondere für die Quantifizierung des Anlagenbestands. In Abbildung 5-4 ist die Verteilung der Anzahl der Biomasseanlagen je Teilnehmer für die Bundesländer abgebildet. Die unterschiedlichen Fallzahlen zwischen Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4 ist darauf zurückzuführen, dass nicht alle Teilnehmer Angaben zu den fossilbefeuerten Anlagen übermittelten.

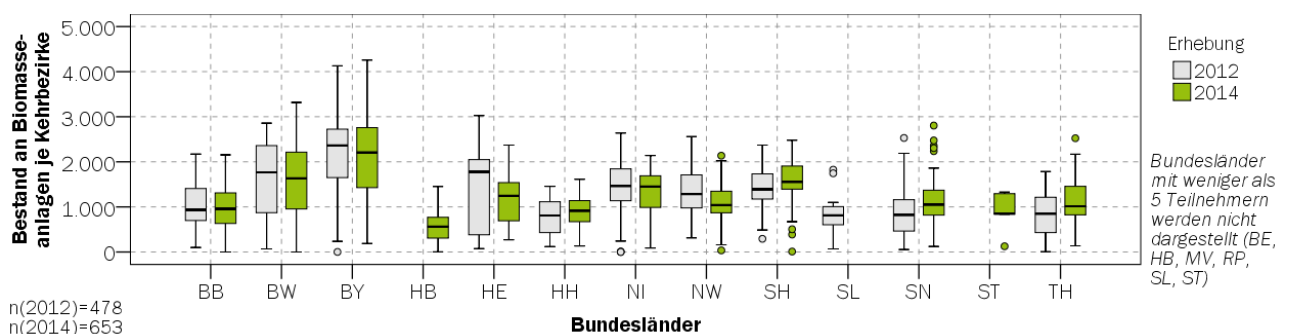


Abbildung 5-4 Verteilung des Bestands an Biomasseanlagen je Kehrbezirk je Bundesland; basierend auf den Teilnehmern der Erhebungen 2012 (n=558) und 2014 (n=844)

Auch beim Bestand der Biomasseanlagen sind zwischen einzelnen Bundesländern deutliche Unterschiede in Abbildung 5-4 erkennbar. So sind im Median mit rund 2.250 Biomasseanlagen in Bayern mehr als doppelt so viele Anlagen je Kehrbezirk vorzufinden als in den Stadtstaaten sowie Nordrhein-Westfalen, Brandenburg und Sachsen. Zugleich wird deutlich, dass die Verteilung des Bestands an Biomasseanlagen einiger Bundesländer miteinander vergleichbar ist. Inwiefern die Mittelwerte einzelner

Bundesländer signifikante Unterschiede aufweisen oder vergleichbar sind und somit gegebenenfalls zu Regionen zusammengefasst werden können, wird unter Verwendung des Man-Whitney-U-Tests untersucht. Als Ergebnis des Tests können die 16 Bundesländern zu den folgenden fünf Gruppen zusammengefasst werden:

- Region Nord: Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein
- Region Ost: Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen
- Region West: Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland
- Region Süd: Bayern
- Region Stadt: Berlin, Hansestadt Bremen, Hansestadt Hamburg

Zusätzlich zeigt Abbildung 5-4 zwischen 2012 und 2014 Unterschiede im Bestand der Biomasseanlagen. Während in Schleswig-Holstein und Thüringen der Median der Erhebung 2014 über dem Median der Erhebung 2012 liegt, ist dieser beispielsweise in Bayern und Baden-Württemberg geringer. Vergleichbare Tendenzen sind auch bei der Gegenüberstellung des Anteils der Biomasseanlagen beider Erhebungsjahre (siehe Abbildung 5-3) zu verzeichnen. Dabei steht die Frage im Raum, ob die Differenzen auf allgemeine Entwicklungen oder den unterschiedlichen Teilnehmerkreis zurückzuführen sind.

Zu diesem Zweck wird die Veränderung des Anlagenbestandes der 202 Teilnehmer näher analysiert, die sowohl an der Erhebung 2012 als auch 2014 teilnahmen. Im Histogramm in Abbildung 5-5 ist die prozentuale Änderung des Anlagenbestandes zwischen 2012 und 2014 auf der X-Achse und die Häufigkeit auf der Y-Achse aufgetragen.

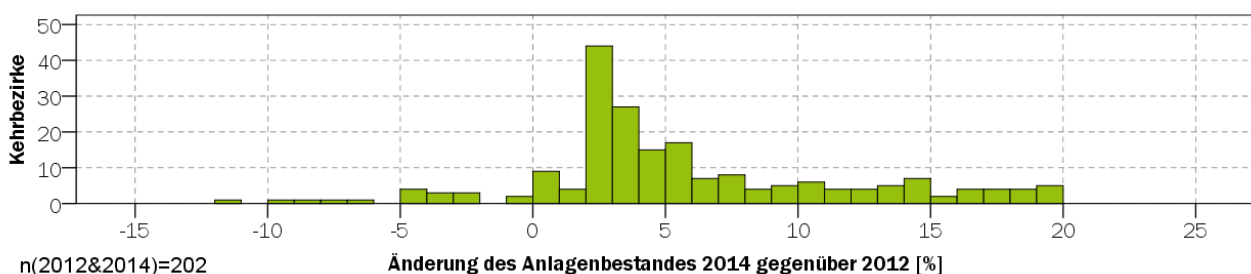


Abbildung 5-5 Veränderung des Anlagenbestandes in 2014 gegenüber 2012; basierend auf den wiederkehrenden Teilnehmern an beiden Erhebungsphasen 2012 und 2014 (n=202)

Allein 44 der wiederkehrenden Teilnehmer (22 %) weisen eine Zunahme um zwei bis drei Prozent des Anlagenbestandes auf. Grundlegend wird deutlich, dass eine Zunahme (positiver Bereich auf der X-Achse) des Anlagenbestandes in 2014 gegenüber 2012 bei den wiederkehrenden Teilnehmern deutlich häufiger auftritt (94 %) als ein Rückgang des Anlagenbestandes (6 %). Folglich ist davon auszugehen, dass die in Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4 dargestellte Verminderung des Anteils und des Bestands der Biomasseanlagen primär auf die unterschiedlichen Erhebungskreise zurückzuführen ist.

Bereits in Abbildung 5-4 lässt die Lage des Medians und der Interquartilsabstände (z. B. für Bayern) vermuten, dass der Bestand an Biomasseanlagen in der Stichprobe nicht normalverteilt ist. In der Statistik spielt die Normalverteilung eine wichtige Rolle. Daher wird in Abbildung 5-6 die Verteilung des Bestands an Biomasseanlagen und gesondert für die drei Technologiegruppen (Einzelraumfeuerungen, Zentral- und Sonderfeuerstätten) anhand von Histogrammen und Box-Plot-Diagrammen näher betrachtet.

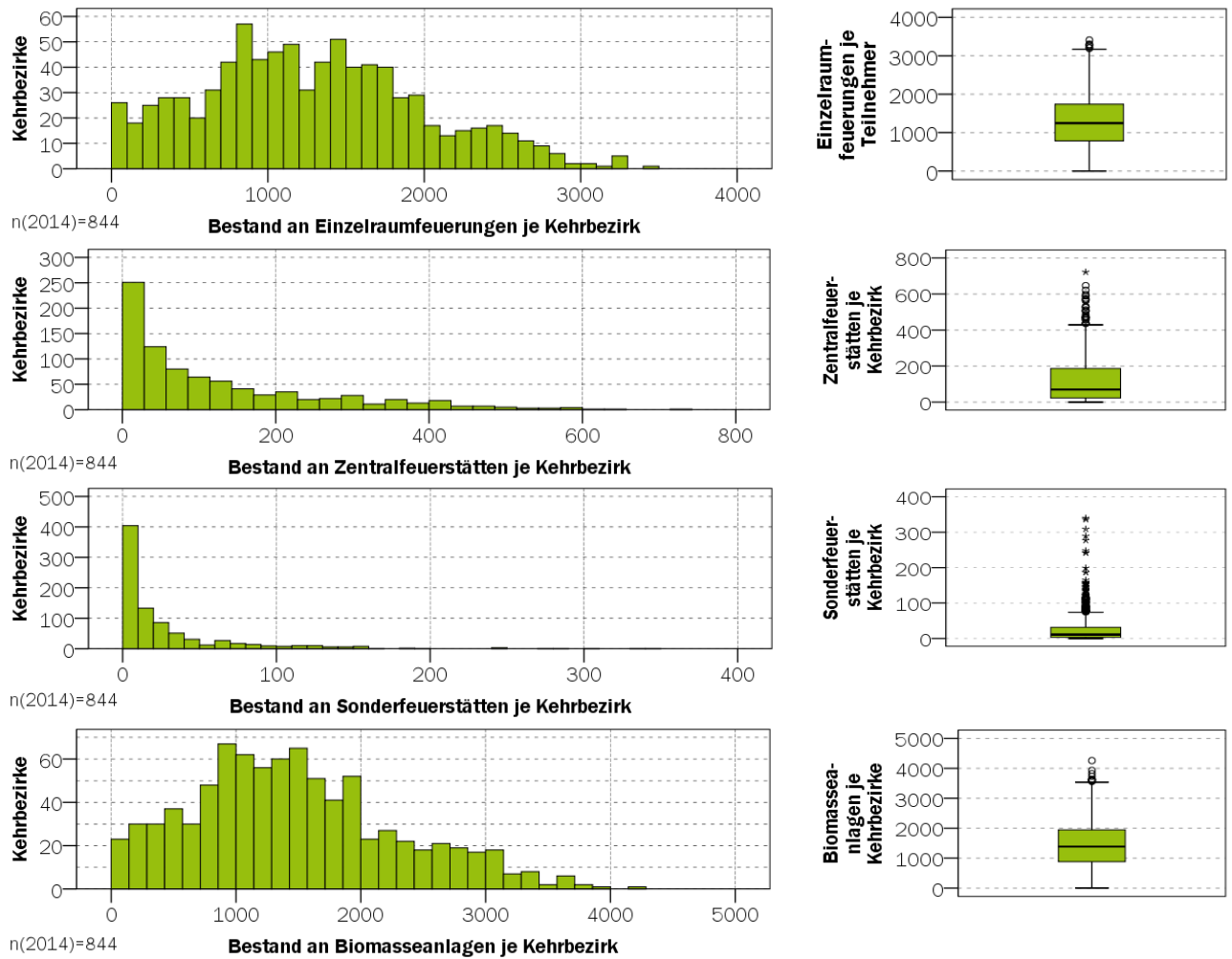


Abbildung 5-6 Häufigkeitsverteilung in Form von Histogrammen (links) und Box-Plot-Diagrammen (rechts) für die drei Technologiegruppen sowie Biomasseanlagen; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 (n=844)

Die dargestellten Histogramme in Abbildung 5-6 nehmen nicht die Form einer Gaußschen Glockenkurve an und auch die Box-Plot-Diagramme weisen insbesondere bei den Zentralfeuerstätten keine symmetrische Anordnung der Interquartilsabstände auf. Folglich ist weder der Bestand der einzelnen Technologiegruppen (Einzelraumfeuerungen, Zentral- und Sonderfeuerstätten) noch der Biomasseanlagen insgesamt normalverteilt. Die Asymmetrie einer Verteilung wird in der Statistik als Schiefe bezeichnet. Insbesondere die Verteilung des Bestands an Zentral- und Sonderfeuerstätten ist stark rechtsschief: Erkennbar an dem stärkeren Abfallen auf der rechten gegenüber der linken Seite. Die Verteilung der Biomasseanlagen bei den Teilnehmern der Erhebung 2012 weisen gemäß Abbildung A-3 keine nennenswerten Unterschiede zu Abbildung 5-6 auf.

### 5.1.2 Primarstatistische Erhebung zum Brennstoffeinsatz

Die Erhebung zum Brennstoffeinsatz wurde Mitte 2017 für die Heizperiode 2016/2017 durchgeführt (nachstehend Erhebung 2017 genannt) und nachstehend hinsichtlich des Umfangs und der Qualität der erhobenen Daten analysiert.

### Umfang der erhobenen Daten

Die Erhebung zum Brennstoffeinsatz ist für den einzelnen Teilnehmer aufwendiger als die Erhebung zum Anlagenbestand. Mit dem Ziel eine hohe Teilnehmerzahl zu generieren, wird ausschließlich auf die bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger zurückgegriffen, die bereits (wiederkehrend) an der Erhebung zum Anlagenbestand teilnahmen. Bei der Teilnehmerauswahl wird darauf geachtet, dass Vertreter aller Regionen (Nord, Ost, West, Süd, Stadtstaaten) sowie verschiedener Kehrbezirksstrukturen gemäß dem regionalen Parameter Einwohnerdichte (EW/Fläche) berücksichtigt werden. Die Anzahl der angefragten Teilnehmer der 17 Schichten (vier Regionen mit jeweils vier Schichten nach dem regionalen Parameter Einwohnerdichte und die Stadtstaaten ohne Differenzierung nach dem regionalen Parameter Einwohnerdichte) richtet sich nach der Anzahl der Kehrbezirke je Schicht – mindestens fünf Teilnehmer und maximal neun Teilnehmer. In Tabelle 5-2 sind die Anzahl der angefragten und die der verwertbaren Teilnehmer sowie die Rücklaufquote je Region aufgezeigt.

Tabelle 5-2 Anzahl der angefragten sowie verwertbaren Teilnehmer und Rücklaufquote je Region für die Erhebung 2017

Region	angefragte Teilnehmer	verwertbare Teilnehmer	Rücklaufquote
Nord	39	16	36 %
Ost	28	9	14 %
West	34	13	35 %
Süd	29	16	45 %
Stadt(staaten)	7	2	29 %

Insgesamt 45 der 137 angefragten Bezirksschornsteinfeger haben an der leitfadengestützten Online-Erhebung teilgenommen. Die Option des Telefoninterviews wurde nicht gewählt, gleichwohl telefonische Rückmeldungen zu der Befragung erfolgten. In den fünf Regionen war die Teilnahmebereitschaft entsprechend Tabelle 5-2 mit 14 % bis 45 % unterschiedlich hoch.

### Qualität der erhobenen Daten

Bei keinem der übermittelten Fragebögen wurden alle Felder ausgefüllt. Die Gründe hierfür sind unterschiedlich. Zum einen haben die Teilnehmer die Möglichkeit eine Befragung zu unterbrechen und zu einem späteren Zeitpunkt fortzufahren. Die bereits getätigten Eintragungen werden dennoch gespeichert und übermittelt und in einigen Fällen nicht mehr vervollständigt. Zum anderen geben einige Teilnehmer an, solche Anlagen (insbesondere bei den Sonderfeuerstätten und einigen Zentralfeuerstätten) nicht im Kehrbezirk zu haben und somit keine Aussagen hierzu tätigen zu können.

Der Dramaturgie des Fragebogens folgend, generierten 46 der 47 Teilnehmer Informationen zu den Einzelraumfeuerungen. Knapp zwei Drittel der Teilnehmer (31) schätzten zudem den Brennstoffeinsatz der Zentralfeuerstätten und nur noch 19 Teilnehmer (40 %) den in Sonderfeuerstätten. Lediglich sechs Teilnehmer schätzten die sektorale Bedeutung der Kleinf Feuerungsanlagen. Neben den Technologiegruppen unterscheiden sich auch die einzelnen Technologien bzw. Brennstoffsortimente. Während alle Teilnehmer Angaben zu den Kaminöfen und 93 % der Teilnehmer Angaben zu den Kamineinsätzen/Kaminkassetten tätigten, liegen diese Angaben nur für die Hälfte der Badeöfen (52 %) vor (siehe Tabelle A- 4). Analog verhält es sich bei den Zentralfeuerstätten. Alle der 31 Teilnehmer schätzten den Brennstoffeinsatz in Scheitholz-ZF und nur jeder Zweite für NawaRo-ZF (siehe Tabelle A- 5).

Die im Fragebogen den Teilnehmern zur Verfügung gestellte Option, eine Anlagengruppe (Technologie/Brennstoffsortiment) auszuwählen, deren Brennstoffeinsatz vergleichbar mit einer anderen ist, wurde für die einzelnen Technologien/Brennstoffsortimente unterschiedlich genutzt (siehe Tabelle A-4, Tabelle A-5, Tabelle A-6). Während die Teilnehmer bei den Zentralfeuerstätten bei 76 % der Hackschnitzel-ZF bzw. 89 % der Restholz-ZF und 100 % der Sägeprodukte-ZF den Brennstoffeinsatz mit anderen Brennstoffsortimenten vergleichbar einschätzten, sahen dies nur 15 % der Teilnehmer bei den Pellet-ZF. Ähnliche Differenzen treten auch bei den Einzelraumfeuerungen mit 12 % bei den Offenen Kaminen bis hin zu 83 % bei den Herden und Warmluftöfen.

Zum Abschluss dieser Erhebung sollte für die einzelnen Anlagengruppen durch die Teilnehmer eingeschätzt werden, wie hoch der Anteil der in den Haushalten installierten Anlagen ist. Die übrigen Anlagen sind folglich im GHD-Sektor verortet. Lediglich die Angaben von sechs der 47 Teilnehmer (13 %) können verwendet werden (siehe Tabelle A-7). Dies ist auch der Tatsache geschuldet, dass im Zuge der Datenbereinigung Missverständnisse bei einigen Eintragungen aufgedeckt wurden.

### 5.1.3 Sekundärstatistische Erhebung zur Kehrbezirkscharakterisierung

Die Charakterisierung der Kehrbezirke ist für die Gesamtheit aller Kehrbezirke möglich, da einerseits die Gemeinden lückenlos den Kehrbezirken zugeordnet wurden und andererseits die regionalen Parameter für alle Gemeinden Deutschlands durch die Regionalstatistik vorliegen.

#### Verteilung der regionalen Parameter

Die Verteilung ausgewählter regionaler Parameter in den 7.704 Kehrbezirken ist in Abbildung 5-7 (in Abbildung A-4 für weitere regionale Parameter) anhand von Histogrammen exemplarisch für das Bezugsjahr 2014 dargestellt. Die Dynamik hinsichtlich Veränderungen im Bereich Fläche, Flächennutzung sowie Einwohner und Steuereinnahmen ist in einem Zeitraum von zwei Jahren sehr gering. Folglich ist mit keinen erheblichen Veränderungen der Verteilungen zu rechnen. Nichtsdestotrotz werden den Untersuchungen zum Einfluss der regionalen Parameter auf den Anlagenbestand bei den Erhebungen 2012 und 2014 die entsprechenden Jahresscheiben der Regionalstatistik zugrunde gelegt.

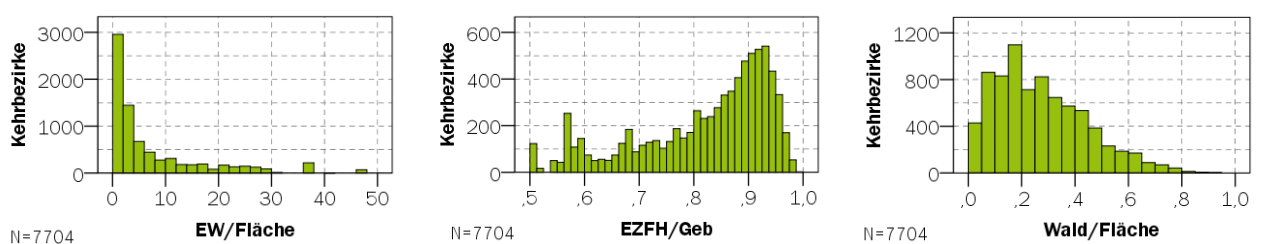


Abbildung 5-7 Häufigkeitsverteilung der Ausprägung der regionalen Parameter in der Grundgesamtheit (=Kehrbezirke); basierend auf der Regionalstatistik 2014 (N=7.704)

Die Kehrbezirke unterscheiden sich hinsichtlich der regionalen Parameter gravierend voneinander. Gemäß Abbildung 5-7 sind bei 400 Kehrbezirken weniger als 5 % der Gebietsfläche mit Wald bewachsen. Im Kontrast dazu weisen vereinzelte Kehrbezirke einen Anteil der Wald- an der Gebietsfläche mit über 80 % auf. Die Verteilung keiner der in Abbildung 5-7 und Abbildung A-4 aufgeführten regionalen Parameter ähnelt einer Gaußschen Glockenkurve – ein Indiz dafür, dass die regionalen Parameter nicht normalverteilt sind. Mit Ausnahme des regionalen Parameters EZFH/Gebäude fällt die Kurve stark rechts ab. In diesem Fall spricht man in der Statistik von rechtsschiefen Verteilungen.

## Vergleich Grundgesamtheit mit den Teilnehmern der Erhebungen 2012 und 2014

Die Verteilung der regionalen Parameter ist nicht nur für die Grundgesamtheit bekannt. Auch für die Teilnehmer an den Erhebungen zum Anlagenbestand 2012 und 2014 kann die Verteilung der regionalen Parameter dargestellt werden. Verzerrungen der Stichprobe – beispielsweise ein im Vergleich zur Grundgesamtheit erhöhter Anteil an Teilnehmern im ländlichen/städtischen Raum (mit einer geringen/hohen Einwohnerdichte) – können ohne Gewichtungsfaktoren zu einer Verzerrung des geschätzten Anlagenbestands führen, sofern der Anlagenbestand im ländlichen Raum gegenüber dem städtischen höher ist. Die Verteilung der regionalen Parameter kann beispielsweise in Form von Balkendiagrammen sichtbar werden. Am Beispiel des regionalen Parameters Einwohnerdichte (EW/Fläche) sind in Abbildung 5-8 die Anteile der fünf Schichten bei den Erhebungen 2012 und 2014 den der Grundgesamtheit gegenübergestellt.

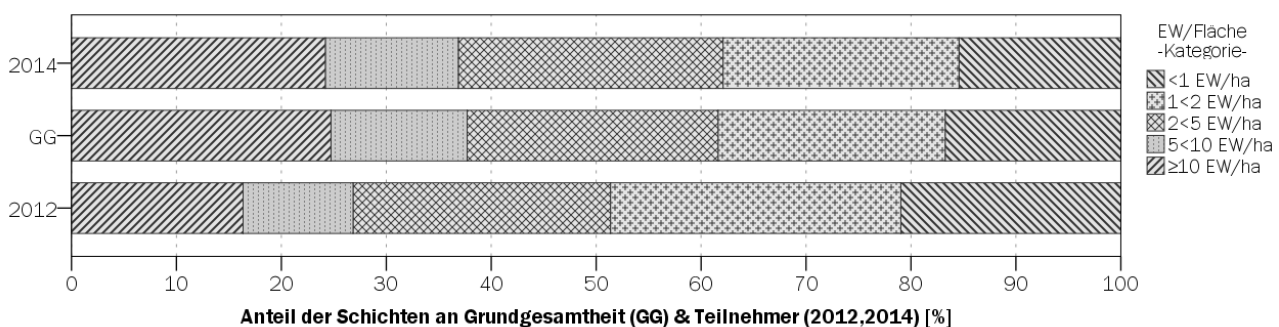


Abbildung 5-8 Gegenüberstellung der Anteile der einzelnen Schichten bei den Teilnehmern der beiden Erhebungen 2012 und 2014 sowie der Grundgesamtheit für den regionalen Parameter Einwohner/Fläche

Die Anteile der Größenklassen des regionalen Parameters Einwohnerdichte (z. B. <1 EW/ha) weichen zwischen der Erhebung 2014 und der Grundgesamtheit nur minimal voneinander ab. Dem hingegen ist der Anteil der Kehrbezirke mit weniger als einem Einwohner je Hektar (<1 EW/ha) in der Erhebung 2012 unterrepräsentiert zugunsten von Kehrbezirken mit mehr als fünf Einwohnern je Hektar (5<10 EW/ha und ≥10 EW/ha). In Abbildung A- 5 sind die Anteile weiterer regionaler Parameter an den beiden Erhebungen 2012 und 2014 sowie der Grundgesamtheit aufgeführt. Dabei wird deutlich, dass die Verschiebung der Teilnehmer gegenüber der Grundgesamtheit keinem Muster folgt. Folglich ist für jeden regionalen Parameter zu prüfen, inwiefern Gewichtungsfaktoren bei der Hochrechnung einzuführen sind.

## 5.2 Quantifizierung des Anlagenbestandes

Zentrales Ziel der Stichprobenerhebung ist die Quantifizierung des Anlagenbestandes von biomassebasierten Kleinf Feuerungsanlagen (nachstehend Biomasseanlagen genannt) in Deutschland. In diesem Kapitel wird der unter Anwendung der Horvitz-Thompson-Schätzer, Automatischen linearen Modellierung und Regressionsschätzern geschätzte Bestand an Einzelraumfeuerungen, Zentral- und Sonderfeuerstätten dargestellt. Dem vorangestellt sind die Ergebnisse der Korrelationsanalyse. Diese liefert umfangreiche Erkenntnisse zum Einfluss regionaler Parameter auf den Anlagenbestand.

Der Tatsache folgend, dass zwischen den Technologiegruppen differenziert wird, werden ausschließlich die Teilnehmer berücksichtigt, bei denen bei mehr als 95 % der Biomasseanlagen eine Zuordnung zur Technologiegruppe erfolgt. Bei der Erhebung 2012 trifft dies für 477 der 558 Teilnehmer zu und bei der Erhebung 2014 halten 765 der 844 Teilnehmer dieses Qualitätskriterium ein.



### 5.2.1 Korrelationsanalyse - Einfluss der regionalen Parameter auf den Anlagenbestand

Anhand der Korrelationsanalyse wird untersucht, wie groß der Einfluss regionaler Parameter auf den Bestand der Biomasseanlagen ist. Die identifizierten Parameter fließen einerseits in einem nächsten Schritt in die Hochrechnung ein. Andererseits werden Hypothesen zum Einfluss regionaler Parameter, wie der Stadt-Land-Beziehung oder dem Waldangebot, auf den Anlagenbestand getestet. Den Ausführungen in Kapitel 3.3.2 folgend wird die Stärke des Einflusses der regionalen Parameter auf den Anlagenbestand unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  ermittelt. Trotz der nachgewiesenen Verletzung der Normalverteilung des Anlagenbestandes (Kapitel 5.1.1) und der regionalen Parameter (Kapitel 5.1.3) kann dieser Koeffizient angewendet werden.

In Abbildung 5-9 sind die Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  als Ergebnis der Korrelationsanalyse zwischen den Biomasseanlagen und den regionalen Parametern für die Erhebungen 2012 und 2014 dargestellt.

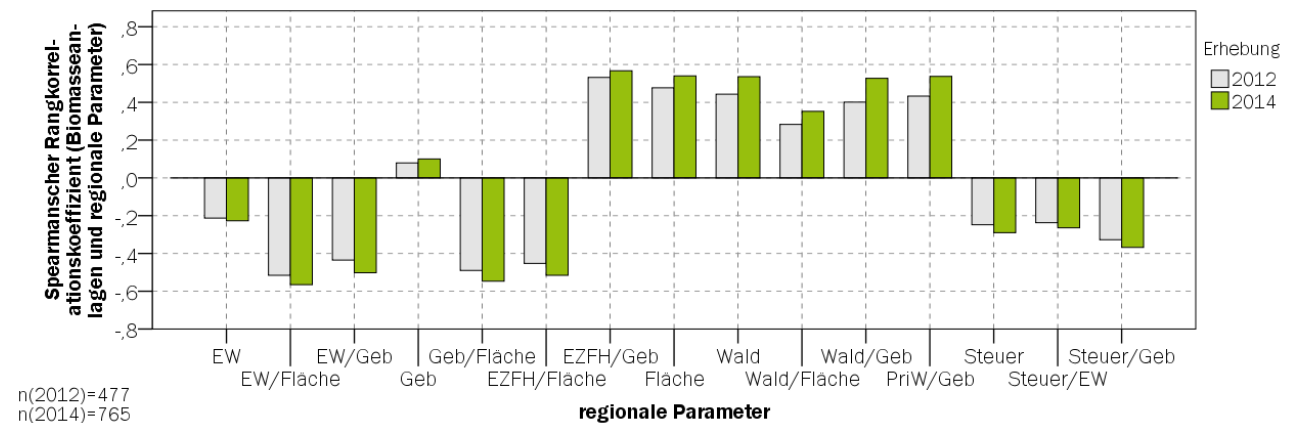


Abbildung 5-9 Stärke des Zusammenhangs zwischen dem Bestand an Biomasseanlagen und regionalen Parametern unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$ ; basierend auf den Teilnehmern mit Angaben zur Technologie >95 % der Erhebungen 2012 (n=477) und 2014 (n=765)

Unabhängig der regionalen Parameter ist entsprechend Abbildung 5-9 der Zusammenhang in der Erhebung 2014 gegenüber 2012 stärker. Am stärksten beeinflussen den Anlagenbestand regionale Parameter, die die Bedeutung des Waldes (Wald/Geb) sowie die Gebäude- und Regionalstruktur (EZFH/Geb, Geb/Fläche und EW/Fläche) beschreiben. Dementgegen besteht kein Einfluss auf den Anlagenbestand durch die Flächen- und Ökonomiestruktur (Steuer/EW, Wald/Fläche).

Ergänzend zur Stärke wird auch die Form des Einflusses der regionalen Parameter auf den Anlagenbestand in Form von Streudiagrammen analysiert. In Abbildung 5-10 sind exemplarisch für die Erhebung 2014 und drei ausgewählte regionale Parameter die Streudiagramme aufgetragen, die in Abbildung A- 6 um die Erhebung 2012 und weitere regionale Parameter ergänzt werden.

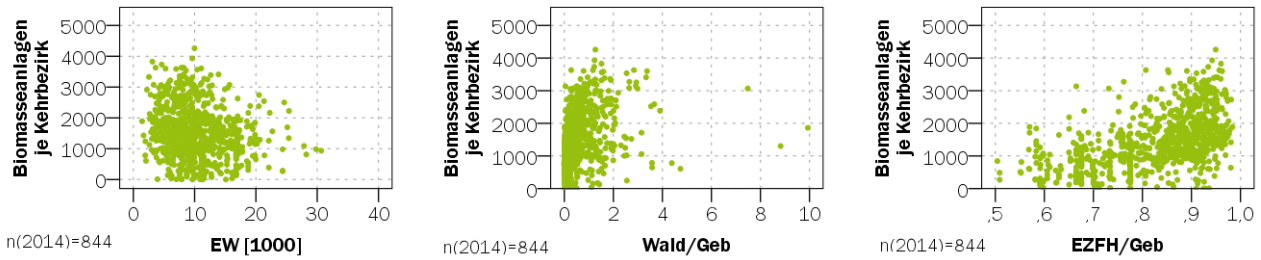


Abbildung 5-10 Form des Zusammenhangs zwischen dem Bestand an Biomasseanlagen und den regionalen Parametern; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 (n=844)

Der Zusammenhang zwischen den regionalen Parametern und dem Anlagenbestand nimmt unterschiedlichste Form an. Während bei dem regionalen Parameter Wald/Gebäude eine Punktwolke um eine steigende Gerade zu erkennen ist, nimmt die Punktwolke bei dem regionalen Parameter EZFH/Gebäude eine exponentielle Form an (siehe Abbildung 5-10). Gemäß Abbildung 5-9 weisen diese beiden regionalen Parameter einen nennenswerten Einfluss auf den Anlagenbestand auf. Mit einem Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  von 0,2 gilt dies nicht für den regionalen Parameter Einwohner. Diese Tatsache spiegelt sich auch in der Form des Zusammenhangs – eine sogenannte Punktwolke ohne Tendenz – wider. Diese Analyse zeigt, dass die Stärke und Form des Einflusses auf den Anlagenbestand sehr stark vom regionalen Parameter an sich abhängen.

Zusätzlich ist der Frage nachzugehen, inwiefern unterschiedliche regionale Parameter den Bestand der drei Technologiegruppen (Einzelraumfeuerungen sowie Zentral- und Sonderfeuerstätten) beeinflussen. Zu diesem Zweck ist in Abbildung 5-11 die Stärke des Zusammenhangs unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  für die drei Technologiegruppen (und den Anlagenbestand in Summe) und der Erhebung 2014 aufgetragen. Mit dem Ziel die Technologiegruppen in den Fokus der Auswertung zu rücken, werden die Teilnehmer beider Erhebungen berücksichtigt. Diese Anforderungen erfüllen 86 % bzw. 91 % der Teilnehmer an den Erhebungen 2012 und 2014. Das Ergebnis für die Erhebung 2012 ist Abbildung A- 7 zu entnehmen. Unterschiede hinsichtlich der Bedeutung einzelner regionaler Parameter bringt ein Vergleich beider Erhebungen nicht hervor.

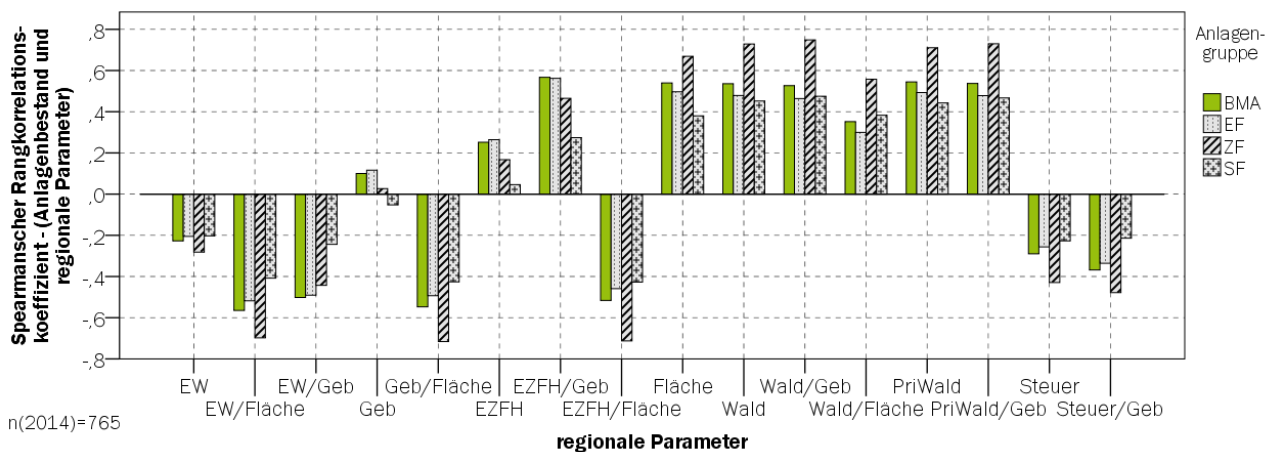


Abbildung 5-11 Stärke des Zusammenhangs zwischen dem Bestand an Biomasseanlagen (BMA) bzw. den drei Technologiegruppen (EF, ZF, SF) und den regionalen Parametern unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$ ; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)



Grundlegend ist – mit wenigen Ausnahmen – ein stärkerer Einfluss der regionalen Parameter auf den Bestand an Zentralfeuerstätten gegenüber den Einzelraumfeuerungen und Sonderfeuerstätten zu verzeichnen. Für eine verbesserte Übersicht sind in Tabelle 5-3 die fünf regionalen Parameter aufgeführt, die unter Anwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  den stärksten Einfluss auf die drei Technologiegruppen bzw. den Anlagenbestand allgemein aufweisen.

Tabelle 5-3 Regionale Parameter mit dem stärksten Zusammenhang zwischen dem Bestand an Biomasseanlagen bzw. den drei Technologiegruppen unter Anwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$ ; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Biomasseanlagen	Einzelraumfeuerungen	Zentralfeuerstätten	Sonderfeuerstätten
EZFH/Gebäude	EZFH/Gebäude	Wald/Gebäude	Wald/Gebäude
EW/Fläche	EW/Fläche	PriWald/Gebäude	PriWald/Gebäude
Gebäude/Fläche	Fläche	Wald	Wald
Fläche	Gebäude/Fläche	PriWald	PriWald
PriWald/Gebäude	EW/Gebäude	EZFH/Fläche	Gebäude/Fläche

Anhand Tabelle 5-3 werden die Unterschiede insbesondere zwischen den Einzelraumfeuerungen und den Zentral- bzw. Sonderfeuerstätten deutlich. Einzelraumfeuerungen werden primär von der Regional- und Gebäudestruktur beeinflusst. Die Bedeutung des Waldes sowie die Flächenstruktur spielen bei den Einzelraumfeuerungen nur eine untergeordnete Rolle, während diese den Bestand an Zentral- und Sonderfeuerstätten am stärksten beeinflussen.

Dabei ist zu klären inwiefern neben der Stärke auch die Form des Zusammenhangs sich zwischen den drei Technologiegruppen unterscheiden. In Abbildung 5-12 sind exemplarisch für den regionalen Parameter Einwohnerdichte (EW/Fläche) die Streudiagramme für die drei Technologiegruppen abgebildet und in Abbildung A- 8 für weitere regionale Parameter und die Erhebung 2012.

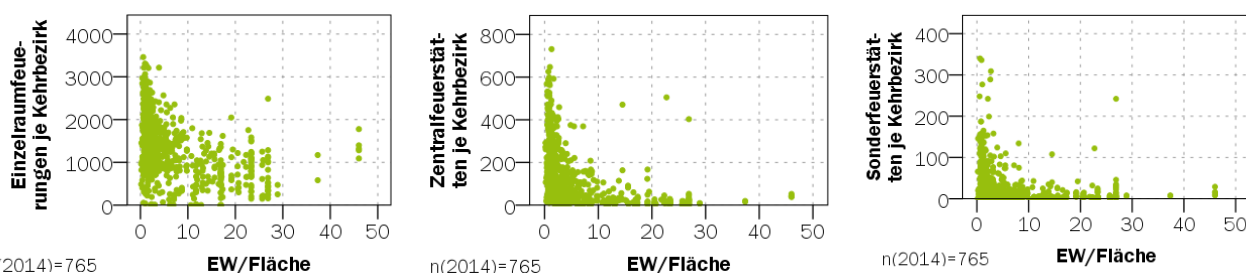


Abbildung 5-12 Form des Zusammenhangs zwischen dem Bestand der drei Technologiegruppen und dem regionalen Parameter Einwohnerdichte (EW/Fläche); basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Eine gesonderte Betrachtung der drei Technologiegruppen verändert nicht entscheidend die Form des Zusammenhangs. Die logarithmische Form bleibt im Fall des regionalen Parameters Einwohnerdichte bestehen (siehe Abbildung 5-12). Auffällig ist hingegen, dass die Spannweiten des Anlagenbestands bei den Einzelraumfeuerungen deutlich größer gegenüber den Zentral- und Sonderfeuerstätten sind.

Neben den Technologiegruppen ist von Interesse, wie stark der Einfluss eines regionalen Parameters in den fünf Regionen schwankt. In Abbildung 5-13 ist zu diesem Zweck die Stärke des Zusammenhangs

zwischen den regionalen Parametern und den fünf Regionen unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  exemplarisch für die Einzelraumfeuerungen aufgetragen.

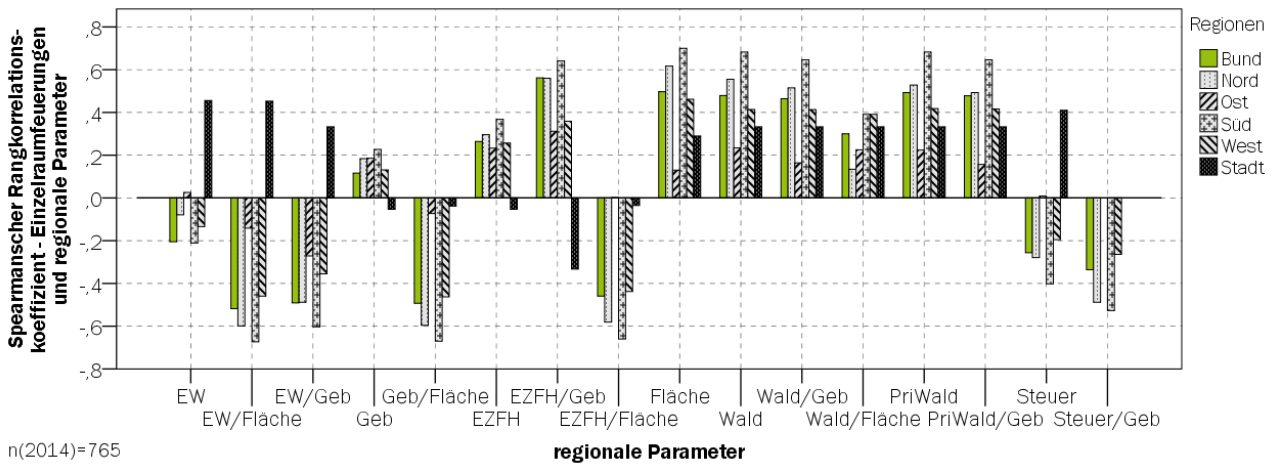


Abbildung 5-13 Stärke des Zusammenhangs zwischen dem Bestand an Einzelraumfeuerungen und den regionalen Parametern unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$ ; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Die Stärke des Zusammenhangs unterscheidet sich zwischen den Regionen für die einzelnen regionalen Parameter beträchtlich. So ist in der Region Süd unabhängig des regionalen Parameters der stärkste und in der Region Stadt der schwächste Zusammenhang zu verzeichnen. Diese Aussage gilt auch für die Zentral- und Sonderfeuerstätten (Abbildung A- 9, Abbildung A- 10) Ergänzend zur Stärke des Zusammenhangs wird in Abbildung 5-14 exemplarisch für den regionalen Parameter Einwohnerdichte (EW/Fläche) die Form des Zusammenhangs je Technologiegruppe und Region betrachtet.

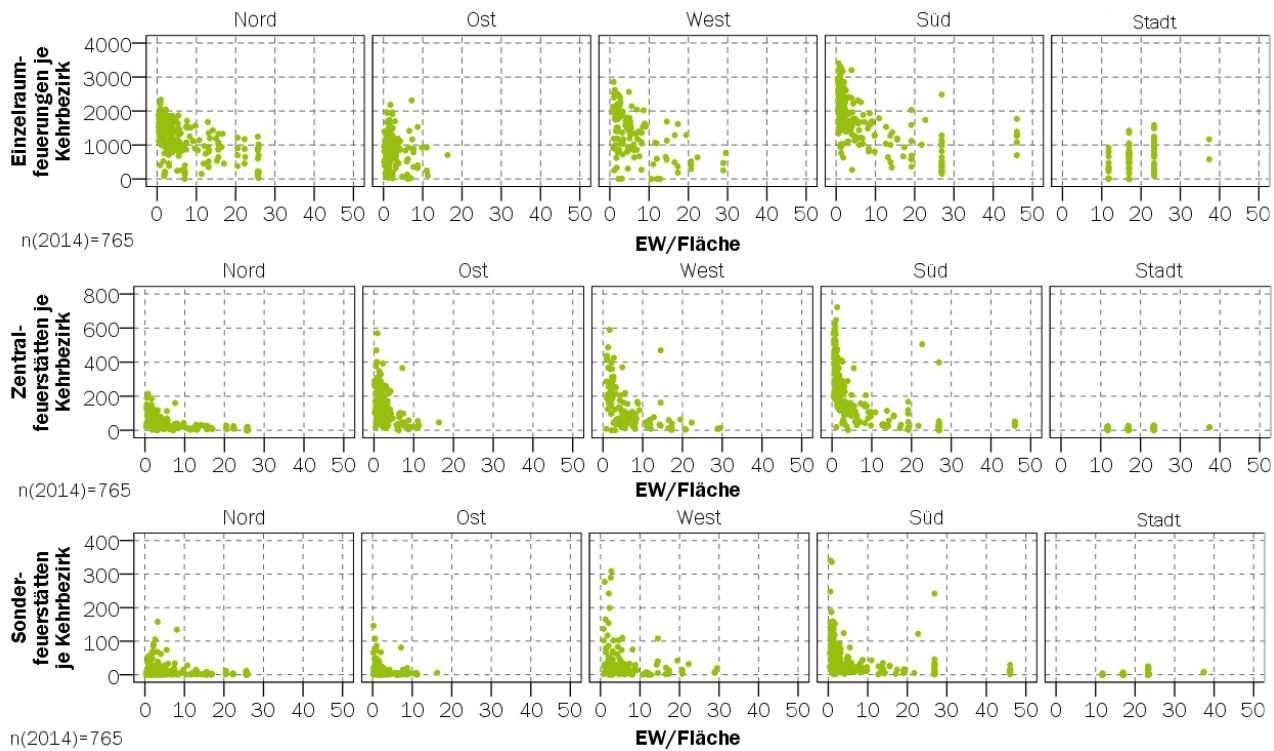


Abbildung 5-14 Form des Zusammenhangs zwischen dem Bestand der drei Technologiegruppen und dem regionalen Parameter Einwohnerdichte (EW/Fläche) in den fünf Regionen; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Grundlegend zeigt Abbildung 5-14, dass die Form des Zusammenhangs in den vier Regionen Nord, Ost, West und Süd vergleichbar ist. Maßgeblich ist der Unterschied in Abbildung 5-14 auf die stark abweichende maximale Anzahl der Biomasseanlagen in den Regionen zurückzuführen. Während in der Region Süd einzelne Teilnehmer bis zu 800 Zentralfeuerstätten im Kehrbezirk betreuen, liegt das Maximum in der Region Nord lediglich bei rund 200 Zentralfeuerstätten. Die Region Stadtstaaten nimmt mit der Säulenform eine gesonderte Rolle ein. Diese liegt darin begründet, dass diese Region nur vier Gemeinden (Berlin, Bremen, Bremerhaven und Hamburg) und somit vier Werte für den regionalen Parameter Einwohnerdichte umfasst. Vergleichbare Schlüsse können auch aus den Streudiagrammen für andere regionale Parameter in Abbildung A- 11 gezogen werden.

Folgende Erkenntnisse können für die Hochrechnung aus der vorangestellten Analyse des Einflusses der regionalen Parameter auf den Anlagenbestand gewonnen werden:

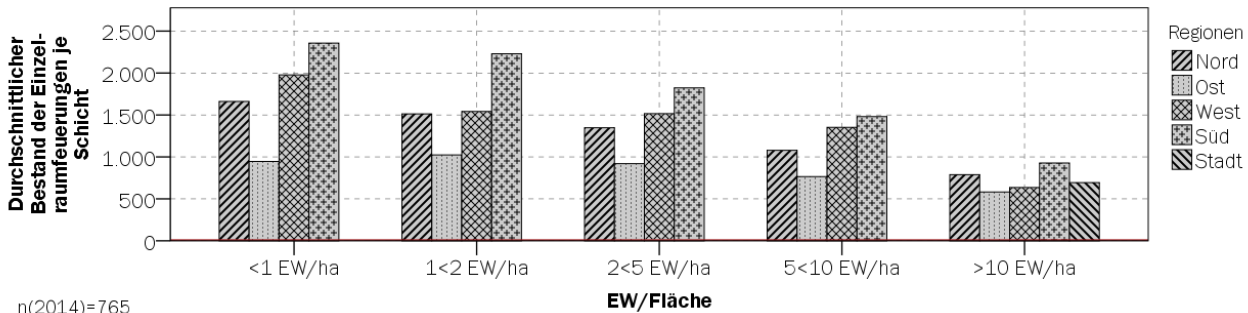
- Die Hochrechnung ist für die Technologiegruppen gesondert durchzuführen. Damit können die Ergebnisse gesondert ausgewiesen werden und die jeweils für die Technologiegruppe maßgeblichen Parameter gemäß Tabelle 5-3 berücksichtigt werden.
- Eine Differenzierung der fünf Regionen ist anzuraten, damit den regionalen Unterschieden bezüglich des durchschnittlichen Anlagenbestandes in den Kehrbezirken Rechnung getragen werden kann.

## 5.2.2 Bestand an Einzelraumfeuerungen

Kern dieses Kapitels ist die Darstellung des Einzelraumfeuerungsbestandes, sowohl für die einzelnen Technologien (z. B. Kaminöfen) als auch für die einzelnen Bundesländer. Dem vorangestellt werden wesentliche Hintergrundinformationen zu den drei angewandten Methoden (Horvitz-Thompson-Schätzer, Automatische lineare Modellierung und Regressionsschätzung).

### Hintergrundinformationen zu den angewandten Methoden

Horvitz-Thompson-Schätzer. Horvitz-Thompson-Schätzer berücksichtigen die uneingeschränkte Zufallsauswahl und die geschichtete uneingeschränkte Zufallsauswahl in zwei Dimensionen – nach regionalen Unterschieden (gemäß Kapitel 5.1.1) und regionalen Parametern mit einem starken Einfluss auf den Einzelraumfeuerungsbestand (Kapitel 5.2.1). Inwiefern regionale Unterschiede (=Regionen) und die Ausprägung der regionalen Parameter den Bestand an Einzelraumfeuerungen beeinflussen, wird exemplarisch für den Anteil der Ein- und Zweifamilienhäuser am Gebäudebestand (EZFH/Geb) in Abbildung 5-15 und für die übrigen regionalen Parameter in Abbildung A- 12 nachgegangen



n(2014)=765  
 Abbildung 5-15 Durchschnittlicher Bestand der Einzelraumfeuerungen je Schicht unter Berücksichtigung der fünf Regionen (Balken) und Ausprägung des regionalen Parameters EZFH/Geb (X-Achse); basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Mit zunehmendem Anteil der Ein- und Zweifamilienhäuser am Gebäudebestand nehmen auch die Unterschiede des Stichprobenmittelwertes für den Bestand an Einzelraumfeuerungen zwischen den Regionen zu. Diese Aussage kann auch für die anderen Schichtungsparameter übernommen werden (vergleiche Abbildung A- 12), so dass die unter Berücksichtigung der regionalen Unterschiede gewonnenen Ergebnisse in deren Qualität höher einzustufen sind.

Automatische lineare Modellierung. Die Software SPSS wählt aus den eingepflegten regionalen Parametern folgende für das Modell zur Ermittlung des Bestands an Einzelraumfeuerungen aus:

- EZFH/Fläche
- EW/WE
- Wald/Fläche
- Steuer/EW
- EZFH/Geb
- EW/Geb
- PriWald/Wald

Analog der Korrelationsanalyse in Kapitel 5.2.1 wählte auch das Programm primär regionale Parameter zur Beschreibung der Regional- und Gebäudestruktur aus. Es werden zudem Parameter zur Beschreibung der Verfügbarkeit von Holz (Wald/Fläche, PriWald/Wald) und der Ökonomiestruktur (Steuer/EW) seitens des Modells berücksichtigt. Das Modell weist ein korrigiertes Bestimmtheitsmaß  $R^2_{korr.}$  von 0,404 auf.

Regressionsschätzung. Die Erstellung von Modellen zur Regressionsschätzung erfolgte in einem iterativen Prozess. Für die Einzelraumfeuerungen wurden über 30 Modelle erstellt. In Tabelle A- 8 sind für acht Modelle neben dem korrigiertem Bestimmtheitsmaß  $R^2_{korr.}$  als Gütekriterium auch Abschätzungen zur Einhaltung der Randbedingungen Linearität, Homoskedastizität, Multikollinearität und Normalverteilung zusammengefasst. Die Randbedingungen Normalverteilung und Multikollinearität werden in den meisten Modellen erfüllt. Dem hingegen zeigt Tabelle A- 8, dass durch den Ein- bzw. Ausschluss verschiedener regionaler Parameter die Randbedingungen Homoskedastizität und Linearität merklich beeinflusst werden. Tabelle 5-4 fasst die Regressoren für die drei Modelle mit dem höchstem korrigierten Bestimmtheitsmaß  $R^2_{korr.}$  unter Einhaltung der Rahmenbedingungen zusammen.

Tabelle 5-4 Übersicht zu den Regressionsmodellen für die Ermittlung des Bestands an Einzelraumfeuerungen

Modell	Regressoren	$R^2_{korr.}$ (Bund)	$R^2_{korr.}$ (Region)
1	Geb/Fläche, EZFH/Geb, PriWald/Fläche, Ste/Geb	0,350	0,530
2	EZFH/Fläche, PriWald/Geb, EZFH/Geb, Steuer/Geb	0,355	0,532
3	Geb/Fläche, EZFH/Geb, PriWald/Fläche, Ste/Geb, EW/WE	0,388	0,535

Grundsätzlich verdeutlicht Tabelle 5-4, dass die Berücksichtigung der Regionen zu einer deutlichen Erhöhung um das 1,5fache des korrigierten Bestimmtheitsmaßes  $R^2_{korr.}$  führt. Die Modelle unterstreichen die in Tabelle 5 4 identifizierte Bedeutung der Regional- und Gebäudestruktur auf den Bestand der Einzelraumfeuerungen. Die Hinzunahme der ökonomischen Aspekte und Bedeutung (Steuer/Gebäude) bewirken eine zusätzliche Verbesserung der Modelle. Für alle sechs Modelle zeigen die P-P-Diagramme in Tabelle A- 9 keine Abweichung von der Geraden durch den Nullpunkt und die Werte Toleranz und Variance Inflation Factor (VIF) liegen im Toleranzbereich. Zudem weisen die Streudiagramme zur Identifizierung von Linearität und Homoskedastizität bei den Modellen mit Berücksichtigung der Region ein homogeneres Streubild gegenüber den Modellen ohne Berücksichtigung der Regionen auf.

### Bestand an Einzelraumfeuerungen auf Bundesebene

Die unter Verwendung der drei aufgezeigten Methoden generierten Ergebnisse zum geschätzten Bestand an Einzelraumfeuerungen sind in Abbildung 5-16 gegenübergestellt. Dabei werden bei den Horvitz-Thompson-Schätzern die Ergebnisse für die uneingeschränkte Zufallsauswahl (=keine Schichtungsvariable) sowie die der geschichteten uneingeschränkten Zufallsauswahl (=fünf Schichtungsvariablen mit dem stärksten Einfluss auf den Anlagenbestand) und bei der Regressionsschätzung für die drei Modelle in Tabelle 5-4 dargestellt.

Zusätzlich werden die Ergebnisse für alle Modelle/Methoden mit unterschiedlichem regionalen Bezug dargestellt – ohne (=regionaler Bezug Bund, linker Balken) und mit (=regionaler Bezug Region, rechter Balken) Berücksichtigung der Unterschiede in den fünf Regionen Nord, Ost, West, Süd und Stadt.

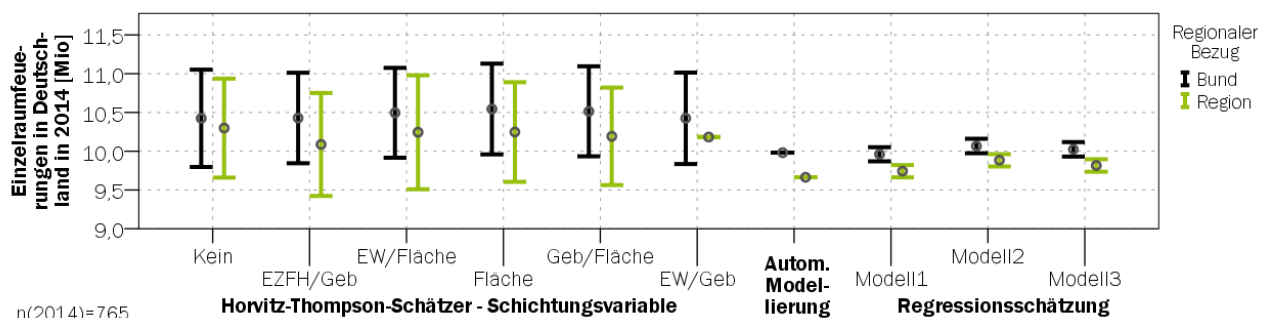


Abbildung 5-16 Geschätzter Bestand der Einzelraumfeuerungen in 2014 unter Verwendung der Horvitz-Thompson-Schätzer, der Automatischen linearen Modellierung und der Regressionsschätzung; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Unabhängig der angewandten Methode und verwendeten Schichtungsvariable/erstelltem Modell liegt die Punktschätzung in der Größenordnung von 9,5 bis 10,5 Millionen. Die Intervalllängen unterscheiden sich – trotz einheitlichem Konfidenzintervall von 95 % - jedoch erheblich zwischen den Ergebnissen unter Verwendung der Horvitz-Thompson-Schätzer einerseits und der Regressionsschätzung andererseits.

Zudem führt die Berücksichtigung der Regionsunterschiede methodenübergreifend zur Verminderung des geschätzten Einzelraumfeuerungsbestands.

Für die detailliertere Betrachtung der Einzelraumfeuerungen werden die Ergebnisse der Regressionsschätzung mit Berücksichtigung der regionalen Unterschiede (=regionaler Bezug: Region) verwendet. Die Regressionsschätzung zu dem Horvitz-Thompson-Schätzer bietet den Vorteil multikausale Zusammenhänge abzubilden und zu der Automatischen linearen Modellierung nicht nur eine Punkt-, sondern auch eine Intervallschätzung vorzunehmen. Zudem zeugen die deutlich geringeren Intervalllängen der Regressionsschätzung von einer höheren Qualität der Schätzung. In Tabelle 5-5 sind die Ergebnisse der Punktschätzung  $\pm$  der halben Intervalllänge der Intervallschätzung zusammengefasst. Die Qualität des geschätzten Bestandes kann anhand des Verhältnisses der halben Intervalllänge der Intervallschätzung und der Punktschätzung abgeleitet werden. Der Bestand der Einzelraumfeuerungen wird für die acht Technologien der Einzelraumfeuerungen (nachstehend EF-Technologien genannt) geschätzt. Mit der Angabe EF-Sonstige wurden die EF-Technologien zusammengefasst, die keiner der acht EF-Technologien zugeordnet werden konnten.

Tabelle 5-5 Geschätzter Bestand der EF-Technologien in 2012 und 2014; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765) sowie den wiederkehrenden Teilnehmern an den Erhebungsphasen 2012 und 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=176)

Technologie	Bestand 2012	Bestand 2014
Badeofen	72.000 $\pm$ 6.600	66.000 $\pm$ 6.400
Grundofen	492.000 $\pm$ 32.100	510.000 $\pm$ 33.700
Heizherd	73.000 $\pm$ 7.900	74.000 $\pm$ 8.000
Herd	730.00 $\pm$ 56.700	720.000 $\pm$ 57.600
Kamineinsatz/Kaminkassette	945.000 $\pm$ 47.400	1.040.000 $\pm$ 52.200
Kaminofen	5.081.000 $\pm$ 138.300	5.370.000 $\pm$ 148.000
Offener Kamin	824.000 $\pm$ 42.400	833.000 $\pm$ 44.000
Wärmeluftofen	1.066.00 $\pm$ 62.400	1.095.000 $\pm$ 63.900
EF-Sonstige	76.000 $\pm$ 21.700	262.000 $\pm$ 56.900
Einzelraumfeuerungen	9.359.000 $\pm$ 70.500	9.970.000 $\pm$ 79.900

In 2014 wird der Bestand an Einzelraumfeuerungen auf knapp 10 Millionen Anlagen geschätzt. Jede zweite Einzelraumfeuerung ist ein Kaminofen. Doch auch Kamineinsätze/Kaminkassetten sowie Wärmeluftöfen haben mit jeweils einer Million Anlagen einen bedeutenden Anteil (20 %) am Bestand der Einzelraumfeuerungen. Im Gegensatz dazu spielen mit jeweils weniger als 1 % Badeöfen und Heizherde nur eine untergeordnete Rolle am Bestand der Einzelraumfeuerungen. Die Qualität der Schätzung unterscheidet sich zwischen den Technologien erheblich. So weist das Verhältnis aus der halben Intervalllänge der Intervallschätzung zu der Punktschätzung eine Spannweite von 0,03 bei Kaminöfen über 0,06 bei Wärmeluftöfen bis hin zu 0,11 bei Heizherden auf. Daraus kann abgeleitet werden, dass mit steigendem Bestand der EF-Technologie dieser mit höherer Qualität geschätzt werden kann.

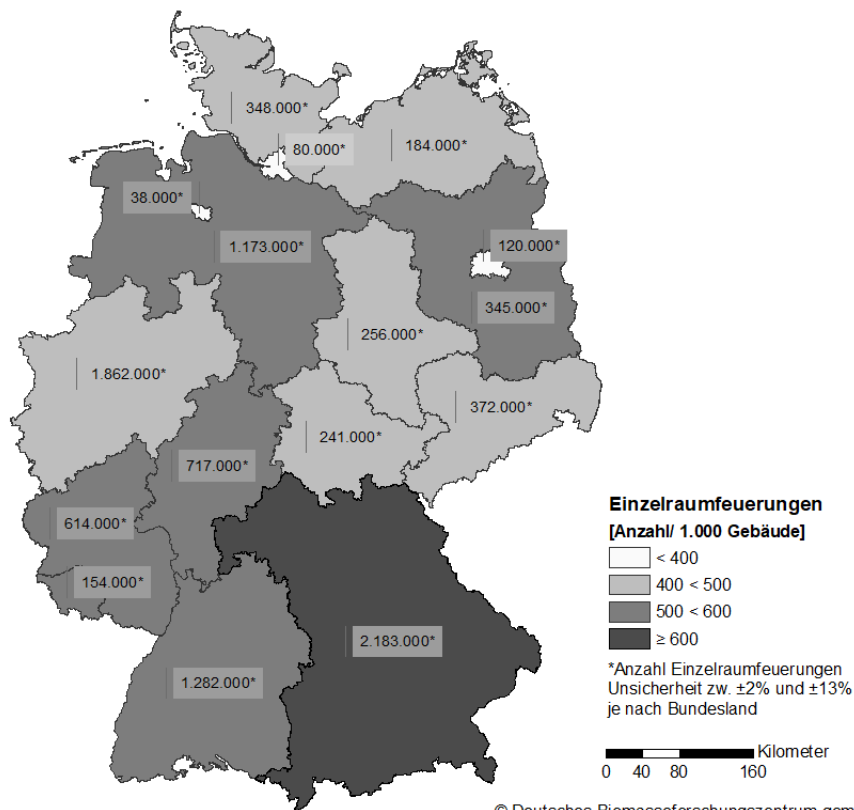
Neben dem Bestand für das Jahr 2014 wird in Tabelle 5-5 auch der Bestand für das Jahr 2012 ausgewiesen. Dieser basiert auf der in Kapitel 4.3.4 erläuterten Rückrechnung anhand von Trends (siehe



Tabelle A- 10) der wiederkehrenden Teilnehmer je EF-Technologie. Dieser Ansatz weist eine Zunahme der Einzelraumfeuerungen um 6,5 % zwischen 2012 und 2014 aus. Werden die für das Jahr 2014 gebildeten Regressionsmodelle auf den Teilnehmerkreis 2012 angewandt, so ergibt sich eine Zunahme um 8,4 %. Die Ergebnisse beider Ansätze für die einzelnen EF-Technologien sind in Tabelle A- 11 zusammengefasst.

### Bestand an Einzelraumfeuerungen auf Bundeslandebene

Neben den einzelnen EF-Technologien ist zusätzlich die regionale Verteilung der Einzelraumfeuerungen von Interesse. Insbesondere die Regressionsschätzung ermöglicht es, den Bestand an Einzelraumfeuerungen auf Kehrbezirke zu schätzen. Die Aussagen bezogen auf Kehrbezirke sind jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet. Demzufolge und aus Datenschutzgründen ist die unterste regionale Ebene die Bundeslandebene. In Abbildung 5-17 ist der geschätzte Bestand an Einzelraumfeuerungen für das Jahr 2014 in den 16 Bundesländern aufgeführt. Ergänzend dazu repräsentiert die Schattierung der Bundesländer den auf den Gebäudebestand bezogenen Bestand an Einzelraumfeuerungen.



© Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, 11/2017

Abbildung 5-17 Geschätzter Bestand der Einzelraumfeuerungen in 2014 absolut und bezogen auf den Gebäudebestand in Deutschland nach Bundesländern; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Der Bestand an Einzelraumfeuerungen je Bundesland reicht von 38.000 in Bremen bis hin zu 2,18 Millionen in Bayern. Neben der stark abweichenden Ausprägung regionaler Parameter beider Bundesländer (hinsichtlich Einwohner, Fläche etc.), unterscheidet sich auch die Anzahl an Einzelraumfeuerungen je Gebäude zwischen den beiden Bundesländern erheblich. Während in Bremen nur 276 Einzelraumfeuerungen je 1000 Gebäude installiert sind, ist dieser Wert in Bayern mit 735 Einzelraumfeuerungen je 1000 Gebäude um das 2,7-fache höher. Während Nordrhein-Westfalen den zweithöchsten absoluten Bestand aufweist, liegt es mit 487 Einzelraumfeuerungen je 1000 Gebäude

lediglich im Mittelfeld hinsichtlich der Einzelraumfeuerungen je Gebäude. Dem hingegen weisen Baden-Württemberg und auch Niedersachsen den dritt- und vierthöchsten absoluten Bestand sowie Bestand pro Gebäude auf.

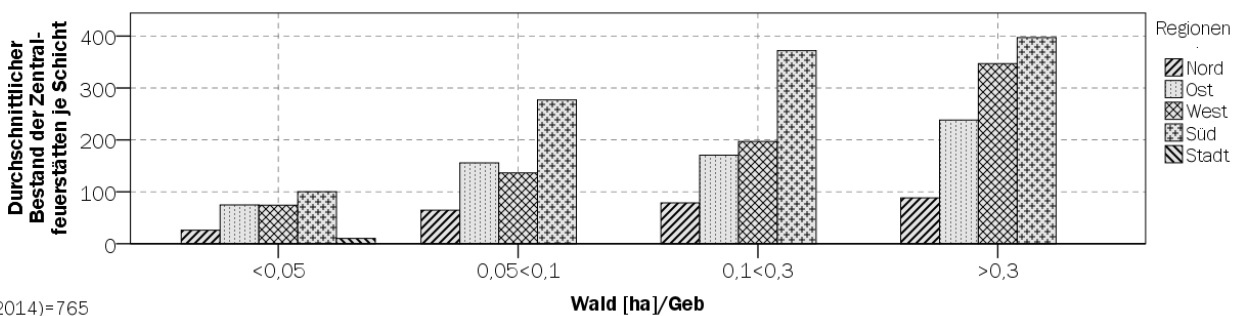
Grundlage für die Ergebnisse in Abbildung 5-17 bildet die Regressionsschätzung mit Berücksichtigung der regionalen Unterschiede. In Abbildung A- 13 sind die Hochrechnungsergebnisse analog Abbildung 5-16 für jeweils ein Bundesland je Region (z. B. Sachsen für die Region Ost) dargestellt. Demzufolge führt die Berücksichtigung der regionalen Unterschiede nicht zwingend zu einer verminderten Schätzung des Bestands an Einzelraumfeuerungen. Entscheidend dabei ist die Abweichung des Anlagenbestandes der Bundesländer gegenüber dem Bund. Liegt dieser wie in Bayern über dem Bundesdurchschnitt, führt das Einbeziehen der regionalen Unterschiede zu einem höheren geschätzten Anlagenbestand. Gleichwohl führt ein durchschnittlicher Anlagenbestand einer Region unterhalb des Bundesdurchschnitts zu einer Überschätzung des Anlagenbestandes, sofern die regionalen Unterschiede nicht berücksichtigt werden.

### 5.2.3 Bestand an Zentralfeuerstätten

In diesem Kapitel wird der Bestand an Zentralfeuerstätten für die verschiedenen Brennstoffsortimente (z. B. Scheitholz) und auf der Ebene der Bundesländer aufgezeigt. Wesentliche Hintergrundinformationen zu den drei angewandten Methoden (Horvitz-Thompson-Schätzer, Automatische lineare Modellierung und Regressionsschätzung) werden zunächst dargestellt.

#### Hintergrundinformationen zu den angewandten Modellen

Horvitz-Thompson-Schätzer. Exemplarisch für den regionalen Parameter Waldfläche je Gebäude werden in Abbildung 5-18 die Stichprobenmittelwerte der fünf Regionen für vier Schichten des Regionalen Parameters (z. B.  $<0,05$  Wald/Geb) gegenübergestellt.



n(2014)=765  
 Abbildung 5-18 Durchschnittlicher Bestand der Zentralfeuerstätten je Schicht unter Berücksichtigung der fünf Regionen (Balken) und Ausprägung des regionalen Parameters Wald/Geb (X-Achse); basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Mit zunehmender Waldfläche je Gebäude nehmen gemäß Abbildung 5-18 die Unterschiede zwischen den Regionen zu. So sind in der Region Nord in Kehrbezirken mit mehr als 0,3 ha Wald je Gebäude im Durchschnitt nur ein Viertel an Zentralfeuerstätten installiert als in der Region Süd. Vergleichbare Unterschiede zwischen den Regionen zeigen auch die Stichprobenmittelwerte für sonstige regionale Parameter in Abbildung A- 14. Die Erkenntnisse unterstreichen die nachträgliche Schichtung sowohl nach regionalen Parametern als auch regionalen Unterschiede.



Automatische lineare Modellierung. Aus der Vielzahl der in Tabelle 4-1 aufgeführten regionalen Parameter wählt die Software SPSS folgende zur Ermittlung des Bestands an Zentralfeuerstätten aus:

- EZFH/Geb
- Geb/EW
- EZFH/Fläche
- PriWald/Wald
- PriWald/Geb
- Wald/Geb

Entsprechend der Korrelationsanalyse in Kapitel 5.2.1 wählt das Programm SPSS regionale Parameter zur Beschreibung der Bedeutung des Waldes aus. Zusätzlich werden durch das Modell auch regionale Parameter zur Beschreibung der Gebäudestruktur einbezogen. Das Modell weist ein korrigiertes Bestimmtheitsmaß  $R_{korr}^2$  von 0,483 auf.

Regressionsschätzung. Den Ausführungen in Kapitel 4.3.3 folgend, sollten die im iterativen Prozess erstellten Regressionsmodelle nicht nur ein möglichst hohes korrigiertes Bestimmtheitsmaß  $R_{korr}^2$  als Gütekriterium aufweisen, sondern auch die Randbedingungen Linearität, Homoskedastizität, Multikollinearität und Normalverteilung erfüllen. Trotz unterschiedlichster Kombination der regionalen Parameter werden die Randbedingungen Linearität, Homoskedastizität sowie Normalverteilung nicht erfüllt. Dies ist aus der zur Geraden abweichenden Funktion im P-P-Diagramm und der inhomogenen Punktwolke in den Streudiagrammen in Tabelle A- 13 abzuleiten. Zur Verbesserung der Modelle wird der Bestand an Zentralfeuerstätten mit einem Versatz um 0,5 logarithmiert. Da der Logarithmus von Null nicht definiert ist, jedoch 1 % der Teilnehmer keine Zentralfeuerstätten aufweisen und diese dennoch berücksichtigt werden sollen, ist der Versatz notwendig. Jeweils für zwei Modelle ohne (Mod) und mit (LogMod) Transformation des Bestands an Zentralfeuerstätten sind in Tabelle 5-6 die Regressoren mit korrigierten Bestimmtheitsmaßen  $R_{korr}^2$  aufgetragen. Hilfsmittel zur Einhaltung der Randbedingungen Linearität, Homoskedastizität, Multikollinearität und Normalverteilung sind Tabelle A- 12 zu entnehmen.

Tabelle 5-6 Übersicht zu den Regressionsmodellen für die Ermittlung des Bestands an Zentralfeuerstätten

Modell	Regressoren	$R_{korr}^2$ (Bund)	$R_{korr}^2$ (Region)
Mod1	Geb/Fläche, EZFH/Geb, Wald/Fläche	0,331	0,528
Mod2	EZFH/Fläche, Wald/Geb, EZFH/Geb, PriWald/Geb	0,370	0,544
LogMod1	EW/Fläche, EZFH/Geb, Wald/Fläche, PriWald/Wald, Ste/Geb	0,454	0,588
LogMod2	EZFH/Fläche, EZFH/Geb, Wald/Fläche, Wald/Geb	0,512	0,620

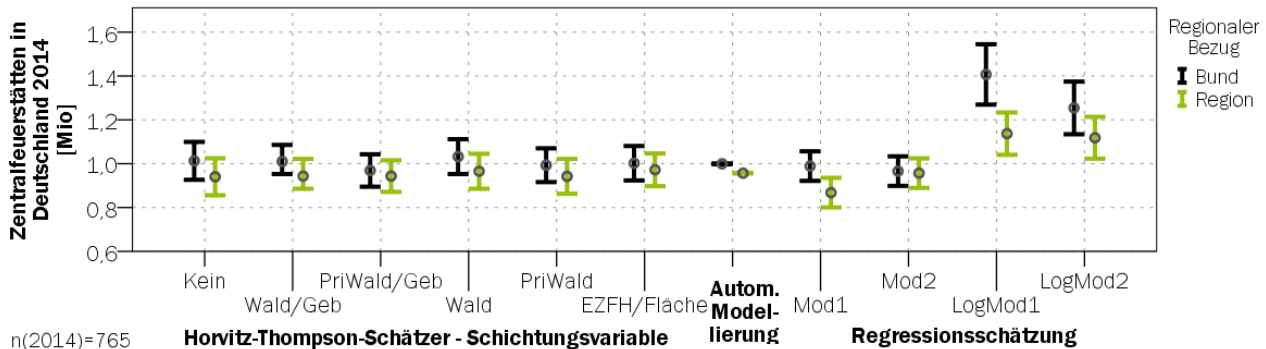
Sowohl bei den Modellen mit (LogMod) als auch ohne transformierten Bestand an Zentralfeuerstätten werden ähnliche, regionale Parameter berücksichtigt, die sowohl die Bedeutung des Waldes als auch die Regional- und Flächenstruktur beschreiben. Die Transformation führt nicht nur zur Steigerung des korrigierten Bestimmtheitsmaßes  $R_{korr}^2$ , sondern auch zur Einhaltung der Randbedingungen. So zeigen die Streudiagramme in Tabelle A- 13 ein deutlich homogeneres Bild und unterstreichen damit die Linearität und Homoskedastizität der Regressionsmodelle. Folglich sind die Ergebnisse der Modelle mit logarithmiertem Bestand zu bevorzugen.

### Bestand an Zentralfeuerstätten auf Bundesebene

Der geschätzte Bestand an Zentralfeuerstätten unter Verwendung der drei aufgezeigten Methoden ist in Abbildung 5-19 gegenübergestellt. Für die Horvitz-Thompson-Schätzer werden die Ergebnisse der

uneingeschränkten Zufallsauswahl (=keine Schichtungsvariable) und die der geschichteten uneingeschränkten Zufallsauswahl (=fünf Schichtungsvariablen mit dem stärksten Einfluss auf den Anlagenbestand) dargestellt. Ergänzend dazu sind die Schätzungen basierend auf den vier in Tabelle 5-6 aufgeführten Regressionsmodellen abgebildet.

Für alle Methoden/Modelle werden die Ergebnisse mit unterschiedlichem regionalem Bezug dargestellt. Der linke Balken (=regionaler Bezug: Bund) schließt die Unterschiede in den fünf Regionen aus und der rechte Balken (=regionaler Bezug: Region) ein.



n(2014)=765  
 Abbildung 5-19 Geschätzter Bestand der Zentralfeuerstätten in 2014 unter Verwendung der Horvitz-Thompson-Schätzer, der Automatischen linearen Modellierung und der Regressionsschätzung; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Die Ergebnisse der drei Methoden (Horvitz-Thompson-Schätzer, automatische lineare Modellierung und Regressionsschätzung) liegen - mit Ausnahme der transformierten Modelle (LogMod) - mit 0,94 bis 1,03 Million Zentralfeuerstätten in einer Größenordnung. Mit 1,1 bis 1,4 Millionen Zentralfeuerstätten liegt die Schätzung bei den transformierten Modellen (LogMod) deutlich höher. Dennoch sind die Ergebnisse der transformierten Modelle (LogMod) zu bevorzugen, da diese - gegenüber den nicht transformierten Modellen (Mod) - die Randbedingungen der Regressionsschätzung als Voraussetzung für unverzerrte und effiziente Schätzer erfüllen. Unabhängig der angewandten Methoden schätzen die Modelle den Bestand an Zentralfeuerstätten höher ein, bei denen die regionalen Unterschiede berücksichtigt werden.

Den vorangestellten Ausführungen folgend, wird der geschätzte Bestand an Zentralfeuerstätten unter Anwendung der Regressionsschätzung basierend auf den transformierten Modellen mit Berücksichtigung der regionalen Unterschiede (=regionale Ebene: Region) verwendet. In Tabelle 5-7 ist der geschätzte Bestand an Zentralfeuerstätten differenziert nach den sechs Brennstoffsortimenten zusammengefasst.

Tabelle 5-7 Geschätzter Bestand der ZF-Brennstoffsportimente in 2012 und 2014; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765) sowie den wiederkehrenden Teilnehmern an den Erhebungsphasen 2012 und 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=176)

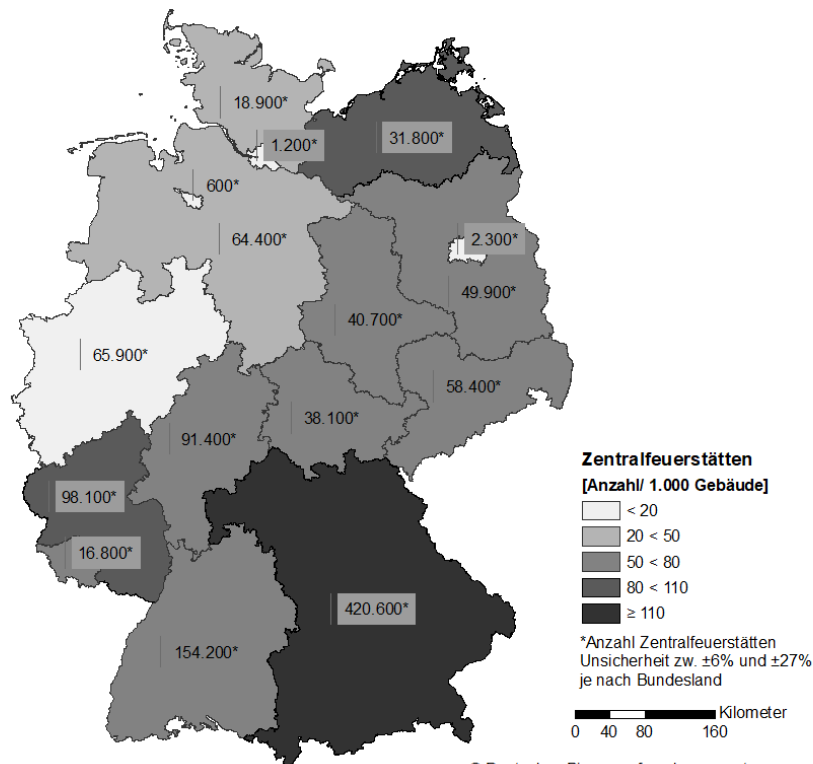
Brennstoffsportimente	Bestand 2012	Bestand 2014
Scheitholz-ZF	824.800 ± 50.900	865.900 ± 54.600
Hackschnitzel-ZF	40.200 ± 2.400	40.500 ± 2.500
Sägeprodukt-ZF	12.300 ± 900	11.900 ± 900
Pellet-ZF	154.800 ± 8.200	229.300 ± 12.200
Restholz-ZF	5.500 ± 500	4.900 ± 500
NawaRo-ZF	800 ± 200	800 ± 200
Zentralfeuerstätten	1.038.400 ± 33.500	1.153.300 ± 35.100

Für das Jahr 2014 wird der Bestand an Zentralfeuerstätten auf 1,15 Millionen Anlagen geschätzt. Von diesen 1,15 Millionen Anlagen werden 75 % mit Scheitholz und 20 % mit Pellets befeuert. Nebenprodukt der Holzbe- und Holzverarbeitung (Sägeprodukte und Holzreste) werden hingegen nur in 1,5 % der Zentralfeuerstätten eingesetzt. Anhand des Verhältnisses aus der halben Intervalllänge der Intervallschätzung zu der Punktschätzung kann auf die Qualität der Schätzung geschlossen werden. Abweichend zu den Einzelraumfeuerungen geht eine verbesserte Schätzung des Bestands der ZF-Brennstoffsportimente nicht mit einem steigenden Bestand einher. So ist die Qualität der Schätzungen mit einem Verhältnis von 0,05 bei Pellet-ZF und 0,06 sowohl bei Scheitholz-ZF als auch Hackschnitzel-ZF vergleichbar einzuschätzen, wenngleich der geschätzte Bestand große Differenzen aufweist.

In Tabelle 5-7 wird zusätzlich zu dem Bestand 2014 auch der Bestand 2012 ausgewiesen, der auf der in Kapitel 4.3.4 erläuterten Rückrechnung anhand von Trends der wiederkehrenden Teilnehmer je ZF-Brennstoffsportiment beruht. Dieser Ansatz weist zwischen 2012 und 2014 eine Zunahme der Zentralfeuerstätten um 11 % aus. Dabei sind große Unterschiede zwischen den Brennstoffsportimenten zu erkennen. Während bei den Pellet-ZF mit 32 % die größte Dynamik zu verzeichnen ist, ist der Bestand an Sägeprodukt-ZF und Restholz-ZF leicht rückläufig. Zusätzlich sind große Unterschiede zwischen den Regionen in Tabelle A- 14 sichtbar. Während am Beispiel der Scheitholz-ZF in der Region Nord mit -2,2 % der Bestand leicht zurückgeht, ist mit 16,5 % bzw. 13,7 % in den beiden Regionen Stadt und Ost ein erhebliches Wachstum zu verzeichnen. Alternativ zu der Rückrechnung anhand der wiederkehrenden Teilnehmer sind in Tabelle A- 15 die Ergebnisse des alternativen Ansatzes – die Anwendung der Regressionsmodelle auf den Teilnehmerkreis 2012 – dargestellt. Im Gegensatz zu dem Ansatz der Rückrechnung (mit einem Zubau von 11 %) würde dies einem Rückgang von 18 % entsprechen.

### Bestand an Zentralfeuerstätten auf Bundeslandebene

Zusätzlich zu den Brennstoffsportimenten ist die regionale Verteilung der Zentralfeuerstätten von Interesse. Analog zu den Einzelraumfeuerungen wird in Abbildung 5-20 der für 2014 geschätzte Bestand an Zentralfeuerstätten in den 16 Bundesländern abgebildet. Neben dem absoluten Bestand repräsentiert die Farbe der Bundesländer den auf den Gebäudebestand bezogenen Bestand.



© Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, 11/2017

Abbildung 5-20 Geschätzter Bestand der Zentralfeuerstätten in 2014 absolut und bezogen auf den Gebäudebestand in Deutschland nach Bundesländern; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Die beiden Bundesländer Bremen und Bayern bilden die obere und untere Grenze, sowohl in Bezug auf das Minimum und Maximum des absoluten Bestands an Zentralfeuerstätten, als auch beim Bestand der Zentralfeuerstätten je Gebäude. Weniger als zwei Prozent der Gebäude sind nicht nur in den drei Stadtstaaten, sondern auch in Nordrhein-Westfalen mit Zentralfeuerstätten ausgestattet. Mit Ausnahme von Rheinland-Pfalz und Mecklenburg-Vorpommern liegt der relative Bestand in den Regionen Ost und West in einer Größenordnung (5-8 %) und damit über den Regionen Nord (Niedersachsen und Schleswig-Holstein) und Region Süd.

Jeweils für ein Bundesland je Region sind in Abbildung A- 15 die Punkt- und Intervallschätzung in Hoch-Tief-Diagrammen aufgetragen. Bemerkenswert sind auch hierbei die zum Teil erheblichen Unterschiede der Hochrechnungsergebnisse mit und ohne Berücksichtigung der Regionen. Durch die Berücksichtigung der Regionen weicht der Anlagenbestand in den Regionen Süd, Ost und Nord von den Ergebnissen ohne Berücksichtigung ab. Während dies in der Region Süd zu einer höheren Schätzung führt, gilt für die Regionen Nord und Ost das Gegenteil.

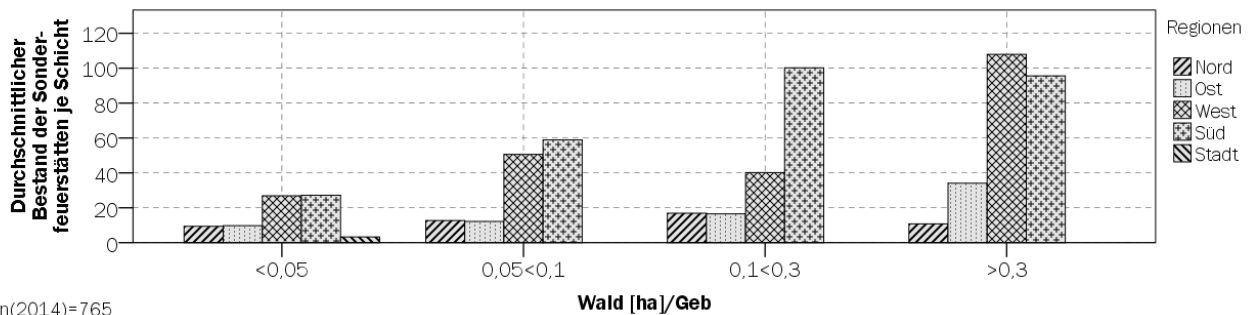
In Abbildung 5-20 werden die Ergebnisse der Regressionsschätzung der transformierten Modelle (LogMod) mit Berücksichtigung der regionalen Unterschiede zugrunde gelegt. Ergänzend dazu werden für jeweils ein Bundesland je Region in Abbildung A- 15 die Ergebnisse aller angewandten Methoden und Modelle analog Abbildung 5-19 dargestellt. Im Gegensatz zu der Darstellung des Bestandes auf Bundesebene (Abbildung 5-19) führt die Berücksichtigung der regionalen Unterschiede in der Region Süd (=Bayern) nicht zu einer verminderten Schätzung des Bestands an Zentralfeuerstätten. Hintergrund ist der im Vergleich zu den anderen Bundesländern höhere durchschnittliche Bestand an Zentralfeuerstätten in Bayern, dem mit der Berücksichtigung der regionalen Unterschiede Rechnung getragen wird.

## 5.2.4 Bestand an Sonderfeuerstätten

Der unter Verwendung der drei in Kapitel 4.3 dargestellten Methoden ermittelte Bestand an Sonderfeuerstätten ist Gegenstand dieses Kapitels. Dem vorangestellt werden wesentliche Hintergrundinformationen zu den drei angewandten Methoden (Horvitz-Thompson-Schätzer, Automatische lineare Modellierung und Regressionsschätzung).

### Hintergrundinformationen zu den angewandten Modellen

**Horvitz-Thompson-Schätzer.** Unter Verwendung des Horvitz-Thompson-Schätzers wird der Bestand an Sonderfeuerstätten ohne und mit Berücksichtigung der regionalen Parameter mit einem starken Einfluss auf deren Bestand geschätzt. Exemplarisch für die Waldfläche je Gebäude werden in Abbildung 5-21 die Stichprobenmittelwerte entsprechend der Ausprägung des regionalen Parameters und den fünf Regionen miteinander verglichen.



n(2014)=765

Abbildung 5-21 Durchschnittlicher Bestand der Sonderfeuerstätten je Schicht unter Berücksichtigung der fünf Regionen (Balken) und Ausprägung des regionalen Parameters Wald/Geb (X-Achse); basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Sowohl bei dem regionalen Parameter Waldfläche je Gebäude in Abbildung 5-21 als auch bei den in Abbildung A- 16 dargestellten anderen regionalen Parametern unterscheiden sich die Stichprobenmittelwerte je Region und Ausprägung des regionalen Parameters erheblich. Somit ist die Qualität der unter Berücksichtigung der regionalen Unterschiede und Parameter gewonnenen Ergebnisse höher einzustufen.

**Automatische lineare Modellierung.** Aus der Vielzahl an regionalen Parametern wählt das Programm SPSS im Zuge der automatischen linearen Modellierung folgende für die Beschreibung des Bestands an Sonderfeuerstätten aus:

- PriWald/Gebäude
- EZFH/Geb
- EW/WE
- EW/Fläche
- PriWald/Wald
- Wald/EZFH

Analog zur Korrelationsanalyse in Kapitel 5.2.1 fließen regionale Parameter zur Beschreibung der Bedeutung des Waldes in die automatische lineare Modellierung ein. Zusätzlich werden auch regionale Parameter zur Beschreibung der Regional- und Gebäudestruktur einbezogen. Das Regressionsmodell unter Berücksichtigung der sechs regionalen Parameter weist ein korrigiertes Bestimmtheitsmaß  $R^2_{korr.}$  von 0,224 auf. Im Vergleich zu den Modellen für die Einzelraumfeuerungen mit  $R^2_{korr.}=0,404$

(Kapitel 5.2.2) und für die Zentralfeuerstätten mit  $R^2_{korr.} = 0,483$  (Kapitel 5.2.3) ist die Güte des erstellten Modells negativ zu bewerten.

Regressionsschätzung. In einem iterativen Prozess werden Regressionsmodelle zur Beschreibung des Bestands an Sonderfeuerstätten erstellt. Diese sollten nicht nur ein möglichst hohes korrigiertes Bestimmtheitsmaß  $R^2_{korr.}$  als Gütekriterium aufweisen, sondern auch die Randbedingungen Linearität, Homoskedastizität, Multikollinearität und Normalverteilung erfüllen. Eine Auswahl ist in Tabelle A- 16 dokumentiert und zeigt, dass mit Ausnahme der Multikollinearität die Randbedingungen nicht erfüllt werden. Analog zu den Zentralfeuerstätten wird der Anlagenbestand mit dem Ziel transformiert, die Randbedingungen für die Regressionsschätzung einzuhalten bzw. das korrigierten Bestimmtheitsmaßes  $R^2_{korr.}$  zu verbessern. Das Logarithmieren bewirkt zwar ein leicht homogeneres Streudiagramm, welches für eine Verbesserung der Einhaltung beider Randbedingung Linearität und Homoskedastizität spricht. Dies geht jedoch – analog der Wurzeltransformation – mit einer ausschlaggebenden Verschlechterung des korrigierten Bestimmtheitsmaßes  $R^2_{korr.}$  einher ( $R^2_{korr.} = 0,004$ ), so dass kein Zusammenhang zwischen den regionalen Parametern und dem Bestand an Sonderfeuerstätten gemessen werden kann. In Tabelle 5-8 sind die drei Regressionsmodelle mit dem jeweils höchsten Zusammenhang zusammengefasst sowie Angaben zu den Regressoren und dem Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  aufgeführt. Weiterführende Informationen (Streudiagramm, P-P-Diagramm etc.) sind Tabelle A- 17 zu entnehmen.

Tabelle 5-8 Übersicht zu den Regressionsmodellen für die Ermittlung des Bestands an Sonderfeuerstätten

Modell	Regressoren	$R^2_{korr.}$ (Bund)	$R^2_{korr.}$ (Region)
1	Geb/Fläche, Wald/Fläche, EZFH/Geb, Steuer/Geb	0,107	0,282
2	Wald/Geb, EZFH/Geb, PriWald/Wald, Geb/Fläche	0,137	0,313
3	EZFH/Fläche, Wald/Geb, EZFH/Geb, Steuer/Geb	0,139	0,317

Keine der Modelle erzielt ein korrigiertes Bestimmtheitsmaß  $R^2_{korr.}$  größer 0,33. Hierfür können sowohl die geringe Verbreitung von Sonderfeuerstätten sowie gewerbliche Strukturen und nicht die regionalen Parameter, die den Bestand an Einzelraumfeuerungen und Zentralfeuerstätten beeinflussen, als Ursache genannt werden.

### Bestand an Sonderfeuerstätten auf Bundesebene

Die unter Verwendung der drei Methoden (Horvitz-Thompson-Schätzer, Automatische lineare Modellierung und Regressionsschätzung) mit und ohne Berücksichtigung der regionalen Unterschiede (regionale Ebene) generierten Ergebnisse für den Bestand an Sonderfeuerstätten sind in Abbildung 5-22 gegenübergestellt und werden nachstehend diskutiert.

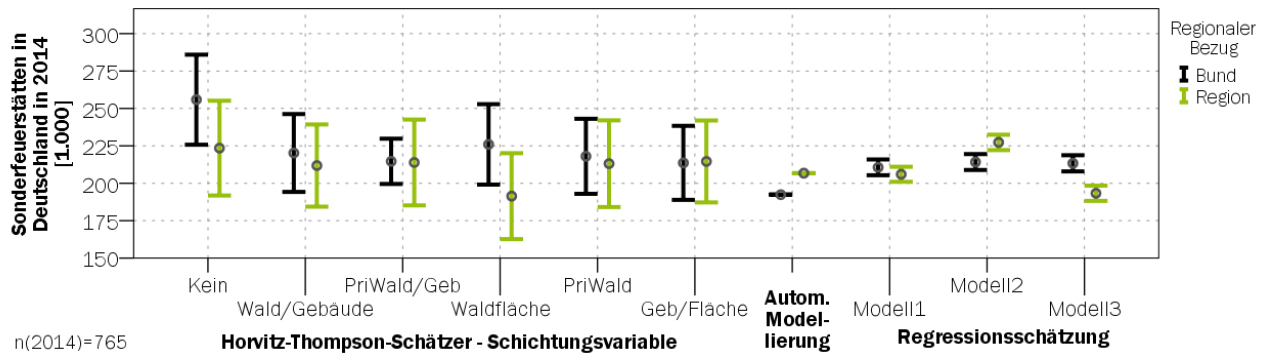


Abbildung 5-22 Geschätzter Bestand der Sonderfeuerstätten in 2014 unter Verwendung der Horvitz-Thompson-Schätzer, der Automatischen linearen Modellierung und der Regressionsschätzung; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Unabhängig der angewandten Methoden und Modelle wird der Bestand auf 200.000 bis 240.000 Sonderfeuerstätten geschätzt. Während die Ergebnisse der Regressionsschätzung mit und ohne Berücksichtigung der regionalen Unterschiede nur leichte Abweichungen bewirken, fallen diese bei den Horvitz-Thompson-Schätzern höher aus. Zudem wird anhand Abbildung 5-22 sichtbar, dass die Horvitz-Thompson-Schätzer gegenüber der Regressionsschätzung mit größeren Unsicherheiten behaftet sind.

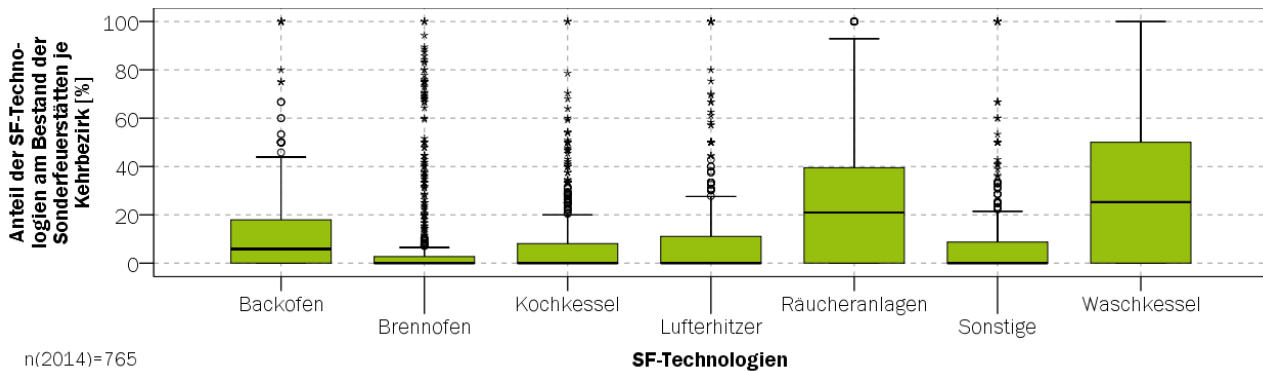
Die vorangestellte Analyse der angewandten Methoden zeigt, dass der Bestand an Sonderfeuerstätten nur schwer abgebildet werden kann. Demnach wird nachstehend auf eine detaillierte Darstellung auf Bundeslandebene und des Bestands der SF-Technologien verzichtet. Somit umfasst Tabelle 5-9 nur eine Abschätzung des Bestands an Sonderfeuerstätten für die Erhebung 2014 und unter Anwendung der in Kapitel 4.3.4 erläuterten Methode der Rückrechnung basierend auf Trends der wiederkehrenden Teilnehmer für 2012.

Tabelle 5-9 Geschätzter Bestand der Sonderfeuerstätten in 2012 und 2014; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765) sowie den wiederkehrenden Teilnehmern an den Erhebungsphasen 2012 und 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=176)

Technologie	Bestand 2012	Bestand 2014
Sonderfeuerstätten	210.900 ± 25.200	220.000 ± 26.400

Die Berücksichtigung der wiederkehrenden Teilnehmer zeigt einen Zubau des Bestands an Sonderfeuerstätten um 4 % zwischen 2012 und 2014. Da die Qualität der Daten keine technologiespezifische Ausweisung des Anlagenbestandes ermöglicht, ist in Abbildung 5-23 die Verteilung der Anteile der SF-Technologien am Bestand der Sonderfeuerstätten je teilnehmenden Kehrbezirk aufgetragen.





n(2014)=765

Abbildung 5-23 Verteilung des Anteils der SF-Technologien am Bestand der Sonderfeuerstätten je Kehrbezirk; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Unter den verschiedenen Technologien sind die Räucheranlagen und Waschkessel im Median mit 20 % bzw. 24 % am häufigsten vertreten. Unbenommen gibt es bei allen Technologien Teilnehmer, bei denen ausschließlich eine Technologiegruppe im Kehrbezirk vertreten ist. Zurückzuführen ist dies auch auf die geringe Anzahl an Sonderfeuerstätten im Kehrbezirk, denn jeder dritte Teilnehmer hat maximal nur fünf Sonderfeuerstätten ausgewiesen.

### 5.3 Charakterisierung des Anlagenbestandes

Sowohl Konzeption als auch Umfang der Datenerhebung ermöglichen eine umfassende Charakterisierung der Biomasseanlagen hinsichtlich Brennstoffsortiment, Leistung, Inbetriebnahmejahr und Kehrhäufigkeit. Nachstehend werden die Ergebnisse gesondert für die drei Technologiegruppen und vertiefend nach Technologie (bei den Einzelraumfeuerungen und Sonderfeuerstätten) beziehungsweise Brennstoffsortiment (bei den Zentralfeuerstätten) generiert. Im Textteil werden die Ergebnisse der Erhebung 2014 präsentiert mit Bezug zu den Auswertungen der Erhebung 2012 im Anhang.

#### 5.3.1 Einzelraumfeuerungen

Einzelraumfeuerungen sind Kapitel 4.2.1 folgend in acht Technologiearten unterteilt. Die Gruppe EF-Sonstige wird nachstehend nicht gesondert betrachtet, da es sich hierbei um verschiedenste Technologien handelt, die in den Kehrbüchern nicht weiter spezifiziert wurden.

##### Brennstoffsortiment

In Einzelraumfeuerungen ist ausschließlich naturbelassenes Holz (Scheitholz, Pellets und Sägeprodukte) einzusetzen. Dabei dominiert das Scheitholz deutlich bei den EF-Technologien, so dass in Abbildung 5-24 (und Abbildung A- 17 für 2012) lediglich die Anteile des Scheitholzes dargestellt werden.



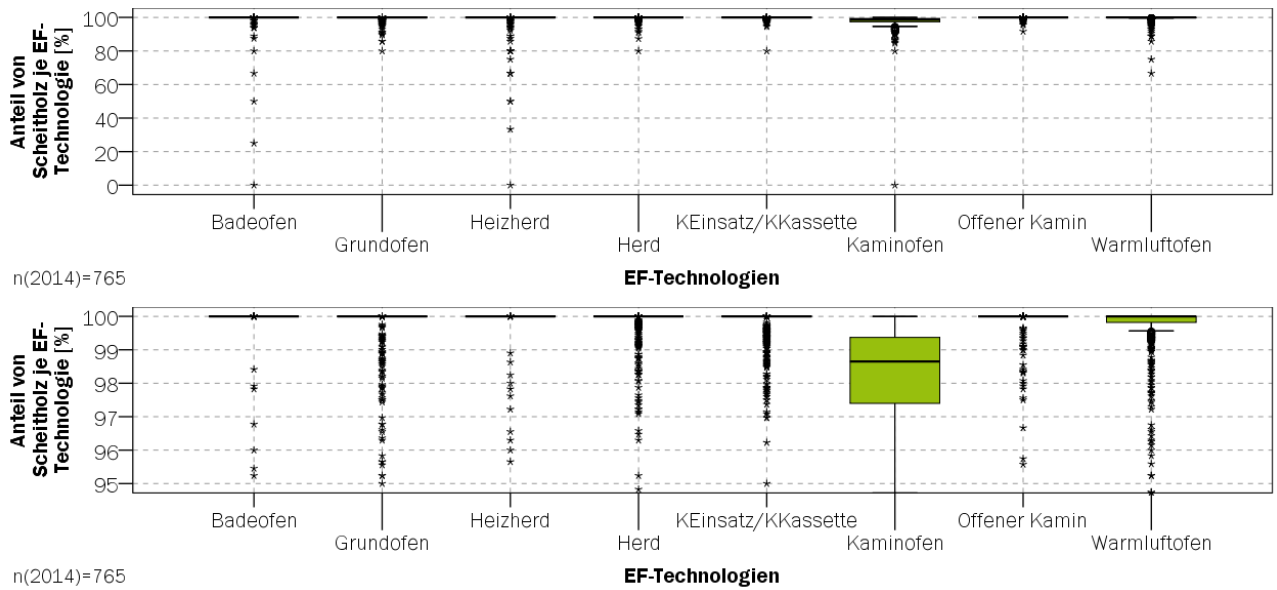


Abbildung 5-24 Verteilung des Anteils von Scheitholz je EF-Technologien für die Skala 0-100 % (oben) und die Skala 95-100 % (unten); basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Lediglich bei Kaminöfen liegt der Median mit 98,8 % marginal unter den 100 % der anderen EF-Technologien. Zusätzlich zeigt Abbildung A- 18, dass der Anteil des Scheitholzes bei Kaminöfen ab dem Inbetriebnahmejahr 2000 leicht von einem Median von 100 % (2000-2005) auf 97,8 % (2010-2015) zurückgeht. Unterschiede zwischen den fünf Regionen sind bei den EF-Technologien gemäß Abbildung A- 19 marginal, so dass beispielsweise die These eines erhöhten Einsatzes von Pellets in den verdichteten Stadtstaaten (Region Stadt) nicht belegt werden kann. Zudem ist ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Anteil an Scheitholz und verschiedenen regionalen Parametern unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  mit  $-0,07 < r_{SP} < 0,07$  nicht gegeben.

Resultierend aus der vorangestellten Analyse wird der Anteil des Brennstoffsortiments für die acht EF-Technologien ohne gewichtende Faktoren unter Anwendung des Horvitz-Thompson-Schätzers geschätzt und für die Erhebung 2014 in Tabelle 5-10 ausgewiesen. Dabei ist zu beachten, dass die geschätzten Anteile auf dem arithmetischen Mittelwert und somit dem mathematischen Durchschnitt beruhen, während der in den Box-Plot-Diagrammen dargestellte Median einem typischen Wert entspricht. Unterschiede zwischen dem Median und dem arithmetischen Mittelwert sind maßgeblich auf Ausreißer zurückzuführen, deren Einfluss beim Median deutlich geringer ist als bei dem arithmetischen Mittelwert.

Tabelle 5-10 Geschätzte Anteile des Brennstoffsortiments für die EF-Technologien in [%]; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Technologie	Scheitholz	Pellets	Sägeprodukte
Badeofen	99,3 % ± 0,7 %	0,5 % ± 0,6 %	0,2 % ± 0,4 %
Grundofen	99,7 % ± 0,4 %	0,2 % ± 0,3 %	0,1 % ± 0,2 %
Heizherd	98,9 % ± 0,9 %	0,9 % ± 0,8 %	0,2 % ± 0,3 %
Herd	99,8 % ± 0,4 %	0,1 % ± 0,3 %	0,1 % ± 0,2 %
Kamineinsatz/Kaminkassette	99,8 % ± 0,4 %	0,1 % ± 0,2 %	0,1 % ± 0,2 %
Kaminofen	98,0 % ± 1,0 %	1,8 % + 1,0 %	0,2 % ± 0,3 %
Offener Kamin	100 %	-	-
Warmluftofen	99,5 % ± 0,5 %	0,4 % ± 0,4 %	0,1 % ± 0,1 %
Einzelraumfeuerungen	99,3 % ± 0,2 %	0,6 % ± 0,2 %	0,1 % ± 0,1 %

Der geschätzte Anteil des Scheitholzes liegt zwischen 98 % bei den Kaminöfen und 100 % bei den offenen Kaminen. Dieses Ergebnis wird mit der Erhebung 2012 unterstrichen (siehe Tabelle A- 18).

Leistung

Die Anteile der Leistungsklassen am Bestand der EF-Technologien zeigt Abbildung 5-25.

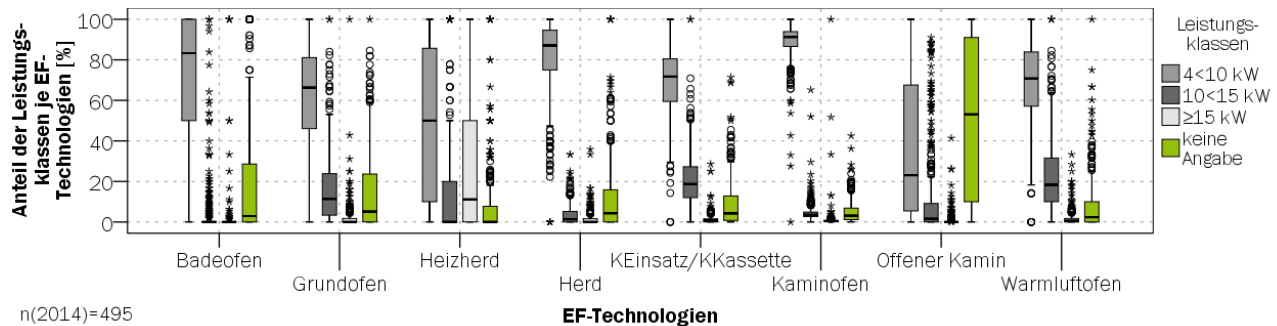


Abbildung 5-25 Verteilung der Anteile der Leistungsklassen je EF-Technologie; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei EF >80 % (n=495)

Bei allen EF-Technologien dominiert die Leistungsklasse 4<10 kW mit einem Median von 66 % bei Grundöfen bis 92 % bei Kaminöfen. Leidglich bei den Offenen Kaminen sind Unterschiede zwischen den Erhebungen 2012 und 2014 sichtbar. Eine Ursache könnte der in Abbildung A- 20 höhere Anteil der Anlagen ohne Leistungsangabe zugunsten der Leistungsklasse 4<10 kW sein.

Weder der Inbetriebnahmezeitpunkt noch die regionale Ausprägung des Kehrbezirkes beeinflussen die Verteilung der Anteile der Leistungsklassen. Während bei den Warmluftöfen und Kamineinsätzen/ Kaminkassetten die Anteile der Leistungsklassen zwischen den Zeiträumen gut übereinstimmen (vergleiche Abbildung A- 21), sind für die Kaminöfen Unterschiede erkennbar. Dies ist gegebenenfalls auf die niedrigeren Anteile der Anlagen ohne Angaben zum Inbetriebnahmejahr zurückzuführen. Die regionale Ausprägung der Kehrbezirke steht in keinem signifikanten Zusammenhang zur Verteilung der Leistungsklassen (-0,1 < r<sub>SP</sub> < 0,1). Allerdings sind die Anteile der Leistungsklassen in den Regionen

unterschiedlich stark ausgeprägt (siehe Abbildung A- 22 für die Leistungsklasse 4<10 kW) - zwischen 10 % bei den Kaminöfen und 40 % bei den Badeöfen.

Resultierend aus der vorangestellten Analyse werden die regionalen Unterschiede bei der Schätzung der Anteile der Leistungsklassen für die acht EF-Technologien unter Anwendung des Horvitz-Thompson-Schätzers berücksichtigt. Die Ergebnisse sind für die Erhebung 2014 in Tabelle 5-11 und in Tabelle A- 19 für die Erhebung 2012 ausgewiesenen, ergänzt um die durchschnittliche Leistung in Klammern.

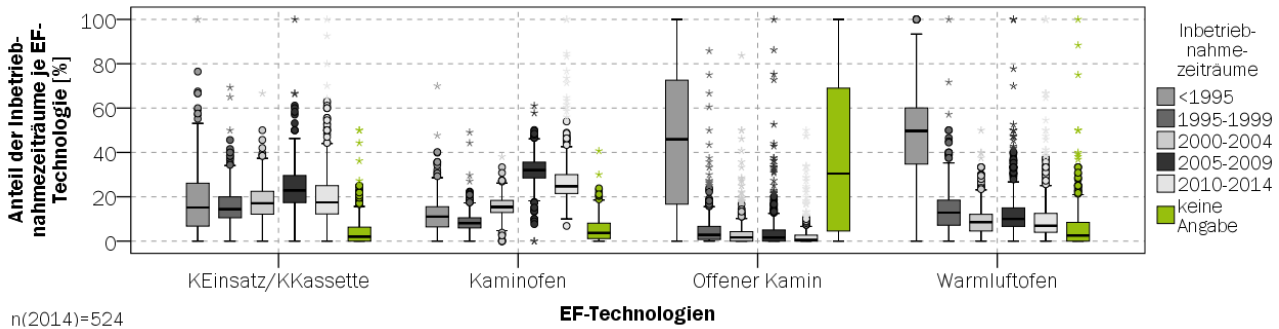
Tabelle 5-11 Geschätzte Anteile (und durchschnittliche Leistung in [kW]) der Leistungsklassen je EF-Technologie in [%]; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei EF >80 % (n=495)

Technologie	< 4 kW	4<10 kW	10<15 kW	>15 kW
Badeofen	4,5 ± 2,6 (3,0)	83,0 ± 4,7 (6,1)	8,6 ± 3,5 (10,4)	3,9 ± 2,4 (28,0)
Grundofen	5,8 ± 2,5 (2,8)	71,9 ± 4,9 (7,0)	20,2 ± 4,4 (10,8)	2,1 ± 1,6 (19,9)
Heizherd	0,9 ± 0,9 (3,4)	54,8 ± 5,0 (6,2)	14,9 ± 3,6 (12,0)	29,4 ± 4,6 (39,2)
Herd	1,5 ± 1,2 (3,3)	92,7 ± 2,7 (5,8)	3,5 ± 1,9 (11,1)	2,3 ± 1,5 (22,8)
Kamineinsatz/Kaminkassette	0,2 ± 0,2 (2,3)	76,0 ± 4,3 (7,6)	22,5 ± 4,2 (11,0)	1,3 ± 1,1 (20,3)
Kaminofen	0,6 ± 0,5 (3,0)	93,6 ± 2,1 (6,9)	4,6 ± 1,8 (11,2)	1,2 ± 0,9 (22,3)
Offener Kamin	6,4 ± 4,1 (1,9)	71,0 ± 7,6 (6,8)	21,8 ± 6,9 (10,5)	0,8 ± 0,6 (18,9)
Wärmeluftofen	0,4 ± 0,3 (3,0)	73,8 ± 4,3 (7,6)	24,5 ± 4,2 (10,9)	1,5 ± 1,2 (19,4)
Einzelraumfeuerungen	1,8 ± 0,5 (2,8)	78,0 ± 1,5 (6,9)	14,4 ± 1,3 (11,0)	5,8 ± 0,9 (21,0)

Die Leistungsklasse 4<10 kW dominiert mit Anteilen von 55 % bei Heizherden bis zu 94 % bei Kaminöfen bei allen EF-Technologien. Bestätigt wird dieses Ergebnis mit der Erhebung 2012 (Tabelle A- 19). Neben den Anteilen der Leistungsklassen ist die durchschnittliche Leistung je Leistungsklasse relevant, beispielsweise für die Berechnung des Brennstoffeinsatzes oder die Ermittlung der Emissionen. Diese Angaben sind in Tabelle 5-11 für die Erhebung 2014 je EF-Technologie und Leistungsklasse in Klammern enthalten. Innerhalb der Leistungsklassen sind deutliche Unterschiede zwischen den EF-Technologien zu verzeichnen, zu sehen am Beispiel der Leistungsklasse 4<10 kW mit einer Spannweite von 5,8 kW bei Herden bis 7,6 kW bei Kamineinsätzen/Kaminkassetten sowie Wärmeluftöfen.

### Inbetriebnahmejahr

Die Inbetriebnahmejahre werden in fünf Zeiträume zusammengefasst, erweitert um die Kategorie „keine Angaben“. In Abbildung 5-26 sind die Anteile der Inbetriebnahmezeiträume für verschiedene EF-Technologien ausgewiesen. Abbildung A- 23 zeigt die Anteile für die übrigen EF-Technologien (Grundofen, Herd, Heizherd und Badeofen).

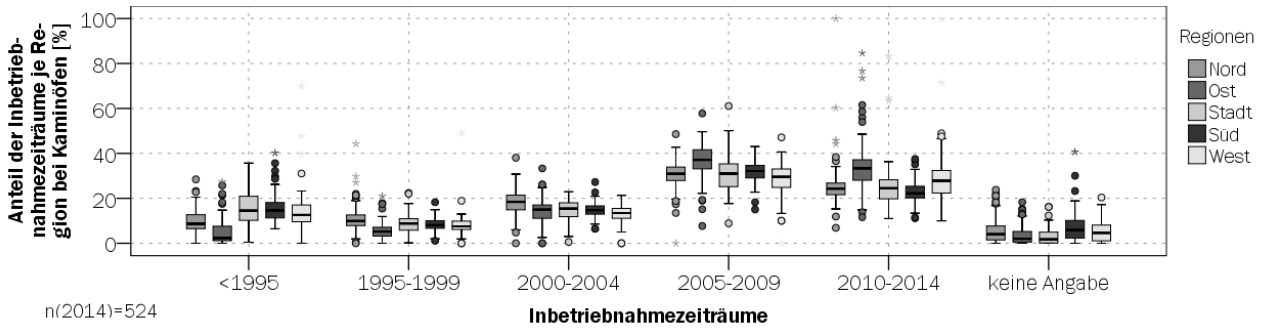


n(2014)=524

Abbildung 5-26 Verteilung der Anteile der Inbetriebnahmezeiträume je EF-Technologie; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei EF >80 % (n=524)

In Hinblick auf die Inbetriebnahmezeiträume können die EF-Technologien in zwei Gruppen unterteilt werden. Zum einen die Kaminöfen und Kamineinsätze/Kaminkassetten, bei denen 60 % bzw. 40 % der Anlagen nach 2005 in Betrieb gegangen sind. Zum anderen, die übrigen EF-Technologien, die mit Medianen zwischen 34 % bei Herden und 50 % bei Badeöfen den größten Anteil bei den Anlagen aufweisen, die vor 1995 in Betrieb genommen wurden (vergleiche Abbildung A- 23).

Hinweise auf den Einfluss der fünf Regionen auf die Inbetriebnahmezeiträume liefert für die Kaminöfen Abbildung 5-27 und Abbildung A- 24 für Kamineinsätze/Kaminkassetten und Warmluftöfen.



n(2014)=524

Abbildung 5-27 Verteilung der Anteile der Inbetriebnahmezeiträume je Region bei Kaminöfen; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei EF >80 % (n=524)

Kaminöfen, die in den letzten zehn Jahren installiert wurden, haben mit 65 % in der Region Ost den höchsten Anteil im Vergleich zu den anderen vier Regionen mit 54 % in der Region Stadt und 58 % in der Region West. Ein ähnliches Bild zeigen die Ausführungen für Warmluftöfen in Abbildung A- 24. Ein Zusammenhang zwischen regionalen Parametern und den Anteilen der Inbetriebnahmezeiträume kann mit dem Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizient  $r_{SP}$  in der Größenordnung  $-0,15 < r_{SP} < 0,15$  nicht nachgewiesen werden.

Resultierend aus der vorangestellten Analyse werden die regionalen Unterschiede bei der Schätzung der Anteile der Inbetriebnahmezeiträume unter Verwendung des Horvitz-Thompson-Schätzers berücksichtigt. Die Ergebnisse sind für die acht EF-Technologien in Tabelle 5-12 zusammengefasst.

Tabelle 5-12 Geschätzte Anteile der Inbetriebnahmezeiträume je EF-Technologie in [%]; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei EF >80 % (n=524)

Technologie	<1995	1995- 1999	2000- 2004	2005- 2009	2010- 2014
Badeofen	67,5 ± 5,8	9,2 ± 3,6	8,0 ± 3,4	8,7 ± 3,5	6,7 ± 3,1
Grundofen	38,6 ± 5,3	15,7 ± 4,0	16,6 ± 4,0	15,8 ± 4,0	13,4 ± 3,7
Heizherd	46,1 ± 5,1	7,8 ± 2,7	8,1 ± 2,8	17,4 ± 3,8	20,6 ± 4,1
Herd	50,2 ± 5,1	9,3 ± 3,0	9,6 ± 3,0	13,9 ± 3,6	17,1 ± 3,9
Kamineinsatz/Kaminkassette	20,5 ± 4,1	18,6 ± 3,9	20,3 ± 4,0	23,7 ± 4,2	17,0 ± 3,7
Kaminofen	11,3 ± 2,7	10,9 ± 2,7	18,1 ± 3,3	32,2 ± 4,0	27,6 ± 3,9
Offener Kamin	80,6 ± 6,6	8,0 ± 4,5	4,1 ± 3,3	4,8 ± 3,6	2,8 ± 2,7
Warmluftofen	47,2 ± 4,8	16,4 ± 3,6	10,0 ± 2,9	14,2 ± 3,4	12,2 ± 3,2
Einzelraumfeuerungen	38,1 ± 1,8	12,7 ± 1,2	12,7 ± 1,2	18,8 ± 1,4	17,7 ± 1,4

Die Unterschiede zwischen den Technologien und den Inbetriebnahmezeiträumen weisen große Spannweiten auf. Beispielsweise haben die vor 1995 in Betrieb genommenen Einzelraumfeuerungen Anteile von 11,3 % bei den Kaminöfen bis zu 80,6 % bei den Offenen Kaminen.

### Kehrhäufigkeit

Die Kehrhäufigkeit wird maßgeblich von der Häufigkeit der Benutzung, aber auch von der Technologie beeinflusst. Somit ist von einem Zusammenhang zwischen der Kehrhäufigkeit und dem Brennstoffeinsatz auszugehen. In Abbildung 5-28 sind die Anteile der Kehrhäufigkeiten je EF-Technologie abgebildet.

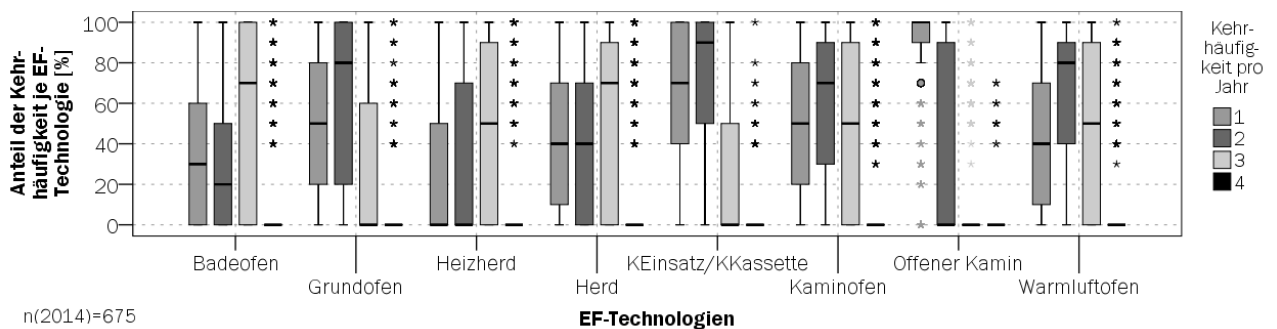


Abbildung 5-28 Verteilung der Anteile der Kehrhäufigkeit je EF-Technologie; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angabe zur Technologie >95 % und Kehrhäufigkeit bei EF >90 % (n=675)

Entsprechend den in Abbildung 5-28 dargestellten Medianen werden lediglich Offene Kamine in der Mehrheit als gelegentlich betrieben eingestuft und somit einmal im Jahr gekehrt. Bei den übrigen EF-Technologien ist Abbildung 5-28 folgend von einer häufigeren Benutzung (gelegentlich aber nicht regelmäßig bis regelmäßig in der Heizperiode) der Anlagen auszugehen. Grundsätzlich besteht die These, dass tendenziell größere Anlagen auch häufiger genutzt werden. So zeigt Tabelle A- 20, dass beispielsweise 49 % der Herde in der Leistungsklasse 4<10 kW und nur 28 % der Herde in der Leistungsklasse ab 15 kW einmal im Jahr zu kehren sind.

Eine detaillierte Betrachtung der Anteile der Kehrhäufigkeit in den fünf Regionen zeigt in Abbildung A- 25 erhebliche Unterschiede. Dabei weisen die Region Ost höhere und die Region Süd niedrigere Anteile der

einmaligen Kehrhäufigkeit gegenüber den übrigen drei Regionen auf. Ein Zusammenhang zwischen regionalen Parametern und den Anteilen der Kehrhäufigkeiten sind mit dem Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizient  $r_{SP}$  im Bereich  $-0,25 < r_{SP} < 0,25$  nicht zu identifizieren.

Resultierend aus der vorangestellten Analyse werden sowohl die Leistungsklassen als auch die fünf Regionen als gewichtende Faktoren bei der Berechnung der in Tabelle 5-13 aufgeführten geschätzten Anteile berücksichtigt.

Tabelle 5-13 Geschätzte Anteile der Kehrhäufigkeit je EF-Technologie in [%]; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Kehrhäufigkeit bei EF >90 % sowie Leistung bei EF >80 % (n=441)

Technologie	1 Kehrung	2 Kehrungen	3 Kehrungen	4 Kehrungen
Badeofen	36,3 ± 6,0	22,0 ± 5,2	37,7 ± 6,0	4,0 ± 2,4
Grundofen	53,0 ± 5,4	41,7 ± 5,4	5,2 ± 2,4	0,1 ± 0,4
Heizherd	30,8 ± 4,7	28,9 ± 4,6	32,1 ± 4,7	8,2 ± 2,8
Herd	50,3 ± 5,1	29,3 ± 4,7	19,2 ± 4,0	1,2 ± 1,1
Kamineinsatz/Kaminkassette	69,1 ± 4,6	29,2 ± 4,5	1,7 ± 1,3	-
Kaminofen	55,6 ± 4,3	39,6 ± 4,2	4,7 ± 1,8	0,1 ± 0,3
Offener Kamin	82,4 ± 6,4	16,7 ± 6,2	0,9 ± 1,6	-
Wärmeluftofen	52,3 ± 4,9	39,3 ± 4,7	8,2 ± 2,7	0,2 ± 0,4
Einzelraumfeuerungen	53,0 ± 1,8	34,0 ± 1,7	12,1 ± 1,2	0,9 ± 0,4

Auch hinsichtlich der Kehrhäufigkeiten sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Technologien gemäß Tabelle 5-13 erheblich und bestätigen die Verteilung in Abbildung 5-28. Entsprechend den in Anlage 1 KÜO aufgeführten Vorgaben zur Kehrhäufigkeit ist nachvollziehbar, dass die Offenen Kamine überwiegend einer Kehrung bedürfen, welches auf die in der 1. BImSchV vorgeschriebene gelegentliche Nutzung dieser Anlagen zurückzuführen ist. Die übrigen Technologien werden maßgeblich gelegentlich (eine Kehrung) bzw. häufiger als gelegentlich aber nicht regelmäßig (zwei Kehrungen) genutzt, wobei bei den Herden und Heizherden auch die regelmäßige Nutzung (drei bis vier Kehrungen) mit 40 % bei den Heizherden und 20 % bei den Herden einen nennenswerten Anteil haben. Auch die Anteile der Kehrhäufigkeit unterscheiden sich in den beiden Erhebungen 2012 und 2014 nur marginal (vergleiche Tabelle A- 21 für die Erhebung 2012).

### 5.3.2 Zentralfeuerstätten

Der Bestand wird Kapitel 5.2.3 folgend nach dem Brennstoffsortiment und nicht nach Technologien (wie bei den Einzelraumfeuerungen und Sonderfeuerstätten) differenziert. Gemäß den in Kapitel 5.2.3 dargestellten Hochrechnungsergebnissen werden 95 % aller Zentralfeuerstätten mit Scheitholz oder Pellets betrieben. Nachstehend werden die Brennstoffsortimente für die Technologieparameter Leistung, Inbetriebnahmejahre und Kehrhäufigkeit charakterisiert.

## Leistungsklassen

Da das Spektrum der Leistungsklassen bei den Zentralfeuerstätten deutlich größer ist als bei den Einzelraumfeuerungen, wurden die Leistungsklassen adaptiert (vergleiche Abbildung 5-29). Die Einteilung der Leistungsklassen wurde analog den seitens des Schornsteinfegerhandwerks auf Landes- und Bundesebene zusammengetragenen Ergebnissen der Emissionsüberwachung gewählt.

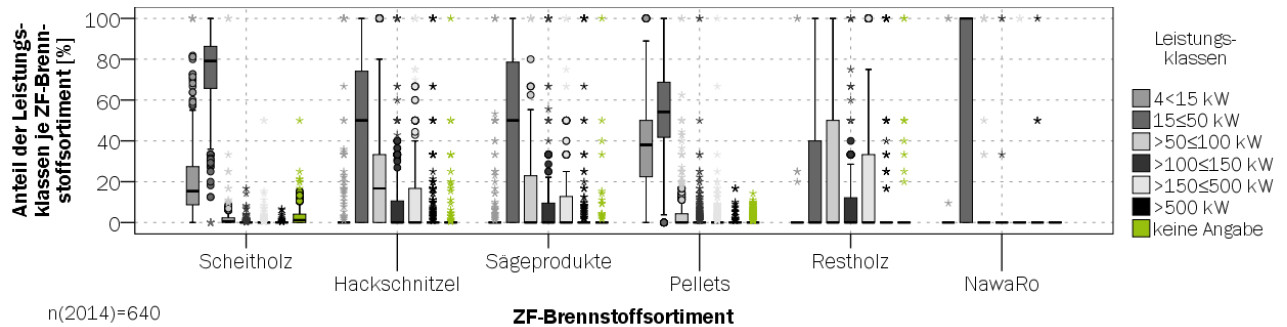


Abbildung 5-29 Verteilung der Anteile der Leistungsklassen je ZF-Brennstoffsortiment; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung ZF bei >90 % (n=640)

Die meisten Anlagen der einzelnen Brennstoffsortimente sind – mit Ausnahme des Restholzes – in der Leistungsklasse  $15 \leq 50$  kW installiert. Zusätzlich unterstreicht Abbildung 5-29 die Ausweitung des Geltungsbereiches der 1. BImSchV von 15 kW auf 4 kW im Zuge der Novellierung 2010. Schließlich sind mit Medianen von 17 % (Scheitholz) bzw. 36 % (Pellets) signifikante Anteile der beiden dominierenden Brennstoffsortimente Scheitholz und Pellets in der Leistungsklasse  $4 < 15$  kW zu finden. Diese Aussagen unterstreicht die Erhebung 2012 (Abbildung A- 25). Offensichtlich sind auch die in Abbildung 5-29 häufig ausgewiesenen Mediane von Null, insbesondere bei den vergleichsweise selten vorkommenden Brennstoffsortimenten (Sägeprodukte, Restholz, NawaRo) sowie den selten vertretenen Leistungsklassen der übrigen Brennstoffsortimente (Zentralfeuerstätten  $> 50$  kW bei Scheitholz und Pellets). Zurückzuführen ist dies maßgeblich darauf, dass häufig nur wenige Zentralfeuerstätten in den Kehrbezirken installiert sind. Daher sind in Tabelle A- 22 zusätzlich zu den Medianen in Abbildung 5-29 die Mittelwerte für die Anteile der Leistungsklassen je ZF-Brennstoffsortiment zusammengefasst.

Ein Einfluss regionaler Parameter auf die Verteilung kann unter Anwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  ( $-0,30 < r_{SP} < 0,30$ ) nicht ausgemacht werden, um bei der Schätzung der Anteile der Leistungsklassen berücksichtigt zu werden. Zwischen den fünf Regionen sind gemäß Abbildung A- 26 allerdings Unterschiede erkennbar. So werden in den Regionen Süd und West deutlich seltener Scheitholz-ZF mit einer Leistung unter 15 kW betrieben als in den übrigen drei Regionen.

Resultierend aus der vorangestellten Analyse werden bei der Schätzung des Anteils der Leistungsklassen je Brennstoffsortiment die Unterschiede der fünf Regionen berücksichtigt.



Tabelle 5-14 Geschätzte Anteile der Leistungsklassen je ZF-Brennstoffsoriment in [%]; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei ZF >90 % (n=640)

Brennstoffsoriment	4<15 kW	15≤50 kW	>50≤100 kW	>100≤150 kW	>150≤500 kW	>500 kW
Scheitholz	20,3 ± 3,2	77,1 ± 3,3	1,9 ± 1,1	0,3 ± 0,4	0,4 ± 1,5	-
Hackschnitzel	-	50,0 ± 4,5	26,1 ± 3,9	8,3 ± 2,4	12,9 ± 3,0	2,7 ± 1,5
Sägeprodukte	4,4 ± 2,5	51,9 ± 6,2	16,1 ± 4,6	10,4 ± 3,8	12,8 ± 4,1	4,4 ± 2,5
Pellets	38,0 ± 3,8	55,2 ± 3,9	4,1 ± 1,6	1,4 ± 0,9	1,0 ± 0,8	0,3 ± 0,4
Restholz	-	23,5 ± 5,2	31,2 ± 5,7	16,9 ± 4,6	21,1 ± 5,0	7,3 ± 3,2
NawaRo	3,3 ± 4,5	55,0 ± 12,6	21,2 ± 10,4	3,5 ± 4,7	12,9 ± 8,5	4,1 ± 5,0
Zentralfeuerstätten	16,7 ± 1,5	54,6 ± 2,0	13,4 ± 1,4	5,3 ± 0,9	7,8 ± 1,1	2,2 ± 0,6

Zwischen den beiden Erhebungen sind für die Leistungsklasse 15≤50 kW die größten Abweichungen bei den Brennstoffsorimenten Hackschnitzel, Sägeprodukten sowie Restholz zu verzeichnen (vergleiche Tabelle A- 23 für die Erhebung 2012). Zudem werden insbesondere für die Brennstoffsorimente Restholz und NawaRo große Unterschiede zwischen Abbildung 5-29 und der Schätzung in Tabelle 5-14 sichtbar. Dies ist primär darauf zurückzuführen, dass in den Kehrbezirken nur wenige Anlagen dieser Brennstoffsorimente und zusätzlich je Leistungsklasse installiert sind.

Das Ergebnis bestätigt die Erhebung 2012 (siehe Tabelle A- 23). Lediglich die Anteile von Scheitholz und NawaRo der Leistungsklasse 15≤50 kW fallen sichtbar höher bzw. niedriger aus. Der größte Unterschied ist jedoch bei den Hackschnitzeln und NawaRos zu verzeichnen. Für beide Brennstoffe wird der Anteil der Leistungsklasse 15<50 kW in der Erhebung 2012 höher gegenüber der Erhebung 2014 geschätzt. (siehe Abbildung A- 26).

Wie bei den Einzelraumfeuerungen ist auch bei den Zentralfeuerstätten die durchschnittliche Leistung der Leistungsklassen für verschiedene Fragestellungen von Interesse. In Tabelle 5-15 ist die durchschnittliche Leistung der Leistungsklassen für die verschiedenen Brennstoffsorimente aufgeführt.

Tabelle 5-15 Geschätzte durchschnittliche Leistung der Leistungsklassen je ZF-Brennstoffsoriment in [kW]; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei ZF >90 % (n=640)

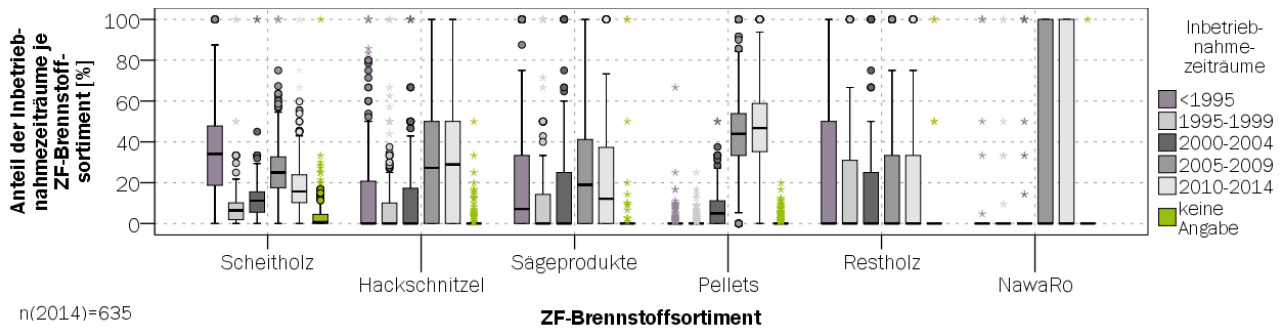
Brennstoffsoriment	4<15 kW	15<50 kW	50≤100 kW	>100≤150 kW	>150≤500 kW	>500 kW
Scheitholz	13,7	28,4	72,9	125,0	264,8	823,7
Hackschnitzel	13,2	39,1	78,8	127,3	277,1	877,0
Sägeprodukte	13,8	39,6	80,0	128,1	262,3	640,0
Pellets	13,5	23,2	78,7	131,7	257,4	-
Restholz	-	42,7	78,5	129,7	274,3	799,7
NawaRo	14,4	32,6	81,1	141,0	355,2	743,3
Zentralfeuerstätten	13,7	28,4	77,1	128,2	270,0	792,0

Die durchschnittliche Leistung je Leistungsklasse ist stark von dem Brennstoffsoriment abhängig und weist am Beispiel der Leistungsklasse 15<50 kW eine Spannweite von 23 kW (Pellets) bis 43 kW (Restholz) auf. Zudem ist die durchschnittliche Leistung der Leistungsklasse 4<15 kW nah an der oberen Grenze dieser. Dieser Aspekt ist darauf zurückzuführen, dass bis zur Novellierung der 1. BImSchV in 2010

sämtliche Anlagen mit einer Leistung kleiner 15 kW außerhalb des Geltungsbereiches der 1 BImSchV lagen und somit von sämtlichen Messpflichten entbunden waren.

**Inbetriebnahmejahr**

In Abbildung 5-30 sind die Anteile der Inbetriebnahmezeiträume für die Brennstoffsortimente aufgetragen.

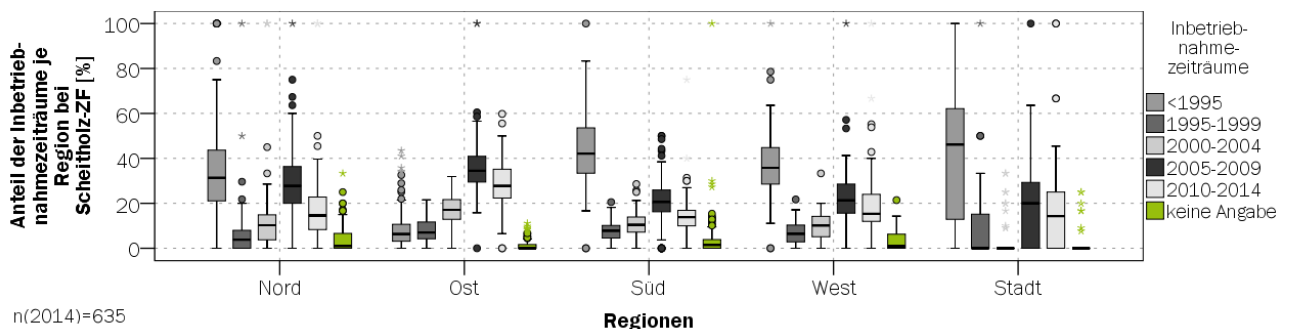


n(2014)=635

Abbildung 5-30 Verteilung der Anteile der Inbetriebnahmezeiträume bei dem ZF-Brennstoffsortiment; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei ZF >90 % (n=635)

Da mehr als 95 % der Pellet-ZF nach 2005 in Betrieb genommen wurden, unterstreicht Abbildung 5-30 die im Vergleich zu den übrigen Brennstoffsortimenten späte Markteinführung von Pellets. Dem hingegen haben – mit Ausnahme der NawaRo-ZF - alle anderen Brennstoffsortimente auch nennenswerte Anteile an Anlagen, die vor 1995 in Betrieb genommen wurden. Ergänzend zu dem Box-Plot-Diagramm (Abbildung 5-30) sind in Tabelle A- 24 die Mittelwerte des Anteils der Leistungsklassen je Brennstoffsortiment aufgetragen. Dies ist notwendig, da infolge keiner/sehr weniger Anlagen je Kehrbezirk und Inbetriebnahmezeiträume, insbesondere bei Restholz-ZF und NawaRo-ZF, Mediane von null auftreten.

Nicht nur zwischen den Brennstoffsortimenten, sondern auch zwischen den Regionen sind erhebliche Unterschiede zu erkennen. Generell kann festgestellt werden, dass der Anteil der in den letzten zehn Jahren installierten Anlagen in der Region Süd unterdurchschnittlich und in der Region Ost überdurchschnittlich ist. Dies wird vor allem bei den Brennstoffen Scheitholz (Süd 34 % und Ost 64 %), in Abbildung 5-31 und Hackschnitzel (Süd 55 % und Ost 72 %) in Abbildung A- 27 sichtbar.



n(2014)=635

Abbildung 5-31 Verteilung der Anteile der Inbetriebnahmezeiträume je Region bei Scheitholz-ZF; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei ZF >90 % (n=635)

Der Einfluss regionaler Parameter auf die Verteilung ist unter Anwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizient  $r_{SP}$  ( $-0,20 < r_{SP} < 0,25$ ) jedoch nicht signifikant.

Resultierend aus der vorangestellten Analyse werden bei der Schätzung des Anteils der Inbetriebnahmezeiträume unter Anwendung des Horvitz-Thompson-Schätzers die Unterschiede in den Regionen berücksichtigt. Das Ergebnis fasst Tabelle 5-16 zusammen.

Tabelle 5-16 Geschätzte Anteile der Inbetriebnahmezeiträume je ZF-Brennstoffsoriment in [%]; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei ZF >90 % (n=635)

Brennstoffsoriment	<1995	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014
Scheitholz	33,9 ± 3,7	8,1 ± 2,1	12,4 ± 2,6	26,2 ± 3,5	29,6 ± 3,1
Hackschnitzel	14,7 ± 3,2	7,5 ± 2,4	13,5 ± 3,1	30,8 ± 4,1	33,4 ± 4,2
Sägeprodukte	22,3 ± 5,1	12,2 ± 4,0	17,8 ± 4,7	24,5 ± 5,3	23,2 ± 5,2
Pellets	0,8 ± 0,7	0,7 ± 0,6	7,4 ± 2,0	43,7 ± 3,9	47,4 ± 3,9
Restholz	26,1 ± 5,4	18,7 ± 4,8	14,4 ± 4,3	22,3 ± 5,1	18,5 ± 4,8
NawaRo	10,6 ± 7,8	7,9 ± 6,8	14,6 ± 8,9	29,2 ± 11,5	37,7 ± 12,3
Zentralfeuerstätten	18,1 ± 1,6	7,6 ± 1,1	11,9 ± 1,3	30,7 ± 1,9	31,8 ± 1,9

Sämtliche Brennstoffe weisen bei der Inbetriebnahmezeitraum 1995-1999 den geringsten Anteil auf. Während die Anteile an den Inbetriebnahmezeiträumen bei Sägeprodukten und Resthölzern nahezu gleichverteilt sind, ist bei den Pellets sowie NawaRos eine deutliche Konzentration in den Jahren 2005 bis 2014 zu erkennen. Hingegen wird auch deutlich, dass immerhin jede dritte Anlage der Scheitholz-ZF schon mehr als 20 Jahre in Betrieb ist.

### Kehrhäufigkeit

Für Zentralfeuerstätten wird in Anlage 1 KÜO eine zweimalige Kehrung festgelegt. Einrichtungen mit Sicherstellung der Verbrennungsgüte können die Kehrhäufigkeit auf einmal je Kalenderjahr beschränken [ZIV 2010b]. Gleichermäßen bewirkt die Herabsetzung des Messintervalls für die wiederkehrende Emissionsüberwachung auf einen Zwei-Jahres-Turnus, dass die Anlagen häufiger als zweimal im Jahr zu reinigen (=kehren) sind [ZIV 2010b]. In Abbildung 5-32 sind die Anteile der Kehrhäufigkeit je Brennstoffsoriment abgebildet.

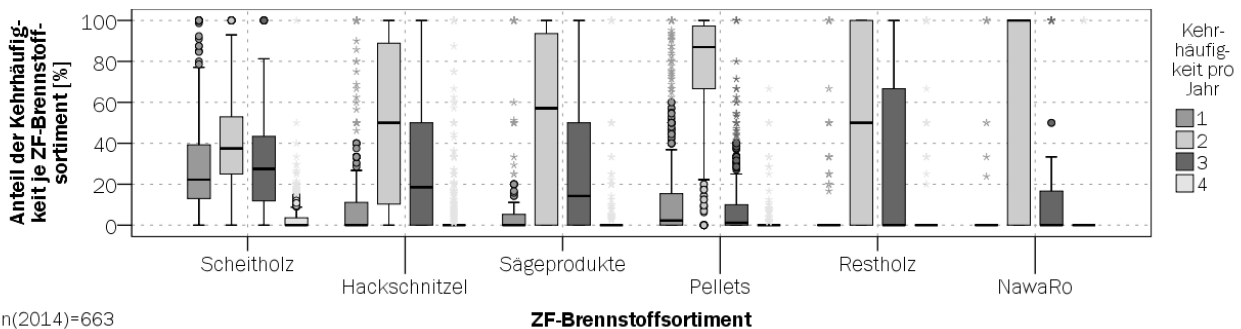


Abbildung 5-32 Verteilung der Anteile der Kehrhäufigkeit je ZF-Brennstoffsoriment; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Kehrhäufigkeit bei ZF >90 % (n=663)

Unabhängig des Brennstoffsortiments dominiert die zweimalige Kehrung im Kalenderjahr (analog zur Erhebung 2012 in Abbildung A- 28). Abweichungen davon gemäß Abbildung 5-32 sind eher darauf zurückzuführen, dass eine zweimalige Kehrung nicht ausreicht, als dass eine einmalige Kehrung infolge des Vorhandenseins von Einrichtungen zur Messung der Verbrennungsgüte genügt.

Während unter Verwendung des Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  ( $-0,25 < r_{SP} < 0,20$ ) kein Zusammenhang zwischen den Anteilen der Kehrhäufigkeit und der regionalen Parametern identifiziert werden kann, sind die in Abbildung A- 29 dargestellten Unterschiede zwischen den Regionen deutlich sichtbar. So sind in den Regionen West und Süd gegenüber den anderen Regionen die Pellet-ZF häufiger nur einmal zu kehren.

Resultierend aus der vorangestellten Analyse fließen in die Schätzung der in Tabelle 5-17 aufgetragenen Anteile der Kehrhäufigkeiten regionale Unterschiede ein. Die Festlegung der KÜO für Zentralfeuerstätten lässt zudem schlussfolgern, dass die Kehrhäufigkeit bei Zentralfeuerstätten nur begrenzt Aussagen zu Benutzungshäufigkeit und dem damit korrespondierendem Brennstoffeinsatz ermöglicht.

Tabelle 5-17 Geschätzte Anteile der Kehrhäufigkeit in [%]; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Kehrhäufigkeit bei ZF >90 % (n=663)

Technologie	1 Kehrung	2 Kehrungen	3 Kehrungen	4 Kehrungen
Scheitholz	16,7 ± 1,5	57,5 ± 2,0	22,8 ± 1,7	3,0 ± 0,7
Hackschnitzel	15,4 ± 1,5	59,6 ± 2,0	21,9 ± 1,6	3,1 ± 0,8
Sägeprodukte	12,6 ± 1,4	61,1 ± 2,0	23,1 ± 1,7	3,2 ± 0,7
Pellets	16,2 ± 1,5	59,7 ± 1,9	21,4 ± 1,7	2,7 ± 0,7
Restholz	16,4 ± 1,5	58,8 ± 2,0	21,7 ± 1,7	3,0 ± 0,7
NawaRo	17,4 ± 1,6	56,0 ± 2,0	23,6 ± 1,8	3,0 ± 0,7
Zentralfeuerstätten	16,4 ± 1,5	58,3 ± 1,9	22,5 ± 1,7	2,8 ± 0,7

Auffallend an Tabelle 5-17 sind die geringen Unterschiede zwischen den Brennstoffsportimenten innerhalb der Kehrhäufigkeiten. Während rund 16 % der Zentralfeuerstätten Einrichtungen zur Überwachung der Verbrennung aufweisen, so dass eine einmalige Kehrung ausreichend ist, ist jede vierte Anlage häufiger als zweimal je Kalenderjahr zu kehren. Im Vergleich zur Erhebung 2014 fallen bei der Erhebung 2012 die Anteile der ein-, drei- sowie viermaligen Kehrungen zum Nachteil der zweimaligen Kehrung höher aus (vergleiche Tabelle A- 25).

### 5.3.3 Sonderfeuerstätten

Sonderfeuerstätten dienen überwiegend der Bereitstellung von Prozesswärme (z. B. Backöfen) oder zur Beheizung großer Räume (z. B. Lufterhitzer). Nachstehend werden die SF-Technologien hinsichtlich des eingesetzten Brennstoffsportiments, der Leistung, der Inbetriebnahmejahre und der Kehrhäufigkeit charakterisiert.

Brennstoffsortiment

Prinzipiell ist neben dem naturbelassenen Holz aufgrund der häufig gewerblichen Nutzung von Sonderfeuerstätten auch der Einsatz von Sägeprodukten und Restholz denkbar. Abbildung 5-33 zeigt hingegen die Dominanz des Brennstoffes Scheitholz bei allen SF-Technologien.

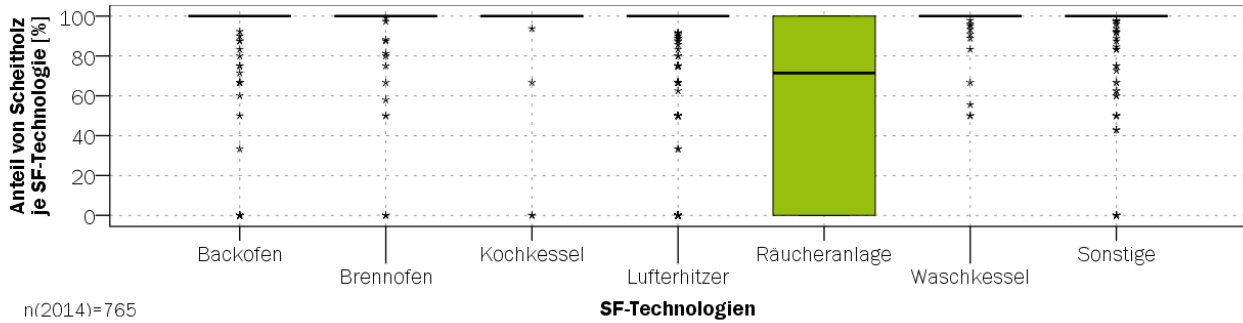


Abbildung 5-33 Verteilung des Anteils von Scheitholz bei den SF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Lediglich in Räucheranlagen wird auch ein nennenswerter Umfang anderer Brennstoffe eingesetzt. Dieses Bild bestätigt die Erhebung 2012 (Abbildung A- 30). In den Kehrbezirken sind häufig nur wenige Sonderfeuerstätten installiert, welches zu einer Überbewertung des Scheitholzes führen kann. Die in Abbildung 5-33 aufgetragenen Mediane von 100 % mit Ausnahmen der Räucheranlagen bestätigen die Mittelwerte für Backöfen (98 %), Brennöfen (97 %), Waschkessel (100 %), Kochkessel (99 %) und Sonstige (96 %), vergleiche Tabelle 5-18. Dem entgegen werden die Anteile bei Räucheranlagen und Lufterhitzern mittels des Medians überschätzt. Lufterhitzer zeigen im Mittel einen Anteil von 91 %, während dieser bei Räucheranlagen im Mittel bei 54 % liegt (vergleiche Tabelle A- 26).

Regionale Unterschiede sind ausschließlich für Räucheranlagen festzustellen (siehe Abbildung A- 31). Während in den Räucheranlagen anstelle von Scheitholz Hackschnitzel in den Regionen Süd und Stadt eingesetzt werden, nutzen die Anlagenbetreiber in den Regionen Ost und West bevorzugt Sägeprodukte. Regionale Parameter stehen hingegen in keinem signifikanten Zusammenhang mit dem Bestand an Sonderfeuerstätten, gemessen mit dem Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  in der Größenordnung von  $-0,15 < r_{SP} < 0,20$ .

Resultierend aus der vorangestellten Analyse werden bei der Schätzung der Anteile des Brennstoffsortiments ausschließlich bei den Räucheranlagen die Unterschiede in den fünf Regionen berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5-18 zusammengefasst.

Tabelle 5-18 Geschätzte Anteile des Brennstoffsortiments für die SF-Technologien in [%]; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Technologie	Scheitholz	Hackschnitzel	Sägeprodukte	Pellets	Restholz	NawaRo
Backofen	97,5 ± 1,4	0,3 ± 0,5	-	2,2 ± 1,3	-	-
Brennofen	97,2 ± 2,2	1,4 ± 1,6	-	1,4 ± 0,8	-	-
Kochkessel	99,2 ± 1,0	0,3 ± 0,4	0,2 ± 0,6	0,3 ± 0,9	-	-
Lufterhitzer	90,5 ± 3,0	1,3 ± 1,2	2,0 ± 1,4	1,9 ± 1,2	4,3 ± 2,1	-
Räucheranlage	54,2 ± 4,3	26,7 ± 3,8	18,3 ± 3,3	0,3 ± 0,9	0,1 ± 0,3	0,4 ± 0,6
Waschkessel	99,6 ± 0,6	0,1 ± 0,2	0,2 ± 0,3	0,2 ± 1,0	-	-
SF-Sonstige	95,6 ± 2,2	0,6 ± 0,7	2,4 ± 1,7	0,6 ± 1,2	0,2 ± 0,4	0,8 ± 0,9
Sonderfeuerstätten	88,6 ± 1,2	5,6 ± 0,9	4,2 ± 0,8	0,9 ± 0,4	0,6 ± 0,3	0,2 ± 0,2

Die in Tabelle 5-18 aufgeführten Anteile unterstreichen die Dominanz des Brennstoffs Scheitholz mit Anteilen zwischen 90 % und 100 % bei allen SF-Technologien außer Räucheranlagen. Nur die Hälfte der Räucheranlagen werden mit Scheitholz befeuert. Alternativ werden Hackschnitzel (27 %) oder Sägeprodukte (18 %) eingesetzt. In der Erhebung 2012 (Tabelle A- 26) wird einzig der Anteil des Scheitholzes in Räucheranlagen mit 73 % eingeschätzt zulasten des Brennstoffes Hackschnitzel deutlich höher eingeschätzt.

### Leistungsklassen

Das Leistungsspektrum der SF-Technologien ist gegenüber den Einzelraumfeuerungen höher, allerdings auch deutlich geringer als bei den Zentralfeuerstätten. Daher werden für die SF-Technologien neue Leistungsklassen definiert. Die Anteile der Leistungsklassen sind in Abbildung 5-34 für die SF-Technologien dargestellt.

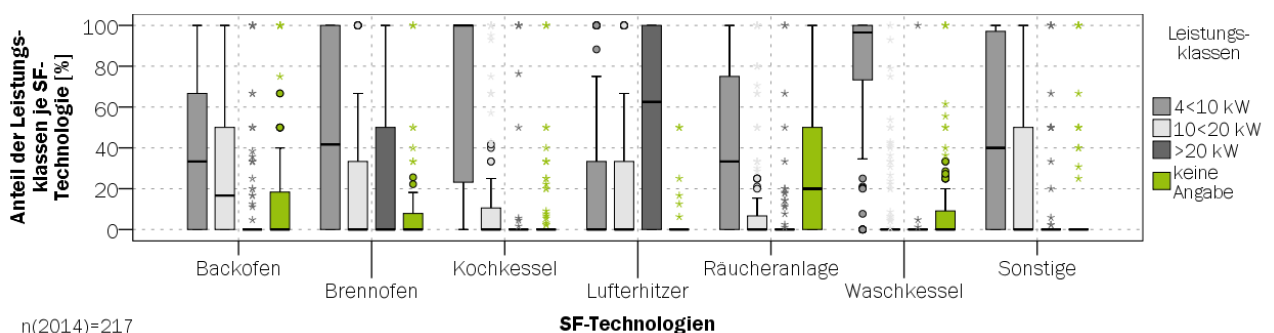


Abbildung 5-34 Verteilung der Anteile der Leistungsklassen je SF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei SF >70 % (n=217)

Die meisten Sonderfeuerstätten haben eine Leistung im Bereich 4<10 kW. Eine Ausnahme bilden die überwiegend zur Beheizung von großen Räumen eingesetzten Lufterhitzer mit einem Median von 60 % in der Leistungsklasse >20 kW. Diese Ergebnisse werden gestützt von der Auswertung der Erhebung 2012 in Tabelle A- 27.

Regionale Parameter stehen unter Anwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  ( $-0,20 < r_{SP} < 0,25$ ) in keinem signifikanten Zusammenhang mit den Anteilen der Leistungsklassen. Eine nach den fünf Regionen differenzierte Betrachtung zeigt gemäß Abbildung A- 33 zwar Unterschiede,

jedoch erfüllen nur 217 Teilnehmer die Qualitätskriterien für die Analyse der Leistungsklassen und in die Auswertung einzelner SF-Technologien und Regionen fließen die Angaben von weniger als zehn Teilnehmern ein.

Resultierend aus der vorangestellten Analyse werden die Anteile der Leistungsklassen bei Sonderfeuerstätten ohne die Berücksichtigung weiterer Aspekte geschätzt und die Ergebnisse in Tabelle 5-19 zusammengefasst. Ergänzt werden diese um die geschätzte durchschnittliche Leistung.

Tabelle 5-19 Geschätzte Anteile und (durchschnittliche Leistung in [kW]) der Leistungsklassen je SF-Technologie in [%], basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei SF >70 % (n=218)

Technologie	<4 kW	4<10 kW	10<20 kW	≥20 kW
Backofen	3,6 ± 3,7 (2,6)	40,0 ± 9,9 (6,7)	40,5 ± 9,6 (12,4)	15,9 ± 7,4 (45,9)
Brennofen	0,5 ± 1,8 (2,6)	25,3 ± 11,6 (6,0)	55,5 ± 6,0 (11,7)	18,7 ± 10,4 (38,2)
Kochkessel	3,6 ± 4,3 (2,8)	69,3 ± 10,7 (5,6)	22,0 ± 13,3 (10,5)	5,1 ± 5,1 (43,6)
Luftherhitzer	-	19,8 ± 8,5 (6,8)	17,3 ± 9,9 (12,7)	62,9 ± 10,3 (43,8)
Räucheranlage	19,6 ± 6,6 (2,2)	60,1 ± 8,1 (5,4)	16,6 ± 3,4 (11,6)	3,7 ± 3,1 (41,1)
Waschkessel	2,4 ± 2,8 (2,9)	85,2 ± 6,6 (5,9)	12,0 ± 6,1 (10,4)	0,4 ± 1,2 (25,7)
SF-Sonstige	8,3 ± 6,4 (2,7)	54,1 ± 11,5 (6,1)	28,5 ± 8,0 (12,9)	9,1 ± 6,6 (58,4)
Sonderfeuerstätten	6,0 ± 1,9 (2,4)	54,5 ± 3,9 (5,8)	24,4 ± 10,4 (11,4)	15,1 ± 2,8 (40,7)

Die geschätzten Anteile in Tabelle 5-19 bestätigen die in Abbildung 5-34 dargestellte Verteilung. Ein Vergleich beider Erhebungen (Tabelle A- 27 für 2012) weist auf unterschiedliche Anteile hin, jedoch mit vergleichbarer Tendenz. Die durchschnittliche Leistung zwischen den Technologien ist mit Ausnahme der Waschkessel in der Leistungsklasse ≥20 kW recht homogen. Auffällig ist dabei auch, dass die durchschnittliche Leistung der Leistungsklasse 10<20 kW im unteren Drittel (zwischen 10,4 kW und 12,9 kW) des Bereiches liegt.

**Inbetriebnahmejahr**

Die Anteile der verschiedenen Inbetriebnahmezeiträume bei den SF-Technologien sind in Abbildung 5-35 für die Erhebung 2014 abgebildet.

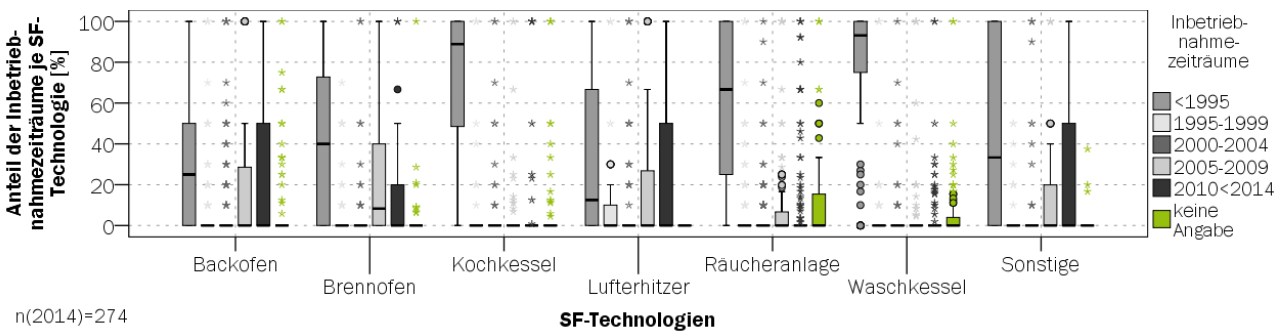


Abbildung 5-35 Verteilung der Anteile der Inbetriebnahmezeiträume bei den SF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei SF >70 % (n=274)

Entsprechend Abbildung 5-35 sind mit Ausnahme der Luftherhitzer die höchsten Mediane bei den vor 1995 in Betrieb genommenen Anlagen zu verzeichnen. Zudem betragen die in Abbildung 5-35



aufgetragenen Mediane häufig null. Zurückzuführen ist dies auf die geringe Anzahl an Sonderfeuerstätten und somit je SF-Technologie und Inbetriebnahmezeitraum in den Kehrbezirken.

Unterschiedliche Anteile der Inbetriebnahmezeiträume in den fünf Regionen werden in Abbildung A- 34 insbesondere für die Leistungsklasse <1995 deutlich. Ein signifikanter Einfluss regionaler Parameter auf die Anteile kann unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$  ( $-0,10 < r_{SP} < 0,06$ ) nicht festgestellt werden.

Resultierend aus der vorangestellten Analyse werden die Anteile der Inbetriebnahmezeiträume unter Anwendung des Horvitz-Thompson-Schätzers geschätzt und in Tabelle 5-20 zusammengefasst. Der geringen Anzahl an Sonderfeuerstätten je Kehrbezirk und somit je SF-Technologie und Inbetriebnahmezeitraum geschuldet, werden regionale Unterschiede nicht berücksichtigt.

Tabelle 5-20 Geschätzte Anteile der Inbetriebnahmezeiträume je SF-Technologien in [%]; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei SF >70 % (n=274)

Technologie	<1995	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014
Backofen	36,1 ± 8,3	7,1 ± 4,5	11,5 ± 5,5	20,6 ± 7,0	24,7 ± 7,5
Brennofen	42,9 ± 12,6	7,0 ± 6,5	7,2 ± 6,6	27,9 ± 11,5	15,0 ± 9,1
Kochkessel	73,3 ± 9,6	6,0 ± 5,2	7,1 ± 5,6	5,5 ± 5,0	8,1 ± 5,9
Luftheritzer	33,5 ± 9,2	11,5 ± 6,2	8,9 ± 5,5	18,2 ± 7,5	27,9 ± 8,7
Räucheranlage	64,4 ± 6,9	9,0 ± 4,1	6,4 ± 3,5	10,1 ± 4,3	10,1 ± 4,4
Waschkessel	83,6 ± 6,3	4,0 ± 3,3	3,1 ± 3,0	5,0 ± 3,7	4,3 ± 3,4
Sonstige	55,2 ± 10,2	4,6 ± 4,3	8,9 ± 5,8	11,9 ± 6,6	16,4 ± 8,1
Sonderfeuerstätten	56,8 ± 1,8	7,2 ± 0,9	7,4 ± 0,9	13,3 ± 1,2	15,3 ± 1,3

Das Ergebnis der geschätzten Anteile in Tabelle 5-20 spiegelt die Verteilung in Abbildung 5-35 wider. Mit Ausnahme der Back- und Brennöfen sowie der Luftheritzer wurden über die Hälfte der Sonderfeuerstätten (55 % der Sonstigen bis 84 % bei den Waschkesseln) bereits vor 1995 in Betrieb genommen. Back- und Brennöfen sowie Luftheritzern hingegen wurden zu großen Anteilen (40 % bis 46 %) auch nach 2005 installiert.

### Kehrhäufigkeit

Analog den Einzelraumfeuerungen liefert die Kehrhäufigkeit auch bei den Sonderfeuerstätten Hinweise auf die Benutzungshäufigkeit. Die Anteile der Kehrhäufigkeit werden in Abbildung 5-36 für die Erhebung 2014 aufgezeigt.

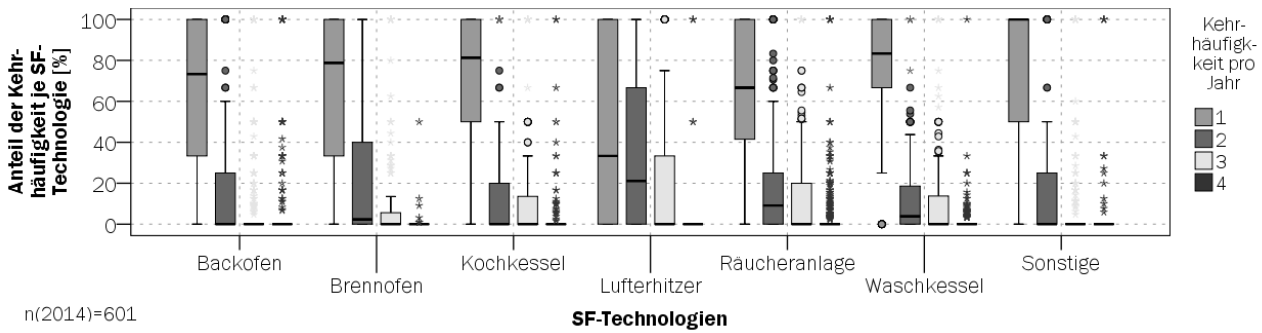


Abbildung 5-36 Verteilung der Anteile der Kehrhäufigkeit bei SF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Kehrhäufigkeit bei SF >80 % (n=601)

Bei allen SF-Technologien dominiert die einmalige Kehrung je Kalenderjahr – sowohl bei der Erhebung 2014 in Abbildung 5-36 als auch bei der Erhebung 2012 (Abbildung A- 35). Die Unterschiede zwischen den Regionen sind erheblich und werden in Abbildung A- 36 exemplarisch für Räucheranlagen, Waschkessel sowie Brennöfen aufgezeigt. So weist der Median bei der einmaligen Kehrung von Räucheranlagen eine Spannweite von 38 % (Region Stadt) bis 75 % (Region Ost) auf. Regionale Parameter hingegen haben unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten mit  $-0,06 < r_{SP} < 0,10$  keinen signifikanten Einfluss auf die Anteile der Kehrhäufigkeit.

Resultierend aus der vorangestellten Analyse werden die regionalen Unterschiede bei der Schätzung der Anteile der Kehrhäufigkeit unter Verwendung des Horvitz-Thompson-Schätzers berücksichtigt. Die Ergebnisse für die Erhebung 2014 sind Tabelle 5-18 zu entnehmen.

Tabelle 5-21 Geschätzte Anteile der Kehrhäufigkeiten für die SF-Technologien in [%]; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Kehrhäufigkeiten bei SF >80 % (n=601)

Technologie	1 Kehrung	2 Kehrungen	3 Kehrungen	4 Kehrungen
Backofen	63,4 ± 9,7	21,7 ± 8,3	7,0 ± 5,2	7,9 ± 5,4
Brennofen	81,7 ± 10,3	16,7 ± 10,0	1,6 ± 3,3	-
Kochkessel	67,2 ± 10,8	24,3 ± 9,9	5,9 ± 5,5	2,6 ± 2,1
Luftheritzer	33,4 ± 10,0	51,1 ± 10,6	15,5 ± 7,7	-
Räucheranlage	58,3 ± 8,1	25,8 ± 7,2	9,3 ± 4,8	6,6 ± 4,1
Waschkessel	72,5 ± 8,3	14,4 ± 6,5	11,9 ± 6,0	1,2 ± 0,9
Sonstige	70,7 ± 10,5	20,8 ± 9,4	7,4 ± 6,0	1,1 ± 1,1
Sonderfeuerstätten	62,6 ± 3,8	24,7 ± 3,4	9,3 ± 2,3	3,4 ± 1,4

Mit Ausnahme der Luftheritzer werden die SF-Technologien vor allem gelegentlich betrieben und sind somit einmal im Jahr zu kehren. Im Gegensatz dazu werden die Hälfte der Luftheritzer häufiger als gelegentlich betrieben. Einzig bei den Brennöfen sind erhebliche Unterschiede zwischen den beiden Erhebungen zu erkennen (vergleiche Tabelle A- 28, denen aufgrund der geringen Anzahl je Kehrbezirk und aufgrund des abweichenden Teilnehmerkreises keine zu große Bedeutung beigemessen wird.

## 5.4 Brennstoffeinsatz

Das folgende Kapitel umfasst zwei Teile. Zunächst werden die im Rahmen der primärstatistischen Erhebung zum Brennstoffeinsatz ermittelten durchschnittlichen Brennstoffeinsätze je Anlagengruppe ausgewiesen. Aufbauend darauf wird der kumulierte Brennstoffeinsatz als Produkt des durchschnittlichen Brennstoffeinsatzes und des Anlagenbestandes (Kapitel 5.2) berechnet.

### 5.4.1 Durchschnittlicher Brennstoffeinsatz

Der nachstehend ausgewertete durchschnittliche Brennstoffeinsatz ist das Ergebnis der primärstatistischen Erhebung zum Brennstoffeinsatz (nachstehend Erhebung 2017 genannt) und spiegelt den durch die Bezirksschornsteinfeger geschätzten Brennstoffeinsatz in einem Jahr je Anlage wider. Die Ergebnisse werden gesondert für die drei Technologiegruppen (Einzelraumfeuerungen, Zentral- und Sonderfeuerstätten) und vertiefend für die Technologien und die Kehrhäufigkeit (bei Einzelraumfeuerungen und Sonderfeuerstätten) beziehungsweise Brennstoffsortiment und Leistungsklassen (bei Zentralfeuerstätten) dargestellt.

#### Einzelraumfeuerungen

Im Zuge der Erhebung zum Brennstoffeinsatz wird bei Einzelraumfeuerungen neben den EF-Technologien auch bezüglich der Kehrhäufigkeit differenziert. Die Berücksichtigung der Kehrhäufigkeit ist auf die Annahme zurückzuführen, dass beispielsweise regelmäßig ganzjährig betriebene und somit viermal im Jahr zu kehrende Kaminöfen einen höheren Brennstoffeinsatz aufweisen, als die gelegentlich betriebenen und somit einmal zu kehrenden Kaminöfen. Zur Überprüfung dieser Annahme ist in Abbildung 5-37 der durchschnittliche Brennstoffeinsatz in Abhängigkeit von der Kehrhäufigkeit für die EF-Technologien dargestellt.

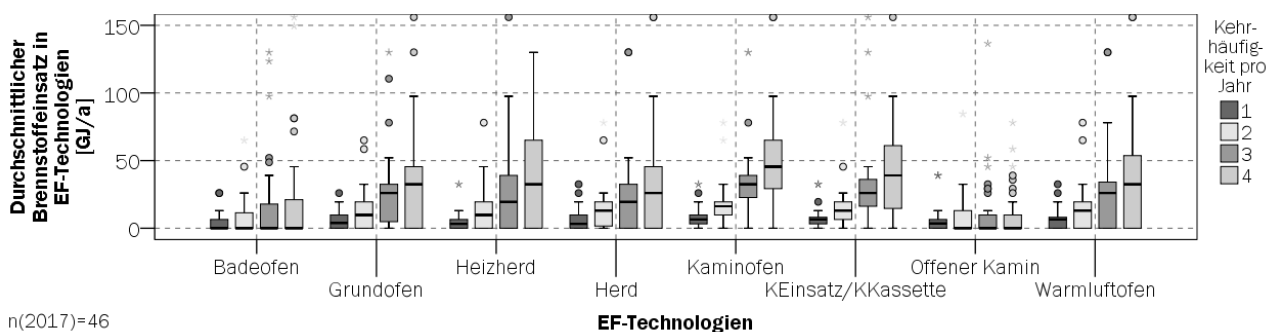


Abbildung 5-37 Verteilung des durchschnittlichen Brennstoffeinsatzes für die EF-Technologien je Kehrhäufigkeit; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2017 mit Angaben zum Brennstoffeinsatz in EF-Technologien (n=46)

Abbildung 5-37 bestätigt die Annahme, dass die Benutzungshäufigkeit nicht nur die Kehrhäufigkeit, sondern insbesondere auch den durchschnittlichen Brennstoffeinsatz beeinflusst. Dass der Brennstoffeinsatz zwischen den Technologien vergleichbar eingeschätzt werden kann, haben bereits die Auswertungen in Kapitel 5.1.2 und Tabelle A- 4 gezeigt. So schätzen beispielsweise 83 % der Teilnehmer den Brennstoffeinsatz in Warmluftöfen mit anderen Technologien vergleichbar ein. Der Frage inwiefern der Brennstoffeinsatz regional bedingt unterschiedlich ist, kann mit einer Teilnehmerzahl von 46 aus 7.704 Kehrbezirken nicht verlässlich nachgegangen werden.

Resultierend aus der vorangestellten Analyse ist in Tabelle 5-22 der geschätzte durchschnittliche Brennstoffeinsatz in GJ/a für die verschiedenen EF-Technologien aufgeführt – je Kehrhäufigkeit und gewichtet nach dem in Kapitel 5.3.1 ausgewiesenem Anteil der Kehrhäufigkeiten bei den einzelnen EF-Technologien.

Tabelle 5-22 Geschätzter durchschnittlicher Brennstoffeinsatz je Kehrhäufigkeit und der nach dem Anlagenbestand je Kehrhäufigkeit gewichtete Durchschnitt; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2017 (n=46)

Technologie	1 Kehrung [GJ/a]	2 Kehrungen [GJ/a]	3 Kehrungen [GJ/a]	4 Kehrungen [GJ/a]	gewichteter. Durchschnitt [GJ/a]
Badeofen	8,54 ± 8,54	18,60 ± 18,61	35,13 ± 35,14	42,20 ± 42,41	5,53
Grundofen	8,12 ± 8,12	19,45 ± 19,46	36,21 ± 36,23	50,18 ± 50,19	3,59
Heizherd	6,99 ± 6,99	18,03 ± 18,03	37,48 ± 37,49	58,70 ± 58,71	6,05
Herd	8,00 ± 8,00	17,92 ± 17,93	33,26 ± 33,28	50,13 ± 50,13	4,07
Kamineinsatz/ Kaminkassette	7,87 ± 7,86	18,54 ± 18,55	35,73 ± 35,74	54,25 ± 54,26	2,86
Kaminofen	7,66 ± 7,14	18,56 ± 18,58	36,13 ± 36,17	56,05 ± 56,09	3,34
Offener Kamin	7,88 ± 7,88	19,95 ± 19,95	34,91 ± 34,92	49,05 ± 49,06	2,53
Warmluftofen	8,33 ± 8,33	19,67 ± 19,68	37,34 ± 37,37	56,33 ± 56,35	3,82

Grundsätzlich spiegeln die geschätzten Anteile in Tabelle 5-22 die Verteilung aus Abbildung 5-37 wider. Dabei ist nicht außer Acht zu lassen, dass die geschätzten durchschnittlichen Brennstoffeinsätze für alle EF-Technologien und Kehrhäufigkeiten mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. Dieser Aspekt unterstreicht die Herausforderung den Brennstoffeinsatz zu schätzen und wird durch die vergleichsweise geringe Fallzahl von 46 Teilnehmern verstärkt. Dennoch zeigen die Ergebnisse, dass technologieübergreifend der Brennstoffeinsatz für regelmäßig ganzjährig betriebene (4 Kehrungen) Einzelraumfeuerungen der Brennstoffeinsatz um das Fünf- bis Achtfache höher eingeschätzt als bei den gelegentlich betriebenen Einzelraumfeuerungen (1 Kehrung). Technologieübergreifend liegt der geschätzte Brennstoffeinsatz in einer Größenordnung für die vier Gruppen der Kehrhäufigkeit. Gravierende Unterschiede sind jedoch bei dem gewichteten Durchschnitt festzustellen. Dies ist maßgeblich auf die verschiedenen Anteile der Kehrhäufigkeiten der EF-Technologien zurückzuführen. Für offene Kaminen – bei denen 82 % der Anlagen einmal zu kehren sind – wurde ein gewichteter Durchschnitt von 2,5 GJ/a ermittelt. Dem hingegen sind circa 40 % der Heizherde und Badeöfen drei- beziehungsweise viermal im Jahr zu kehren, so dass deren Wert mit 5,5 GJ/a bzw. 6,1 GJ/a deutlich über dem der anderen EF-Technologien (2,5 GJ/a bis 4,1 GJ/a)

### Zentralfeuerstätten

Im Gegensatz zu den Einzelraumfeuerungen werden Zentralfeuerstätten ganzjährig für die Warmwassererzeugung und in der Heizsaison zur Bereitstellung von Raumwärme betrieben. Der Brennstoffeinsatz wird nicht durch die Kehrhäufigkeit, sondern durch die Leistung beeinflusst, die bei den Zentralfeuerstätten mit 4 bis 1.000 kW eine enorme Bandbreite abdeckt. Folglich wird im Fragebogen gemäß Anhang A 1.1 und den Ergebnissen in Abbildung 5-38 neben dem Brennstoffsortiment auch bezüglich der Leistungsklassen differenziert.

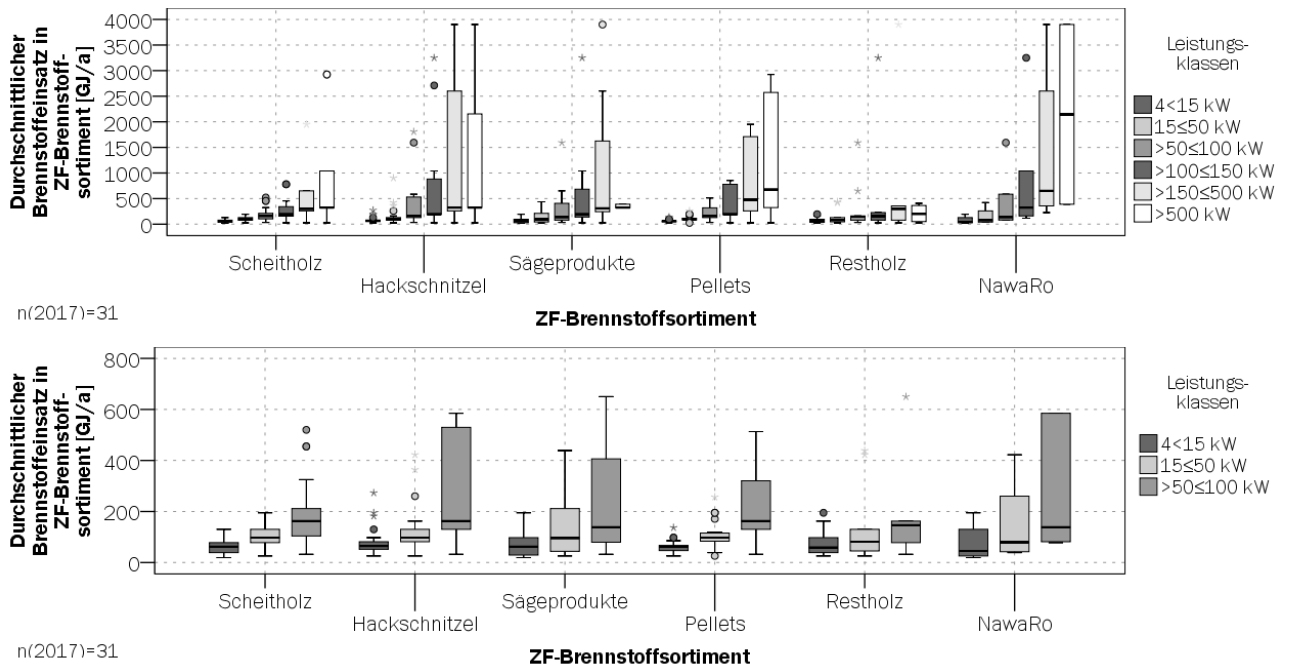


Abbildung 5-380 Geschätzter durchschnittlicher Brennstoffeinsatz für das ZF-Brennstoffsortiment für alle Leistungsklassen (oben) und die Leistungsklassen 4<15 kW, 15≤50 kW, >50≤50 kW; (unten); basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2017 mit Angaben zum Brennstoffeinsatz in ZF (n=31)

Mit zunehmender installierter Leistung steigt der durchschnittlich geschätzte Brennstoffeinsatz, aber auch die Spannbreiten zwischen dem Brennstoffsoriment. In Tabelle 5-23 sind für die ZF-Brennstoffsorimente der geschätzte durchschnittliche Brennstoffeinsatz für die sechs definierten Leistungsklassen zusammengefasst. Ergänzend dazu wird der durchschnittliche, nach dem Anlagenbestand je Leistungsklasse gewichtete Brennstoffeinsatz für die Brennstoffsorimente ausgewiesen.

Tabelle 5-23 Geschätzter durchschnittlicher Brennstoffeinsatz je Größenklassen und der nach dem Anlagenbestand je Leistungsklasse gewichteten Durchschnitt; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2017 (n=31)

Brennstoff-soriment	4<15 kW [GJ/a]	15<50 kW [GJ/a]	>50≤100 kW [GJ/a]	>100≤150 kW [GJ/a]	>150≤500 kW [GJ/a]	>500 kW [GJ/a]	gewichteter Durchschnitt [GJ/a]
Scheitholz	61 ± 73	104 ± 125	196 ± 259	295 ± 345	613 ± 801	931 ± 1.198	99,7
Hackschnitzel	79 ± 108	157 ± 290	344 ± 584	747 ± 1.100	1.893 ± 2.857	2.693 ± 3.999	547,1
Sägeprodukte	68 ± 69	136 ± 128	239 ± 265	583 ± 464	1.035 ± 1.017	993 ± 1.332	328,8
Pellets	62 ± 74	108 ± 167	220 ± 301	420 ± 797	908 ± 1.332	1.263 ± 1.121	110,9
Restholz	108 ± 104	247 ± 296	458 ± 575	958 ± 1.076	2.274 ± 2.823	3.455 ± 3.940	1.094,7
NawaRo	107 ± 93	271 ± 276	556 ± 560	1.367 ± 1.093	3.281 ± 2.864	5.944 ± 4.004	985,0

Die Schätzung des durchschnittlichen Brennstoffeinsatzes ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Dies spiegelt sich in den im Vergleich zur Punktschätzung großen halben Intervalllängen der Intervallschätzungen wider, die wie am Beispiel der Pellet-ZF der Leistungsklasse 15<50 kW den Betrag der Punktschätzung (108 GJ/a) mit 167 GJ/a übersteigen. Der durchschnittliche Brennstoffeinsatz nimmt mit steigender Leistung technologieübergreifend deutlich zu. Zwischen den beiden Leistungsklassen 4<15 kW und >500 kW liegt der Faktor 14 (Sägeprodukte) bis 55 (NawaRo). Zudem

werden innerhalb der Leistungsklassen erhebliche Unterschiede zwischen den Brennstoffsortimenten sichtbar. Der Brennstoffeinsatz wird in Scheitholz-ZF und Pellet-ZF deutlich niedriger eingeschätzt gegenüber Restholz-ZF und NawaRo-ZF. Dieser Aspekt spiegelt sich auch in dem gewichteten Durchschnitt wider. Zusätzlich wird dieser Effekt von dem vergleichsweise hohen Anteil von circa 95 % an Anlagen kleiner Leistung (<50 kW) bei den Scheitholz-ZF und Pellet-ZF gegenüber den Restholz-ZF mit 24 % verstärkt (Kapitel 5.3.2).

### Sonderfeuerstätten

Analog den Einzelraumfeuerungen wird auch bei den Sonderfeuerstätten der Brennstoffeinsatz zusätzlich zur SF-Technologie abhängig von der Kkehrhäufigkeit geschätzt. Lediglich 19 Teilnehmer der Erhebung 2017 haben den Brennstoffeinsatz für die verschiedenen SF-Technologien geschätzt. Zurückzuführen ist dies einerseits auf die Tatsache, dass in dem jeweiligen Kkehrbezirk keine Sonderfeuerstätten betreut werden und somit die Erfahrungswerte fehlen. Andererseits hat die Auswertung in Kapitel 5.1.2 gezeigt, dass mit zunehmendem Fortschritt der Online-Erhebung die Anzahl der verwertbaren Angaben sank. In Abbildung 5-39 ist die Verteilung des durchschnittlich geschätzten Brennstoffeinsatzes je SF-Technologie dargestellt.

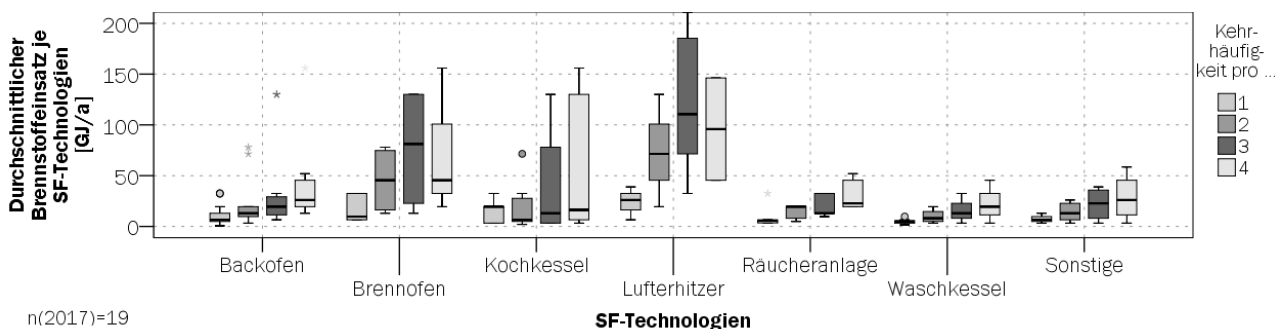


Abbildung 5-39 Geschätzter durchschnittlicher Brennstoffeinsatz für die SF-Technologien je Kkehrhäufigkeit; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2017 mit Angaben zum Brennstoffeinsatz in SF-Technologien (n=19)

Deutliche Unterschiede des geschätzten durchschnittlichen Brennstoffeinsatzes sind sowohl zwischen den SF-Technologien als auch zwischen der Kkehrhäufigkeit zu erkennen. Die Ergebnisse der Punkt- und Intervallschätzung sind für die SF-Technologien Tabelle 5-24 zu entnehmen.

Tabelle 5-24 Geschätzter durchschnittlicher Brennstoffeinsatz in SF-Technologien je Kkehrhäufigkeit sowie im gewichteten Durchschnitt; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2017 (n=19)

Technologie	1 Kehrung [GJ/a]	2 Kehrungen [GJ/a]	3 Kehrungen [GJ/a]	4 Kehrungen [GJ/a]	gewichteter Durchschnitt [GJ/a]
Backofen	11,1 ± 11,1	20,6 ± 20,6	33,8 ± 33,8	37,8 ± 37,8	16,9
Brennofen	17,6 ± 17,5	45,5 ± 45,5	76,4 ± 76,4	73,7 ± 73,7	23,2
Kochkessel	11,1 ± 11,1	18,9 ± 18,9	40,0 ± 4,1	54,7 ± 54,7	15,9
Lufterhitzer	23,8 ± 23,8	73,7 ± 73,7	134,3 ± 134,3	95,9 ± 95,9	66,4
Räucheranlage	9,6 ± 9,7	14,2 ± 14,2	20,2 ± 20,2	31,9 ± 31,9	13,2
Waschkessel	4,9 ± 4,9	9,8 ± 9,8	15,4 ± 15,5	21,9 ± 21,9	7,0
Sonstige	7,5 ± 7,5	14,3 ± 14,3	21,9 ± 21,9	28,4 ± 28,4	10,2

Analog den Einzelraumfeuerungen und Zentralfeuerstätten weist auch der für die SF-Technologien geschätzte durchschnittliche Brennstoffeinsatz erhebliche Spannbreiten auf. Unbenommen dessen ist der durchschnittliche Brennstoffeinsatz stark von den SF-Technologien abhängig. Ein Trend, der sich bereits in Abbildung 5-39 abzeichnete. So liegt der durchschnittliche Brennstoffeinsatz für Lufterhitzer deutlich über denen der anderen SF-Technologien und übersteigt bei den einmal zu kehrenden Lufterhitzern sogar den Wert für die viermal zu kehrendem Waschkessel. Dies schlägt sich auch auf den, nach den Anteilen der Kkehrhäufigkeit (siehe Tabelle 5-21) gewichteten Durchschnitt aus. Der Abstand der Lufterhitzer zu den anderen SF-Technologien wird durch den vergleichsweise hohen Anteil der zwei- und dreifachen Kehrung gegenüber den anderen SF-Technologien verstärkt.

### 5.4.2 Kumulierter Brennstoffeinsatz

Der kumulierte Brennstoffeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen in Deutschland wird aus dem Produkt des Anlagenbestandes und dem durchschnittlichen Brennstoffeinsatz der Anlagengruppen ermittelt. In Abbildung 5-40 werden zunächst die drei Technologiegruppen und deren Brennstoffeinsatz beleuchtet.

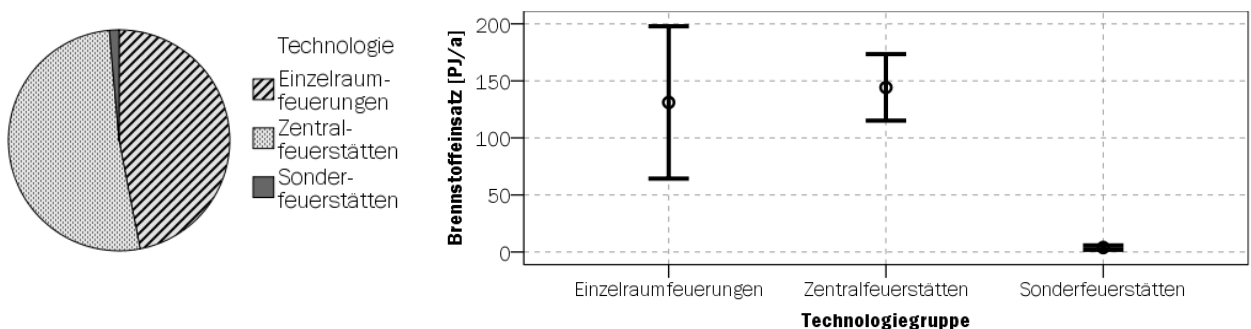


Abbildung 5-40 Geschätzter Brennstoffeinsatz in den Technologiegruppen der Kleinfeuerungsanlagen in Deutschland; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung mit Angaben zur Technologie &gt;95 % (n=765) und den Teilnehmern der Erhebung 2017 (n=47)

Das auf der Punktschätzung basierende Tortendiagramm in Abbildung 5-40 zeigt, dass 52 % des Brennstoffeinsatzes der Kleinfeuerungsanlagen in Zentralfeuerstätten, 47 % in Einzelraumfeuerungen und nur 1 % in Sonderfeuerstätten erfolgt. Ergänzend dazu sind in dem Hoch-Tief-Diagramm die Punkt-



und Intervallschätzung aufgetragen. Dabei wird sichtbar, dass die Intervalllängen bei den Einzelraumfeuerungen gegenüber den Zentralfeuerstätten deutlich größer ausfallen. Zurückzuführen ist dies auf die größeren Intervalllängen beim durchschnittlichen Brennstoffeinsatz der Einzelraumfeuerungen gegenüber den Zentralfeuerstätten und nicht auf die Unsicherheiten bei der Schätzung des Anlagenbestandes.

Eine Analyse des Brennstoffeinsatzes in Einzelraumfeuerungen zeigt, dass mit 55 % ein Großteil des Brennstoffes in Kaminöfen eingesetzt werden, die 54 % des Bestands an Einzelraumfeuerungen ausmachen. Grundsätzlich ist der Anteil des Brennstoffeinsatzes der einzelnen EF-Technologien proportional zu deren Anteil am Bestand der Einzelraumfeuerungen. Diese Aussage kann jedoch nicht für die Zentralfeuerstätten übernommen werden. Während der Anteil von Scheitholz am Bestand der Zentralfeuerstätten 75 % beträgt, liegt dessen Anteil am Brennstoffeinsatz bei nur 60 %. Im Gegensatz dazu liegt der Anteil der Hackschnitzel am Brennstoffeinsatz in Zentralfeuerstätten mit 15 % deutlich über dem Anteil am Bestand dieser (4 %). Zurückzuführen ist dies auf einen vergleichsweise hohen Anteil (97 %) der Scheitholz-ZF mit kleiner Leistung (<50 kW). Dem entgegen weisen 50 % der Hackschnitzel-ZF eine Leistung >50 kW auf.

Der Einsatz der Brennstoffsortimente ist in Abbildung 5-4 technologieübergreifend dargestellt.

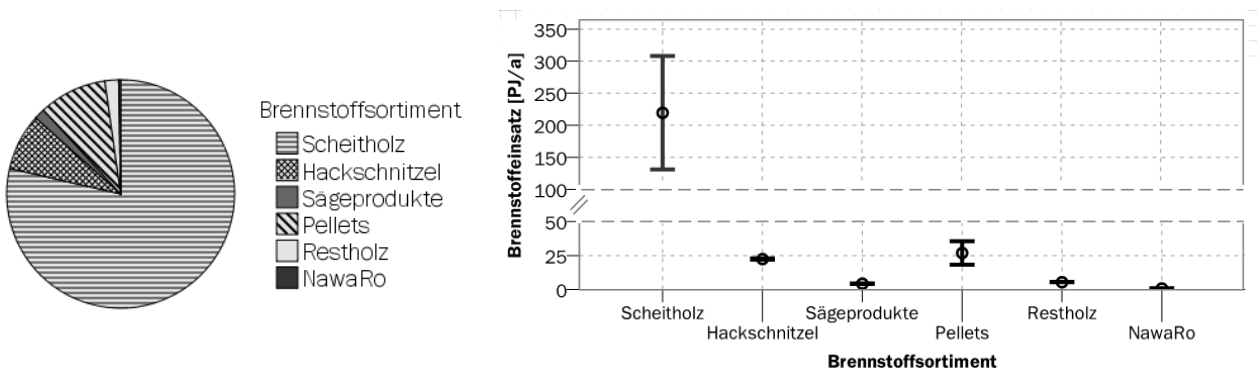


Abbildung 5-41 Geschätzter Brennstoffeinsatz nach dem Brennstoffsortiment in Kleinf Feuerungsanlagen in Deutschland, basierend auf den Teilnehmern der Erhebung mit Angaben zur Technologie>95 % (n=765) und den Teilnehmern der Erhebung 2017 (n=47)

Das Übergewicht des Scheitholzes mit 79 % am Brennstoffeinsatz in Kleinf Feuerungsanlagen ist auf die Dominanz bei den Einzelraumfeuerungen und Sonderfeuerstätten sowie dem hohen Anteil am Bestand der Zentralfeuerstätten (62 %) zurückzuführen. Mit 10 % und 8 % sind Pellets und Hackschnitzel zusätzlich noch von Bedeutung. Während die Intervalllänge bei dem Scheitholz 80 % der Punktschätzung beträgt, liegt dieser Wert bei den übrigen Brennstoffsortimenten zwischen 140 % und 190 % und hat höhere Unsicherheiten bei deren Schätzung zur Folge.

## 5.5 Sektorale Zuordnung der Anlagen

Eine sektorale Zuordnung des Bestandes und Brennstoffeinsatzes der Kleinf Feuerungsanlagen ist für die Verwendung in der Energieberichterstattung von großer Bedeutung. Im Zuge der primärstatistischen Erhebung zum Brennstoffeinsatz wird eine Einschätzung zur Bedeutung der Haushalte je Anlagengruppe abgefragt (vergleiche Kapitel A 1.1). Dabei wird davon ausgegangen, dass die übrigen Anlagen dem GHD-Sektor zuzuordnen sind.

Im Rahmen der Erhebung 2017 haben sechs Teilnehmer die Anteile der Sektoren Haushalte und GHD für die drei Technologiegruppen und deren Technologien (bei Einzelraumfeuerungen und Sonderfeuerstätten) beziehungsweise Brennstoffsortimenten und Leistungsklassen (bei den Zentralfeuerstätten) abgeschätzt. Die Ergebnisse werden nachstehend dargestellt, abgerundet mit einer Einschätzung zur Bedeutung der Sektoren Haushalte und GHD hinsichtlich des Anlagenbestandes und des Brennstoffeinsatzes.

### Einzelraumfeuerungen

Das Box-Plot-Diagramm in Abbildung 5-42 zeigt die Spannweiten der Mediane und Interquartilsabstände zwischen dem 1. und 3. Quartil für die EF-Technologien.

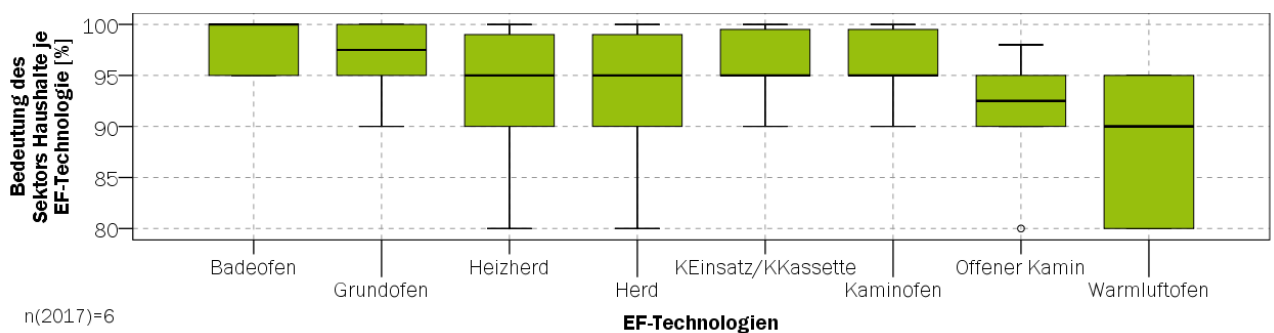


Abbildung 5-42 Verteilung der Anteile der in Haushalten installierten EF-Technologie; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2017 mit Angaben zur sektoralen Zuordnung in EF-Technologien (n=6)

Entsprechend der Einschätzung durch die Teilnehmer (Abbildung 5-42) sind die Einzelraumfeuerungen überwiegend in Haushalten installiert. Der Anteil der in Haushalten installierten Einzelraumfeuerungen wird je Technologie zwischen 80 % (Warmluftöfen) und 100 % (Badeöfen) geschätzt.

### Zentralfeuerstätten

Bei den Zentralfeuerstätten wird gemäß Abbildung 4-3 die Bedeutung des Sektors Haushalte für die Brennstoffsortimente und zusätzlich für drei Leistungsklassen geschätzt. In Abbildung 5-43 ist die Verteilung der durch die Teilnehmer geschätzten Bedeutung des Sektors Haushalte zusammengefasst.

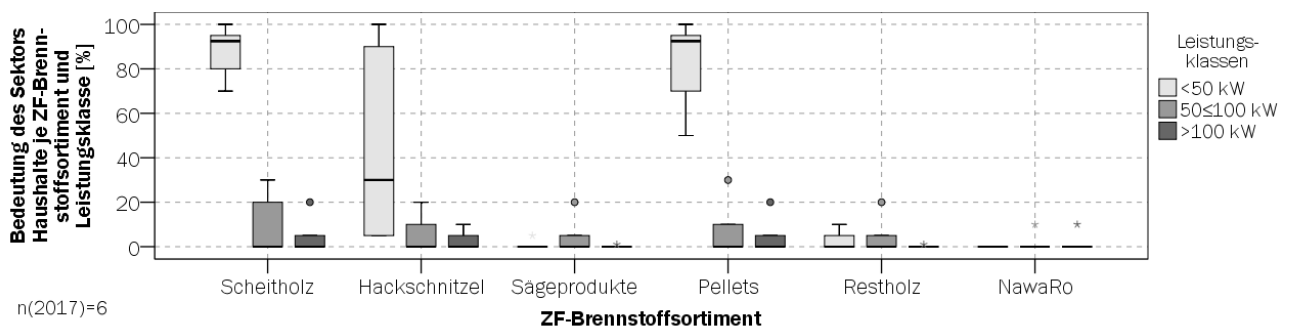


Abbildung 5-43 Verteilung der Anteile der in Haushalten installierten ZF-Brennstoffsortimente je Leistungsklasse; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2017 mit Angaben zur sektoralen Zuordnung in ZF-Brennstoffsortimente (n=6)

Mit Ausnahme der Hackschnitzel-ZF mit einer Leistung <50 kW schätzen die sechs Teilnehmer die Bedeutung des Sektors Haushalte je Brennstoffsortiment und Leistungsklasse vergleichbar ein. Lediglich

die mit Scheitholz und Pellets befeuerten Zentralfeuerstätten mit einer Leistung unter 50 kW werden überwiegend (jeweils ein Median von 92,5 %) im Sektor Haushalte verortet. Zentralfeuerstätten höherer Leistung und unter Einsatz anderer biogener Brennstoffe wird im Sektor Haushalte eine deutlich geringere bzw. keine Bedeutung zugeschrieben.

Entsprechend der Kombination aus dem Bestand an Zentralfeuerstätten (Kapitel 5.2.3) und den Anteilen der Leistungsklassen (Kapitel 5.3.2) je ZF-Brennstoffsortiment werden 81 % der Zentralfeuerstätten betrieben. Wenngleich nach Abbildung 5-43 lediglich mit Scheitholz und Pellets betriebenen Zentralfeuerstätten <50 kW eine hohe Bedeutung an den Haushalten zugeordnet wird, dominieren diese beiden Anlagengruppen den Bestand an Zentralfeuerstätten mit 91 % deutlich.

### Sonderfeuerstätten

Analog zu den Einzelraumfeuerungen wird bei den Sonderfeuerstätten durch die Teilnehmer die Bedeutung der in den Haushalten verorteten Anlagen für die SF-Technologien geschätzt. Die geschätzten Anteile sind gemäß Abbildung 5-44 bei den einzelnen SF-Technologien verteilt.

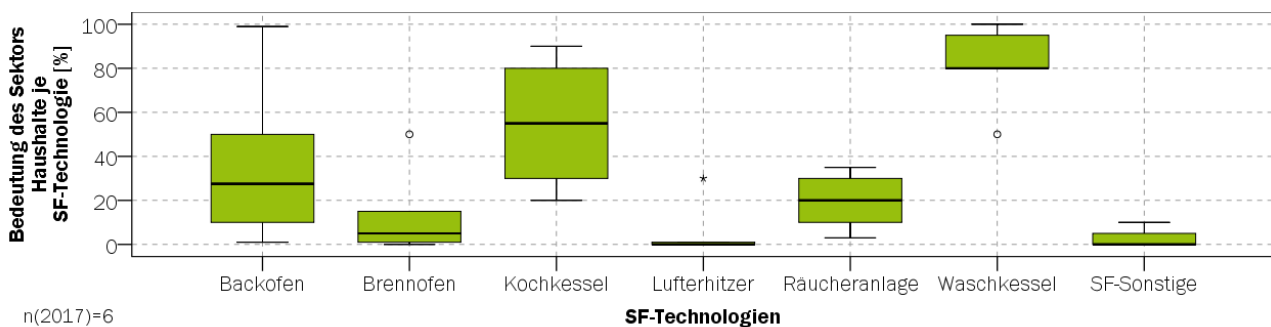


Abbildung 5-44 Verteilung der Anteile der in Haushalten installierten SF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2017 mit Angaben zur sektoralen Zuordnung in SF-Technologien (n=6)

Die Bedeutung des Sektors Haushalte wird für die Technologien sehr unterschiedlich geschätzt. Während der Anteil des Sektors Haushalte bei den Lufterhitzern und Brennöfen im Median bei 0 % und 5 % liegt, wird dieser bei den Kochkesseln mit 55 % und bei den Waschkesseln mit 80 % deutlich höher geschätzt. Der Bestand an Sonderfeuerstätten wird in Kapitel 5.2.4 nicht gesondert für die einzelnen SF-Technologien ausgewiesen. Überschlägig ergibt sich dennoch ein Anteil von 40 % bis 50 % der in den Haushalten installierten Sonderfeuerstätten.

### Anlagenbestand in den Sektoren Haushalte und GHD

Resultierend aus den vorangestellten Angaben kann der Bestand der drei Anlagengruppen (Einzelraumfeuerungen, Zentral- und Sonderfeuerstätten) gemäß Tabelle 5-25 auf die beiden Sektoren Haushalte und GHD aufgeteilt werden. Im Sinne der Fehlerfortpflanzung werden in Tabelle 5-25 die Unsicherheiten hinsichtlich der Schätzung des Anlagenbestandes und des Anteils der Sektoren berücksichtigt und mit ausgewiesen.

Tabelle 5-25 Anzahl der Anlagen je Sektor und Technologiegruppe

Technologiegruppe	Haushalte	GHD-Sektor
Einzelraumfeuerung	9.216.100 ± 1.241.800	491.900 ± 874.700
Zentralfeuerstätten	935.700 ± 430.900	217.600 ± 238.500
Sonderfeuerstätten	87.300 ± 90.200	132.700 ± 95.600

Entsprechend der Zusammenstellung in Tabelle 5-25 sind 92 % der Kleinfeuerungsanlagen in Haushalten installiert.

### Brennstoffeinsatz in den Sektoren Haushalte und GHD

Ergänzend zu dem Anlagenbestand wird in Tabelle 5-26 die Bedeutung der beiden Sektoren Haushalte und GHD für den Brennstoffeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen ausgewiesen.

Tabelle 5-26 Brennstoffeinsatz je Sektor und Technologiegruppe

Technologiegruppe	Haushalte	GHD-Sektor
Einzelraumfeuerung	124,4 PJ ± 75,2 PJ	6,7 PJ ± 14,9 PJ
Zentralfeuerstätten	100 PJ ± 71 PJ	44 PJ ± 45 PJ
Sonderfeuerstätten	1,0 PJ ± 1,9 PJ	2,8 PJ ± 2,7 PJ

Demnach wird schätzungsweise 80 % des Brennstoffeinsatzes in Kleinfeuerungsanlagen in Haushalten eingesetzt. Die Abweichung zum Anteil am Anlagenbestand (92 %) ist auf die Zentralfeuerstätten zurückzuführen. Wenngleich 81 % der Zentralfeuerstätten in Haushalten zu verorten sind, trifft dies gemäß Tabelle 5-26 nur auf knapp 70 % des Brennstoffeinsatzes zu. Zurückzuführen ist dies auf den anlagenspezifisch höheren Brennstoffeinsatz in den Zentralfeuerstätten (z. B. Hackschnitzel-ZF, Restholz-ZF) die Abbildung 5-43 folgend, der maßgeblich im GHD-Sektor verortet ist.

## 5.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

In dem vorangestellten Kapitel wurde zunächst der Einfluss regionaler Parameter auf den Anlagenbestand untersucht, bevor dieser quantifiziert und charakterisiert wurde. Darauf aufbauend wurde der Brennstoffeinsatz abgeleitet und die Bedeutung der Sektoren hinsichtlich Anlagenbestand und Brennstoffeinsatz abgeschätzt. Die Ergebnisse wurden bisher für die drei Technologiegruppen gesondert ausgewiesen. Zusammenfassend sind in Abbildung 5-45 die Bedeutung der einzelnen Technologieparameter sowie der Brennstoffeinsatz für die drei Technologiegruppen nebeneinander dargestellt.

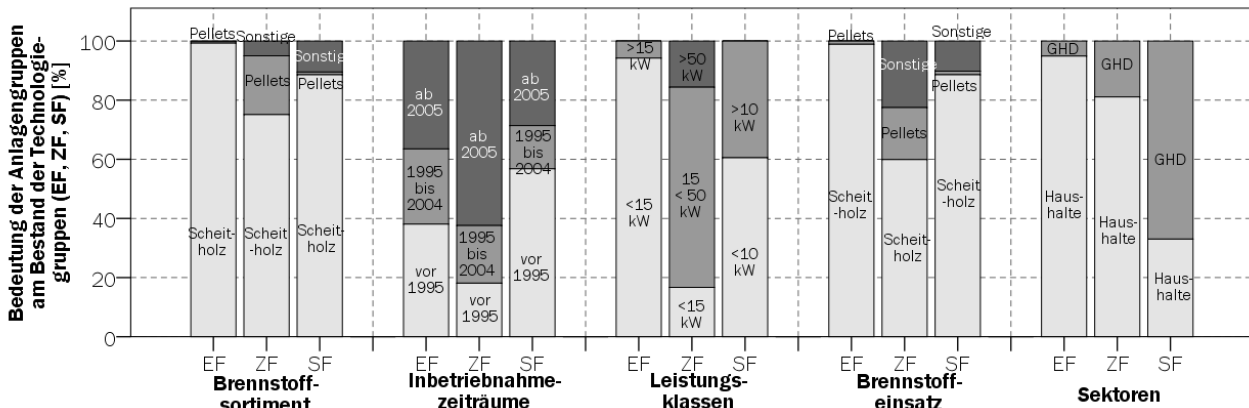


Abbildung 5-45 Anteil der Parameter (Bestand, Leistungsklassen und Inbetriebnahmezeiträume, Brennstoffsortiment und -einsatz sowie der sektoralen Zuordnung) am Bestand der Einzelraumfeuerungen (EF), Zentralfeuerstätten (ZF) und Sonderfeuerstätten (SF)

Die in Abbildung 5-45 aufgetragenen Technologieparameter sind in den drei Technologiegruppen (Einzelraumfeuerung, Zentral- und Sonderfeuerstätten) unterschiedlich stark ausgeprägt:

- In den drei Technologiegruppen dominiert der Brennstoff Scheitholz – sowohl in Bezug auf den Anlagenbestand (Brennstoffsortiment) als auch die eingesetzte Brennstoffmenge (Brennstoffeinsatz). Den mit Abstand geringsten Anteil (75 % bezogen auf den Anlagenbestand und 60 % bezogen auf die Brennstoffmenge) weisen die Zentralfeuerstätten auf, in denen ein nennenswerter Anteil an Pellets (18 %) und sonstigen Brennstoffen (22 %) – darunter insbesondere Hackschnitzel – eingesetzt werden.
- Das Alter des Anlagenbestands differenziert zwischen den drei Technologiegruppen erheblich. Der Anteil der vor 1995 (38 %) und nach 2005 (37 %) in Betrieb genommenen Einzelraumfeuerungen ist nahezu ausgeglichen. Im Gegensatz dazu dominieren mit 62 % die nach 2005 in Betrieb genommenen Zentralfeuerstätten, wohingegen Sonderfeuerstätten überwiegend (57 %) bereits vor 1995 den Betrieb aufnahmen.
- Signifikant ist auch der Unterschied zwischen den drei Technologiegruppen in Bezug auf die Leistung. Während Einzelraumfeuerungen mit 94 % überwiegend mit weniger als 15 kW betrieben werden, liegt der Anteil dieser Leistungsklasse bei den Sonderfeuerstätten mit 60 % und insbesondere bei den Zentralfeuerstätten mit 17 % deutlich darunter. Zentralfeuerstätten weisen aufgrund deren Einsatzgebiete generell ein größeres Leistungsspektrum (bis 1 MW) auf.
- Sowohl Einzelraumfeuerungen als auch Zentralfeuerstätten sind – in Bezug auf den Anlagenbestand – maßgeblich im Sektor Haushalte verortet (95 % bzw. 81 %). Sonderfeuerstätten hingegen dienen häufig der Bereitstellung von Prozesswärme oder Raumwärme für große Räume/Hallen, welches sich in einem mit 50 % bis 60 % dominierende Einsatz im GHD-Sektor widerspiegelt.

Ergänzend zu der Gegenüberstellung der drei Technologiegruppen in Abbildung 5-45 sind in Abbildung 5-46 die drei Technologiegruppen unter dem Begriff Biomasseanlagen zusammengefasst. In Anlehnung an Abbildung 5-45 sind die Anteile der Technologieparameter bezogen auf die Anteile auf den Bestand (links) und auf den Brennstoffeinsatz (rechts) der Biomasseanlagen bezogen.

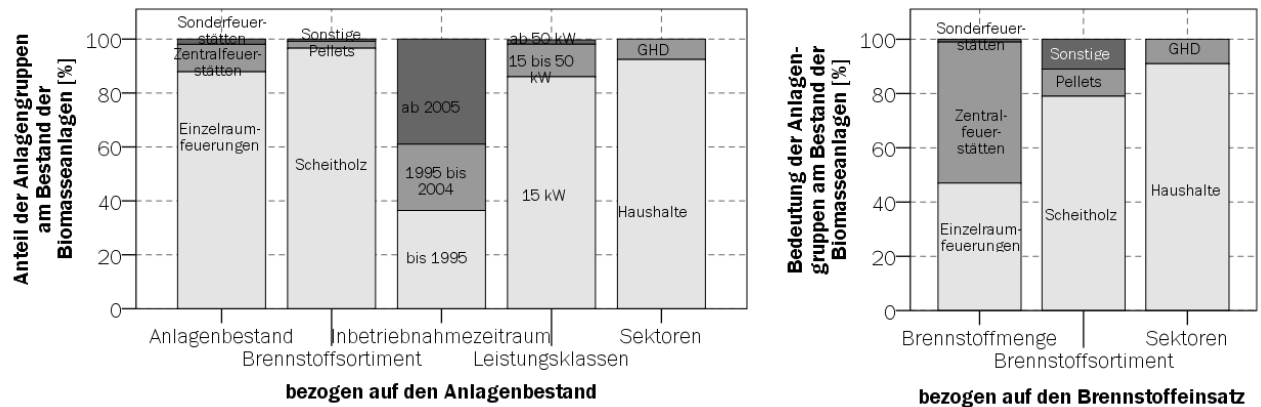


Abbildung 5-46 Anteil der Parameter (Bestand, Leistungsklassen, Inbetriebnahmezeiträume und Sektoren) am Anlagenbestand (links) und der Parameter Brennstoffmenge und -sortiment sowie Sektoren am Brennstoffeinsatz (rechts)

Folgende Schlussfolgerungen können aus der zusammenfassenden Abbildung 5-46 zum Kleinf Feuerungsanlagenbestand gezogen werden:

- Der Bestand an Kleinf Feuerungsanlagen wird dominiert von Einzelraumfeuerungen (88 %). Infolge des erhöhten anlagenspezifischen Brennstoffeinsatzes in Zentralfeuerstätten ist der Brennstoffeinsatz zwischen Einzelraumfeuerungen (47 %) und Zentralfeuerstätten (52 %) jedoch nahezu ausgeglichen.
- Kleinf Feuerungsanlagen sind überwiegend in Haushalten installiert (92 %). Mit 91 % wird auch der Großteil des Brennstoffeinsatzes der Kleinf Feuerungsanlagen in Haushalten eingesetzt.
- Das in den Kleinf Feuerungsanlagen eingesetzte Brennstoffsoriment weist hingegen Unterschiede zwischen dem Anlagenbestand und dem Brennstoffeinsatz auf. Wird in 97 % der Kleinf Feuerungsanlagen Scheitholz eingesetzt, beträgt deren Anteil 80 % am Brennstoffeinsatz.
- Circa 40 % der Kleinf Feuerungsanlagen wurden im Zeitraum 2005 bis 2015 installiert, gleichwohl 36 % der Anlagen länger als zwanzig Jahre in Betrieb sind.
- Den Bestand an Kleinf Feuerungsanlagen dominiert die Leistungsklasse <15 kW. Nur 2 % der Kleinf Feuerungsanlagen weisen eine Leistung >50 kW auf.

## 6 Diskussion der Methoden und Ergebnisse

Valide Daten zum Bestand und Brennstoffeinsatz der Kleinfeuerungsanlagen sind, den Ausführungen in Kapitel 2.2 folgend, nur begrenzt verfügbar, basieren auf Erhebungen vorangegangener Jahre, kommen mit einer deutlich geringeren Stichprobe als diese Arbeit aus oder betrachten nur Teilbereiche (z. B. Sektor Haushalte, Einzelraumfeuerungen). In diesem Kapitel werden die im Rahmen der primärstatistischen Erhebungen zum Anlagenbestand und Brennstoffeinsatz generierten Ergebnisse den verfügbaren Literaturwerten gegenübergestellt und diskutiert. Aufbauend darauf werden die angewandten Methoden und Optionen diese zu verstetigen, kritisch reflektiert, bevor auf die Anwendung der Ergebnisse in der Energieberichterstattung eingegangen wird.

Die in dieser Arbeit angewandten Methoden unterscheiden sich grundlegend von denen in der Literatur. Diese Arbeit und auch einzelne Literatur (z. B. [Frondel et al. 2015]) zeigen, dass die Hochrechnungsergebnisse mit Unsicherheiten behaftet sind. Schlussfolgernd daraus sind Differenzen zwischen den Ergebnissen dieser Arbeit und den Literaturwerten naheliegend. Indem diese Erhebung sich methodisch von den in der Literatur angewandten Methoden grundlegend unterscheidet und auch die Literaturwerte mit Unsicherheiten behaftet sind – wenngleich diese nicht immer dokumentiert werden – werden Differenzen von 10 % des Wertes als gut eingeschätzt und diskutiert.

### 6.1 Quantifizierung des Kleinfeuerungsanlagenbestandes

Den Ausführungen in Kapitel 5.2 folgend, wird nachstehend der Bestand an Einzelraumfeuerungen, Zentral- und Sonderfeuerstätten den in der Literatur verfügbaren Daten gegenübergestellt.

#### Einzelraumfeuerungen

Nur in einer begrenzten Anzahl an Literaturquellen wird auf den Bestand an Einzelraumfeuerungen in Deutschland explizit eingegangen. Die in Kapitel 5.2.2 präsentierten Ergebnisse der Hochrechnung sind in Abbildung 6-1 den verfügbaren Literaturwerten gegenübergestellt.

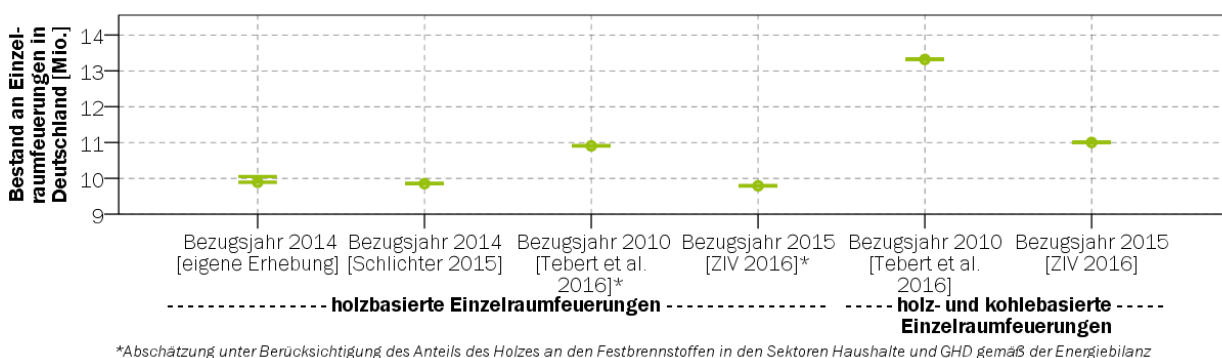


Abbildung 6-1 Gegenüberstellung der Hochrechnungsergebnisse [eigene Erhebung] mit den Werten aus der Literatur zum Bestand an Einzelraumfeuerungen in Deutschland

Während in der eigenen Erhebung und [Schlichter 2015] lediglich holzbasierte Einzelraumfeuerungen betrachtet werden, fassen sowohl [Tebert et al. 2016] als auch [ZIV 2016] die holz- und kohlebasierten



Einzelraumfeuerungen zusammen. Unter Berücksichtigung der nachstehend erläuterten Vorgehensweise, wird der Bestand an holzbasierten Einzelraumfeuerungen basierend auf den Zahlen von [Tebert et al. 2016] und [ZIV 2016] geschätzt und in Abbildung 6-1 aufgetragen.

Der Bestand an holzbasierten Einzelraumfeuerungen wird mit knapp 10 Millionen in beiden Erhebungen (9,97 Millionen in der eigenen Erhebung und 9,85 Millionen in [Schlichter 2015]) ausgewiesen und weicht nur eine Differenz von 2 % auf. Abweichend dazu schätzen [Tebert et al. 2010] mit 13,3 Millionen und [ZIV 2016] mit circa 11 Millionen den Bestand deutlich höher. Dies ist darauf zurückzuführen, dass diese beiden Literaturquellen neben den holzbasierten auch die kohlebasierten Einzelraumfeuerungen berücksichtigen. [Struschka et al. 2008] liefern Hinweise auf Anteile von Holz und Kohle bezogen auf den Endenergieverbrauch in Höhe von 80 % für das Jahr 2005. Der Endenergieverbrauch der beiden, für Einzelraumfeuerungen relevanten Sektoren Haushalte und GHD ist den Energiebilanzen zu entnehmen. Für das Jahr 2005 wird der Anteil des Holzeinsatzes am Einsatz der Festbrennstoffe auf 82 % ausgewiesen, wenngleich in diesem Wert der Endenergieverbrauch der Einzelraumfeuerungen und Zentralfeuerstätten berücksichtigt werden [AGEB 2017]. Während dieser Wert in 2010 nahezu konstant ist, kann der Anteil des Holzes an den Festbrennstoffen in den beiden Sektoren in 2015 bereits mit 89 % beziffert werden [AGEB 2017]. Unter Verwendung dieser Anteile kann der Bestand an holzbasierten Einzelraumfeuerungen auf 10,9 Millionen [Tebert et al. 2016] und 9,8 Millionen [ZIV 2016] abgeleitet werden (siehe Abbildung 6-1).

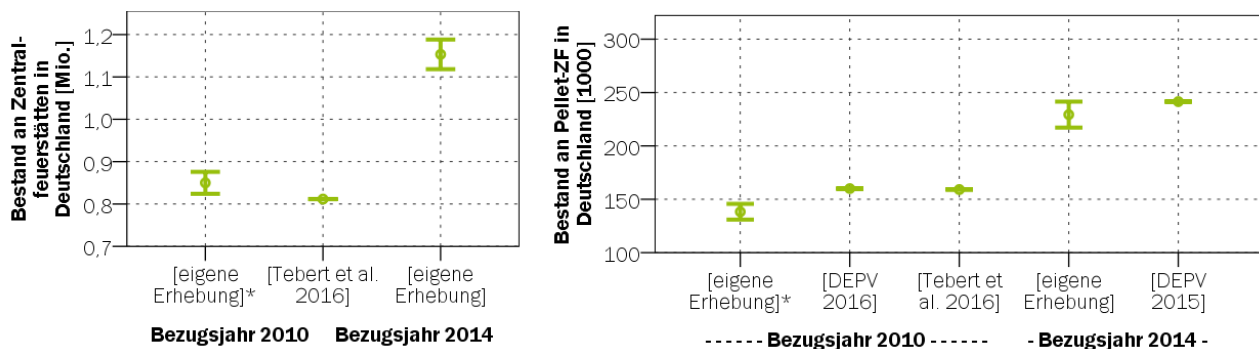
In [Tebert et al. 2016] wird der Bestand für 2010 knapp 10 % höher geschätzt, welches gegebenenfalls auf die abweichende Methodik zurückzuführen ist. Zusätzlich weisen die Bezugsjahre eine Differenz von vier Jahren auf. Die Auswertung der Inbetriebnahmezeiträume in Kapitel 5.3.1 weist darauf hin, dass der Bestand an holzbasierten Einzelraumfeuerungen in 2014 gegenüber 2010 höher einzuschätzen ist. Immerhin wurden zwischen 2011 und 2014 circa 13 % der Einzelraumfeuerungen in Betrieb genommen. Inwiefern dies auf einen tatsächlichen Zubau oder nicht vielmehr auf einen Austausch im Zuge der neuen Grenzwerte der novellierten 1. BImSchV zurückzuführen und wie hoch der Umfang der ohne Ersatz außer Betrieb genommenen Anlagen ist, kann an dieser Stelle nicht abschließend geklärt werden. Dem hingegen unterstreichen die geringere Abweichung zu [ZIV 2016] und [Schlichter 2015] die mit der Erhebung gewonnene Aussage, dass in 2014 circa 10 Millionen holzbasierte Einzelraumfeuerungen installiert sind.

### Zentralfeuerstätten

Lediglich [Tebert et al. 2016] weisen den Bestand an Zentralfeuerstätten in Deutschland aus, der in Abbildung 6-2 (links) dem Ergebnis aus der eigenen Erhebung gegenübergestellt wird. Der Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks ist zwar gemäß dem Regelwerk der 1. BImSchV verpflichtet, die Zahl der überwachten Anlagen auf Bundesebene zu erheben. Diese werden jährlich im Rahmen von [ZIV 2016] veröffentlicht. Den Ausführungen in Kapitel 2.2 folgend, können diese Angaben infolge von Übergangsfristen allerdings erst ab 2025 zur Abbildung des Anlagenbestandes herangezogen werden.

Der Bestand an Zentralfeuerstätten wird in [Tebert et al. 2016] mit dem Bezugsjahr 2010 um circa 340.000 Anlagen geringer als in der eigenen Erhebung mit dem Bezugsjahr 2014 eingeschätzt. Der Anteil der zwischen 2011 und 2014 installierten Zentralfeuerstätten beträgt gemäß den Auswertungen in Kapitel 5.3.2 circa 26 %. Mit der Annahme, dass dieser Anlagenpark dem Zubau gleichzusetzen ist und somit der Austausch bestehender holzbasierter Zentralfeuerstätten ignoriert wird, ergibt sich ein Bestand

von rund 850.000 Zentralfeuerstätten mit dem Bezugsjahr 2010 basierend auf der eigenen Erhebung. Die Differenz zwischen den beiden Studien beträgt dann nur noch 5 % des geschätzten Bestandes.



\*Rückrechnung der Hochrechnungsergebnisse auf das Bezugsjahr 2010 unter Berücksichtigung der Inbetriebnahmezeiträume

Abbildung 6-2 Gegenüberstellung der Hochrechnungsergebnisse [eigene Erhebung] mit Werten aus der Literatur zum Bestand an Zentralfeuerstätten (links) und Bestand an Pellet-Zentralfeuerstätten (rechts) in Deutschland

Eine solche Dynamik im Zubau unterstreicht die Evaluierung des Marktanzreizprogramms. Zwischen 2010 und 2014 wurden knapp 115.000 Zentralfeuerstätten allein im Leistungsbereich <100 kW gefördert, die die in den Förderrichtlinien geforderten Anforderungen erfüllen [Langniß et al. 2011], [Stuible et al. 2016]. Dies trifft zu einem Großteil auf Pellet-ZF zu. Für dieses Segment liefert zusätzlich der Deutsche Energie- und Pelletverband (DEPV) Daten zum Anlagenbestand. Die Werte der eigenen Erhebung und [Tebert et al. 2016] sind in Abbildung 6-2 (rechts) gegenübergestellt.

Für das Bezugsjahr weist [DEPV 2015] den Bestand mit 12.000 Pellet-ZF um 5 % höher gegenüber den Ergebnissen der eigenen Erhebung aus. Zusätzlich wird in Abbildung 6-2 (rechts) der geschätzte Bestand für das Bezugsjahr 2010 dargestellt, mit dem Ziel diesen mit dem von [Tebert et al. 2016] ausgewiesenen Bestand zu vergleichen. In Abbildung 6-2 (rechts) sind keine Unterschiede zwischen [Tebert et al. 2016] und [DEPV 2016] zu verzeichnen, da [Tebert et al. 2016] die Werte des Verbandes übernimmt. Durch Rückrechnung des in dieser Arbeit für das Bezugsjahr 2014 ausgewiesenen Bestandes mit den Anteilen der Inbetriebnahmezeiträume ergibt sich ein Bestand von 160.000 Pellet-ZF in 2010. Die entspricht einer Abweichung von 14 %, die deutlich über der für das Bezugsjahr 2014 (5 %) liegt. Zurückzuführen ist dies auch auf die unterschiedlichen Methoden. Die seitens des DEPV ausgewiesenen Bestände beruhen auf den von der BAFA geförderten Anlagen. Im Zuge des Kesselaustauschs stellt eine BAFA-geförderte Anlage keinen tatsächlichen Zubau dar, wird seitens DEPV jedoch als solcher gewertet. Unbenommen dessen bleibt zu resümieren, dass auch der in der Erhebung ermittelte Bestand an Pellet-ZF in der gleichen Größenordnung liegt, wie der vom DEPV ausgewiesene Bestand.

### Sonderfeuerstätten

Sonderfeuerstätten werden in der Literatur nicht berücksichtigt, so dass das Ergebnis von rund 220.000 Anlagen (2 % der Kleinf Feuerungsanlagen) nicht validiert werden kann.

## 6.2 Charakterisierung der Kleinf Feuerungsanlagen

Zusätzlich liefert diese Arbeit umfangreiche Ergebnisse zur Charakterisierung der Anlagen, wie beispielsweise die Verteilung der Inbetriebnahmezeiträume und Leistungsklassen, die nachstehend den

verfügbaren Datenquellen gegenübergestellt werden. Zahlreiche Angaben liefert [Teibert et al. 2016], dessen Angaben denen in [Struschka et al. 2008] mit dem Bezugsjahr 2005 entsprechen.

### Einzelraumfeuerungen

Sämtliche in der Literatur verfügbare Angaben zur durchschnittlichen Leistung basieren auf [Struschka et al. 2008] – so auch die Angaben in [Teibert et al. 2016]. Während im Zuge dieser Erhebung die durchschnittliche Leistung je Leistungsklasse ausgewiesen wird (siehe Tabelle 5-11), wird in [Teibert et al. 2016] ein die Leistungsklassen übergreifender Wert ausgewiesen. Für einen Vergleich wird unter Verwendung des Anteils je Leistungsklasse eine durchschnittliche Leistung je Technologiegruppe ermittelt und in Abbildung 6-3 den Ergebnissen aus [Teibert et al. 2016] gegenübergestellt.

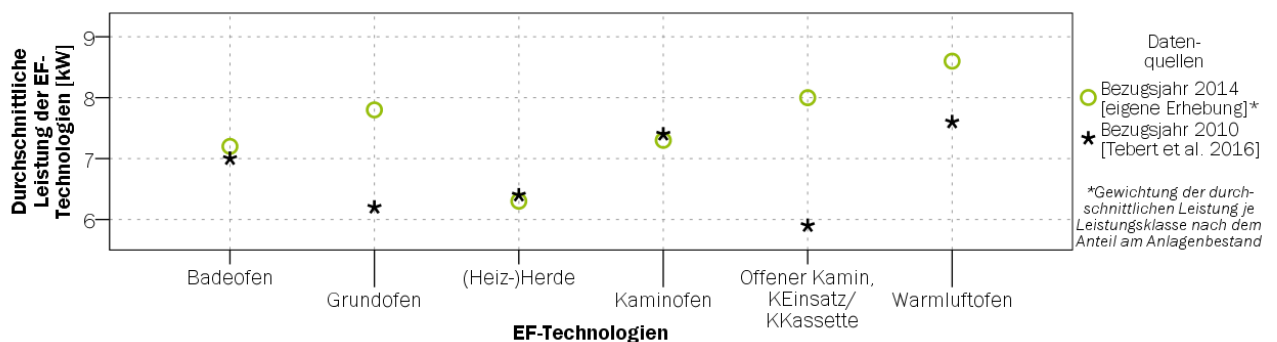


Abbildung 6-3 Gegenüberstellung der Hochrechnungsergebnisse [eigene Erhebung] mit Werten aus der Literatur [Teibert et al. 2016] zur durchschnittlichen Leistung der EF-Technologien

Die durchschnittliche Leistung von Badeöfen, (Heiz-)Herden und Kaminöfen wird – trotz abweichender Methodik und Bezugsjahre – gleich eingeschätzt. Dem hingegen sind die Abweichungen bei den Grundöfen und Offenen Kaminen/Kamineinsätzen/Kaminkassetten mit 1,6 kW bzw. 2 kW erheblich. Ergänzend zu Abbildung 6-3 weist [Kralemann 2015b] technologieübergreifend eine durchschnittliche Leistung von 7 kW aus.

In Bezug auf die Altersstruktur besteht eine gute Übereinstimmung zwischen [ZIV 2016] und den Ergebnissen der eigenen Erhebung. So wird der Anteil der nach 2010 installierten Einzelraumfeuerungen auf 18 % [ZIV 2016] und 17,7 %  $\pm$  1,4 % (eigene Erhebung) geschätzt, wobei der Anteil der vor 1995 installierten Anlagen bei 37,8 % [ZIV 2016] bzw. 38,1 % (eigene Erhebung) liegt.

### Zentralfeuerstätten

Hinweise auf die Bedeutung des eingesetzten Brennstoffsortiments bei den Zentralfeuerstätten liefern [Teibert et al. 2016] und [ZIV 2016], deren Ergebnisse denen der eigenen Erhebung in Abbildung 6-4 gegenübergestellt werden. Die in den Hochrechnungsergebnissen ausgewiesenen Anteile der Brennstoffsortimente sind nahezu deckungsgleich mit [Teibert et al. 2016] und [ZIV 2016].

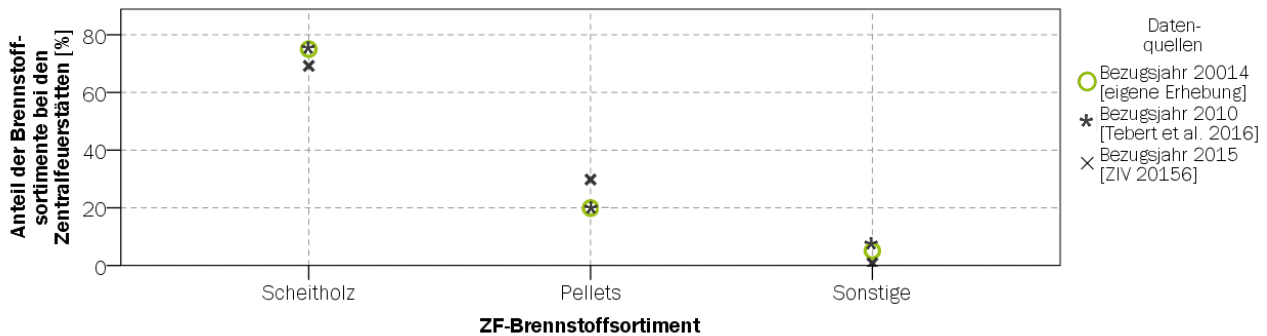


Abbildung 6-4 Gegenüberstellung der Hochrechnungsergebnisse [eigene Erhebung] mit Werten aus der Literatur zum Anteil der Brennstoffsortimente der Zentralfeuerstätten in Deutschland

Zwischen den Literaturquellen und der eigenen Erhebung unterscheiden sich die Grenzen der Leistungsklassen und der Brennstoffsortimente. Für die Gegenüberstellung der Bedeutung der Leistungsklassen in Abbildung 6-5 werden die in [Tebert et al. 2016] ausgewiesenen handbeschickten Anlagen dem Scheitholz und die mechanisch beschickten Anlagen den Hackschnitzeln gleichgesetzt.

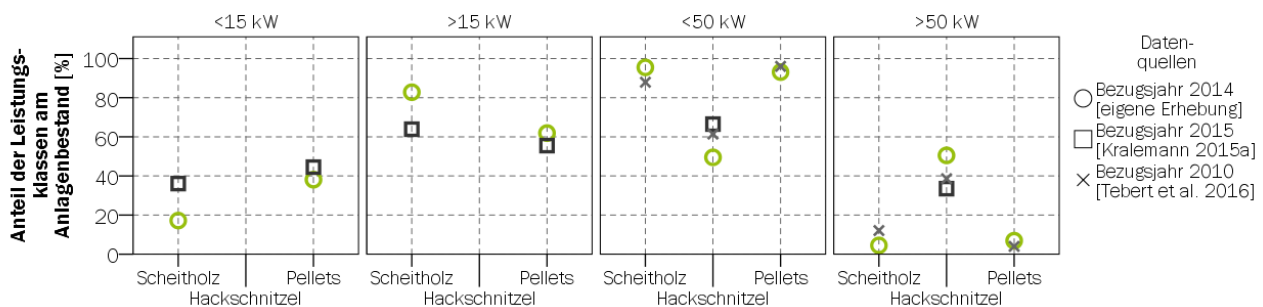


Abbildung 6-5 Gegenüberstellung der Hochrechnungsergebnisse [eigene Erhebung] mit Werten aus der Literatur zum Anteil der Leistungsklassen verschiedener Brennstoffsortimente der Zentralfeuerstätten in Deutschland

Grundlegend ist festzustellen, dass die Anteile der Leistungsklassen insbesondere bei den Pellets unabhängig der Datenquelle vergleichbar sind. Dies gilt auch für die durchschnittliche Leistung von Pellet-ZF <15 kW (14 kW [Kralemann 2015a] und 13,5 kW in der eigenen Erhebung). Die ausgewiesene durchschnittliche Leistung der Pellet-ZF >50 kW wird in der eigenen Erhebung mit 112 kW und mit 80 kW in [Tebert et al. 2016] ausgewiesen. Möglicherweise sind die Abweichungen einer geringen Anzahl an Anlagen dieser Leistungsklasse geschuldet, so dass außergewöhnliche Anlagen den Wert stark beeinflussen können.

Ein anderes Bild bietet der Vergleich der Scheitholz-ZF und der Hackschnitzel-ZF. Der Anteil der Leistungsklasse <15 kW wird bei den Scheitholz-ZF mit knapp 20 % in der eigenen Erhebung deutlich niedriger geschätzt, als in [Kralemann 2015a] mit rund 40 %. Ursache hierfür ist möglicherweise der regionale Bezug beider Erhebungen, da die Erkenntnisse in [Kralemann 2015a] ausschließlich auf Anlagen in Niedersachsen beruhen. Dies ist möglicherweise auch eine Ursache für die Unterschiede bei den Hackschnitzel-ZF. Gleichwohl ähneln sich die Angaben zwischen [Kralemann 2015a] und [Tebert et al. 2016], die vergleichbare Anteile bei den Hackschnitzeln ausweisen, wobei jedoch in [Tebert et al. 2016] sämtliche mechanisch beschickte Anlagen (inklusive Restholz, Sägeprodukte) und nicht nur Hackschnitzel-ZF zusammengefasst werden.

Ergänzend zu den Anteilen der Leistungsklassen liefern [Kralemann 2015a] und [Teibert et al. 2016] auch Angaben zur durchschnittlichen Leistung je Leistungsklasse und Brennstoffsoriment. Die durchschnittliche Leistung wird in [Kralemann 2015a] mit 13 kW bis 14 kW angegeben, in diesem Bereich liegt mit 13,7 kW auch die Schätzung der eigenen Erhebung. Die Angaben zu Hackschnitzel-ZF sind in [Teibert et al. 2016] und der eigenen Erhebung vergleichbar (39,7 kW bzw. 38,3 kW und 158 kW bzw. 160 kW). Die durchschnittliche Leistung wird in [Kralemann 2015b] für die Größenklasse >50 kW mit 195 kW bzw. 200 kW hingegen deutlich höher eingeschätzt. Dies ist eventuell auf eine geringe Stichprobe und die Beschränkung auf Niedersachsen zurückzuführen.

### 6.3 Brennstoffeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen

Da der Brennstoffeinsatz für die energiewirtschaftliche Berichterstattung von großer Bedeutung ist, sind im Vergleich mit dem Anlagenbestand mehr Datenquellen zur Validierung der Ergebnisse verfügbar. Den Ausführungen in Kapitel 2.2 folgend, wird in der Literatur in der Regel nicht der Anlagenbestand als Aktivitätsgröße herangezogen, sondern unter anderem Einwohner, Gebäude, Mitarbeiter. Zudem wird häufig der anlagenspezifische Brennstoffeinsatz nicht transparent dargestellt. Daraus folgend wird in diesem Abschnitt einzig der kumulierte Brennstoffeinsatz betrachtet.

Kleinfeuerungsanlagen werden maßgeblich in Haushalten und dem GHD-Sektor eingesetzt. Daher wird in Abbildung 6-6 das Ergebnis der eigenen Erhebung dem Endenergieverbrauch der beiden Sektoren in der Literatur gegenübergestellt.

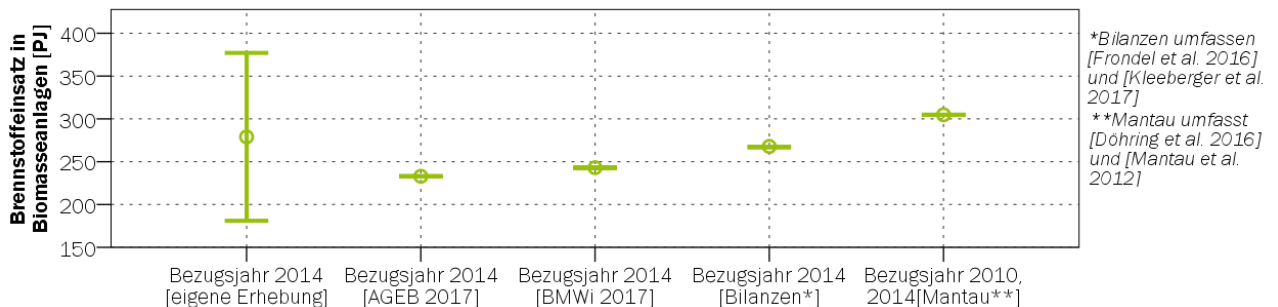


Abbildung 6-6 Gegenüberstellung der Hochrechnungsergebnisse [eigene Erhebung] mit Werten aus der Literatur zum Brennstoffeinsatz in Biomasseanlagen in Deutschland

Die Literaturwerte liegen in der Größenordnung 230 PJ [AGEB 2017] bis 305 PJ ([Mantau et al. 2012], [Döhrlng et al. 2016]). Darin ordnet sich das Ergebnis der eigenen Erhebung mit  $280 \pm 98$  PJ ein. Bezogen auf die Punktschätzung beträgt die Differenz 4 % zu dem Wert der Anwendungsbilanzen (Bilanzen) und 16 % zu der Energiebilanz [AGEB 2017]. Damit ist zu resümieren, dass trotz massiver Unterschiede zwischen den Erhebungsmethoden und den Bezugsgrößen (Haushalte/Betriebe versus Biomasseanlagen), der Brennstoffeinsatz in der gleichen Größenordnung geschätzt wird. Diese Tatsache stützt die Qualität der in dieser Arbeit generierten Ergebnisse, insbesondere zum Bestand der Anlagen sowie zur Größenordnung des durchschnittlichen Brennstoffeinsatzes.

Zusätzlich ist ein Vergleich des Einsatzes der Brennstoffsorbitimente möglich. Gemäß Kapitel 5.4.2 wird in dieser Arbeit der Einsatz von Scheitholz auf  $220 \pm 88$  PJ geschätzt, der in der Größenordnung mit den Angaben von [FrondeI et al. 2015] mit 219 PJ sowie von [Döhrlng et al. 2016] und [Mantau et al. 2012] mit 224 PJ liegt. Ein Vergleich der Werte für Pellets und Hackschnitzel liefert Abbildung 6-7.

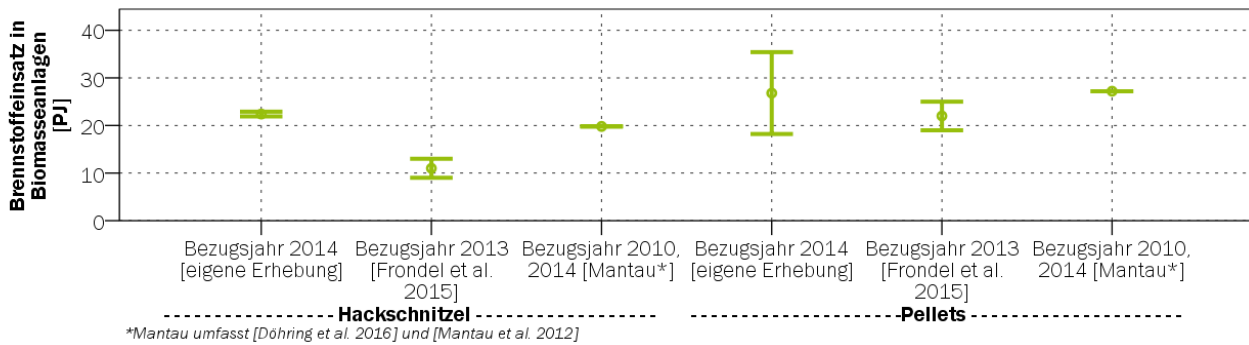


Abbildung 6-7 Gegenüberstellung der Hochrechnungsergebnisse [eigene Erhebung] mit Werten aus der Literatur zum Einsatz von Hackschnitzel und Pellets in Biomasseanlagen in Deutschland

Während die Schätzungen der eigenen Erhebung sehr gut mit den Ergebnissen von [Döh]ring et al. 2016] und [Mantau et al. 2012] übereinstimmen, fällt eine geringere Schätzung des Brennstoffeinsatzes seitens [Fronde] et al. 2015] auf. Zurückzuführen ist dies darauf, dass [Fronde] et al. 2015] ausschließlich Haushalte betrachtete, jedoch Hackschnitzel und auch Pellets ebenfalls im GHD-Sektor eingesetzt werden (Abbildung 5-43).

## 6.4 Kritische Würdigung der Methoden

Nicht nur die generierten Ergebnisse, sondern auch die hierfür angewandten Methoden sollen kritisch hinterfragt werden, deren Vorteile sowie Nachteile herausgearbeitet und Verbesserungsvorschläge präsentiert werden.

### Datenerhebungen

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte automatisierte Datenerhebung zum Anlagenbestand basierend auf den Kkehrbüchern ist nach einem Pretest und zwei Erhebungsphasen mit den Bezugsjahren 2012 und 2014 ein erprobtes Erhebungsinstrument. Der zentrale Vorteil dieses Erhebungsinstrumentes ist das Generieren von Informationen zu einer Vielzahl an biomassebasierten Kleinf Feuerungsanlagen (bis zu 4.000 je Teilnehmer – im Durchschnitt 1500). Somit kann nicht nur der Bestand quantifiziert, sondern dieser auf einer breiten Datenbasis charakterisiert werden. Zusätzlich sind – insbesondere gegenüber Fragebögen – bestehende Vorteile die Vermeidung von Eingabe- und Übertragungsfehlern durch die Teilnehmer und Bearbeiter sowie der geringe Aufwand und die gute Handhabbarkeit für den einzelnen Teilnehmer. Die Tatsache, dass in 2014 jeder dritte Teilnehmer aus 2012 erneut seine Daten bereitgestellt hat, unterstreicht den letztgenannten Vorteil.

Da der Brennstoffeinsatz nicht in den Kkehrbüchern aufgeführt wird, bedarf es hierfür einer zusätzlichen Erhebung. Mittels einer Online-Erhebung in Form eines interaktiven Fragebogens wird der typische Brennstoffeinsatz je Anlagengruppe – ergänzt um die Bedeutung des Sektors Haushalte – abgefragt. Gegenüber der Befragung von Anlagenbetreibern bietet diese Vorgehensweise den Vorteil, dass die Angaben zum Brennstoffeinsatz auf Erfahrungswerten zu vielen und nicht zu einzelnen Anlagen beruhen und somit Extremwerte vermieden werden. Der Brennstoffeinsatz ist jedoch von einer Vielzahl von Faktoren, wie der Feuerstätte, Gebäudekennwerten, dem eingesetzten Brennstoff und nicht zuletzt von der Bedienung durch den Anlagenbetreiber abhängig. Diese Faktoren führen dazu, dass einige Teilnehmer Spannweiten für den Brennstoffeinsatz einer Anlagengruppe ausweisen. Die Ergebnisse dieser



Erhebung zeigen, dass unter Verwendung dieses Erhebungsinstruments Informationen zum Brennstoffeinsatz gewonnen werden können, zugleich jedoch Optimierungspotenzial besteht. Die im Verlauf des Fragebogens abnehmende Bereitschaft, Informationen zur Verfügung zu stellen, ist einerseits bei den Sonderfeuerstätten darauf zurückzuführen, dass diese Anlagen bei einzelnen Erhebungsteilnehmern nicht vorhanden sind. Andererseits ist eine Kürzung des Fragebogens anzudenken. Eine Möglichkeit besteht darin, die Differenzierung des Brennstoffeinsatzes nach Kkehrhäufigkeit bzw. Leistungsklassen zu reduzieren bzw. Anlagengruppen zusammenzufassen. Zusätzlich ist ein größerer Teilnehmerkreis zur Verbesserung der Datenqualität (ergo Verminderung der Intervallschätzung) anzustreben.

### Quantifizierung des Anlagenbestandes

Unter Verwendung der Horvitz-Thompson-Schätzer, der automatischen linearen Modellierung sowie der Regressionsschätzung wird aufbauend auf der primärstatistischen Erhebung zum Anlagenbestand der Bestand an Einzelraumfeuerungen sowie Zentral- und Sonderfeuerstätten geschätzt. Der transparent dargestellte Ergebnisvergleich der Methoden zeigt, dass die drei Methoden zur Schätzung des Bestands in einer ähnlichen Größenordnung führt, wenngleich die Unsicherheit bei der Anwendung der Horvitz-Thompson-Schätzer höher im Vergleich zur Regressionsschätzung ausfällt. Demzufolge werden die Ergebnisse der Regressionsschätzung bevorzugt, gestützt durch die Einbeziehung mehrerer regionaler Parameter – und somit mit einer verbesserten Abbildung der Realität – bei der Schätzung des Anlagenbestandes.

Während für die Einzelraumfeuerungen und Zentralfeuerstätten unter Anwendung der drei Methoden gute Ergebnisse erzielt werden können, sind die Unsicherheiten bei der Ausweisung der einzelnen Technologien an Sonderfeuerstätten beträchtlich. Zu begründen ist dies mit einer deutlich geringeren Verbreitung der Sonderfeuerstätten in den Kkehrbezirken. Eine Verbesserung dieser Schätzung bedarf somit einer Erhöhung der Stichprobe.

### Charakterisierung des Anlagenbestandes

Die Datenerhebung zum Anlagenbestand ermöglicht zudem eine Charakterisierung der Biomasseanlagen hinsichtlich des Brennstoffsortiments, der Inbetriebnahmejahre und der Leistung. Die Anteile der Technologieparameter werden unter Anwendung des Horvitz-Thompson-Schätzers unter Berücksichtigung eines Konfidenzintervalls ermittelt. Dies ermöglicht es, die mit der Schätzung einhergehenden Unsicherheiten transparent darzustellen. Bei dieser Vorgehensweise werden in Form der Post-Stratifizierung die Einflüsse (regionale Parameter und Unterschiede) auf die Ausprägung der Technologieparameter berücksichtigt, die in einer vorangestellten Regressionsanalyse ermittelt wurden. Schlussfolgernd ermöglicht diese Vorgehensweise eine umfangreiche Charakterisierung des Anlagenbestandes basierend auf einer großen Stichprobe (1,24 Millionen Datensätze zu Biomasseanlagen von 844 Teilnehmern) und unter Berücksichtigung regionaler Gegebenheiten. Die Qualität der Aussagen wird dahingehend gesteigert, dass nur Teilnehmer berücksichtigt werden, die zu einem definierten Mindestmaß an Anlagen Angaben zu dem jeweiligen Technologieparameter zur Verfügung stellen. Mit dieser Vorgehensweise werden Verzerrungen infolge fehlender Daten vermieden.

### Brennstoffeinsatz in Kleinfeuerungsanlagen

Die Vorgehensweise zur Berechnung des Brennstoffeinsatzes basierend auf dem durchschnittlichen Brennstoffeinsatz und dem Anlagenbestand wurde in dieser Arbeit erprobt. Ursache für die hohen



Unsicherheiten der Ergebnisse liegen maßgeblich in den Angaben der primärstatistischen Erhebung zum Brennstoffeinsatz begründet. Eine Verbesserung des ausgewiesenen Brennstoffeinsatzes hinsichtlich der Spannweiten ist anzustreben und nur durch die Verminderung der im Rahmen der Erhebung zum Brennstoffeinsatz generierten Spannweiten zu erzielen.

## 6.5 Verstetigung der Erhebung

Das Instrument der Datenerhebung ist implementiert und kann auch zukünftig verwendet werden. Die wiederkehrende Durchführung der Erhebung zeigt die Funktionstüchtigkeit der Datenerhebung einerseits. Andererseits bestätigt die Tatsache, dass jeder dritte Teilnehmer aus 2012 auch in 2014 an der Erhebung teilnahm die einfache Handhabbarkeit des Erhebungsinstruments und den im Vergleich zu anderen Erhebungsinstrumenten geringen Aufwand für die Teilnehmer. Zusätzlich bietet diese Form der Erhebung zu Beginn des Folgejahres (gemeinsam mit dem in § 19SchfHWG erforderlichen Abschluss des Kkehrbuches) eine zeitnahe Bereitstellung der Daten. Nicht nur das Erhebungsinstrument ist auf eine kontinuierliche Datenerhebung ausgelegt, sondern auch die Datenhaltung in MS ACCESS. Die Implementierung neuer Jahresscheiben ist ohne großen Aufwand möglich.

Grundsätzlich bleibt zu überlegen, ob aufbauend auf einer umfassenden Erhebung zum Anlagenbestand mittels einer Querschnitts-Erhebung eine Panel-Erhebung zu entwickeln ist, so dass mit einem geringeren Teilnehmerfeld Trends im Anlagenbestand festgestellt werden können, beispielsweise in Bezug auf die Bedeutung der Brennstoffsportimente (Pellets vs. Scheitholz) oder Leistungsklassen.

## 6.6 Verwendung in der Energieberichterstattung

Grundlage für die Verwendung einer Datenerhebung für die Energieberichterstattung ist eine nach Ende des Bezugsjahres zeitnahe und kontinuierliche Verfügbarkeit der Ergebnisse. Entsprechend den vorangestellten Ausführungen können die Ergebnisse nach Jahreswechsel erhoben und ausgewertet werden. Auch die Kontinuität der Ergebnisse wurde mit der Datenerhebung gezeigt, wenngleich diesbezüglich die Erhebungsform einer Panel-Erhebung zu diskutieren ist. Neben der zeitnahen Verfügbarkeit der Ergebnisse ist eine jährlich wiederkehrende Bereitstellung der Daten erforderlich, die mit dieser Datenerhebung prinzipiell ebenso möglich ist.

Die Energieberichterstattung – sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene – bedarf Angaben zum Brennstoffeinsatz und einer Differenzierung in Sektoren. Für den Einsatz von Kleinf Feuerungsanlagen spielen dabei lediglich die beiden Sektoren Haushalte und Gewerbe/ Handel/Dienstleistung eine Rolle. Der durchschnittliche Brennstoffeinsatz und die Bedeutung der Sektoren je Anlagengruppe wird im Rahmen der Erhebung zum Brennstoffeinsatz erhoben. Die in Kapitel 5.4 und 5.5 ermittelten Werte zeigen noch große Abweichungen auf, die mit einer erneuten Erhebung mit einer größeren Teilnehmerzahl möglichst zu verringern sind.

Zusätzlich zur Energieberichterstattung kann insbesondere die Erhebung zum Anlagenbestand eine wichtige Datengrundlage für die Emissionsberichterstattung darstellen. Hierfür bedarf es detaillierter Kenntnisse zum Anlagenbestand, zum eingesetzten Brennstoffsportiment sowie zu den Leistungs- und Altersklassen. Diese Informationen werden mit dieser Datenerhebung unter Berücksichtigung einer großen Stichprobe zur Verfügung gestellt (siehe Kapitel 5.3).

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Der Umbau der Energieversorgung ist nur dann zu realisieren, wenn die verfügbaren, erneuerbaren Energieressourcen effizient eingesetzt werden. Dies kann nur dann gelingen, wenn auch der, die Hälfte des Endenergieverbrauchs umfassende, Wärme-/Kältesektor berücksichtigt wird. Erklärtes Ziel der Bundesregierung ist ein Anteil von 14 % der erneuerbaren Energien im Wärme-/Kältesektor bis 2020. Mit 13 % in 2016 ist dieses Ziel nahezu erreicht, maßgeblich realisiert durch den Einsatz von Biomasse (88 %) und biogenen Festbrennstoffen in Kleinfeuerungsanlagen (48 %). Diese Angabe ist allerdings mit Unsicherheiten behaftet, da eine gesetzlich verankerte Datenerhebung zur Quantifizierung des Bestands an Kleinfeuerungsanlagen und dem damit verbundenen Brennstoffeinsatz nicht existiert. Nicht nur für die Evaluierung des Anteils erneuerbarer Energien und die Emissionsberichterstattung, sondern auch als Grundlage für Marktbetrachtungen, zur Evaluierung und Ausgestaltung von Gesetzen und Förderprogrammen sowie sonstigen politischen Entscheidungen sind diese Kenntnisse elementar.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel dieser Arbeit, eine Methode zur Quantifizierung und Charakterisierung des Anlagenbestandes und dem damit verbundenem Brennstoffeinsatz von biomassebasierten Kleinfeuerungsanlagen in Deutschland zu entwickeln. Grundlage für die Quantifizierung und Charakterisierung des Anlagenbestandes bildet eine neue, auf den elektronisch geführten Kehrbüchern des Schornsteinfegerhandwerks beruhende Datenerhebung, deren Daten in das erstellte Hochrechnungsmodell einfließen. Für die Abschätzung des Brennstoffeinsatzes ist eine weitere Datenerhebung notwendig. Diese wird als Online-Erhebung konzipiert und basiert auf dem Expertenwissen des Schornsteinfegerhandwerks.

Kleinfeuerungsanlagen sind gemäß 1. BImSchV Wärmeerzeugungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung kleiner 1 MW, in denen beispielsweise biogene Festbrennstoffe, wie naturbelassenes Holz (Scheitholz, Hackschnitzel, Sägeprodukte, Holzpellets), Nebenprodukte der Holzbe- und Holzverarbeitung und nachwachsende Rohstoffe/Stroh eingesetzt werden können. Die Durchführung und Überwachung der in der 1. BImSchV vorgesehenen Überprüfungsarbeiten ist zentrale Aufgabe des Schornsteinfegerhandwerks und in den elektronisch geführten Kehrbüchern zu dokumentieren. Organisiert ist das Handwerk in einem bundesweiten, flächendeckenden Netz aus 7.704 Kehrbezirken. Die bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger sind zum Großteil Mitglied im Verband des Schornsteinfegerhandwerks.

Mit dem Ziel den Bestand der Kleinfeuerungsanlagen zu quantifizieren und charakterisieren wird in dieser Arbeit erstmals eine bundesweite Erhebung des Anlagenbestandes basierend auf den elektronisch geführten Kehrbüchern konzipiert und wiederholend für die Bezugsjahre 2012 und 2014 durchgeführt. An der Erhebung Anfang 2013 nahmen 558 Bezirksschornsteinfeger teil. Dies entspricht einer Rücklaufquote von 7 %, die Anfang 2015 um 4 % auf 844 Bezirksschornsteinfeger gesteigert werden konnte. Im Zuge der Erhebung Anfang 2015 konnten zu 1,2 Millionen biomassebasierten Kleinfeuerungsanlagen Angaben zur Technologie, eingesetztem biogenen Brennstoff, installierter Leistung, Jahr der Inbetriebnahme und Kehrhäufigkeit generiert werden. Das auf den Ergebnissen der Kehrbüchererhebung fußende Hochrechnungsmodell wird zusätzlich mit Daten der Regionalstatistik auf Gemeindeebene gespeist. Somit kann der Einfluss der regionalen Kehrbezirksausprägung auf den Kleinfeuerungsanlagenbestand untersucht und im Hochrechnungsmodell berücksichtigt werden. Ergänzend dazu lässt die Erhebung eine Charakterisierung des Anlagenbestandes zu. Dies umfasst Aussagen zu der Bedeutung der Technologien sowie Brennstoffsportimente, aber auch der Verteilung der Leistungsklassen

und Inbetriebnahmejahre. Da die Kkehrbücher keine Informationen zum Brennstoffeinsatz bereithalten, wird in einem Testdurchlauf der Brennstoffeinsatz in den drei Technologiegruppen, weiter differenziert nach Technologie Kkehrhäufigkeit bei den Einzelraumfeuerungen und Sonderfeuerstätten sowie Brennstoffsportimenten und Leistungsklassen bei den Zentralfeuerstätten, von 47 Vertretern des Schornsteinfegerhandwerks ausgewiesen.

Verschiedene regionale Parameter beeinflussen den Anlagenbestand der drei Technologiegruppen. Den stärksten Einfluss auf den Bestand an Einzelraumfeuerungen weisen Parameter der Regional- und Gebäudestruktur auf, wie der Anteil der Ein- und Zweifamilienhäuser am Gebäudebestand und die Anzahl der Einwohner bzw. Gebäude je Hektar Gebietsfläche. Regionale Parameter mit Hinweis auf die regionale Verfügbarkeit des Brennstoffes Holz stehen im Gegensatz zu den Zentral- und Sonderfeuerstätten bei den Einzelraumfeuerungen in einem untergeordneten Zusammenhang. Die beiden Technologiegruppen Zentral- und Sonderfeuerstätten weisen den stärksten Zusammenhang mit der verfügbaren (Privat-)Waldfläche je Gebäude bzw. (Privat-)Waldfläche absolut auf. Mit Hilfe von Korrelationsuntersuchungen konnte einerseits der Bestand der Kleinf Feuerungsanlagen mit höherer Qualität quantifiziert und charakterisiert werden. Andererseits wurden allgemeingültige, statistisch fundierte Erkenntnisse über allgemeine regionalcharakteristische Treiber zum Bestand der Technologiegruppen gewonnen.

Der Bestand an biomassebasierten Kleinf Feuerungsanlagen wird unter Verwendung der multiplen linearen Regression unter Einbezug regionaler Gegebenheiten auf circa 11,3 Millionen Anlagen geschätzt. Einzelraumfeuerungen dominieren mit knapp 10 Millionen Anlagen deutlich den Bestand, in denen nahezu ausschließlich Scheitholz (99 %) eingesetzt wird und jede zweite Anlage ein Kaminofen ist. Die Altersstruktur des Anlagenbestands ist stark von der Technologie abhängig. Während 80 % der Offenen Kamine vor 1995 in Betrieb gegangen sind, trifft dies nur für 11 % der Kaminöfen zu, von denen 60 % in den letzten zehn Jahren der Erhebung (2005-2014) installiert wurden.

Während knapp 90 % des Anlagenbestandes an Kleinf Feuerungsanlagen Einzelraumfeuerungen sind, wird in dieser Technologiegruppe nur 47 % der geschätzten 279 PJ/a biogenen Festbrennstoffe eingesetzt. Mit 52 % ist über die Hälfte des Brennstoffeinsatzes den Zentralfeuerstätten und die restlichen 1 % den Sonderfeuerstätten zuzuschreiben. Dies liegt an dem deutlich höheren durchschnittlichen Brennstoffeinsatz der circa 1,15 Millionen Zentralfeuerstätten. Während Einzelraumfeuerungen überwiegend nur gelegentlich genutzt werden, werden Zentralfeuerstätten regelmäßig während der Heizperiode für die Bereitstellung von Raumwärme und ganzjährig zur Warmwasserbereitstellung betrieben. Zentralfeuerstätten heben sich zudem durch ein breiteres Brennstoffsportiment von den Einzelraumfeuerungen ab. In den letzten Jahren haben Pelletkessel bei den in Betrieb genommenen Anlagen an Bedeutung gewonnen und bilden in 2014 bereits 20 % des Anlagenbestandes ab (Scheitholz 75 %). Diese beiden Brennstoffsportimente sind überwiegend im kleinen Leistungssegment <50 kW angesiedelt, wohingegen Hackschnitzel und insbesondere Restholz und Sägeprodukte in einem nennenswerten Umfang von 25 % bis 45 % auch in Anlagen >100 kW eingesetzt werden. In den letzten zehn Jahren wurden 90 % des Bestands an Pelletkesseln installiert. Dem hingegen ist jeder dritte Scheitholzkessel seit mehr als zwanzig Jahren in Betrieb und in absehbarer Zukunft durch eine neue Anlage auszutauschen.

Sonderfeuerstätten haben mit einem Bestand von circa 220.000 (2 % des Bestands an biomassebasierten Kleinf Feuerungsanlagen) nur eine untergeordnete Bedeutung. Aufgrund des geringen Anlagenbestands je Teilnehmer bzw. Kkehrbezirk können keine quantitativen Aussagen zu den einzelnen Technologien der Sonderfeuerstätten getroffen werden. Die Analyse zeigt jedoch auch bei dieser

Anlagengruppe die Dominanz des Brennstoffes Scheitholz. Zudem wird deutlich, dass der Großteil der Sonderfeuerstätten bereits über 20 Jahre in Betrieb sind – je Technologiegruppe beträgt der Anteil dieser Inbetriebnahmezeiträume zwischen 34 % und 84 %.

Zusätzlich zeigt eine erste Abschätzung zur Bedeutung der beiden Sektoren Haushalte und GHD, dass Kleinf Feuerungsanlagen mit 92 % überwiegend in Haushalten betrieben werden. Da Zentralfeuerstätten höherer Leistung und einem damit einhergehenden höherem anlagenbezogenen Brennstoffeinsatz eher im GHD-Sektor betrieben werden, wird der Anteil des Brennstoffeinsatzes in Kleinf Feuerungsanlagen in den Haushalten mit 80 % etwas niedriger eingeschätzt als der prozentuale Anteil des Anlagenbestands.

Im Rahmen dieser Arbeit konnten erstmals auf einer breiten deutschlandweiten Stichprobe fundierte Aussagen zum Bestand der Kleinf Feuerungsanlagen und dessen Struktur gewonnen werden. Diese Informationen dienen nicht nur der Abschätzung des Brennstoffeinsatzes für die energiewirtschaftliche Berichterstattung. Zusätzlich bilden insbesondere die Informationen zu den eingesetzten Brennstoffsortimenten sowie Leistungsklassen und Inbetriebnahmejahre eine verbesserte Datengrundlage für die Emissionsberichterstattung. Ergänzend dazu zeigt der neu gewonnene Detaillierungsgrad des Anlagenbestandes die Bedeutung einzelner Anlagengruppen. Somit kann besser abgelesen werden, welches Ausmaß den Änderungen des regulatorischen Rahmens (z. B. Novellierung der 1. BImSchV) zuzuschreiben sind oder bei welchen Anlagengruppen gezielte Maßnahmen für einen beschleunigten Austausch notwendig sind.

Abschließend kann gesagt werden, dass die in dieser Arbeit entwickelte Datenerhebung und das darauf aufbauende Hochrechnungsmodell einen neuen Weg aufweisen, umfassende Aussagen zum Bestand der biomassebasierten Kleinf Feuerungsanlagen in Deutschland zu treffen. Insbesondere die hohe Bereitschaft, wiederkehrend an der Erhebung teilzunehmen (33 % der Teilnehmer in 2012), unterstreichen den geringen Arbeitsaufwand für den einzelnen Teilnehmer an der Erhebung und die gute Handhabbarkeit des neu entwickelten Erhebungsinstrumentes. Eine Weiterentwicklung und Fortführung des Erhebungsinstrumentes ist durchaus wünschenswert. So kann die Querschnittserhebung als Panelerhebung weitergedacht werden, um den Anlagenbestand fortzuschreiben und Entwicklungen aufzuzeigen. Die Online-Erhebung zum Brennstoffeinsatz zeigt die Herausforderung für die Teilnehmer den Brennstoffeinsatz für die verschiedenen Anlagengruppen aufgrund der Vielzahl beeinflussender Faktoren (Gebäude, Bedienung, Feuerstätte) einzuschätzen. Nichtsdestotrotz wird, diesen Ansatz mit einem größeren Teilnehmerfeld zu wiederholen. Dabei liegt der Fokus darauf die zum Teil erheblichen Spannbreiten des durchschnittlichen Brennstoffeinsatzes zu minimieren, die regionalen Einflüsse auf den Brennstoffeinsatz zu untersuchen und die sektorale Zuordnung zu verbessern.

## Literatur- und Referenzverzeichnis

Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV) vom 26. Januar 2010 (BGBl. I S. 38).

Gesetz über das Berufsrecht und die Versorgung im Schornsteinfegerhandwerk (Schornsteinfeger-Handwerksgesetz – SchfHWG) vom 26. November 2008 (BGBl. I S. 2242), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 25. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2467) geändert worden ist.

Thüringer Verordnung zur Regelung von Zuständigkeiten und zur Übertragung von Ermächtigungen im allgemeinen Gewerberecht, Handwerksrecht, Schornsteinfegerrecht und nach dem Textilkennzeichnungsgesetz, Kristallglaskennzeichnungsgesetz sowie Schwarzarbeitsbekämpfungsgesetz (Thüringer Zuständigkeitsermächtigungsverordnung Gewerbe – ThürZustErmGeVO) vom 09. Januar 1992, geändert durch Verordnung vom 6. Mai 2014 (GVBl. S. 188).

Verordnung über die Kehrung und Überprüfung von Anlagen (Kehr- und Überprüfungsordnung – KÜO) vom 16. Juni 2009 (BGBl. I S. 1292), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 08. April 2013 (BGBl. I S. 760).

Verordnung über die Zuständigkeiten nach dem Schornsteinfeger-Handwerksgesetz (Schornsteinfeger-Handwerksgesetz-Zuständigkeitsverordnung – SchfHWGZustVO M-V) vom 14. November 2012 (GVBl. M-V 2012, S.557).

Verordnung über Zuständigkeiten nach dem Schornsteinfeger-Handwerksgesetz (Schornsteinfeger-zuständigkeitsverordnung – SchfZV) vom 8. Juni 2009.

Verordnung zur Regelung der Zuständigkeiten im Schornsteinfegerwesen Bayern vom 18. Dezember 2009 (Schornsteinfegerzuständigkeitsverordnung – ZuVSchfw) (GVBl. Nr. 25 vom 29.12.2009).

Verordnung über die Zuständigkeiten im Schornsteinfegerwesen (Schornsteinfeger-ZuständigkeitsVO – SchfZustVO) vom 22. September 2009.

[AGEB 2015]                      Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.: Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland. Stand November 2015. <https://ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2016.html> (stand: 14.12.2017).

[AGEB 2017]                      Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.: Bilanzen 1995-2015. URL: <https://ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2015.html> (Stand 14.12.2017).

[Arzheimer 2009]                Arzheimer, K.: Gewichtungsvariation, in: Vom Interview zur Analyse, hrsg. v. Schoen, Rattinger, Gabriel, Baden-Baden 2009, S. 361-388.

- [Backhaus et al. 2008] Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R.: Multivariate Analysemethoden. 12. Auflage, Berlin 2008.
- [Bamberg et al. 2012] Bamberg, G./ Baur, F./ Krapp, M.: Statistik. 17. Auflage, München 2012.
- [Bankhofer 1995] Bankhofer, U.: Unvollständige Daten- und Distanzmatrizen in der Multivariaten Datenanalyse. Bergisch-Gladbach Eul 1995.
- [Bättig 2015] Bättig, D.: Angewandte Datenanalyse. Der Baye'sche Weg. Berlin Heidelberg 2015.
- [Bell et al. 2012] Bell, M./ Bücken, M./ Freischlad, H.: Energie- und Emissionskataster Sachsen-Anhalt für die Emittentengruppe kleinere und mittlere Feuerungsanlagen. URL: [http://www.lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/MLU/LAU/Luft/Anlagen-\\_und\\_Emissionskataster/Hausbrand\\_Kleinverbr/Dateien /EMIKAT\\_ST\\_2010\\_Endbericht.pdf](http://www.lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Luft/Anlagen-_und_Emissionskataster/Hausbrand_Kleinverbr/Dateien /EMIKAT_ST_2010_Endbericht.pdf) (Stand: 16.03.2015).
- [Benesch 2013] Bensch, T.: Schlüsselkonzepte zur Statistik. die wichtigen Methoden, Verteilungen, Tests anschaulich erklärt. Berlin Heidelberg 2013.
- [Bethlehem et al. 2011] Bethlehem, J./ Cobben, F./ Schouten, B.: Handbook of Nonresponse in Household Surveys. Hoboken, New Hersey 2011.
- [BMWi 2009] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Dokumentation Nr. 582. Gesetz zur Neuregelung des Schornsteinfegerwesens, URL: [https://mfw.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mfw/intern/Dateien/Downloads/Aufsicht\\_und\\_Recht/Dokumentation\\_des\\_Bundes\\_Nr.\\_582.pdf](https://mfw.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mfw/intern/Dateien/Downloads/Aufsicht_und_Recht/Dokumentation_des_Bundes_Nr._582.pdf) (Stand: 03.06.2015).
- [BMWi 2015] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Zentrale Vorhaben Energiewende für die 18. Legislaturperiode (Fortschreibung der 10-Punkte-Energie-Agenda des BMWi) vom 26.6.2014, URL: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/energie,did=644350.html> (Stand: 09.05.2016).
- [BMWi 2018a] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Zahlen und Fakten Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung. Letzte Aktualisierung 23.01.2018. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html> (Stand: 14.02.2018).



- [BMWi 2018b] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (Stand: Februar 2018). URL: [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2017.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=15](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=15) (Stand: 03.03.2018).
- [BMWi et al. 2007] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm. URL: [http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/gesamtbericht\\_iekp.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/gesamtbericht_iekp.pdf) (Stand: 04.01.2016).
- [BMWi et al. 2010] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung 28. September 2010. URL: <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiekonzept-2010,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (Stand 09.05.2016).
- [Bochmann et al. 2011] Bochmann, W./ Huppmann, R./ Pfestorf, K. H./ Träger, K./ Willnat, R.: Öfen und Kamine. Raumheizungen fachgerecht planen und bauen, hrsg. v. Michael Herrmann und Jürgen Weber. 7. Auflage, Berlin Wien Zürich 2011.
- [Bortz et al. 2006] Bortz, J./ Döring, N.: Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. 4. Auflage, Heidelberg 2006.
- [Bourier 2014] Bourier, G.: Beschreibende Statistik. Praxisorientierte Einführung – Mit Aufgaben und Lösungen. 12. Auflage, Wiesbaden 2014.
- [Bühner et al. 2009] Bühner, M.; Ziegler, M.: Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. München 2009.
- [Brandenburg 2011] Richtlinie des Ministeriums für Wirtschaft und Europaangelegenheiten des Landes Brandenburg über die Führung, Vorlage und Prüfung der Kkehrbücher (Kkehrbuchrichtlinie) vom 8. Juli 2011 (AB1./11. Nr. 37, S. 1597).



- [Bundesregierung 2014] Bundesregierung: Wärmekonferenz 2014. Energiewende braucht Wärmewende. URL: <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2014/01/2014-01-28-waermemarkt-hendricks.html> (Stand: 06.01.2017).
- [Burkschat et al. 2012] Burkschat, M./ Cramer, E./ Kamps, U.: Beschreibende Statistik. Grundlegende Methoden und Datenanalyse. 2. Auflage, Berlin Heidelberg 2012.
- [Cielebak et al. 2014] Cielebak, J./ Rässler, S.: Data Fusion, Record Linkage und Data Mining, in: Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, hrsg. v. Nina Baur, Jörg Blasius, Wiesbaden 2014.
- [Cleve et al. 2014] Cleve, H./ Lämmel, U.: Data Mining, München 2014.
- [Cochran 1977] Cochran, W. G.: Sampling Techniques. 3. Auflage, New York Chichester Brisbane Toronto Singapore 1977.
- [de Leeuw 2005] de Leeuw, E.: To Mix or Not to Mix Data Collection Modes in Survey, in: Journal of Official Statistics Vol. 21 No. 2 2005, S. 233-255.
- [Decker et al. 2008] Decker, R./ Wagner, R.: Fehlende Werte: Ursachen, Konsequenzen und Behandlung, in: Handbuch Marktforschung, hrsg. v. Andreas Herrmann, Christian Homburg, Martin Klarmann, 3. Auflage, Wiesbaden 2008, S.53-79.
- [DEPV 2015] Deutsches Pelletinstitut GmbH (DEPV): Pelletfeuerungen in Deutschland. URL: <https://www.rwg-leese.de/info/bild/bild-900000534-10008.html?hilfe=1&bu> (Stand: 16.11.2017).
- [DEPV 2016] Deutsches Pelletinstitut GmbH (DEPV): Pelletfeuerungen in Deutschland. URL: <https://www.heizungsfinder.de/pelletheizung/einordnung/markt-deutschland> (Stand: 16.11.2017).
- [Diefenbach et al. 2010] Diefenbach, N./ Cischinsky, H./ Rodenfels, M./ Clausnitzer, K.-D.: Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand (2010), URL: [http://datenbasis.iwu.de/dl/Endbericht\\_Datenbasis.pdf](http://datenbasis.iwu.de/dl/Endbericht_Datenbasis.pdf) (Stand: 02.06.2015).
- [DIN EN 12831-2] DIN EN 12831 Blatt 2: 2012-05: Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Beiblatt 2: Vereinfachtes

- Verfahren zur Ermittlung der Gebäude-Heizlast und der Wärmeerzeugungsleistung. 2012-05.
- [Döhring et al. 2016] Döhring, F.; Glasenapp, S.; Mantau, U.: Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2014. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente – Abschlussbericht, URL: [http://depv.de/media/filebase/files/intern/Downloads/Studien/Energieholzverw\\_Privathaushalte\\_2014\\_Mantau\\_Feb2016.PDF](http://depv.de/media/filebase/files/intern/Downloads/Studien/Energieholzverw_Privathaushalte_2014_Mantau_Feb2016.PDF) (Stand: 16.06.2017).
- [Ebert et al. 2015] Ebert, M./ Schiffler, A./ Louca, K./ Niederau, A./ Schneider, C./ Toenges-Schuller, N.: Thüringer Emissionskataster und Treibhausgasbilanz. Emissionskataster 2012, Treibhausgasbilanz 2012, 2015, 2020, Lokale Emissionskataster für sechs Städte. URL: [http://www.thueringen.de/mam/th8/tmlfun/umwelt/klima/studie\\_teil\\_1.pdf](http://www.thueringen.de/mam/th8/tmlfun/umwelt/klima/studie_teil_1.pdf) (Stand: 16.03.2016).
- [Eckstein 2014] Eckstein, P.P.: Repetitorium Statistik. Deskriptive Statistik – Stochastik – Induktive Statistik. 8. Auflage, Wiesbaden 2014.
- [Ehling 2003] Ehling, M.: Online-erhebungen – Einführung in das Thema, in: Online-Erhebungen: 5. Wissenschaftliche Tagung, hrsg. v. Informationszentrum Sozialwissenschaft. Bonn 2003.
- [Engel et al. 2014] Engel, U./ Schmidt, B. O.: Unit- und Item-Nonresponse, in: Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, hrsg. v. Nina Baur, Jörg Blasius, Wiesbaden 2014, S.331-348.
- [Fahrmeir et al. 2009] Fahrmeir, L.; Kneib, T.; Lang, S.: Regression. Modelle, Methoden und Anwendungen. Berlin Heidelberg 2009.
- [Frondel et al. 2015] Frondel, M./ Andor, M./ Ritter, N./ Sommer, S./ Vance, C./ Matuschek, P./ Müller, U.: Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2011-2013. Bericht für das Projekt Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2013. Forschungsprojekt Nr. 54/09 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technik, URL: [http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/rwi-pb\\_energieverbrauch-priv-hh.pdf](http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/rwi-pb_energieverbrauch-priv-hh.pdf) (Stand: 14.03.2016).
- [Frondel et al. 2016] Frondel, M./ Janßen-Timmen, R./ Sommer, S.: Erstellung der Anwendungsbilanzen 2014 bis 2015 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland. Endbericht Oktober 2016 Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, URL: <http://www.rwi->

- essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte /rwi-pb\_anwendungsbilanzen.pdf (Stand 04.12.2017).
- [Göthlich 2007] Göthlich, S.E.: Zum Umgang mit fehlenden Daten in großzahligen empirischen Erhebungen, in: Methodik der empirischen Forschung, hrsg. v. Sönke Albers, Daniel Klapper, Udo Konradt, Achim Walter, Joachim Wolf, 2. Auflage, Wiesbaden 2007, S. 119-134.
- [Graham et al. 2003] Graham, J.W./ Cumsille, P.E./ Elek.Fisk, E.: Methods of Handling Missing Data, in: Handbook of Psychology Vol. 2 Research Methods in Psychology, hrsg v. J.A. Schinka, W.F. Velicer, New-York 2003, S. 87-114.
- [Graham 2012] Graham, J.W.: Missing Data. Analysis and Design. Statistical for Social and Behavioral Sciences. New York 2012.
- [Häder 2015] Häder, M.: Empirische Sozialforschung. Eine Einführung. 3. Auflage, Wiesbaden 2015.
- [Hartmann et al. 2013] Hartmann, H./ Reisinger, K./ Turowski, P./ Roßmann, P.: Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen, hrsg. v. Hans Hartmann (TFZ) und Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow 2013.
- [Hartung et al. 2009] Hartung, J./ Elpelt, B./ Klösel, K.-H.: Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. 15. Auflage. München 2009.
- [Hausmann 2010] Hausmann, A.: Holzkleinfeuerungsanlagen in Sachsen. Auswertung einer Befragung im Schornsteinfegerhandwerk, in: Schriftenreihe Heft 17, hrsg. v. Sächsischem Landesamt für Umwelt, Landschaft und Geologie (LfULG), Dresden 2010.
- [Hippner et al. 2001] Hippner, H./ Küster, U./ Meyer, M.: Handbuch Data Mining im Marketing. Knowledge Discovery in Marketing Databases, Braunschweig Wiesbaden 2001.
- [Janssen et al. 2013] Janssen, J.; Laatz, W.: Statistische Datenanalyse mit SPSS. Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests. 8. Auflage, Berlin Heidelberg 2013.
- [Kaltschmitt et al. 2016] Kaltschmitt, M./ Hartmann, H./ Hofbauer, H.: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren, 3. Auflage, Berlin Heidelberg 2016.
- [Kauermann et al. 2010] Kauermann, G./ Küchenhoff, H.: Stichproben. Methoden und praktische Umsetzung mit R. Berlin Heidelberg 2011.

- [Kaya 2007] Kaya, M.: Verfahren der Datenerhebung, in: Methodik der empirischen Forschung, hrsg. v. Sönke Albers, Daniel Klapper, Udo Konradt, Achim Walter, Joachim Wolf, 2. Auflage, Wiesbaden 2007, S. 49-64.
- [Kemper et al. 1999] Kemper, A./ Eickler, A.: Datenbanksysteme. Eine Einführung. 3. Auflage. München 1999.
- [Kiesl 2014] Kiesl, H.: Gewichtung, in: Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, hrsg. v. Nina Baur, Jörg Blasius, Wiesbaden 2014, S.349-356.
- [Kleeberger et al. 2017] Kleeberger, H./Hardi, L./ Geiger, B.: Erstellen der Anwendungsbilanzen 2013 bis 2016 für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., URL: <https://ag-energiebilanzen.de/8-0-Anwendungsbilanzen.html> (Stand: 4.12.2017).
- [Kockläuner 1988] Kockläuner, G.: Angewandte Regressionsanalyse mit SPSS. Braunschweig 1988.
- [Kralemann 2015a] Kralemann, M.: Feuerstättenzählung Niedersachsen 2009 für holzbefeuerte Anlagen im Geltungsbereich der 1. und 4. BImSchV, , hrsg. v. 3N-Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk, URL: [www.3-n.info/pdf\\_files/.../feuerstaettenzaehlung\\_niedersachsen\\_2013.pdf](http://www.3-n.info/pdf_files/.../feuerstaettenzaehlung_niedersachsen_2013.pdf) (Stand: 30.09.2015)
- [Kralemann 2015b] Kralemann, M.: Verbrauchsdatenerhebung Holzfeuerungen Niedersachsen für holzbefeuerte Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV. URL: [http://www.3-n.info/download.php?file=pdf\\_files/InfomaterialDownloadsFestbrennstoffe/verbrauchsdatenerhebung\\_holzfeuerungen.pdf](http://www.3-n.info/download.php?file=pdf_files/InfomaterialDownloadsFestbrennstoffe/verbrauchsdatenerhebung_holzfeuerungen.pdf) (Stand: 30.09.2015).
- [Kronthaler 2014] Kronthaler, F.: Statistik angewandt. Datenanalyse ist (k)eine Kunst. Berlin Heidelberg 2014.
- [Kuckartz et al. 2013] Kuckartz, U./ Rädiker, S./ Ebert, T./ Schehl, J.: Statistik. Eine verständliche Einführung. 2.Auflage, Wiesbaden 2013.
- [Kuß et al. 2014] Kuß, A./ Wildner, R./ Kreis, H.: Marktforschung. Grundlagen der Datenerhebung und Datenanalyse. 5. Auflage, Wiesbaden 2014.
- [Laasch et al. 2013] Laasch, T./ Laasch, E.: Haustechnik. Grundlagen Planung Ausführung. 13. Auflage, Wiesbaden 2013.

- [LAI 2011] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI): Auslegungsfragen zur Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen 1. BImSchV. Stand: 05.08. 2011.
- [Langniß et al. 2011] Langniß, O./ Kohlberg, T. / Wülbreck, H.-F./ Nast, M./Pehnt, M./ Frick, S. et al.: Evaluierung des Marktanzreizprogramms für erneuerbarer Energien im Wärmemarkt: Ergebnisse der Ergebnisse für das Jahr 2010, URL: [https://www.researchgate.net/profile/Ole\\_Langniss/publication/259903668\\_Evaluierung\\_des\\_Marktanzreizprogramms\\_fur\\_erneuerbare\\_Energien\\_Ergebnisse\\_der\\_Forderung\\_fur\\_das\\_Jahr\\_2010/links/0c9605305d5b99b963000000/Evaluierung-des-Marktanzreizprogramms-fuer-erneuerbare-Energien-Ergebnisse-der-Foerderung-fuer-das-Jahr-2010.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ole_Langniss/publication/259903668_Evaluierung_des_Marktanzreizprogramms_fur_erneuerbare_Energien_Ergebnisse_der_Forderung_fur_das_Jahr_2010/links/0c9605305d5b99b963000000/Evaluierung-des-Marktanzreizprogramms-fuer-erneuerbare-Energien-Ergebnisse-der-Foerderung-fuer-das-Jahr-2010.pdf) (Stand: 18.09.2015).
- [Leiner 1994] Leiner, B.: Stichprobentheorie. Grundlagen, Theorie und Technik. 3. Auflage, München Wien Oldenbourg 1994.
- [Little 1988] Little, R.: A Test of Missing Completeness at Random for Multivariate Data with Missing Values, in: Journal of the American Statistical Association, Vol. 83 (1988), S.
- [LIV BY 2015] Landesinnungsverband für das Bayerische Kaminkehrerhandwerk – LIV: Erhebung des Bayerischen Kaminkehrerhandwerks für 2014. URL: <http://www.schornsteinfeger-liv-bayern.de/?nav=by&bereich=165> (Stand: 30.09.2015)
- [LIV MV 2015] Schornsteinfeger-Innung Mecklenburg-Vorpommern Landesinnung des Schornsteinfegerhandwerks: Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks 2014. URL: [http://www.schornsteinfeger-mv.de/Technik/technik\\_neu/statistik/Sonder-druck2014.pdf](http://www.schornsteinfeger-mv.de/Technik/technik_neu/statistik/Sonder-druck2014.pdf) (Stand: 30.09.2015).
- [LIV RP 2012] Landesinnungsverband für das Schornsteinfegerhandwerk in Rheinland-Pfalz: Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks im Bundesland Rheinland-Pfalz für das Jahr 2011. URL: [http://www.schornsteinfeger-liv-rlp.de/bilder\\_rlp/files/statistik\\_2011rlp.pdf](http://www.schornsteinfeger-liv-rlp.de/bilder_rlp/files/statistik_2011rlp.pdf) (Stand: 21.03.2016).
- [Lück 2011] Lück, D.: Mängel im Datensatz bereinigen, in: Datenanalyse mit SPSS für Fortgeschrittene 1. Datenaufbereitung und uni- und bivariate Statistik, hrsg v. Leila Akremi, Nina Baur, Sabine Fromm. 3. Auflage, Wiesbaden 2011, S. 73-87.
- [Lück et al. 2014] Lück, D./ Landrock, U.: Datenaufbereitung und Datenbereinigung in der quantitativen Sozialforschung, in: Handbuch Methoden der empirischen

- Sozialforschung, hrsg. v. Nina Baur, Jörg Blasius, Wiesbaden 2014, S.397-409.
- [Mantau 2012] Mantau, U.: Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2010. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente – Abschlussbericht, URL: [http://literatur.vti.bund.de/digbib\\_extern/dn051304.pdf](http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dn051304.pdf) (Stand: 02.06.2015).
- [Mantau et al. 2012] Mantau, U./ Möller, B./ Jochem, D.: Standorte der Holzwirtschaft – Holzrohstoffmonitoring. Die energetische Nutzung von Holz in Biomasseanlagen unter 1 MW im Jahr 2010 – Abschlussbericht, URL: [http://www.dhwr.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/04\\_Holzrohstoffmonitoring-BMA-unter-1-MW.pdf](http://www.dhwr.de/fileadmin/user_upload/downloads/04_Holzrohstoffmonitoring-BMA-unter-1-MW.pdf) (Stand:03.06.2015).
- [McDonald 2014] McDonald, J.H.: Handbook of biological Statistics.3. Auflage. Baltimore 2014.
- [Möhring et al. 2013] Möhring, W./ Schlütz, D.: Standardisierte Befragung: Grundprinzipien, Einsatz und Anwendung, in: Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft, hrsg. v. Wiebke Möhring und Daniela Schlütz. Wiesbaden 2013, S. 183-200.
- [Ohr 2010] Ohr, D.: Lineare Regression: Modellannahmen und Regressionsdiagnostik, in: Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse, hrsg. v. Christof Wolf und Henning Best. Wiesbaden 2010, S. 639-6676.
- [Projektgemeinschaft Biorohstoffe 2005] Projektgemeinschaft Biorohstoffe: Grunddaten und Modelle zur Biomassenutzung und zum Biomassepotenzial in Hessen. Witzenhausen 2005
- [Quatember 2014] Quatember, A.: Datenqualität in Stichprobenerhebungen. Eine verständnisorientierte Einführung in Stichprobenverfahren und verwandte Themen, Berlin Heidelberg 2014.
- [Rässler 2000] Rässler, S.: Ergänzung fehlender Daten in Umfragen, in: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, 220/1 (2000), S.64-94.
- [Reinecke 2014] Reinecke, J.: Grundlagen der standardisierten Befragung, in: Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, hrsg. v. Nina Baur, Jörg Blasius, Wiesbaden 2014, S.601-617.

- [Rheinbraun 2010] Rheinbraun Brennstoff GmbH. Persönliche Auskunft von Herrn Zollner am 07.06.2010.
- [Rheinbraun n.d.] Rheinbraun Brennstoff GmbH: Analyse der aktuellen Marktsituation bei Festbrennstoffen (Braunkohle, Steinkohle, Holz).
- [Rönsch et al. 2015] Rönsch, C./ Sauter, P./ Bienert, K./ Schmidt-Baum, T./Thrän, D.: Biomasse zur Wärmeerzeugung. Methoden zur Quantifizierung des Brennstoffeinsatzes. DBFZ Report Band 24, Leipzig 2015.
- [Rubin 1976] Rubin, D. B: Inference and missing data, in. Biometrics, Vol. 63 No. 3 (1976), S. 581-592.
- [Rubin 1987] Rubin, D. B.: Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys. New York Chichester Brisbane Toronto Singapore 1987.
- [Runkler 2010] Runkler, T. A.. Data Mining. Methoden und Algorithmen intelligenter Datenanalyse. Wiesbaden 2010.
- [Schafer et al. 2002] Schafer, J.L./ Graham, J.W.: Missing Data. Our View of the State of the Art, in Psychological Methods, Vol. 7 No. 2 (2002), S. 127-177.
- [Scheftelowitz et al. 2014] Scheftelowitz, M./ Thrän, D./ Hennig, C./ Krautz, A./ Lenz, V./ Liebetrau, J.: Entwicklung der Förderung der Stromerzeugung aus Biomasse im Rahmen des EEG. DBFZ Report Nr. 21, Leipzig 2014.
- [Schleswig-Holstein 2013] Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Technologie des Landes Schleswig-Holstein: Richtlinie über die Führung und Überprüfung der Kkehrbücher, die Rechnungsstellung und die Weitergabe von Daten (Kkehrbuchrichtlinie) vom 14. Februar 2013 – VII 161 – 612.44-4.0.
- [Schlichter 2015] Schlichter, M.: Aktuelle Erfahrungen aus der Überwachung von Kleinf Feuerungsanlagen Vortrag im Rahmen der 19. Sitzung Arbeitskreis Holzfeuerung in Straubing.
- [Schlomann et al. 2015] Schlomann, B./ Steinbach, J./Kleeberger, H./ Geiger, B./ Pich, A./ Gruber, E./ Mai, M./Gerspacher, A./ Schiller, W.: Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013 – Schlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), URL: [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/x/de/projekte/Schlussbericht-GHD\\_2006-2013\\_Februar2015\\_final.pdf](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/x/de/projekte/Schlussbericht-GHD_2006-2013_Februar2015_final.pdf) (Stand:03.06.2016).



- [Schnell et al. 2005] Schnell, R./ Bachteler, T./ Reiher, J.: MTB: ein Record-Linkage-Programm für die empirische Sozialforschung, in: ZA-Informationen / Zentralarchiv für Empirische Sozialforschung (2005), 56, S. 93-103.
- [Schulz et al. 2012] Schulz, P. M./ Porath, D.: Statistik mit Datenanalyse und ökonomischen Grundlagen. 7. Auflage, München 2012.
- [Schwaiger 1993] Schwaiger, M.: Hochrechnungsverfahren im Marketing. München 1993.
- [Stenger 1971] Stenger, H.: Stichprobentheorie. Würzburg 1971.
- [Stier 1999] Stier, W.: Empirische Forschungsmethoden. 2. Auflage. Berlin Heidelberg New York 1999.
- [Stockmann et al. 2012] Stockmann, F./ Hagemann, H./ Wenzelides, M./ Molitor, C./ Schulte, A.: Regionale Konzepte zum Ausbau der Bioenergieerzeugung aus Holz – nachhaltige und energieeffiziente Strategieentwicklung unter besonderer Berücksichtigung der Holzkaskadennutzung (FKZ 03KB016B). Münster 2012.
- [Struschka et al. 2008] Struschka, M./ Kilgus, D./ Springmann, M./ Baumbach, G.: Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung. Forschungsbericht 205 42 322, hrsg. von Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2008.
- [Stuible et al. 2016] Stuible, A./ Zech, D./ Wülbreck, H.-F., Sperber., E./ Nast, M./ Hartmann, H./ Reisinger, K. et al.: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014. Evaluierung des Förderjahres 2014, URL: [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Berichte/evaluierung-marktanreizprogramm.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Berichte/evaluierung-marktanreizprogramm.pdf?__blob=publicationFile&v=3) (Stand: 18.09.2016).
- [Tebert et al. 2016] Tebert, C.; Volz, S.; Töfge, K.; Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Verbraucher. Endbericht Hauptteil. URL: [http://www.depv.de/media/filebase/files/Downloads/Studien/2016\\_UBA-%C3%96KOPOL\\_Emissionen-Kleinfeuerungsanlagen\\_Endbericht.pdf](http://www.depv.de/media/filebase/files/Downloads/Studien/2016_UBA-%C3%96KOPOL_Emissionen-Kleinfeuerungsanlagen_Endbericht.pdf) (Stand: 14.06.2017).
- [Thünen-Institut n.d.] Thünen-Institut: Dritte Bundeswaldinventur (2012). URL: <https://bwi.info/> (Stand: 14.06.2016)
- [VDI 3807-Blatt 1] VDI 3807 Blatt 1: Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude. Grundlagen. 2007-03.

- [Toenges-Schuller et al. 2014] Toenges-Schuller, N./ Schneider, C./ Nacken, M./ Niederau, A.: Emissionskataster Hausbrand Rheinland-Pfalz 2012. URL: <http://www.lfu.rlp.de/Aktuell/binarywriterservlet?imgUid=a986074f-5dd3-f641-c73f-28220defa5a2&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111> (Stand: 16.03.2016).
- [Weichbold 2014] Weichbold, M.: Pretest, in: Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, hrsg. v. Nina Baur, Jörg Blasius, Wiesbaden 2014.
- [Wenzelides et al. 2008] Wenzelides, M./ Schulte, A.: Entwicklung und Erprobung einer Methode zur Abschätzung von regionalen Dendromassen-Bilanzen am Beispiel Nordrhein-Westfalen in: Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie 42 (2008), S. 145-157.
- [Wolf et al. 2010] Wolf, C.; Best, H.: Lineare Regressionsanalyse, in: Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse, hrsg. v. Christof Wolf und Henning Best. Wiesbaden 2010, S. 607-638.
- [ZIV 2010a] Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV): Kommentar zur Ersten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV). Arbeitsblatt Nr. 601 Vorversion, Sankt Augustin 2010.
- [ZIV 2010b] Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV): Kommentar zur Verordnung über die Kehrung und Überprüfung von Anlagen (Kehr- und Überprüfungsordnung – KÜO). Arbeitsblatt Nr. 605, Sankt Augustin 2010.
- [ZIV 2015] Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV): Mitglieder des ZIV. URL: (Stand: 01.06.2015).
- [ZIV 2016] Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV): Erhebung des Schornsteinfegerhandwerks in der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2015, URL: [http://www.schornsteinfeger.de/bilder\\_ziv/files/erhebungen2015.pdf](http://www.schornsteinfeger.de/bilder_ziv/files/erhebungen2015.pdf) (Stand: 01.07.2016).

## A 1 Zusatz zu den Methodischen Vorgehensweisen (Kapitel 4)

### A 1.1 Primärstatistische Datenerhebung zum Brennstoffeinsatz

Mit der Befragung der bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger wird ein neuer Ansatz zur Ermittlung des Brennstoffeinsatzes in Kleinf Feuerungsanlagen erprobt.

#### Willkommenstext

Sehr geehrte Damen und Herren,

schön, dass Sie sich dazu entschlossen haben, an der Befragung teilzunehmen. Sollten Sie zwischendurch keine Zeit oder Lust mehr haben, können Sie die Ergebnisse zwischenspeichern und zu einem späteren Zeitpunkt fortführen.

Ziel der Erhebung ist, den durchschnittlichen Brennstoffeinsatz in Kleinf Feuerungsanlagen abzuschätzen. In dem Fragebogen wird zwischen den verschiedenen Technologien von Kleinf Feuerungsanlagen unterschieden. Sollten Sie hingegen der Meinung sein, dass kein Unterschied besteht, so ist der interaktive Fragebogen so gestaltet, dass Sie dieselben Werte nicht wiederholt eintragen müssen.

Für Fragen erreichen Sie mich unter 0341-2434-719 oder [cornelia.roensch@dbfz.de](mailto:cornelia.roensch@dbfz.de).

Vielen Dank im Voraus für Ihre Unterstützung!

Cornelia Rönsch

#### Brennstoffeinsatz in Einzelraumfeuerungen

Bitte schätzen Sie anhand Ihrer Erfahrung den **durchschnittlichen Brennstoffeinsatz** pro Jahr für die Einzelraumfeuerungen. Je nachdem **wie häufig** die Kunden **die Anlagen benutzen**, ist der Brennstoffeinsatz abzuschätzen. Dabei wurden die Bezeichnungen aus der KÜO zur Abschätzung der Kehrhäufigkeit gewählt.

In die Felder können Sie **Durchschnittswerte** ODER **Wertebereiche** angeben.

Frage EF10				
Auf welche <b>Einheit</b> möchten Sie Ihre Angaben zum Einsatz von Scheitholz beziehen (z. B. Fm, Rm, Ster)?				
<input type="text"/>				
Frage EF21				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Kaminöfen</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Kaminöfen	gelegentlich	häufiger als gelegentlich	regelmäßig in Heizperiode	regelmäßig ganzjährig
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Frage EF31				
Wird in <b>Kamineinsätzen/Kaminkassetten</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei Kaminöfen?				
<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort				
Frage EF32, WENN: Frage EF31 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Kamineinsätzen/Kaminkassetten</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Kamineinsätzen/-Kaminkassetten	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
Frage EF41				
Wird in <b>Warmluftöfen</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei eine der folgenden Technologien?				
<input type="radio"/> ja, wie bei den Kaminöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Kamineinsätzen/Kaminkassetten <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort				
Frage EF42, WENN: Frage EF41 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Warmluftöfen</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Warmluftöfen	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
Frage EF51				
Wird in <b>Grundöfen</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei eine der folgenden Technologien?				
<input type="radio"/> ja, wie bei den Kaminöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Kamineinsätzen/Kaminkassetten <input type="radio"/> ja, wie bei den Warmluftöfen <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort				
Frage EF52, WENN: Frage EF51 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Grundluftöfen</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Grundöfen	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
Frage EF61				
Wird in <b>Offenen Kaminen</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei eine der folgenden Technologien?				
<input type="radio"/> ja, wie bei den Kaminöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Kamineinsätzen/Kaminkassetten <input type="radio"/> ja, wie bei den Warmluftöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Grundöfen <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort				

Frage EF62, WENN: Frage EF61 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Offenen Kaminen</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Offenen Kaminen	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
Frage EF71				
Wird in <b>Herden</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei eine der folgenden Technologien?				
<input type="radio"/> ja, wie bei den Kaminöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Kamineinsätzen/Kaminkassetten <input type="radio"/> ja, wie bei den Warmluftöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Grundöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Offenen Kaminen <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort				
Frage EF72, WENN: Frage EF71 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Herden</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Herden	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
Frage EF81				
Wird in <b>Heizherden</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei eine der folgenden Technologien?				
<input type="radio"/> ja, wie bei den Kaminöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Kamineinsätzen/Kaminkassetten <input type="radio"/> ja, wie bei den Warmluftöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Grundöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Offenen Kaminen <input type="radio"/> ja, wie bei den Herden <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort				
Frage EF82, WENN: Frage EF81 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Heizherden</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Heizherden	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
Frage EF91				
Wird in <b>Badeöfen</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei eine der folgenden Technologien?				
<input type="radio"/> ja, wie bei den Kaminöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Kamineinsätzen/Kaminkassetten <input type="radio"/> ja, wie bei den Warmluftöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Grundöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Offenen Kaminen <input type="radio"/> ja, wie bei den Herden <input type="radio"/> ja, wie bei den Heizherden <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort				

Frage EF92, WENN: Frage EF91 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Badeöfen</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Badeöfen	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
EF99				
Haben Sie noch <b>Anmerkungen</b> zu Ihren Angaben?				
<input type="text"/>				

### Brennstoffeinsatz in Zentralfeuerstätten

Bitte schätzen Sie anhand Ihrer Erfahrung den **durchschnittlichen Brennstoffeinsatz** pro Jahr für die Heizkessel. Der Brennstoffeinsatz für die verschiedenen Brennstoffe ist abhängig von der installierten **Leistung** abzuschätzen.

In die Felder können Sie **Durchschnittswerte** ODER **Wertebereiche** angeben

Frage ZF10						
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> von mit <b>Scheitholz</b> befeuerten Heizkessel – nach installierter Leistung der Anlage? Bitte tragen Sie in der letzten Spalte die <b>Einheit</b> ein.						
Brennstoffeinsatz in Scheitholz-ZF	<15 kW <input type="text"/>	15<50 kW <input type="text"/>	>50≤100 kW <input type="text"/>	>100≤500 kW <input type="text"/>	>500 kW <input type="text"/>	Einheit <input type="text"/>
Frage ZF21						
Wird in <b>Hackschnitzel-Heizkessel</b> in etwa die gleiche Menge an <b>Brennstoff</b> eingesetzt wie bei Scheitholz-Heizkessel?.						
<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort						
Frage ZF22, WENN: Frage ZF21 mit „nein, sondern“ beantwortet wird						
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> von mit <b>Pellet</b> befeuerten Heizkessel – nach installierter Leistung der Anlage? Bitte tragen Sie in der letzten Spalte die <b>Einheit</b> ein.						
Brennstoffeinsatz in Pellet-ZF	<15 kW <input type="text"/>	15<50 kW <input type="text"/>	>50≤100 kW <input type="text"/>	>100≤500 kW <input type="text"/>	>500 kW <input type="text"/>	Einheit <input type="text"/>
Frage ZF31						
Wird in <b>Pellet-Heizkessel</b> in etwa die gleiche Menge an <b>Brennstoff</b> eingesetzt wie bei den anderen Sortimenten?.						
<input type="radio"/> ja, wie bei Scheitholz <input type="radio"/> ja, wie bei Hackschnitzeln <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort						
Frage ZF32, WENN: Frage ZF31 mit „nein, sondern“ beantwortet wird						
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> von mit <b>Pellet</b> befeuerten Heizkessel – nach installierter Leistung der Anlage? Bitte tragen Sie in der letzten Spalte die <b>Einheit</b> ein.						
Brennstoffeinsatz in Pellet-ZF	<15 kW <input type="text"/>	15<50 kW <input type="text"/>	>50≤100 kW <input type="text"/>	>100≤500 kW <input type="text"/>	>500 kW <input type="text"/>	Einheit <input type="text"/>

Frage ZF41						
Wird in <b>Sägeprodukt-Heizkessel</b> in etwa die gleiche Menge an <b>Brennstoff</b> eingesetzt wie bei den anderen Sortimenten?.						
<input type="radio"/> ja, wie bei Scheitholz <input type="radio"/> ja, wie bei Hackschnitzeln <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort						
Frage ZF42, WENN: Frage ZF41 mit „nein, sondern“ beantwortet wird						
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> von mit <b>Sägeprodukt</b> befeuerten Heizkessel – nach installierter Leistung der Anlage? Bitte tragen Sie in der letzten Spalte die <b>Einheit</b> ein.						
Brennstoffeinsatz in Sägeprodukt-ZF	<15 kW <input type="text"/>	15<50 kW <input type="text"/>	>50≤100 kW <input type="text"/>	>100≤500 kW <input type="text"/>	>500 kW <input type="text"/>	Einheit <input type="text"/>
Frage ZF51						
Wird in <b>Restholz-Heizkessel</b> in etwa die gleiche Menge an <b>Brennstoff</b> eingesetzt wie bei den anderen Sortimenten?.						
<input type="radio"/> ja, wie bei Scheitholz <input type="radio"/> ja, wie bei Hackschnitzeln <input type="radio"/> ja, wie bei Pellets <input type="radio"/> ja, wie bei Sägeprodukten <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort						
Frage ZF52, WENN: Frage ZF51 mit „nein, sondern“ beantwortet wird						
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> von mit <b>Restholz</b> befeuerten Heizkessel – nach installierter Leistung der Anlage? Bitte tragen Sie in der letzten Spalte die <b>Einheit</b> ein.						
Brennstoffeinsatz in Restholz-ZF	<15 kW <input type="text"/>	15<50 kW <input type="text"/>	>50≤100 kW <input type="text"/>	>100≤500 kW <input type="text"/>	>500 kW <input type="text"/>	Einheit <input type="text"/>
Frage ZF61						
Wird in <b>NawaRo-Heizkessel</b> in etwa die gleiche Menge an <b>Brennstoff</b> eingesetzt wie bei den anderen Sortimenten?.						
<input type="radio"/> ja, wie bei Scheitholz <input type="radio"/> ja, wie bei Hackschnitzeln <input type="radio"/> ja, wie bei Pellets <input type="radio"/> ja, wie bei Sägeprodukten <input type="radio"/> ja, wie bei Restholz <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort						
Frage ZF62, WENN: Frage ZF61 mit „nein, sondern“ beantwortet wird						
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> von mit <b>NawaRo</b> befeuerten Heizkessel – nach installierter Leistung der Anlage? Bitte tragen Sie in der letzten Spalte die <b>Einheit</b> ein.						
Brennstoffeinsatz in NawaRo-ZF	<15 kW <input type="text"/>	15<50 kW <input type="text"/>	>50≤100 kW <input type="text"/>	>100≤500 kW <input type="text"/>	>500 kW <input type="text"/>	Einheit <input type="text"/>
ZF99						
Haben Sie noch <b>Anmerkungen</b> zu Ihren Angaben?						
<input style="width: 100%; height: 100%;" type="text"/>						



### Brennstoffeinsatz in Sonderfeuerstätten

Bitte schätzen Sie anhand Ihrer Erfahrung den **durchschnittlichen Brennstoffeinsatz** pro Jahr für die Sonderfeuerstätten. Je nachdem **wie häufig** die Kunden die **Anlagen benutzen**, ist der Brennstoffeinsatz abzuschätzen. Dabei wurden die Bezeichnungen aus der KÜO zur Abschätzung der Kehrhäufigkeit gewählt.

In die Felder können Sie **Durchschnittswerte ODER Wertebereiche** angeben.

Frage SF10				
Auf welche <b>Einheit</b> möchten Sie Ihre Angaben zum Einsatz von Scheitholz beziehen (z. B. Fm, Rm, Ster)?				
<input type="text"/>				
Frage SF21				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Backöfen</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Backöfen	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
Frage SF31				
Wird in <b>Brennöfen</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei Backöfen?				
<input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort				
Frage SF32, WENN: Frage EF31 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Brennöfen</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Brennöfen	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
Frage SF41				
Wird in <b>Kochkesseln</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei eine der folgenden Technologien?				
<input type="radio"/> ja, wie bei den Backöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Brennöfen <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort				
Frage SF42, WENN: Frage SF41 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Kochkesseln</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Kochkesseln	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
Frage SF51				
Wird in <b>Luftherzern</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei eine der folgenden Technologien?				
<input type="radio"/> ja, wie bei den Backöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Brennöfen <input type="radio"/> ja, wie bei den Kochkesseln <input type="radio"/> nein, sondern <input type="radio"/> keine Antwort				

Frage SF52, WENN: Frage SF51 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Luftheritzern</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Luftheritzern	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
Frage SF61				
Wird in <b>Räucheranlagen</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei eine der folgenden Technologien?				
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Backöfen			
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Brennöfen			
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Kochkesseln			
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Luftheritzern			
<input type="radio"/>	nein, sondern			
<input type="radio"/>	keine Antwort			
Frage SF62, WENN: Frage SF61 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Räucheranlagen</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Räucheranlagen	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
Frage SF71				
Wird in <b>Waschkesseln</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei eine der folgenden Technologien?				
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Backöfen			
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Brennöfen			
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Kochkesseln			
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Luftheritzern			
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Räucheranlagen			
<input type="radio"/>	nein, sondern			
<input type="radio"/>	keine Antwort			
Frage SF72, WENN: Frage SF71 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Waschkesseln</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Waschkesseln	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
Frage S81				
Wird in <b>Sonstigen Sonderfeuerstätten</b> in etwa die <b>gleiche Menge</b> an Brennstoff eingesetzt wie bei eine der folgenden Technologien?				
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Backöfen			
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Brennöfen			
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Kochkesseln			
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Luftheritzern			
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Räucheranlagen			
<input type="radio"/>	ja, wie bei den Waschkesseln			
<input type="radio"/>	nein, sondern			
<input type="radio"/>	keine Antwort			

Frage SF82, WENN: Frage SF81 mit „nein, sondern“ beantwortet wird				
Wie hoch schätzen Sie den durchschnittlichen <b>Brennstoffeinsatz</b> in <b>Sonstigen Sonderfeuerstätten</b> , je nachdem <b>wie oft</b> die Anlage genutzt wird?				
Brennstoffeinsatz in Sonstigen SF	gelegentlich <input type="text"/>	häufiger als gelegentlich <input type="text"/>	regelmäßig in Heizperiode <input type="text"/>	regelmäßig ganzjährig <input type="text"/>
SF99				
Haben Sie noch <b>Anmerkungen</b> zu Ihren Angaben?				
<input type="text"/>				

### Einsatzbereich

**Wer die Anlagen betreibt** ist für viele Fragestellungen von großem Interesse. Ein Großteil der Anlagen ist sicher in den Haushalten installiert. Ich würde gern Ihre Erfahrungen nutzen, je Anlagengruppe den Anteil der Anlagen zu schätzen, die in Haushalten installiert sind.

Frage EB10			
Wieviele <b>Prozent der Einzelraumfeuerungen</b> sind Ihrer Meinung nach in <b>Haushalten</b> installiert??			
Kaminöfen	<input type="text"/>	Offene Kamine	<input type="text"/>
Kamineinsätze/Kaminkassetten	<input type="text"/>	Herde	<input type="text"/>
Wärmeluftöfen	<input type="text"/>	Heizherde	<input type="text"/>
Grundöfen	<input type="text"/>	Badeöfen	<input type="text"/>
Frage EB20			
Wieviele <b>Prozent der Zentralfeuerstätten</b> – je Brennstoffsortiment und Leistungsklasse – sind Ihrer Meinung nach in <b>Haushalten</b> installiert??			
	<50 kW	50≤100 kW	>100 kW
mit Scheitholz befeuerte Heizkessel	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
mit Hackschnitzel befeuerte Heizkessel	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
mit Pellets befeuerte Heizkessel	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
mit Sägeprodukten befeuerte Heizkessel	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
mit Restholz befeuerte Heizkessel	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
mit Stroh/NawaRo befeuerte Heizkessel	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Frage EB30			
Wieviele <b>Prozent der Sonderfeuerstätten</b> sind Ihrer Meinung nach in <b>Haushalten</b> installiert??			
Backöfen	<input type="text"/>	Räucheranlagen	<input type="text"/>
Brennöfen	<input type="text"/>	Waschkessel	<input type="text"/>
Kochkessel	<input type="text"/>	Sonstige	<input type="text"/>
Luftherhitzer	<input type="text"/>		

EB99
Haben Sie noch <b>Anmerkungen</b> zu Ihren Angaben?
<input type="text"/>

### Endnachricht

Sehr geehrte Damen und Herren,

vielen Dank, dass Sie sich Zeit für die Teilnahme an der Erhebung bis zur letzten Frage genommen haben. Damit haben Sie einen wichtigen Beitrag zum Gelingen meiner Arbeit geleistet.

Für Fragen stehe ich selbstverständlich zur Verfügung – unter [cornelia.roensch@dbfz.de](mailto:cornelia.roensch@dbfz.de) oder 0341-2434-719.

Einen schönen Tag wünscht Ihnen, Cornelia Rönsch

## A 1.2 Datenaufbereitung

In diesem Abschnitt sind die im Tool CoPI umgesetzten Codierungspläne und Plausibilitätsprüfungen für die sechs Softanbietern dokumentiert. Zurückzuführen auf die Tatsache, dass sich die sechs Softwarehersteller bei der Ausgabe der Daten sowie Bezeichnungen von Brennstoff und Technologie unterscheidet, wird für jeden Softwarehersteller gesonderte Tools entwickelt mit einheitlichen Plausibilitätsregeln.

### A 1.2.1 Datentransformation

Der Codierungsplan umfasst eine Vereinheitlichung der Bezeichnung für die Technologie und den Brennstoff. Nachstehend werden die Codierungspläne für die sechs führenden Softwarehersteller (Dexheimer, Fertl EDV, Heilmann, Hottgenroth, ODAV, Schwarz) erläutert.

#### Codierungsplan – Brennstoffe

Bei der Codierung der Brennstoffe geht es hauptsächlich um die Vereinheitlichung der unterschiedlichen Schreibweisen. Zusätzlich sind in Tabelle A- 1 die Bezeichnungen gemäß der §3 1. BImSchV aufgeführt.

Tabelle A- 1 Definition der Brennstoffsportimente gemäß § 1. BImSchV und ausgewählte Bezeichnungen der Softwareanbieter

Bezeichnungen	Bezeichnung gemäß §3 1. BImSchV	Ausgewählte Bezeichnung der Softwareanbieter
Scheitholz	naturbelassenes, stückiges Holz, einschließlich anhaftender Rinde, insbesondere in Form von Scheitholz und Hackschnitzel sowie Reisig und Zapfen	naturbel. Holz, naturbelassenes Holz, naturbel. stückiges Holz (4), Rinde, Scheitholz, Zapfen
Hackschnitzel		Hackschnitzel, Hackschnitzel (4)
Scheitholz-Hackschnitzel		Holz (Natur), naturbelassenes stückiges Holz, naturbel. stück. Holz, verkleinertes Holz, Holz(Natur)
Sägeprodukte	Naturbelassenes, nicht stückiges Holz, insbesondere in Form von Sägemehl, Spänen und Schleifstaub sowie Rinde	Hobelspäne, Holz(Natur - nicht stückig), naturbelassenes nicht stückiges Holz, naturbel. nicht stückiges (5), Sägemehl, Späne
Pellets	Presslinge aus naturbelassenem Holz in Form von Holzbriketts [...] oder in Form von Holzpellets [...]	Holzbriketts, Holzpellets, Holz(Natur - Presslinge), Pellets, Presslinge (5a)
Restholz	Gestrichenes, lackiertes oder beschichtetes Holz [...]; Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten oder sonst verleimtes Holz sowie daraus anfallende Reste soweit keine Holzschutzmittel aufgetragen oder infolge einer Behandlung enthalten sind [...]	behandeltes Holz, beschichtetes Holz, Faserplatten, gestr./beschichtetes Holz (6), gestrichenes Holz, Holz(Lack), Holz(Lack - verleimt), Holz lackiert, Holz verleimt, Holzverarbeitungsreste, Spanplatten, Sperrholz, Sperrholz/verleimtes Holz (7)
NawaRo	Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe, nicht als Lebensmittel bestimmtes Getreide [...] sowie Pellets aus den vorgenannten Brennstoffen; Sonstige nachwachsende Rohstoffe soweit diese die Anforderungen nach § 3 Abs. 5 1. BImSchV einhalten	andere Preßlinge, nachwaschende Rohstoffe (13), Pflanzlich, sonstige nachwachsende Rohstoffe, sonst. nachw. Rohstoffe, Sonstige Brennstoffe, Stroh

### Codierungsplan – Technologie

Zu vereinheitlichen sind sowohl die Bezeichnungen als auch die Detailtiefen. Bei einem Softwarehersteller sind 231 verschiedene Technologiebezeichnungen vorhanden, geschuldet der Option die Technologien selbst einzutragen. Tabelle A- 2 folgend, werden die Technologiegruppen in Einzelraumfeuerungen, Zentralfeuerstätten, Sonderfeuerstätten unterteilt und um die Kategorie „keineZuordnung“ ergänzt, für den Fall, dass in einem Datensatz keine Technologie angegeben ist.

Tabelle A- 2 Zuordnung der Technologiegruppen und -arten zu den Bezeichnungen der Softwareanbieter

Bezeichnungen	Ausgewählte Bezeichnungen der Softwareanbieter
EINZELRAUMFEUERUNGEN (EF)	
Badeofen	Badeofen, Brauchwasser, Durchlaufwasserheizer, Vorratswasserheizer
Grundofen	Dauerbrandofen, Grundkachelofen, Grundofen, Gussofen, Kachelgrundofen, Specksteingrundofen, Specksteinofen, Speichereinzelfeuerstätte, Universal-Dauerbrandofen
Heizherd	Dauerbrandherd, Heizherd/Heizungsherd, Kochheizherd, Küchenherd
Herd	Beistellherd, Herd, Herd automatisch, Herd-Festbrennstoff, Küchenherd
Kamineinsatz/ Kaminkassette	Automatikofen, Heizeinsatz, Heizkassette, Kamineinsätze, Kamineinsatz/Kamin-kassette, Kaminkassette, Primärofen,
Kaminofen	Einzelofen, Heizkamin, Kamin, Kaminofen, Pelleteinzelofen, Pelletofen, Raumheizer, Zimmerofen
Offener Kamin	Offener Kamin
Warmluftofen	Kachelofen, Kachelofen mit Heizeinsatz, Warmluftofen
EF-Sonstige	Einzelfeuerstätte
ZENTRALFEUERSTÄTTEN (ZF)	
Heizkessel	Festbrennstoffkessel, Heizkessel, Heizung, Heizung mit Brauchwasser, Holztagen-heizung, Holzkessel, Kombiwasserheizer, Pelletheizung, Umlaufwasserheizer, Zentralheizung
SONDERFEUERSTÄTTEN (SF)	
Backofen	Backofen, Back-/Pizzaofen, Backofen:Heizgasumwälzofen/Sticker, Backofen:Heiß-luftofen, Holzbackofen,
Brennofen	Brennerei/Brennofen, Brennofen
Kochkessel	Kochkessel, Koch-/Schnellkochkessel, Wurstkessel
Luftherhitzer	Luftherhitzer, Luftheizung
Räucheranlagen	Fischräucheranlage, Räucheranlagen, Räuchererzeuger, Räucherammer
Waschkessel	Waschkessel
SF-Sonstige	gewerbliche Küchengeräte, Grillgerät, Schmiedefeuer, Sonderfeuerstätte, Trocknungsanlage
KEINE ZUORDNUNG	

In der Regel werden Abkürzungen in der Software verwendet, deren Bezeichnung von den Softwareherstellern zur Verfügung.

### A 1.2.2 Datenbereinigung – Gültigkeitsbereiche & Plausibilitätsregeln

Automatisch werden die Datensätze herausgefiltert, die folgende Gültigkeitsbereiche und/oder Plausibilitätsregeln verletzen.

### Gültigkeitsbereiche

- Brennstoff: Begriffe aus der vom Softwarehersteller zur Verfügung gestellten Liste; einzelne Softwareanbieter ermöglichen eine manuelle Eingabe (Aufnahme der Bezeichnung, ggf. Nachfrage)
- Technologie: Begriffe aus der vom Softwarehersteller zur Verfügung gestellten Liste; einzelne Softwareanbieter ermöglichen eine manuelle Eingabe (Aufnahme der Bezeichnung, ggf. Nachfrage)
- Installierte Leistung:  $1 \leq 1000$  kW
- Inbetriebnahmejahr: 1900-2011 (für die Erhebung 2011) bzw. 1900-2012 (für die Erhebung 2012), 1900-2014 (für die Erhebung 2014)
- Kehrhäufigkeit: 0-4

### Plausibilitätsregeln

Die Plausibilitätsregeln umfassen die Kombination von Technologien, Brennstoffsportimenten und der maximalen Leistung. In der Matrix in Tabelle A- 3 werden mit einem Kreuz (x) die Kombinationen aus Technologie und Brennstoff gekennzeichnet, die in dem Tool CoPI als plausibel definiert werden. Die nicht zugelassenen Kombinationen (-) sind durchaus denkbar, allerdings bei den Teilnehmern allerdings noch einmal zu verifizieren.

Tabelle A- 3 Zugelassene (+) bzw. nicht zugelassene (-) Kombinationen zwischen Technologie und Brennstoff sowie die maximal zulässige Leistung je Technologiearten

Parameter	Scheitholz	Hackschnitzel	Pellets	Sägeprodukte	Restholz	NawaRo	Leistung
Badeofen	+	-	+	-	-	-	<20
Grundofen	+	-	+	-	-	-	<25
Heizherd	+	-	+	-	-	-	<25
Herd	+	-	+	-	-	-	<15
KEinsatz/KKassette	+	-	+	-	-	-	<20
Kaminofen	+	-	+	-	-	-	<20
Offener Kamin	+	-	+	-	-	-	<10
Wärmeluftofen	+	-	+	-	-	-	<25
Heizkessel	+	+	+	+	+	+	<1000
Backofen	+	-	+	+	-	-	<10
Brennofen	+	+	+	+	+	-	<15
Kochkessel	+	-	+	+	-	-	<15
Lufterhitzer	+	+	+	+	+	-	<30
Räucheranlagen	+	+	+	+	-	+	<15
Waschkessel	+	+	+	+	+	-	<15
SFSonstige	+	+	+	+	+	-	<30



## A 2 Zusatz zu den Ergebnissen (Kapitel 5)

### A 2.1 Analyse der erhobenen Daten

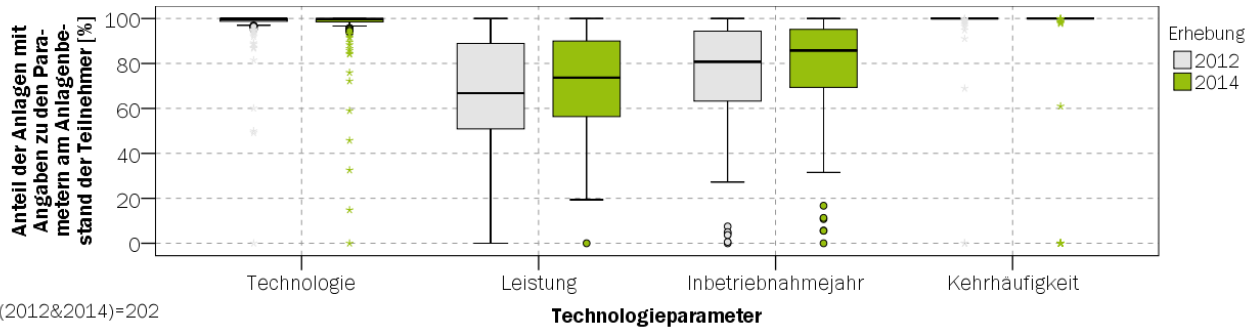


Abbildung A-1 Verteilung des Anteils der Biomasseanlagen mit Angaben zu den Anlagenparametern (Technologie, Leistung, Inbetriebnahmejahr und Kehrhäufigkeit); basierend auf den wiederkehrenden Teilnehmern an den Erhebungen 2012 und 2014 (n=202)

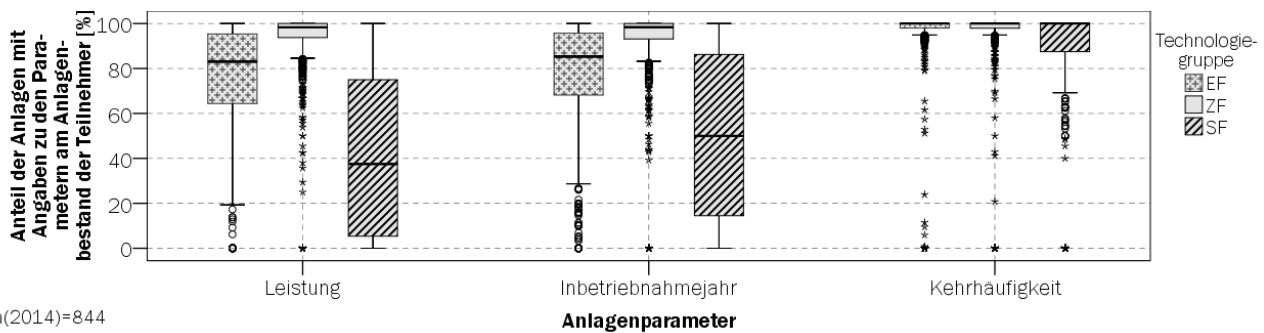
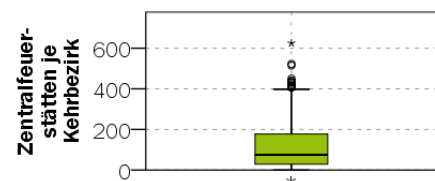
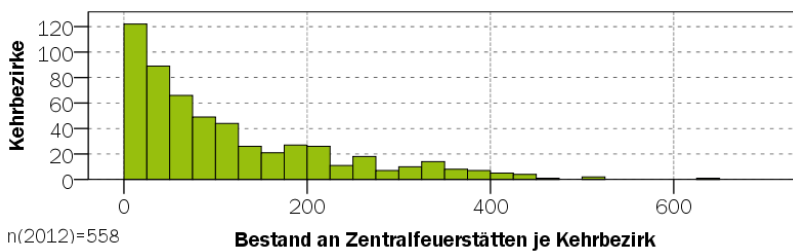
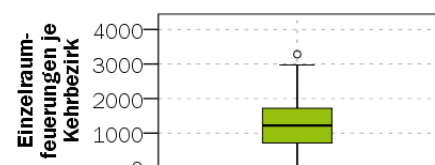
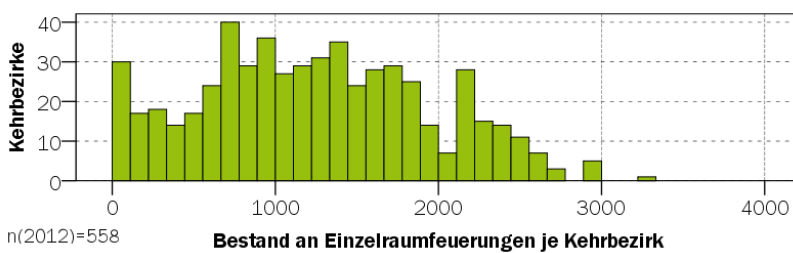


Abbildung A-2 Verteilung des Anteils der drei Technologiegruppen (Einzelraumfeuerungen (EF), Zentral- (ZF) und Sonderfeuerstätten (SF)) mit Angaben zu den Anlagenparametern (Technologie, Leistung, Inbetriebnahmejahr und Kehrhäufigkeit); basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 (n=844)



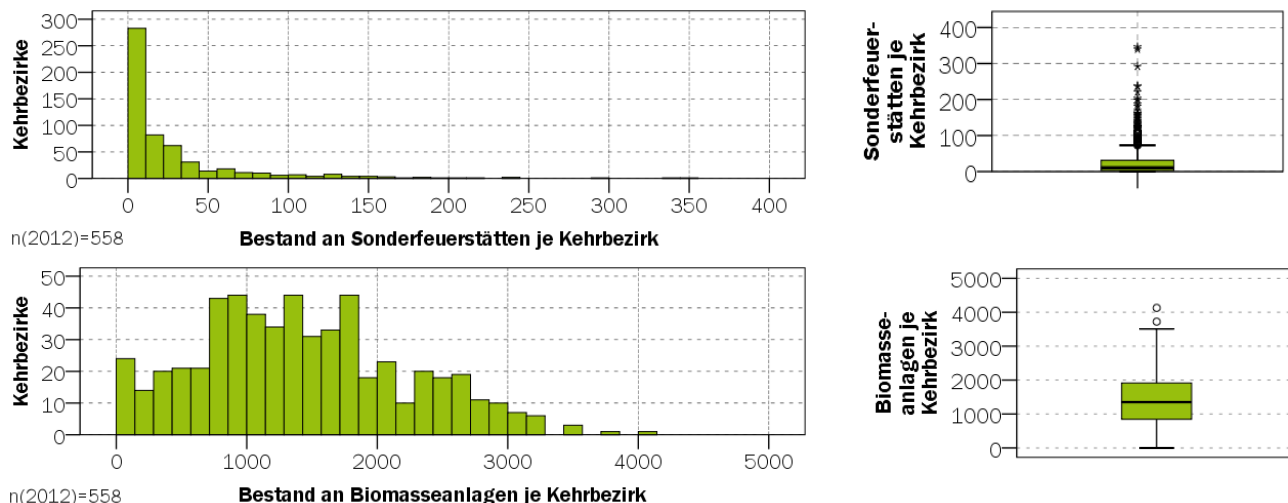


Abbildung A- 3 Häufigkeitsverteilung in Form von Histogramm (links) und Box-Plot-Diagramm (rechts) für die drei Technologiegruppen sowie Biomasseanlagen; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 (n=558)

### A 2.1.1 Primärstatistische Erhebungen zum Brennstoffeinsatz

Tabelle A- 4 Anzahl der Teilnehmer mit Angaben zum Brennstoffeinsatz bei den EF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Online-Erhebung 2017 (n=46)

Technologiegruppen	Teilnehmer mit Angaben zu den Einzelraumfeuerungen	Teilnehmer, mit vergleichbar geschätzten Einsatz	Antwortquote bei den Einzelraumfeuerungen	Anteil vergleichbarer Einsatz an den Angaben zu den EF
Badeofen	24	11	52 %	46 %
Grundofen	36	24	78 %	67 %
Heizherd	34	28	74 %	82 %
Herd	36	30	78 %	83 %
Kamineinsatz/ Kaminkassette	43	33	93 %	77 %
Kaminofen	46	-	100 %	-
Offene Kamine	33	4	78 %	12 %
Warmluftofen	36	30	78 %	83 %

Tabelle A- 5 Anzahl der Teilnehmer mit Angaben zum Brennstoffeinsatz bei den ZF-Brennstoffsoriment; basierend auf den Teilnehmern der Online-Erhebung 2017 (n=46)

Brennstoff-soriment	Teilnehmer mit Angaben zu den Zentralfeuerstätten	Teilnehmer, mit vergleichbar geschätzten Einsatz	Antwortquote bei den Zentralfeuerstätten	Anteil vergleichbarer Einsatz an den Angaben zu den ZF
Scheitholz	31	-	100 %	- %
Hackschnitzel	21	16	68 %	76 %
Pellet	20	3	65 %	15 %
Sägeprodukt	12	12	39 %	100 %
Restholz	9	8	29 %	89%
NawaRo	6	6	19 %	100 %

Tabelle A- 6 Anzahl der Teilnehmer mit Angaben zum Brennstoffeinsatz bei den SF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Online-Erhebung 2017 (n=19)

Technologie-gruppen	Teilnehmer mit Angaben zu den Sonderfeuerstätten	Teilnehmer, mit vergleichbar geschätzten Einsatz	Antwortquote bei den Sonderfeuerstätten	Anteil vergleichbarer Einsatz an den Angaben zu den SF
Backofen	19	-	79 %	-
Brennofen	5	4	21 %	80 %
Kochkessel	9	5	38 %	56 %
Lufterhitzer	3	1	13 %	33 %
Räucheranlagen	7	4	29 %	57 %
Waschkessel	8	5	33 %	63 %
SF-Sonstige	7	6	29 %	86 %

Tabelle A- 7 Anzahl der Teilnehmer mit Angaben zur sektoralen Zuordnung bei den Kleinfeuerungsanlagen; basierend auf den Teilnehmern der Online-Erhebung 2017 (n=7)

Einzelraum-feuerungen	Kamin- ofen	KEinsatz/ Kkassette	Wärmeluft- ofen	Grund- ofen	Offener Kamin	Herd	Heiz- herd	Bade- ofen
Anzahl der Teilnehmer	7	7	5	6	6	6	6	6
Zentralfeuerstätten	Scheitholz	Hackschnitzel	Sägeprodukte	Pellets	Restholz	NawaRo		
<50 kW	6	6	6	6	6	5		
50≤100 kW	6	5	6	5	6	5		
100 kW	6	5	6	5	6	5		
Sonderfeuerstätten	Back- ofen	Brenn- ofen	Koch- kessel	Lufter- hitzer	Räucher- anlage	Wasch- kessel	SF-Sonstige	
Anzahl der Teilnehmer	6	5	6	5	5	6	3	

### A 2.1.1 Sekundärstatistische Erhebungen zur Kehrbezirkscharakterisierung

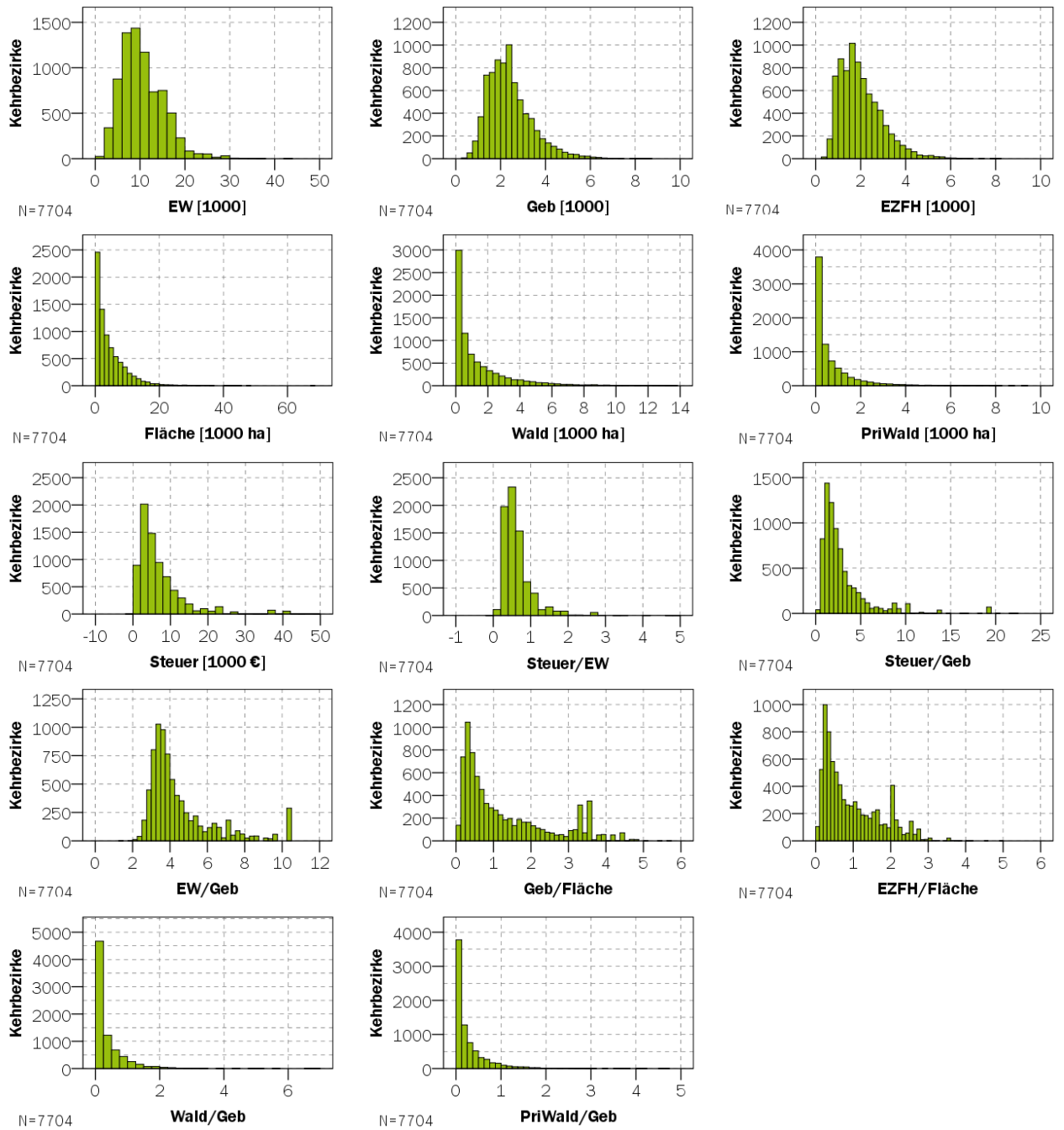
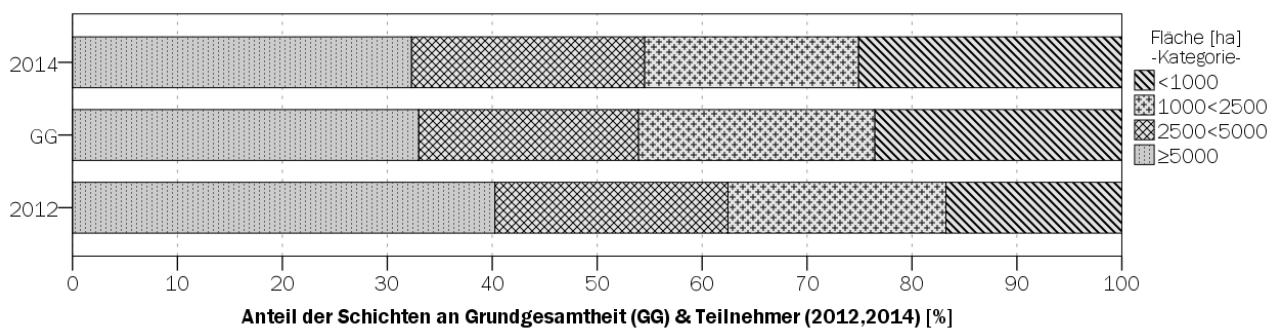
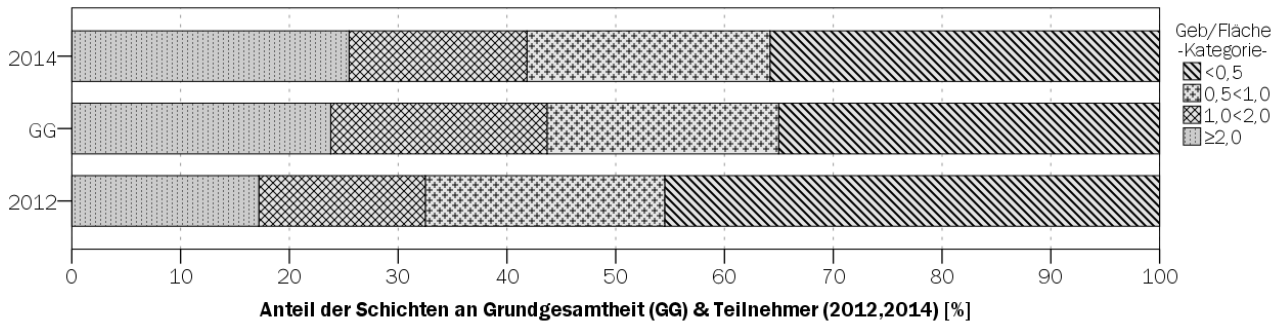
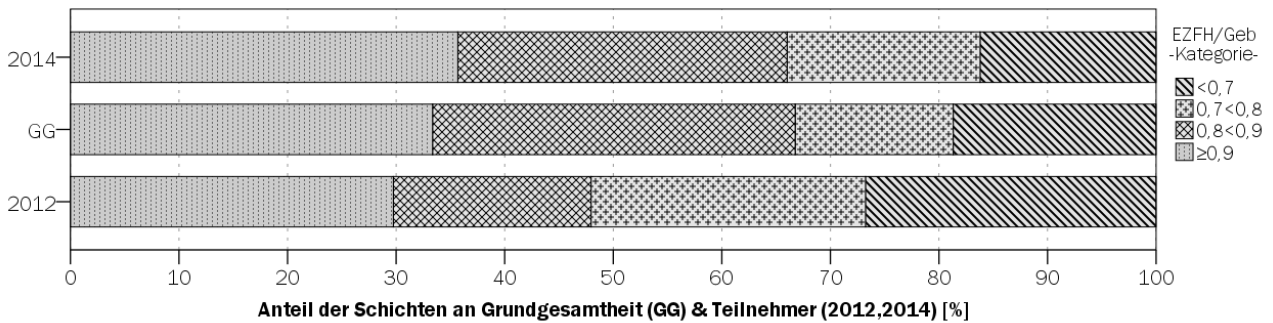
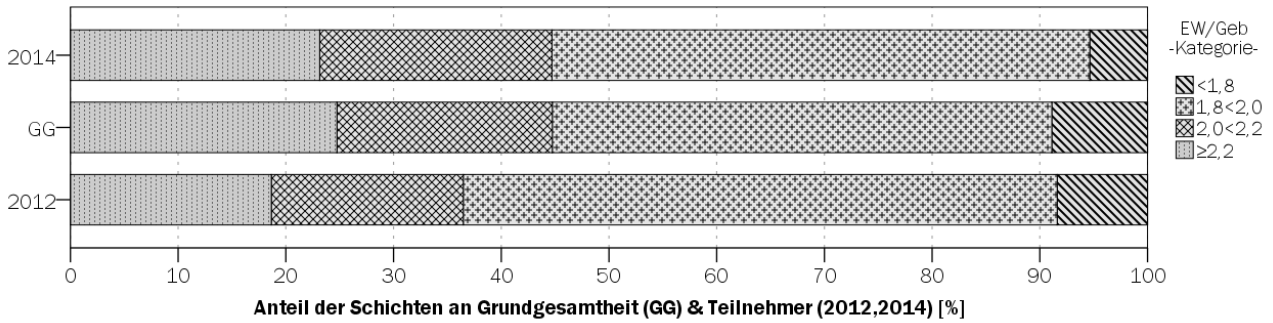
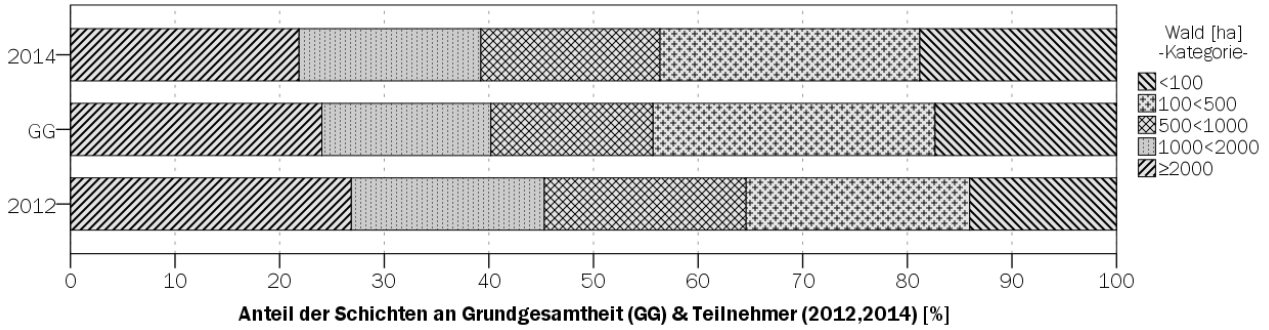
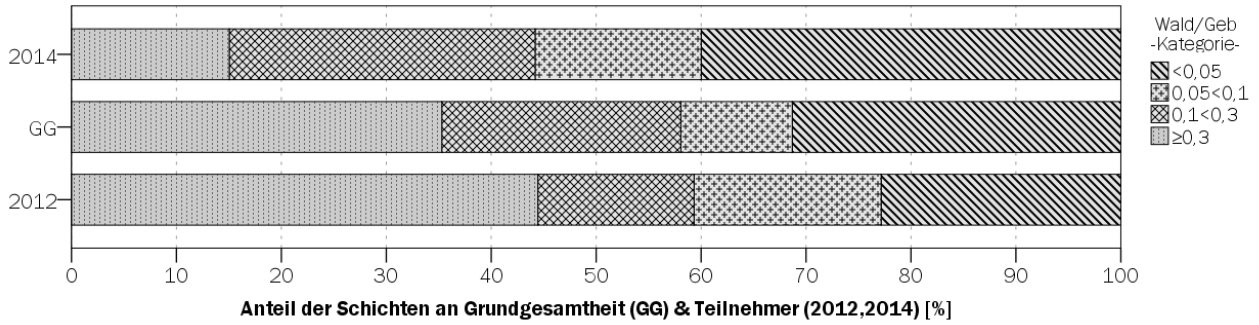


Abbildung A-4 Häufigkeitsverteilung der Ausprägung der regionalen Parameter in der Grundgesamtheit (=alle Kehrbezirke); basierend auf der Regionalstatistik 2014 (N=7.704)







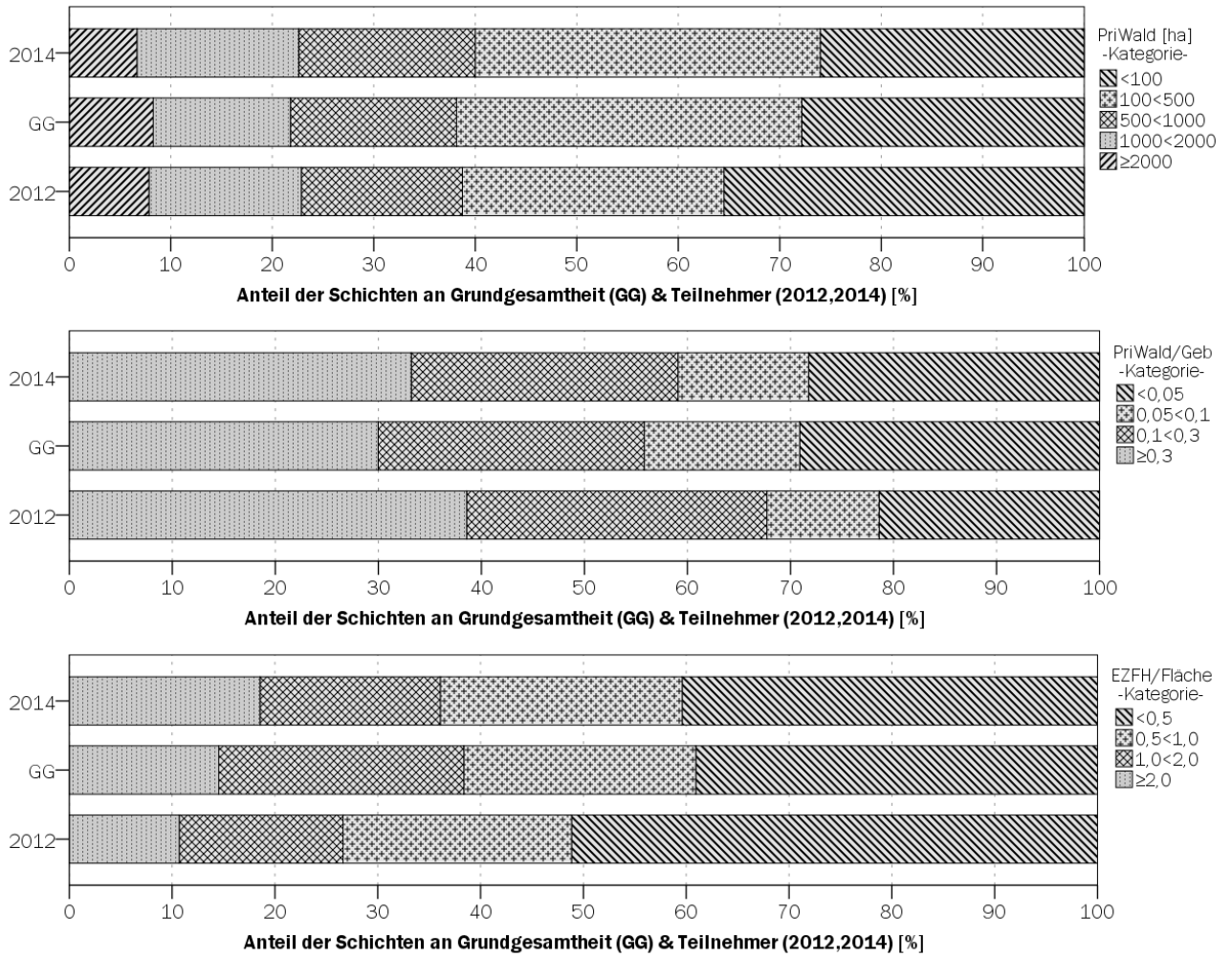
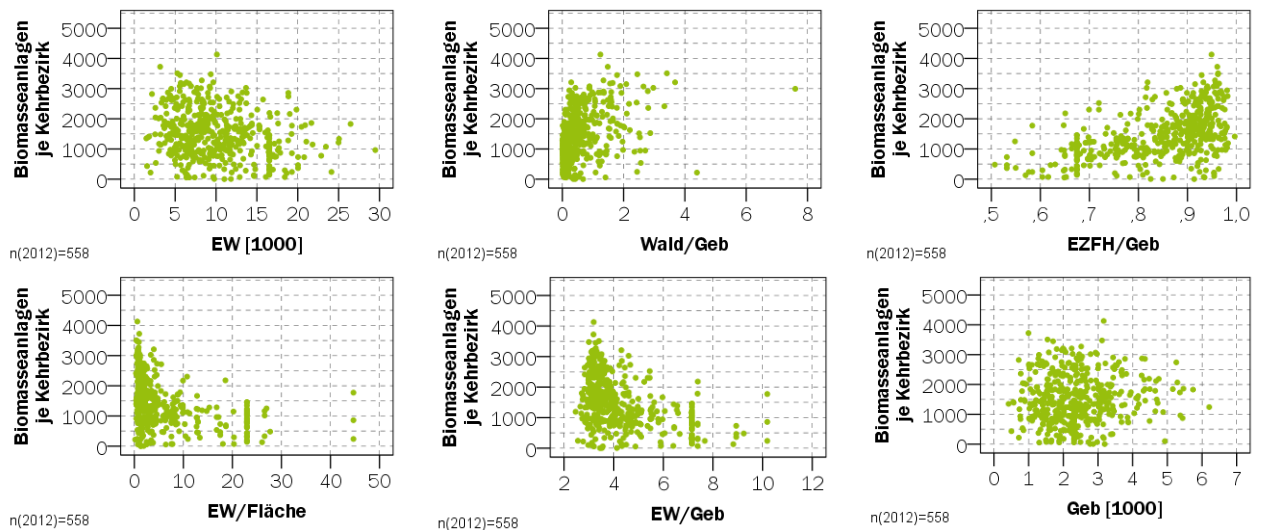
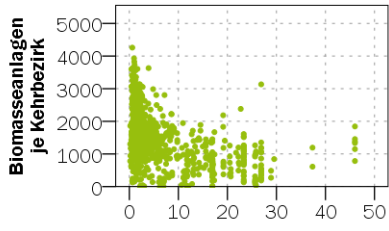


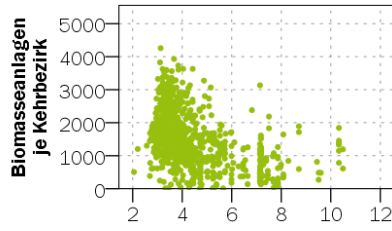
Abbildung A- 5 Gegenüberstellung der Anteile der einzelnen Schichten bei den Teilnehmern der beiden Erhebungen 2012 und 2014 sowie der Grundgesamtheit für verschiedene regionalen Parameter





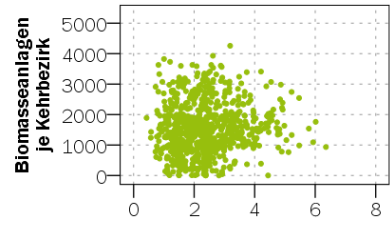
n(2014)=844

**EW/Fläche**



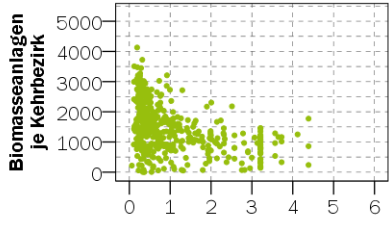
n(2014)=844

**EW/Geb**



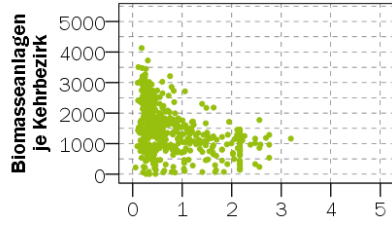
n(2014)=844

**Geb [1000]**



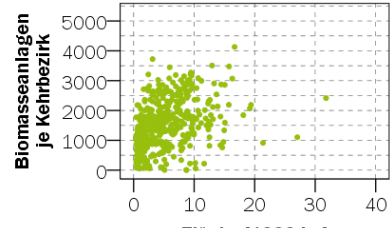
n(2012)=558

**Geb/Fläche**



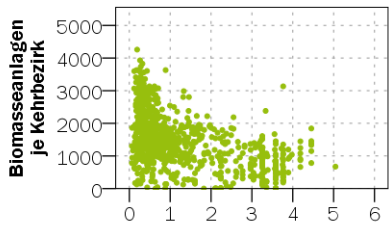
n(2012)=558

**EZFH/Fläche**



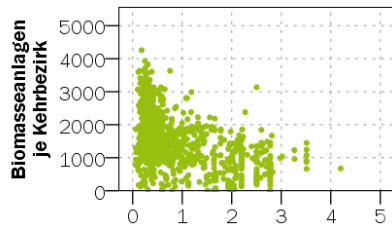
n(2012)=558

**Fläche [1000 ha]**



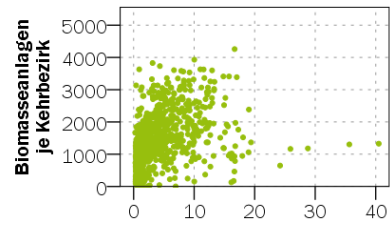
n(2014)=844

**Geb/Fläche**



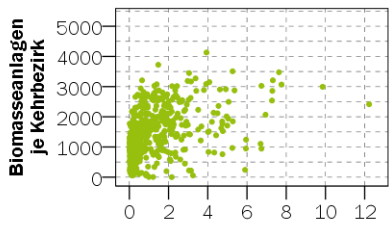
n(2014)=844

**EZFH/Fläche**



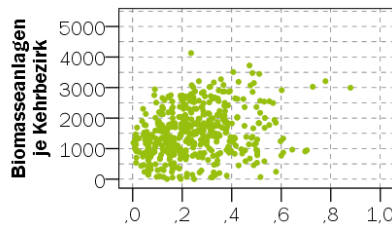
n(2014)=844

**Fläche [1000 ha]**



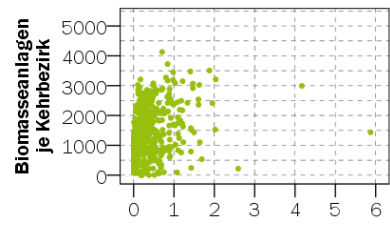
n(2012)=558

**Wald [1000 ha]**



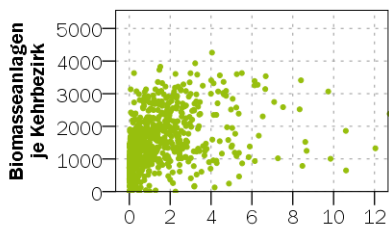
n(2012)=558

**Wald/Fläche**



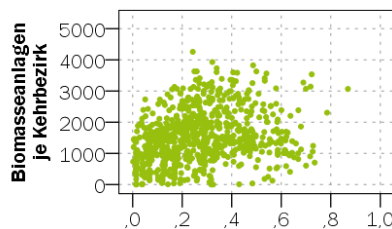
n(2012)=558

**PriWald/Geb**



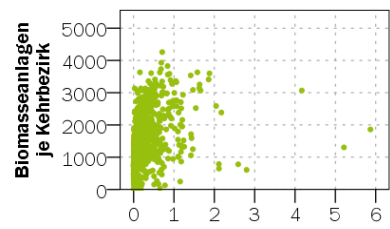
n(2014)=844

**Wald [1000 ha]**



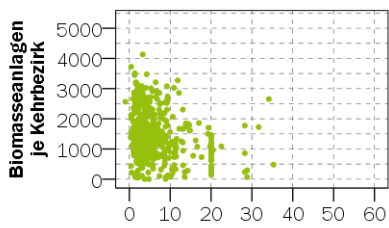
n(2014)=844

**Wald/Fläche**



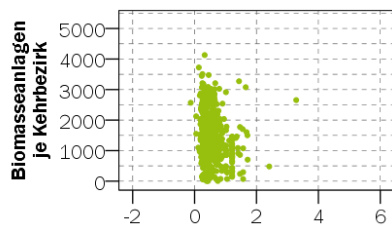
n(2014)=844

**PriWald/Geb**



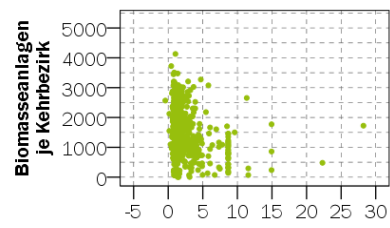
n(2012)=558

**Steuer [1000 €]**



n(2012)=558

**Steuer/EW**



n(2012)=558

**Steuer/Geb**



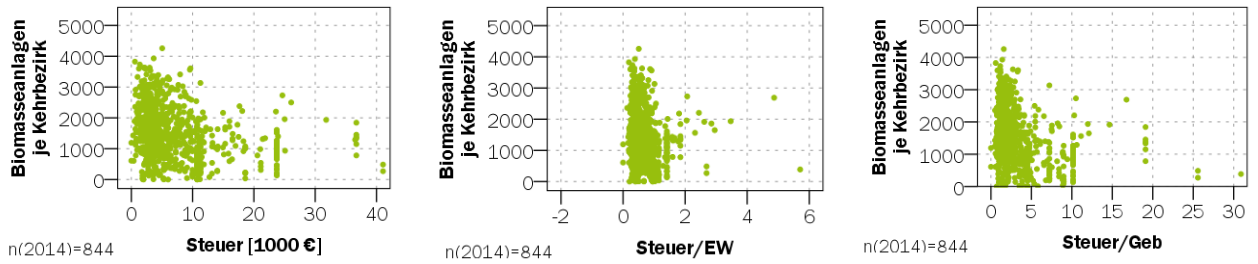


Abbildung A- 6 Form des Zusammenhangs zwischen dem Bestand an Biomasseanlagen und den verschiedenen regionalen Parametern; basierend auf den Teilnehmern den Erhebungen 2012 (n=558) und 2014 (n=844)

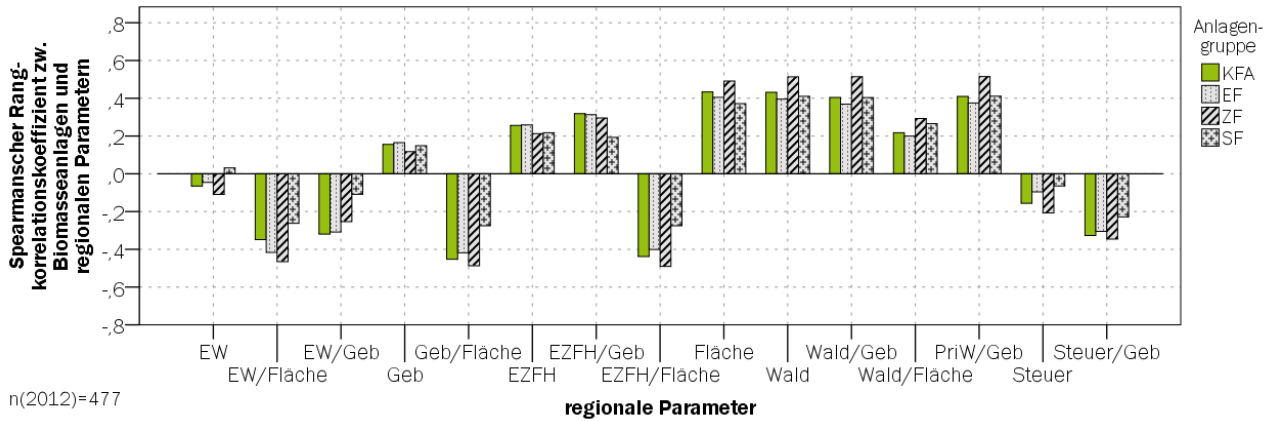
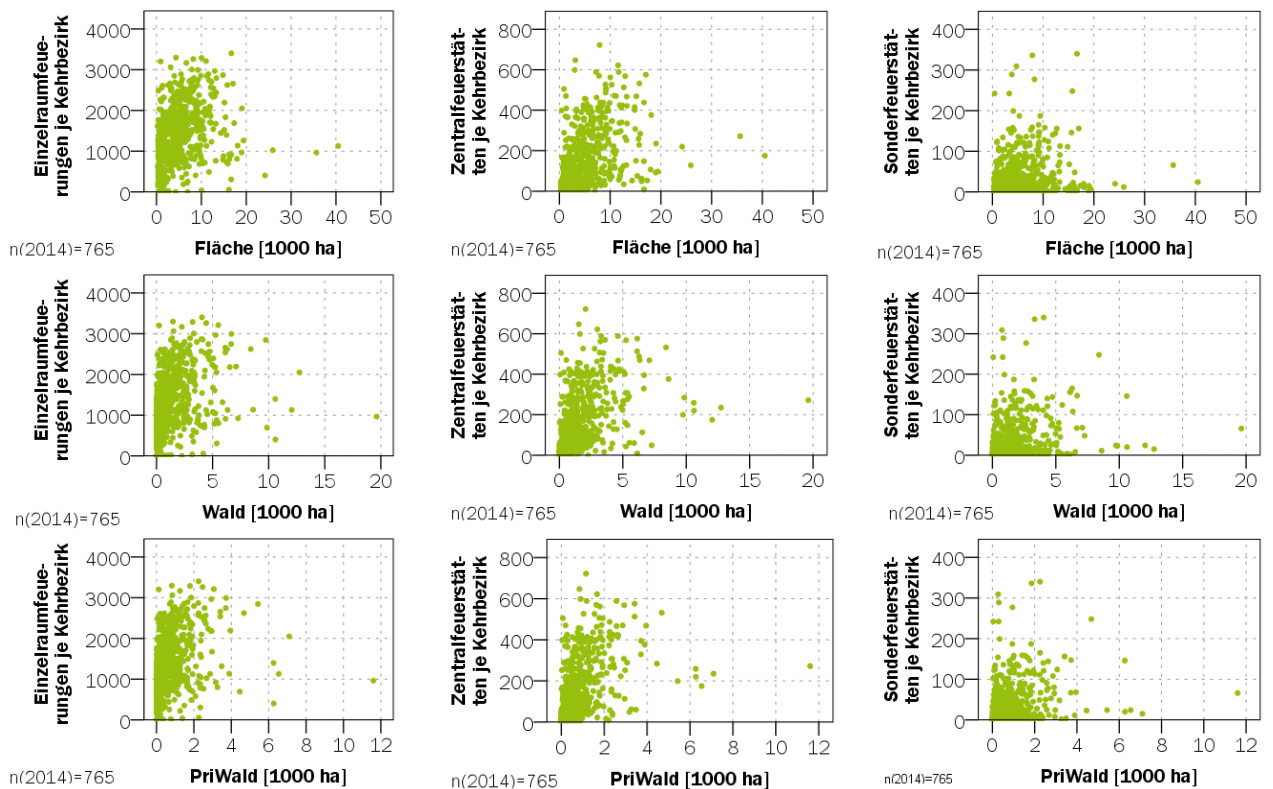


Abbildung A- 7 Stärke des Zusammenhangs zwischen dem Bestand an Biomasseanlagen (BMA) bzw. den drei Technologiegruppen (EF, ZF, SF) und den regionalen Parametern unter Verwendung des Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$ ; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=477)



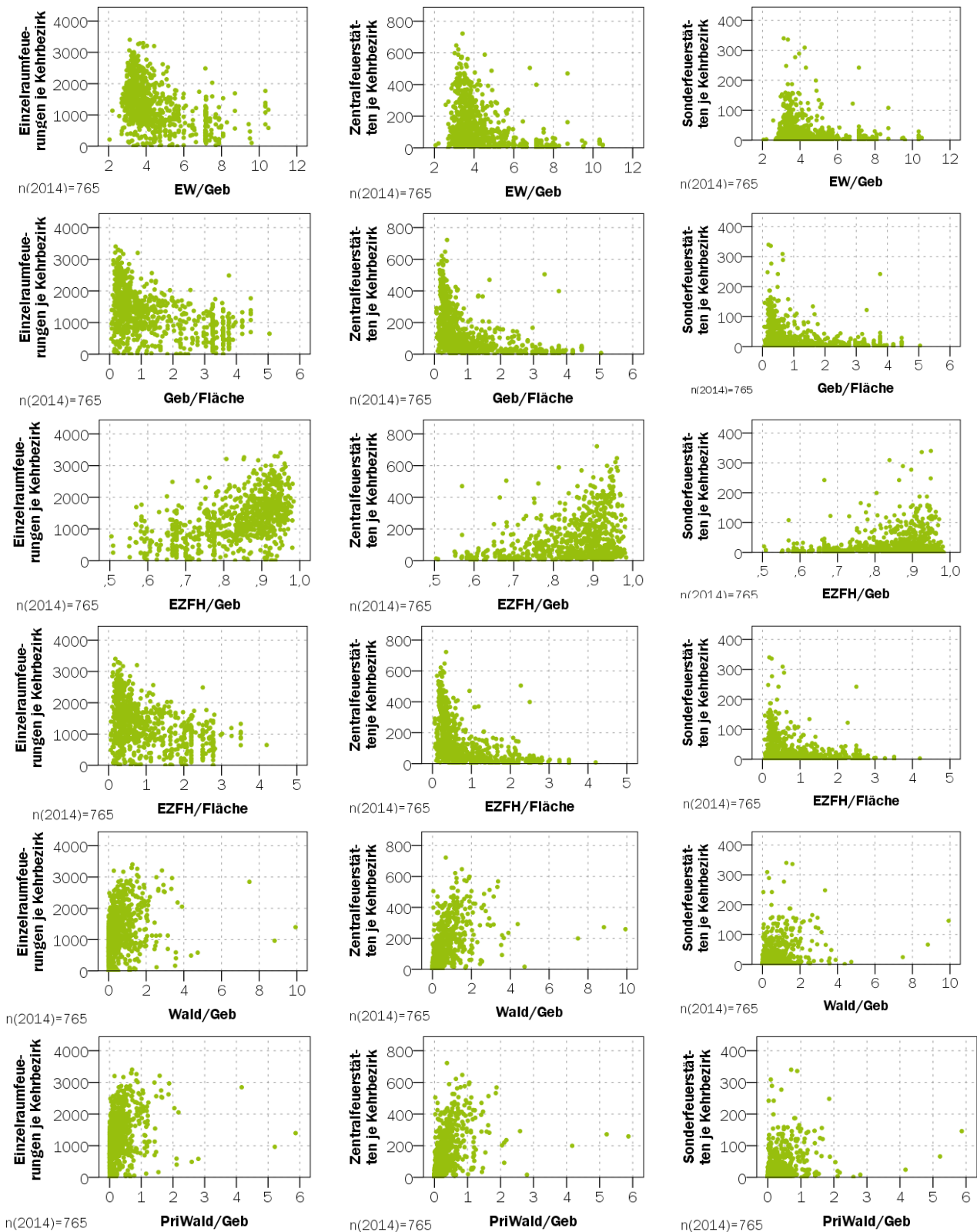


Abbildung A- 8 Form des Zusammenhangs zwischen dem Bestand der drei Technologiegruppen und verschiedenen regionalen Parametern; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

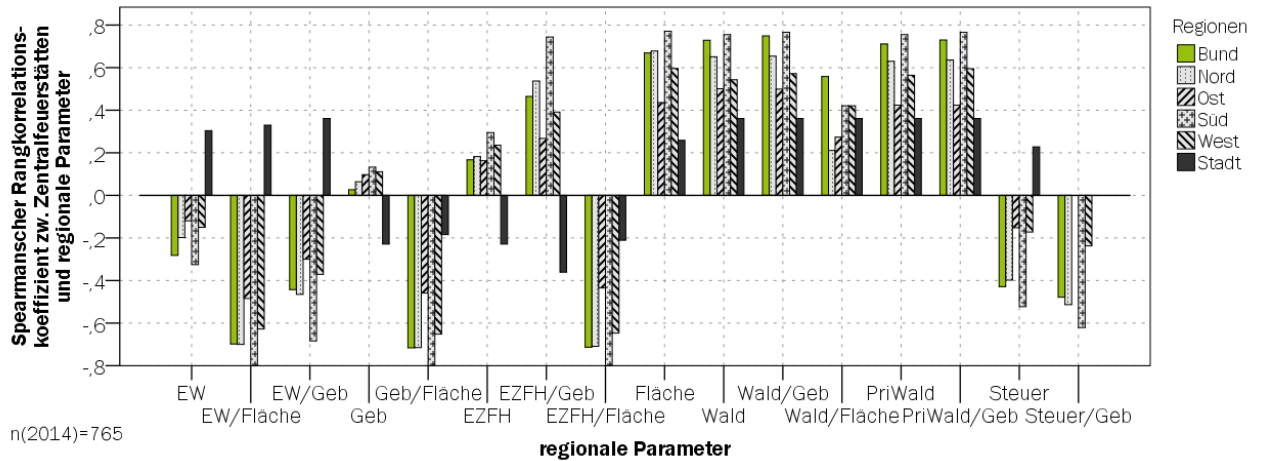


Abbildung A-9 Stärke des Zusammenhangs zwischen dem Bestand an Zentralfeuerstätten und den regionalen Parametern unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$ ; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

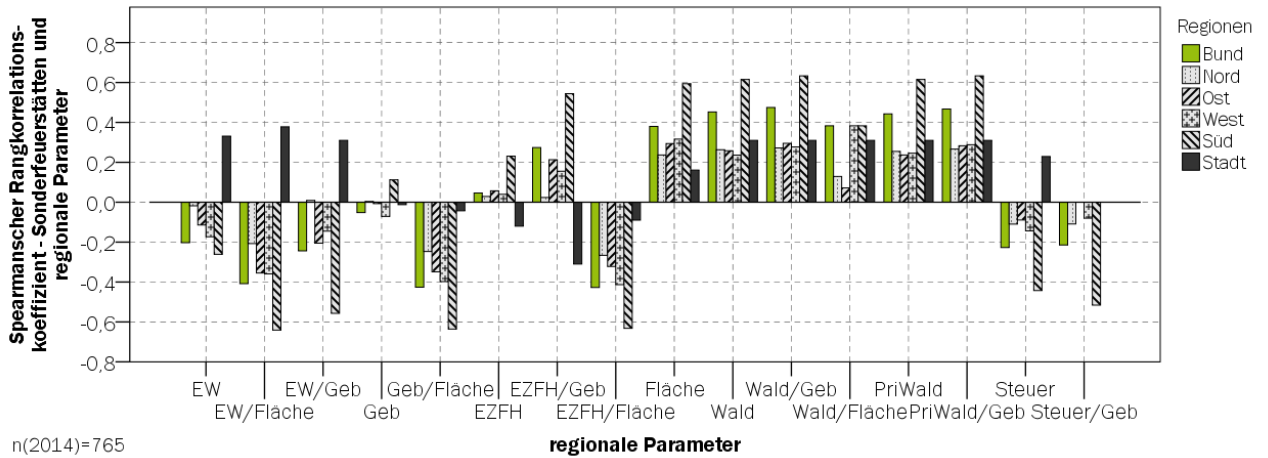
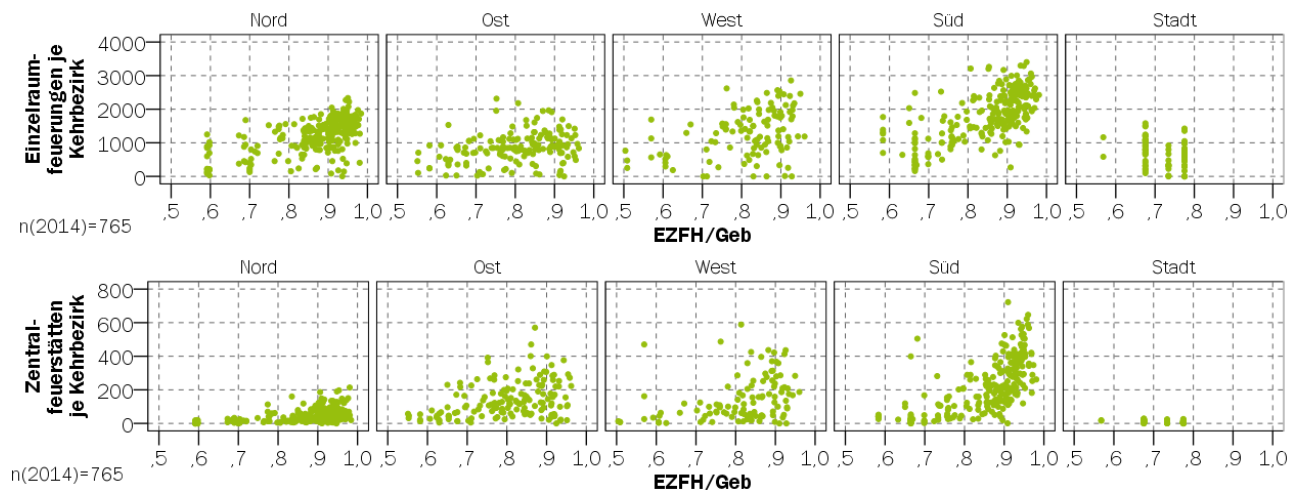
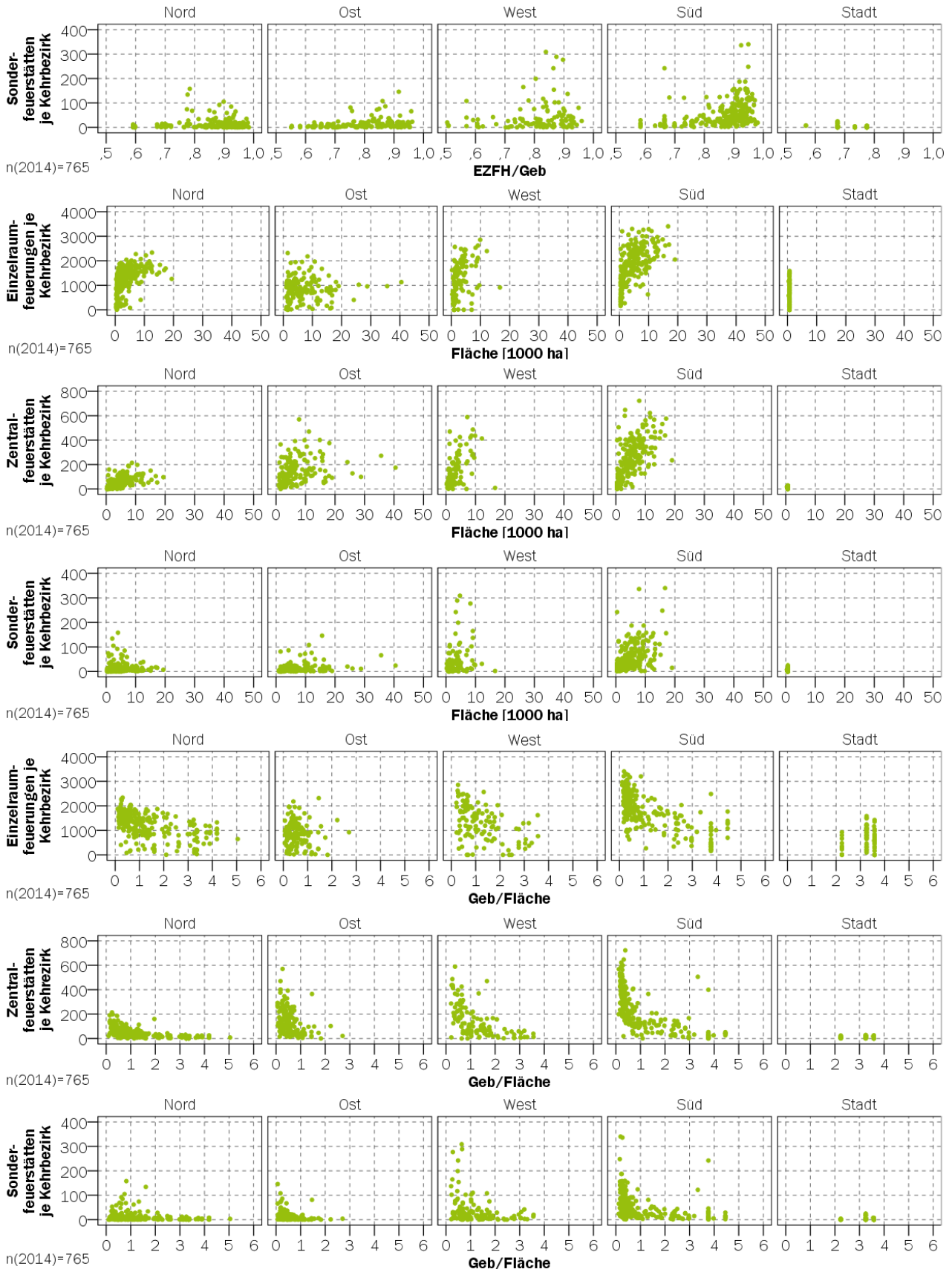


Abbildung A-10 Stärke des Zusammenhangs zwischen dem Bestand an Sonderfeuerstätten und den regionalen Parametern unter Verwendung des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten  $r_{SP}$ ; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)





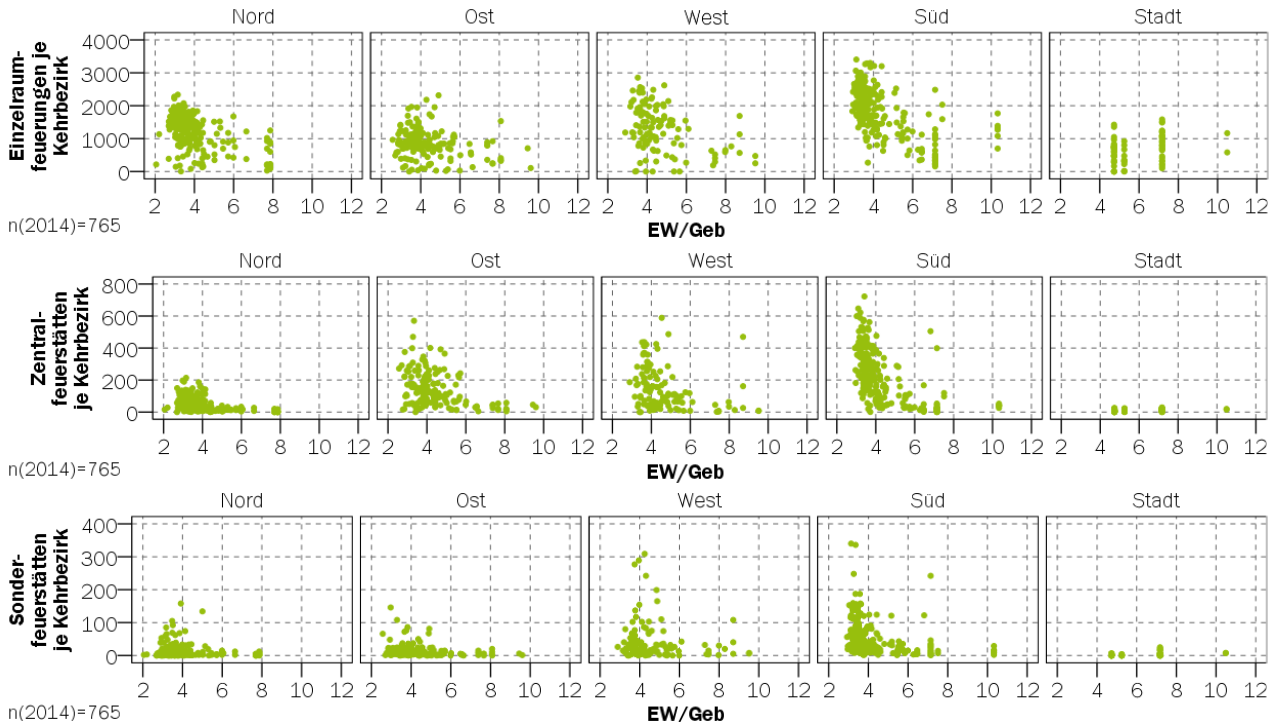
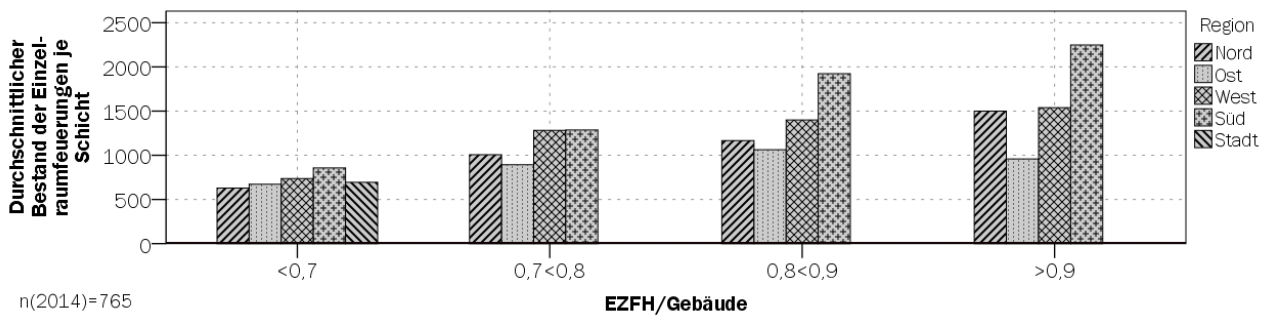


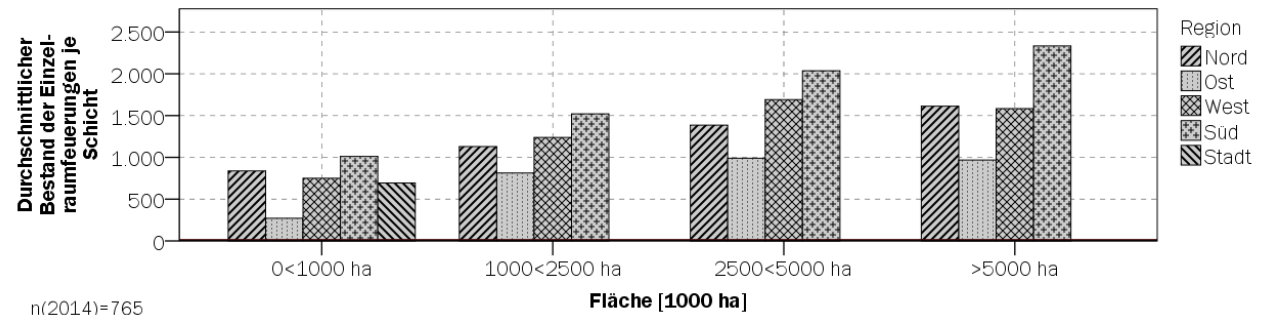
Abbildung A- 11 Form des Zusammenhangs zwischen dem Bestand der drei Technologiegruppen (Einzelraumfeuerungen, Zentral- Sonderfeuerstätten) und verschiedenen regionalen Parametern je Region; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

## A 2.2 Hochrechnungsergebnisse

### Einzelraumfeuerungen



n(2014)=765



n(2014)=765



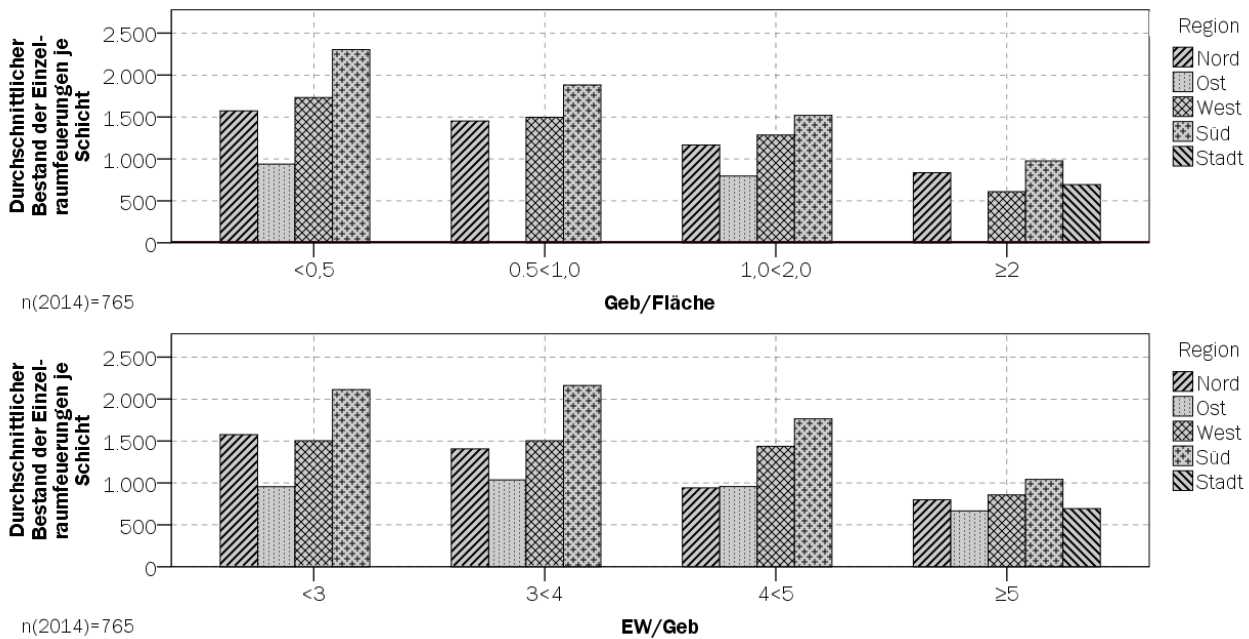


Abbildung A- 12 Durchschnittlicher Bestand der Einzelraumfeuerungen je Schicht unter Berücksichtigung der fünf Regionen (Balken) und Ausprägung der regionalen Parameter (x-Achse); basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Tabelle A- 8 Auswahl der im iterativen Prozess erstellten Regressionsmodellen zum Bestand der Einzelraumfeuerungen; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Modell	regionale Parameter*	R <sup>2</sup> <sub>korr.</sub>	Lineari- tät.	Homoske- dastizität.	Multikol- linearität.	Normalver- teilung
1	EW/Fläche*, Wald/Fläche*, Gebäude/Fläche	0,232	--	--	--	++
2	Gebäude/Fläche, EZFH/Gebäude, Wald/Fläche	0,324	-	-	++	+
3	Gebäude/Fläche, EZFH/Gebäude, Wald/Fläche, Steuer/Gebäude	0,344	+	+	+	++
4	Gebäude/Fläche, EZFH/Gebäude, PriWald/Fläche, Steuer/Gebäude	0,350	+	+	+	+
4reg		0,530	++	++	++	++
5	EZFH/Fläche, Wald/Gebäude,	0,215	-	-	++	++
6	EZFH/Fläche, Wald/Fläche, EZFH/Gebäude, Steuer/Geb	0,350	-	-	++	++
7	EZFH/Fläche, PriWald/Fläche, EZFH/Gebäude, Steuer/Geb	0,355	+	+	++	++
7reg		0,532	++	++	++	++
8	PriWald/Fläche, Gebäude/Fläche, EZFH/Geb, EW/WE	0,388	++	++	+	++
8reg		0,535	++	++	+	++

\*regionaler Parameter ist in diesem Modell nicht signifikant Sig.>0,05

Tabelle A-9 Analyse der Rahmenbedingungen Linearität, Homoskedastizität Normalverteilung sowie Multikollinearität für die Regressionsmodelle 4(1), 7(2) und 8(3) zur Beschreibung des Bestands an Einzelraumfeuerungen; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

BUND 1			<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			PriWald/Fläche	0,758	1,319
			Geb/Fläche	0,422	2,371
			EZFH/Geb	0,480	2,082
			Steuer/Geb	0,614	1,628
REGION 1			<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			PriWald/Fläche	0,635	1,574
			Geb/Fläche	0,317	3,157
			EZFH/Geb	0,366	2,729
			Steuer/Geb	0,573	1,744
BUND 2			<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			EZFH/Fläche	0,543	1,840
			EZFH/Geb	0,558	1,793
			PriWald/Fläche	0,762	1,312
			Steuer/Geb	0,630	1,588
REGION 2			<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			EZFH/Fläche	0,424	2,358
			EZFH/Geb	0,445	2,246
			PriWald/Fläche	0,638	1,566
			Steuer/Geb	0,580	1,725
BUND 3			<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			Geb/Fläche	0,422	2,371
			EZFH/Geb	0,480	2,082
			PriWald/Fläche	0,758	1,319
			Steuer/Geb	0,614	1,628



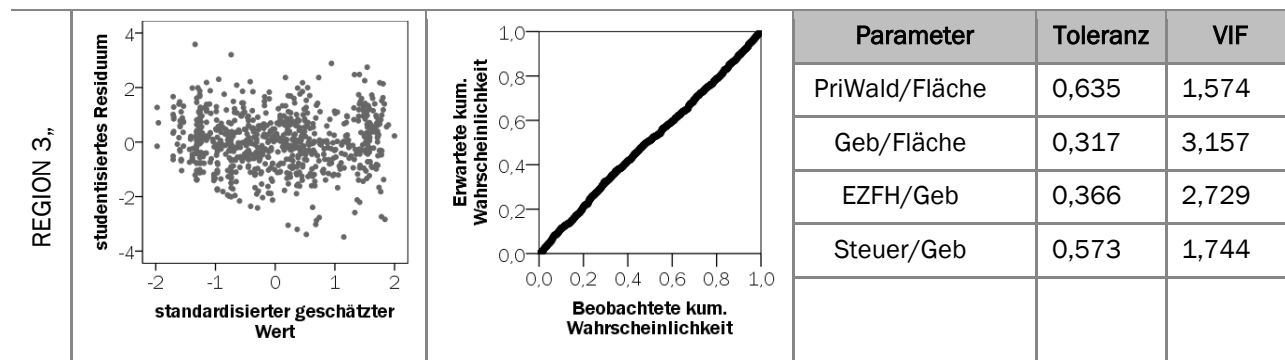


Tabelle A- 10 Zu- bzw. Rückbau des Bestandes an Einzelraumfeuerungen 2014 gegenüber 2012; basierend auf den Teilnehmern der Erhebungen 2012 und 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=176)

Technologie	Nord	Ost	West	Süd	Stadtstaaten
Badeofen	0,3 %	5,1 %	-13,3 %	-4,8 %	-
Grundofen	4,6 %	5,6 %	-2,0 %	8,7 %	6,6 %
Heizherd	-5,1 %	3,4 %	-6,6 %	6,4 %	20,1 %
Herd	-7,3 %	22,9 %	-2,8 %	1,6 %	-5,9 %
Kamineinsatz/Kaminkassette	9,9 %	11,2 %	0,4 %	14,6 %	7,5 %
Kaminofen	4,7 %	15,0 %	1,1 %	6,4 %	7,3 %
Offener Kamin	-2,2 %	11,3 %	10,1 %	1,2 %	-0,1 %
Warmluftofen	1,1 %	10,3 %	2,8 %	1,6 %	-8,0 %

Tabelle A- 11 Schätzung des Bestandes an Einzelraumfeuerungen in 2012 und 2014 differenziert für die Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765), für die Erhebung mit Angaben zur Technologie >95 % (n=477) sowie den Teilnehmern der Erhebungen 2012 und 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=176)

Technologie	Bestand 2012 Rückrechnung	Bestand 2012 Regressionsmodell	Bestand 2014
Badeofen	72.000 ± 6.600	64.000 ± 3.000	66.000 ± 6.400
Grundofen	492.000 ± 32.100	454.000 ± 12.400	510.000 ± 33.700
Heizherd	73.000 ± 7.900	56.300 ± 3.100	74.000 ± 8.000
Herd	730.00 ± 56.700	842.000 ± 22.600	720.000 ± 57.600
Kamineinsatz/Kaminkassette	945.000 ± 47.400	869.000 ± 14.900	1.040.000 ± 52.200
Kaminofen	5.081.000 ± 138.300	5.289.000 ± 52.800	5.370.000 ± 148.000
Offener Kamin	824.000 ± 42.400	714.000 ± 13.600	833.000 ± 44.000
Warmluftofen	1.066.00 ± 62.400	903.000 ± 19.300	1.095.000 ± 63.900
EF-Sonstige	76.000 ± 21.700	2.000 ± 300	262.000 ± 56.900
Einzelraumfeuerungen	9.359.000 ± 131.000	9.193.300 ± 91.000	9.970.000 ± 140.000

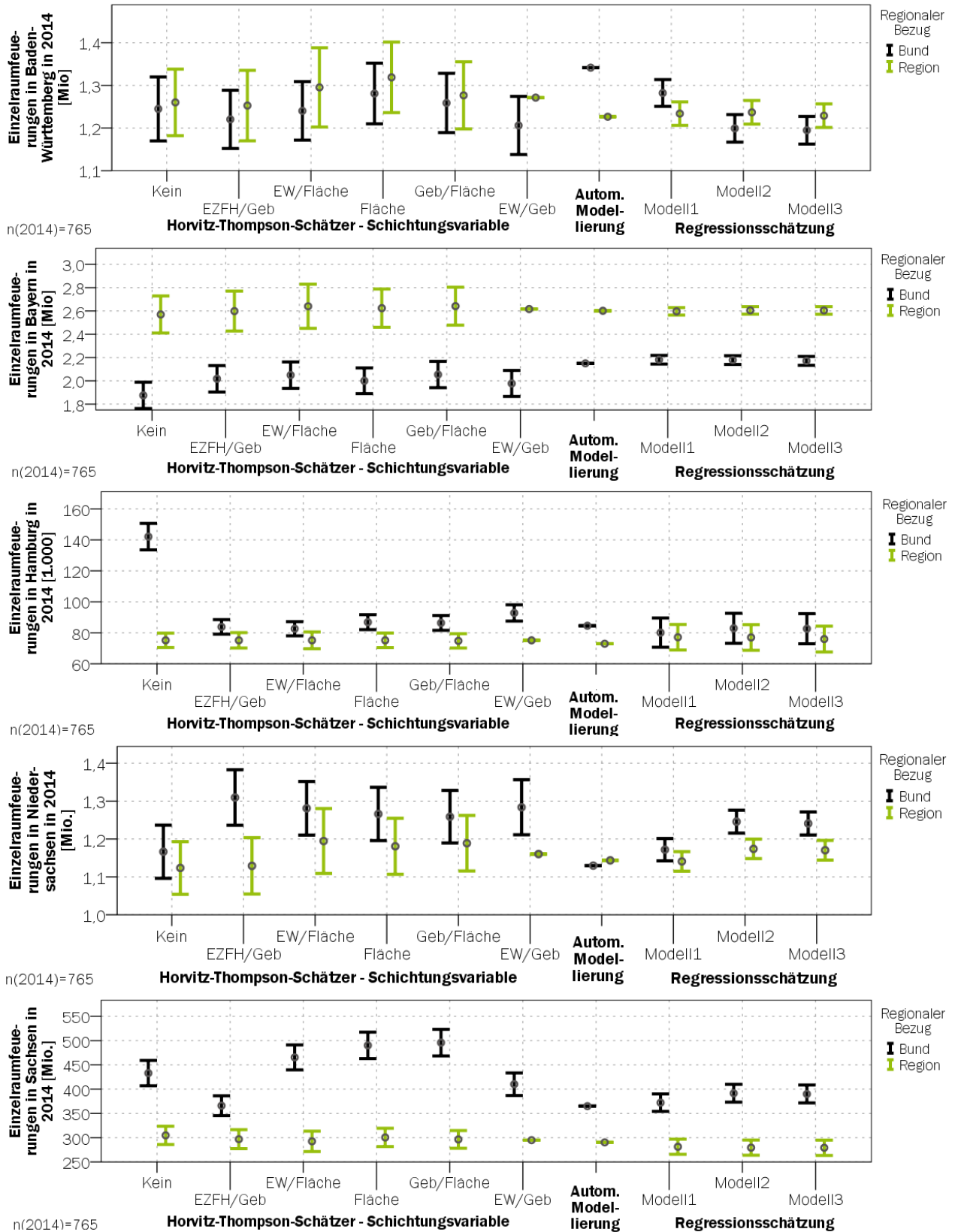


Abbildung A- 13 Geschätzter Bestand der Einzelraumfeuerungen in 2014 für fünf Bundesländer unter Verwendung der Horvitz-Thompson-Schätzer, der Automatischen linearen Modellierung und der Regressionsschätzung; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Zentralfeuerstätten

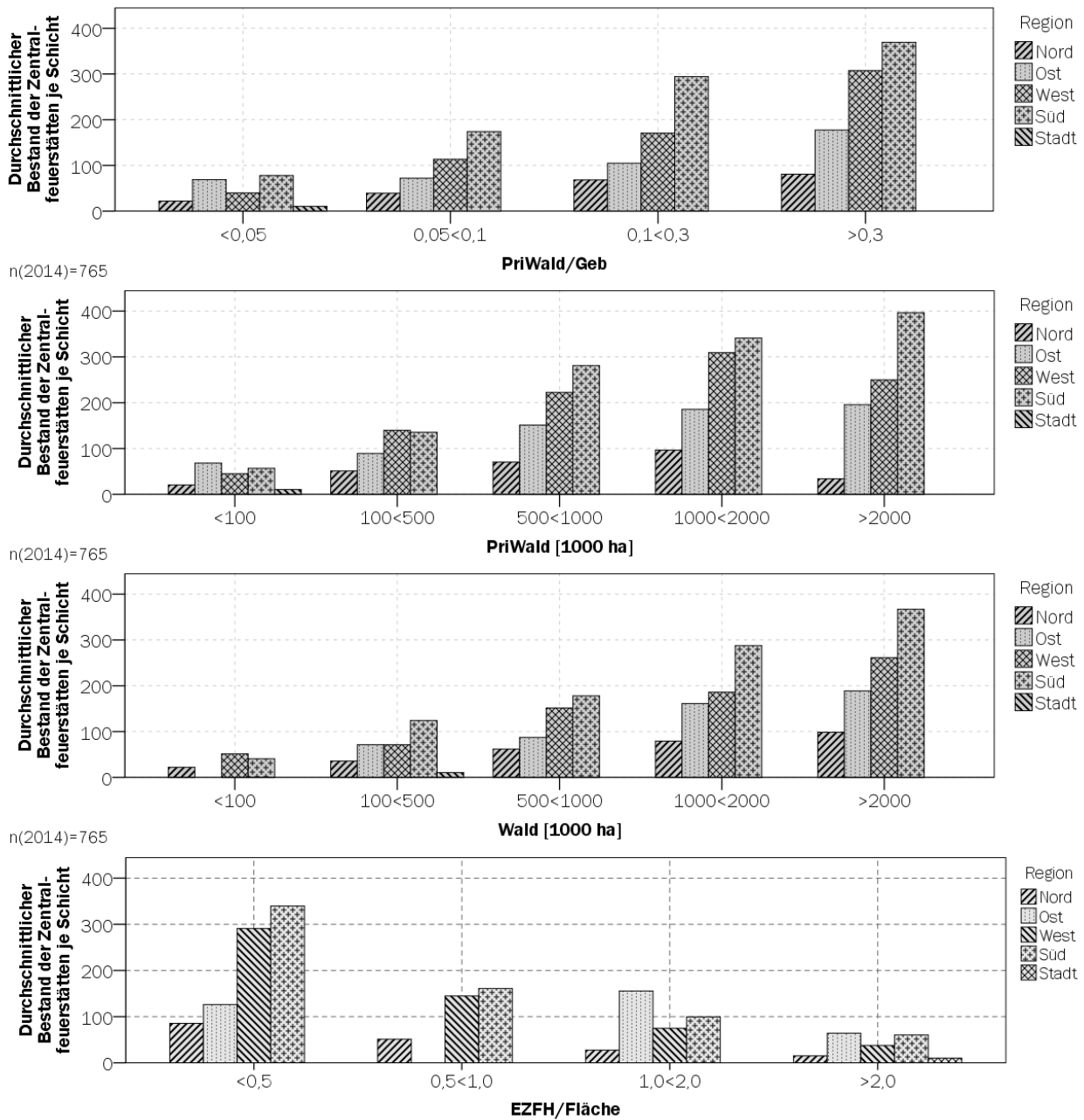


Abbildung A- 14 Durchschnittlicher Bestand der Zentralfeuerstätten je Schicht unter Berücksichtigung der fünf Regionen (Balken) und regionalen Parameter (x-Achse); basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Tabelle A- 12 Auswahl der im iterativen Prozess erstellten Regressionsmodellen zur Beschreibung des Bestands an Zentralfeuerstätten; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Mod.	regionale Parameter*	R <sup>2</sup> <sub>korr.</sub>	Linea- rität.	Homoske- dastizität	Multikol- linearität.	Normalver- teilung
1	EW/Fläche, EZFH/Geb, Wald/Fläche	0,297	--	--	+	-
2	EZFH/Fläche, Wald/Fläche	0,326	--	--	+	-
3	Geb/Fläche, EZFH/Geb, Wald/Fläche	0,331	--	--	+	-
3reg		0,528	--	--	++	-
4	EZFH/Geb, EZFH/Fläche, Wald/Fläche, PriWald/Geb	0,370	--	--	+	-
4reg		0,544	--	--	++	-
Log1	EW/Fläche, EZFH/Geb	0,360	-	-	+	-
Log2	Geb/Fläche, EZFH/Geb, Wald/Fläche		-	-	++	-
Log3	EW/Fläche, EZFH/Geb, Ste/Geb, Wald/Fläche, PriWald/Wald	0,454	+	+	+	++
Log3reg		0,588	+	+	++	+
Log4	EZFH/Fläche, EZFH/Geb, Wald/Fläche, Wald/Geb	0,512	+	+	+	++
Log4reg		0,620	+	+	++	++

Tabelle A- 13 Analyse der Rahmenbedingungen Linearität, Homoskedastizität Normalverteilung sowie Multikollinearität für die Regressionsmodelle 3(1), 4(2), Log3(3) und Log4(4) zur Beschreibung des Bestands an Zentralfeuerstätten; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

		Parameter	Toleranz	VIF	
BUND 1			Geb/Fläche	0,414	2,417
			EZFH/Fläche	0,522	1,917
	Wald/Fläche	0,729	1,372		
REGION 1			Geb/Fläche	0,319	3,132
			EZFH/Fläche	0,418	2,395
	Wald/Fläche	0,595	1,681		

BUND 2			<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			PriWald/Geb	0,619	1,616
			EZFH/Fläche	0,512	1,954
			Wald/Fläche	0,605	1,652
REGION 2			<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			PriWald/Geb	0,562	1,780
			EZFH/Fläche	0,409	2,443
			Wald/Fläche	0,488	2,050
BUND LOG 1			<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			EW/Fläche	0,249	0,402
			EZFH/Geb	0,351	2,846
			Steuer/Geb	0,523	1,191
			PriWald/Wald	0,877	1,140
REGION LOG 1			<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			EW/Fläche	0,211	4,730
			EZFH/Geb	0,287	3,479
			Steuer/Geb	0,509	1,963
			PriWald/Wald	0,209	4,793
BUND LOG 2			<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			Wald/Fläche	0,466	1,767
			Wald/Geb	0,559	1,789
			EZFH/Geb	0,655	1,527

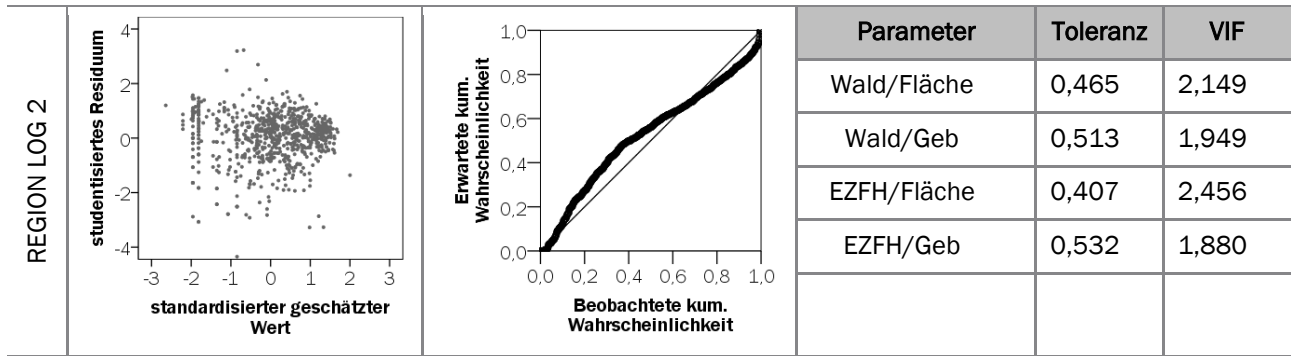
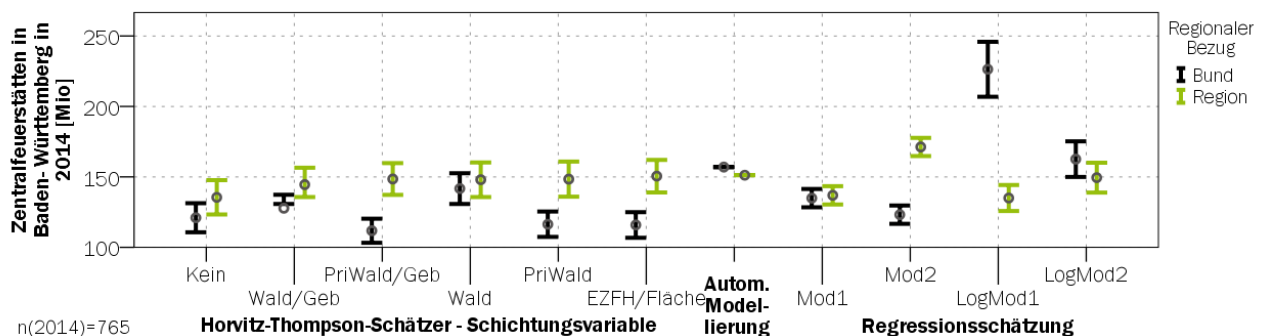


Tabelle A- 14 Zu- bzw. Rückbau des Bestandes an Zentralfeuerstätten 2014 gegenüber 2012; basierend auf den Teilnehmern der Erhebungen 2012 und 2014 mit Angaben zur Technologie &gt;95 % (n=176)

Technologie	Nord	Ost	West	Süd	Stadtstaaten
Scheitholz-ZF	-2,2 %	16,5 %	5,5 %	10,5 %	13,7 %
Hackschnitzel-ZF	12,1 %	15,4 %	4,9 %	-4,0 %	5,6 %
Sägeprodukt-ZF	0,8 %	-5,9 %	16,7 %	-10,0 %	-
Pellet-ZF	46,7 %	69,6 %	62,9 %	30,8 %	46,0 %
Holzrest-ZF	-5,4 %	-5,8 %	-10,9 %	9,3 %	-3,8 %
NawaRo-ZF	3,3 %	7,5 %	-	-4,5 %	-

Tabelle A- 15 Schätzung des Bestandes an Zentralfeuerstätten in 2012 und 2014 differenziert für die Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie &gt;95 % (n=765), für die Erhebung mit Angaben zur Technologie &gt;95 % (n=477) sowie den Teilnehmern der Erhebungen 2012 und 2014 mit Angaben zur Technologie &gt;95 % (n=176)

Technologie	Bestand 2012 Rückrechnung	Bestand 2012 Regressionsmodell	Bestand 2014
Scheitholz-ZF	824.800 ± 50.900	1.069.300 ± 2.000	865.900 ± 54.600
Hackschnitzel-ZF	40.200 ± 2.400	95.900 ± 600	40.500 ± 2.500
Sägeprodukt-ZF	12.300 ± 900	6.300 ± 100	11.900 ± 900
Pellet-ZF	154.800 ± 8.200	184.100 ± 800	229.300 ± 12.200
Holzrest-ZF	5.500 ± 500	4.700 ± 100	4.900 ± 500
NawaRo-ZF	800 ± 200	500 ± 40	800 ± 200
Zentralfeuerstätten	1.038.400 ± 33.500	1.360.800 ± 3.400	1.153.300 ± 35.100



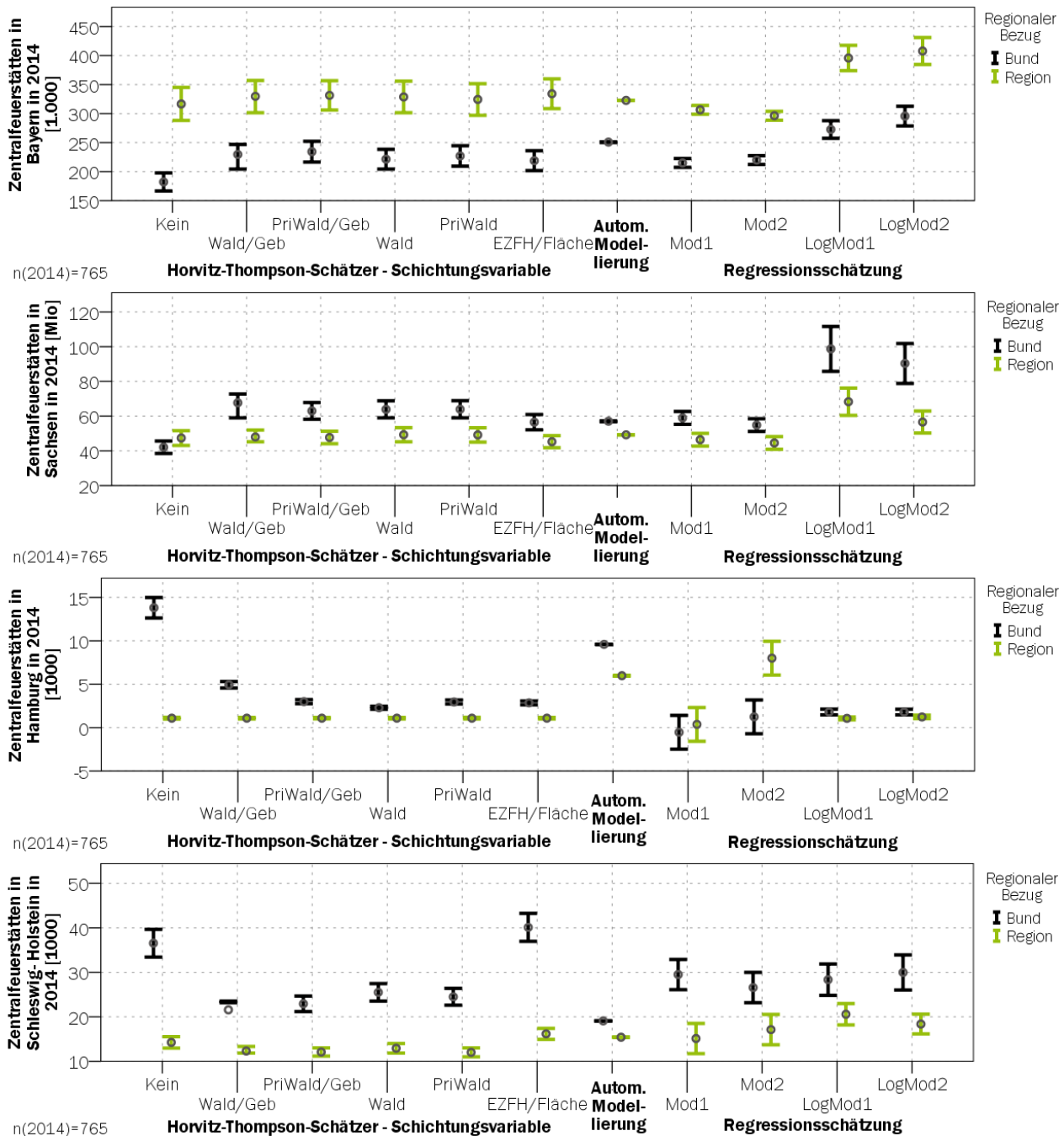


Abbildung A- 15 Geschätzter Bestand der Zentralfeuerstätten in 2014 für fünf Bundesländer unter Verwendung der Horvitz-Thompson-Schätzer, der Automatischen linearen Modellierung und der Regressionsschätzung; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)



Sonderfeuerstätten

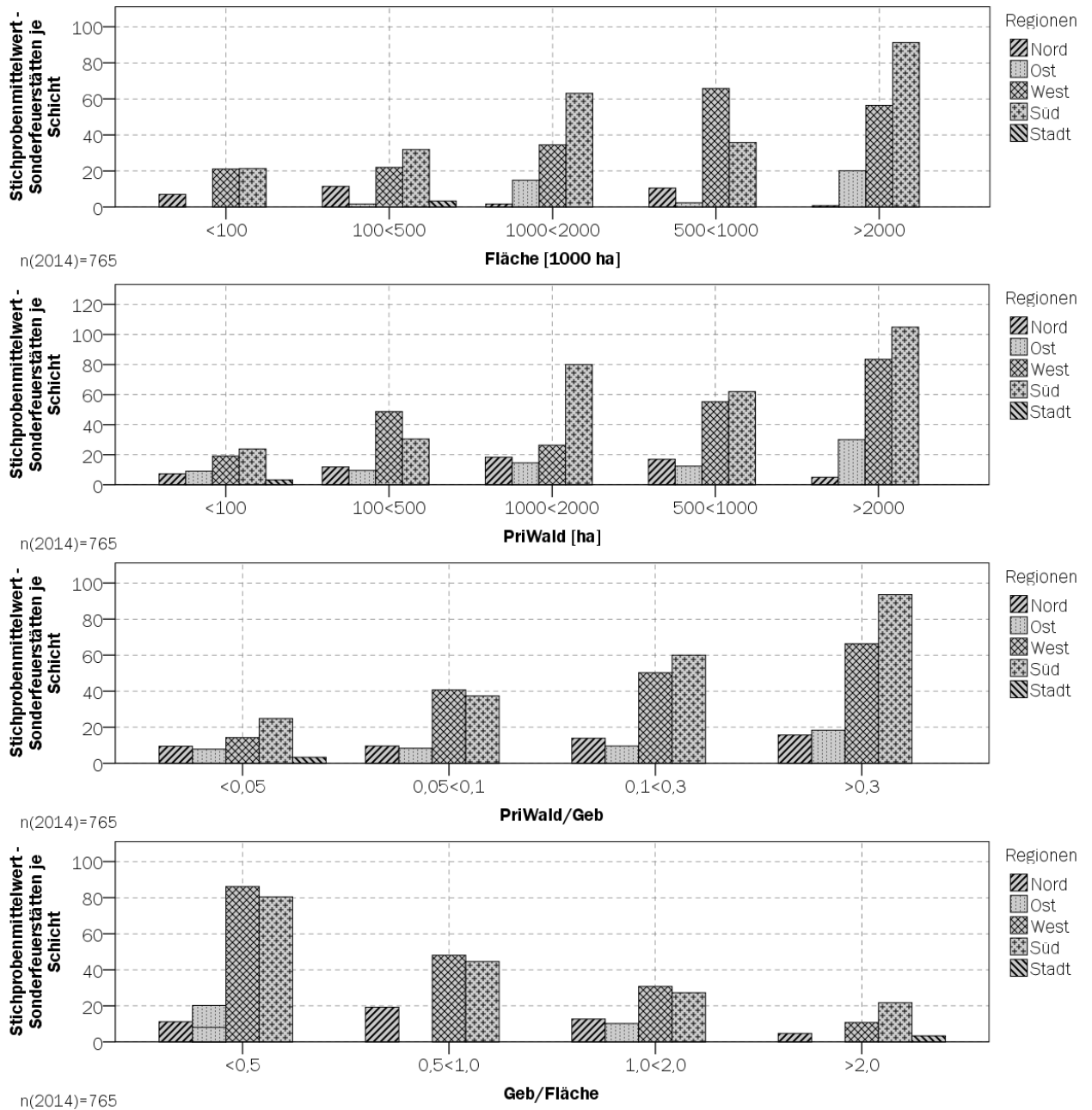
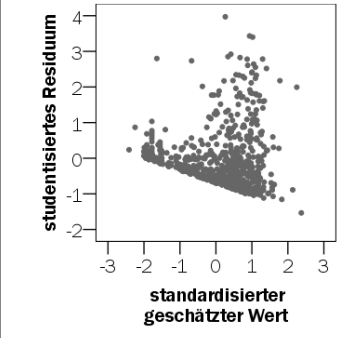
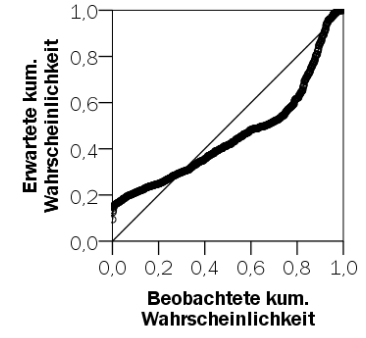
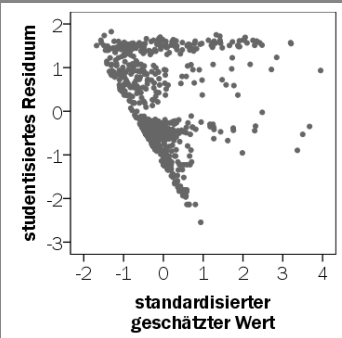
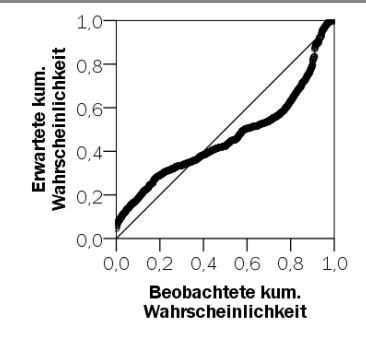


Abbildung A- 16 Durchschnittlicher Bestand der Sonderfeuerstätten je Schicht unter Berücksichtigung der fünf Regionen (Balken) und regionalen Parameter (X-Achse); basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Tabelle A- 16 Auswahl der im iterativen Prozess erstellten Regressionsmodellen zur Beschreibung des Bestands an Sonderfeuerstätten; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

Mod.	Regionale Parameter*	R <sup>2</sup> <sub>korr.</sub>	Linea-rität.	Homoskedastizität	Multikol-linearität	Normalver-teilung
1	EW/Fläche, Wald/Fläche, EZFH/Geb, Ste/Geb	0,093	-	-	+	-
2	Geb/Fläche, Wald/Fläche, EZFH/Geb, Ste/Geb	0,107	-	-	+	-
2reg		0,282	-	-	+	-
3	Wald/Geb, EZFH/Geb, Geb/Fläche, PriWald/Wald	0,137	-	-	++	-
3reg		0,313	-	-	++	-
4	EZFH/Fläche, Wald/Geb, EZFH/Geb, Ste/Geb	0,139	-	-	+	-
4reg		0,317	-	-	+	-
Log1	Wald/Geb, EZFH/Geb, Geb/Fläche	0,004	+	+	++	--
Wu1	Geb/Fläche/Wald/Geb, EZFH/Geb	0,007	-	-	++	--

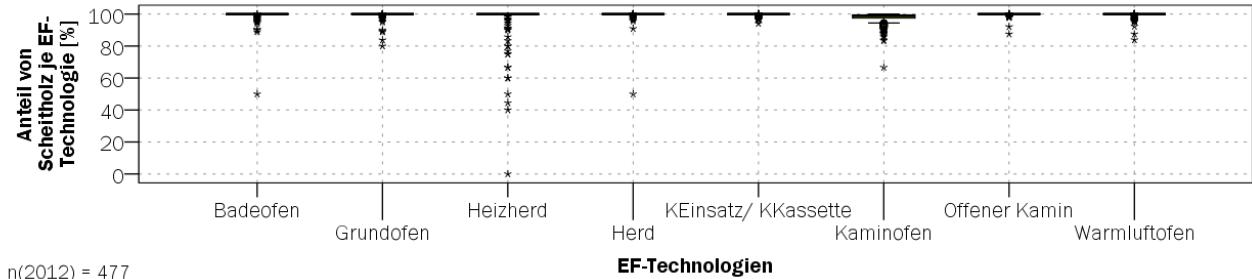
Tabelle A- 17 Analyse der Rahmenbedingungen Linearität, Homoskedastizität Normalverteilung sowie Multikollinearität für die Regressionsmodelle 3(1), 4(2), Log3(3) und Log4(4) zur Beschreibung des Bestands an Zentralfeuerstätten; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung mit Angaben zur Technologie >95 % (n=765)

		Parameter	Toleranz	VIF	
BUND 1			Geb/Fläche	0,395	2,531
			EZFH/Geb	0,462	2,163
			Wald/Fläche	0,720	1,389
			Steuer/Geb	0,614	1,628
REGION 1			Geb/Fläche	0,362	2,760
			EZFH/Geb	0,370	2,701
			Wald/Fläche	0,631	1,586
			Steuer/Geb	0,573	1,746

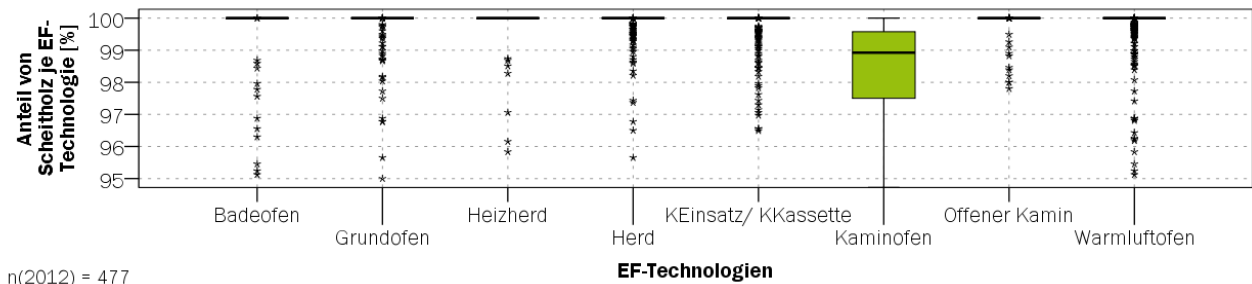
BUND 2	<p>studentisiertes Residuum</p> <p>standardisierter geschätzter Wert</p>	<p>Erwartete kum. Wahrscheinlichkeit</p> <p>Beobachtete kum. Wahrscheinlichkeit</p>	<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			Geb/Fläche	0,436	2,293
			EZFH/Geb	0,510	1,961
			Wald/Geb	0,755	1,324
			PriWald/Wald	0,918	1,089
REGION 2	<p>studentisiertes Residuum</p> <p>standardisierter geschätzter Wert</p>	<p>Erwartete kum. Wahrscheinlichkeit</p> <p>Beobachtete kum. Wahrscheinlichkeit</p>	<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			Geb/Fläche	0,386	2,593
			EZFH/Geb	0,419	2,387
			Wald/Geb	0,664	1,506
			PriWald/Wald	0,220	4,538
BUND 3	<p>studentisiertes Residuum</p> <p>standardisierter geschätzter Wert</p>	<p>Erwartete kum. Wahrscheinlichkeit</p> <p>Beobachtete kum. Wahrscheinlichkeit</p>	<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			EZFH/Fläche	0,538	1,858
			EZFH/Geb	0,563	1,775
			Wald/Geb	0,739	1,354
			Ste/Geb	0,642	1,558
REGION 3	<p>studentisiertes Residuum</p> <p>standardisierter geschätzter Wert</p>	<p>Erwartete kum. Wahrscheinlichkeit</p> <p>Beobachtete kum. Wahrscheinlichkeit</p>	<b>Parameter</b>	<b>Toleranz</b>	<b>VIF</b>
			EZFH/Fläche	0,503	1,990
			EZFH/Geb	0,436	2,291
			Wald/Geb	0,663	1,508
			Ste/Geb	0,596	1,677
			EZFH/Fläche	0,503	1,990

## A 2.3 Charakterisierung des Anlagenbestandes

### Einzelraumfeuerungen

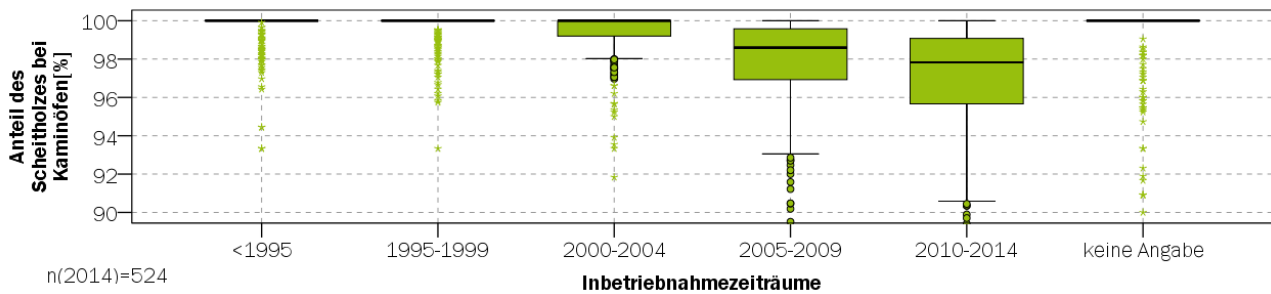


n(2012) = 477



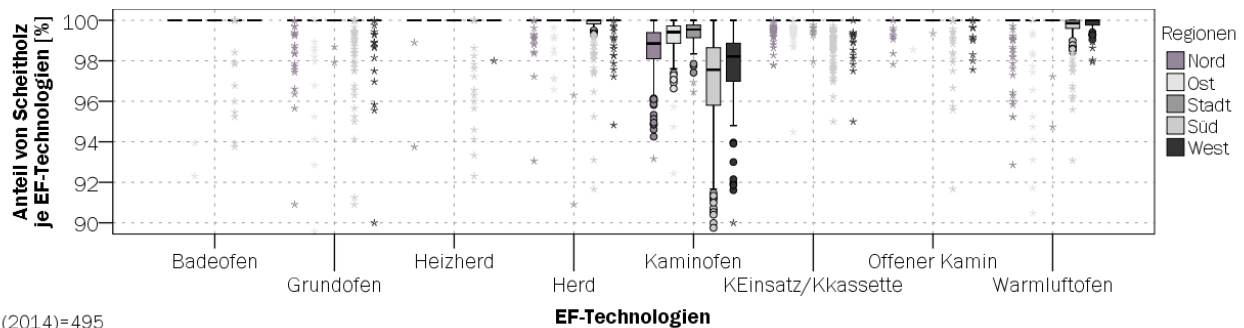
n(2012) = 477

Abbildung A- 17 Verteilung des Anteils von Scheitholz je EF-Technologien für die Skala 0-100 % (oben) und die Skala 95-100 % (unten); basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=477)



n(2014)=524

Abbildung A- 18 Verteilung des Anteils von Scheitholz je Inbetriebnahmezeiträume bei Kaminöfen; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei EF >80 % (n=524)



n(2014)=495

Abbildung A- 19 Verteilung des Anteils von Scheitholz am Anlagenbestand je Region; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei EF >80 % (n=524)

Tabelle A- 18 Geschätzte Anteile der Brennstoffe je EF-Technologie; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie &gt;95 % (n=477)

Technologie	Scheitholz	Pellets	Sägeprodukte
Badeofen	99,6 % ± 0,7 %	0,3 % ± 0,6 %	0,1 % ± 0,4 %
Grundofen	99,8 % ± 0,4 %	0,1 % ± 0,3 %	0,1 % ± 0,3 %
Heizherd	98,4 % ± 1,4 %	1,4 % ± 1,3 %	0,2 % ± 0,5 %
Herd	99,9 % ± 0,3 %	-	0,1 % ± 0,2 %
Kamineinsatz/Kaminkassette	99,9 % ± 0,4 %	0,1 % ± 0,3 %	-
Kaminofen	97,8 % ± 1,3 %	2,1 % ± 1,3 %	0,1 % ± 0,3%
Offener Kamin	100 %	-	-
Warmluftofen	99,7 % ± 0,5 %	0,2 % ± 0,4 %	0,1 % ± 0,2 %
Einzelraumfeuerungen	99,3 % ± 0,3 %	0,6 % ± 0,3 %	0,1 % ± 0,1 %

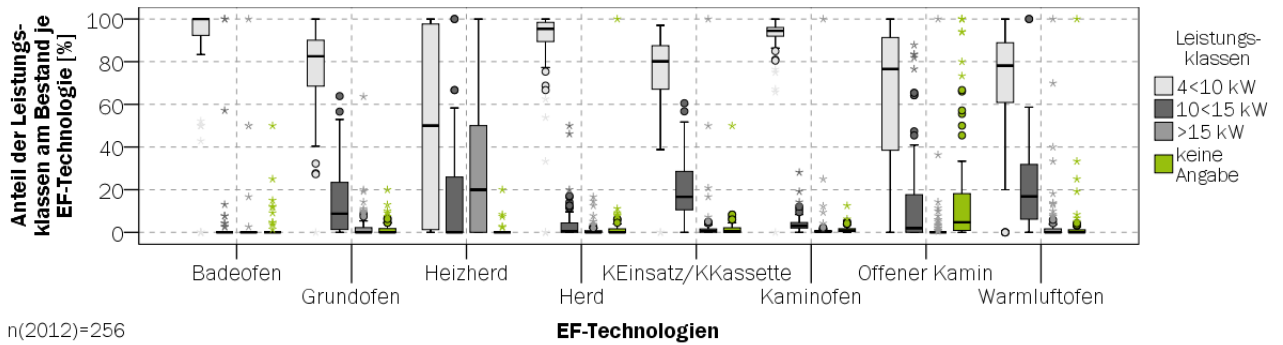
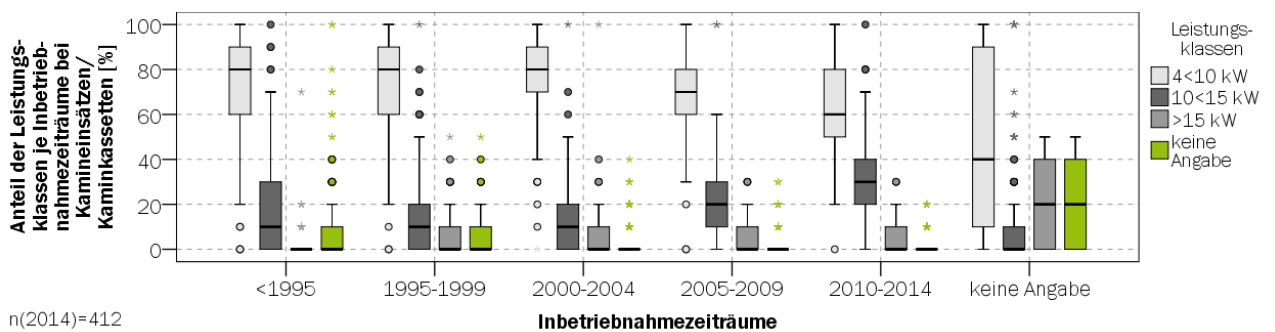
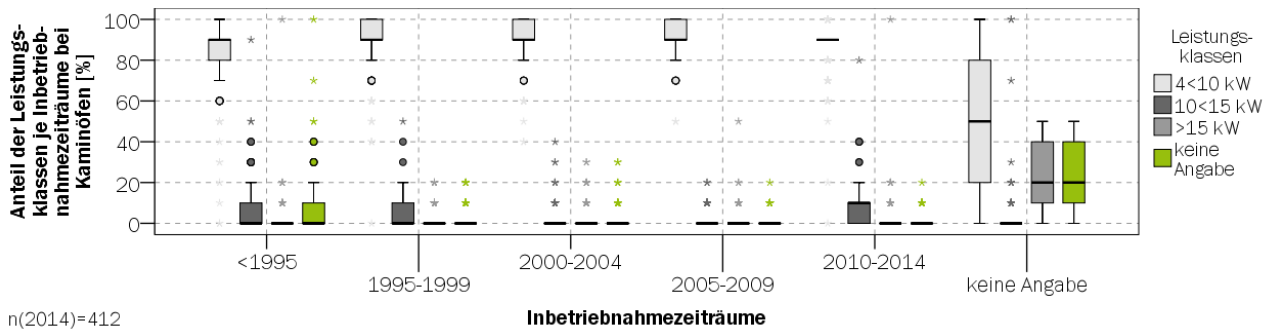
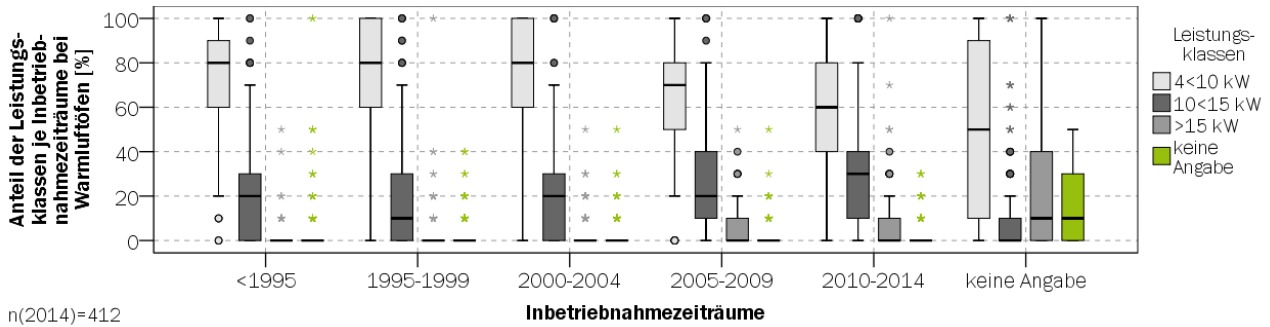


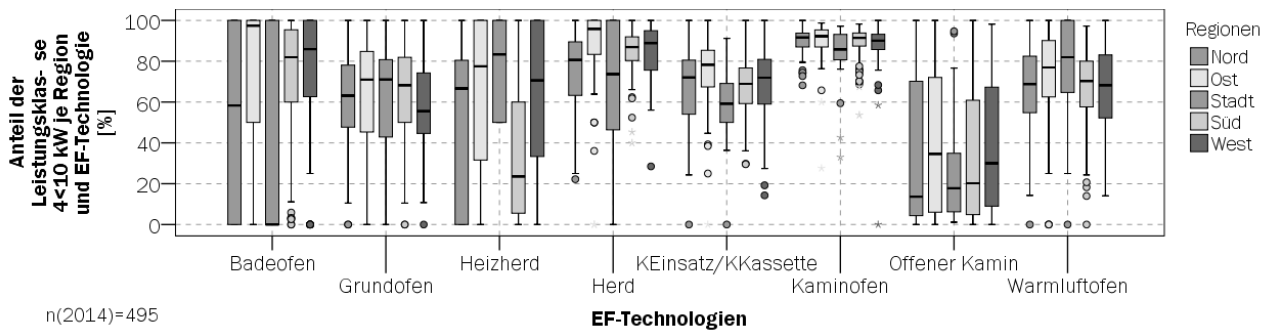
Abbildung A- 20 Verteilung des Anteils der Leistungsklassen bei den EF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie &gt;95 % und Leistung bei EF &gt;80 % (n=256)





n(2014)=412

Abbildung A- 21 Verteilung des Anteils der Leistungsklassen je Inbetriebnahmezeiträume bei verschiedenen EF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % sowie Leistung und Inbetriebnahmejahr bei EF >80 % (n=412)



n(2014)=495

Abbildung A- 22 Verteilung des Anteils der Leistungsklasse 4<10 kW bei den EF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei EF >80 % (n=495)

Tabelle A- 19 Geschätzte Anteile der Leistungsklassen je EF-Technologie; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei EF >80 % (n=256)

Technologie	< 4 kW	4<10 kW	10<15 kW	>15 kW
Badeofen	2,5 ± 2,6	93,1 ± 6,4	2,9 ± 4,2	1,5 ± 3,1
Grundofen	2,5 ± 2,5	76,8 ± 9,0	19,1 ± 8,4	1,6 ± 1,6
Heizherd	0,7 ± 0,9	43,8 ± 11,7	19,0 ± 9,2	33,3 ± 11,1
Herd	1,3 ± 1,2	92,1 ± 5,7	5,1 ± 4,6	1,5 ± 1,3
Kamineinsatz/Kaminkassette	0,2 ± 0,2	75,6 ± 9,1	22,5 ± 8,8	1,7 ± 1,6
Kaminofen	0,5 ± 0,5	93,9 ± 4,8	4,9 ± 4,4	0,7 ± 0,9
Offener Kamin	5,4 ± 4,8	70,4 ± 9,8	22,2 ± 8,9	2,0 ± 1,7
Warmluftofen	0,3 ± 0,3	73,5 ± 9,3	23,1 ± 8,9	3,1 ± 2,7
Einzelraumfeuerungen	1,4 ± 0,5	77,9 ± 3,2	15,0 ± 2,7	5,6 ± 1,8

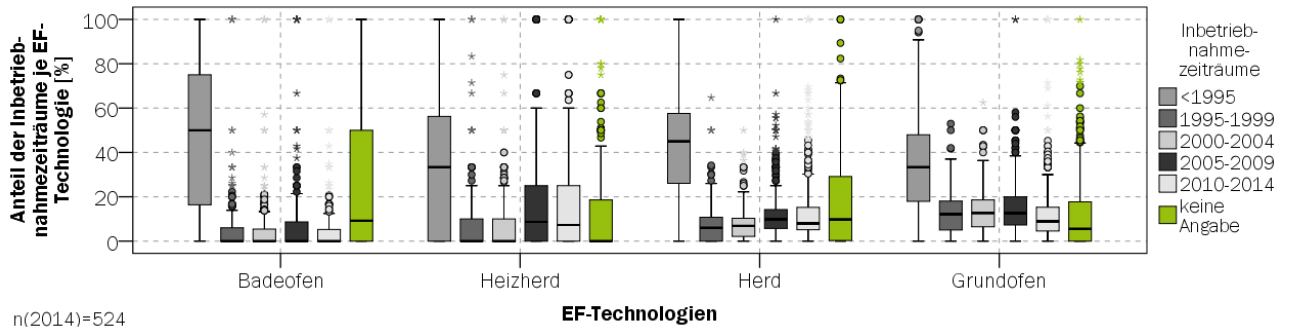


Abbildung A- 23 Verteilung des Anteils der Inbetriebnahmezeiträume bei den EF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei EF >80 % (n=524)

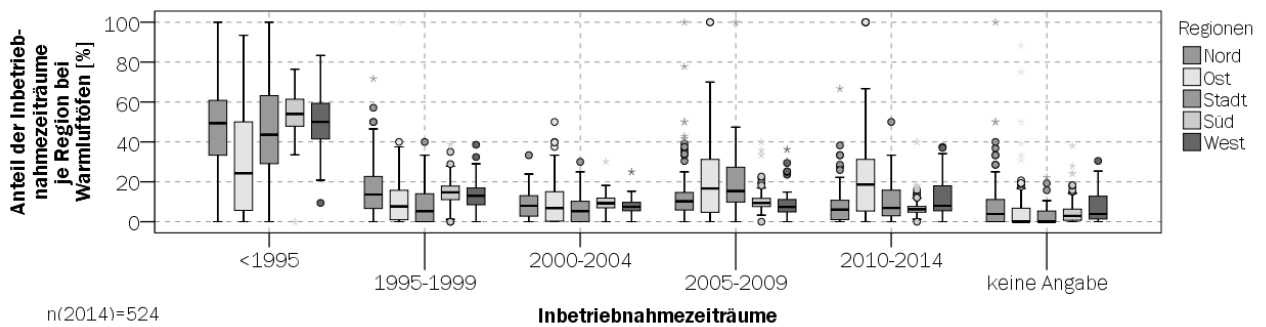
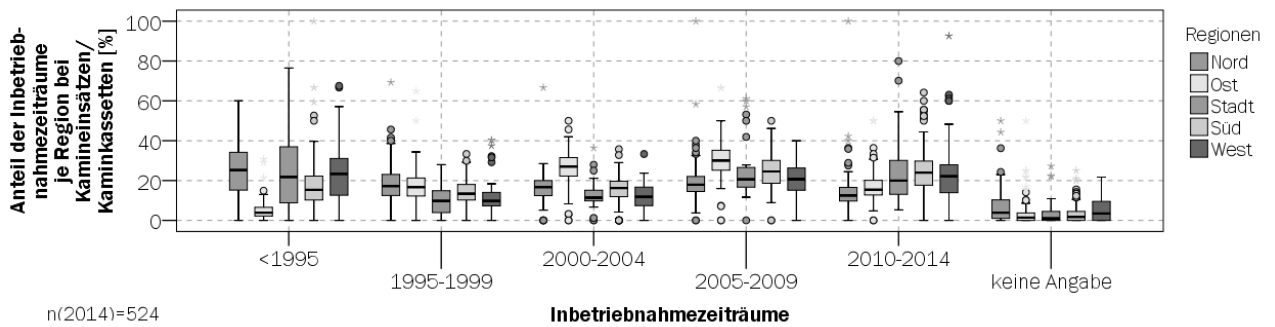


Abbildung A- 24 Verteilung des Anteils der Inbetriebnahmezeiträume je Region bei verschiedenen EF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei EF >80 % (n=524)



Tabelle A- 20 Geschätzte Anteile der Leistungsklassen je EF-Technologie; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei EF >80 % (n=256)

Parameter	1 Kehrung	2 Kehrungen	3 Kehrungen	4 Kehrungen
Badeofen	38 %/40 %/ 12 %	22 %/23 %/ 40 %	36 %/ 33 %/ 35 %	3 %/4 %/ 4 %
Grundofen	53 %/ 47 %/ 42 %	41 %/ 45 %/ 46 %	6 %/ 7 %/ 11 %	-/-/ 2 %
Heizherd	44 %/ 23 %/ 17 %	29 %/ 32 %/ 29 %	23 %/ 32 %/ 41 %	2 %/13 %/13 %
Herd	49 %/ 35 %/ 28 %	29 %/ 31 %/ 31 %	21 %/ 28 %/ 31 %	2 %/ 6 %/ 9 %
Kamineinsatz/ Kaminkassette	67 %/ 62 %/ 46 %	31 %/ 35 %/ 45 %	2 %/ 2 %/ 9 %	
Kaminofen	51 %/ 48 %/ 42 %	40 %/ 43 %/ 43 %	9 %/ 8 %/ 15 %	
Offene Kamine	86 %/ 86 %/ 82 %	12 %/ 14 %/ 13 %	1 %/ - / 5 %	
Warmluftofen	51 %/ 45 %/ 31 %	39 %/ 43 %/ 53 %	9 %/12 %/ 16 %	
Einzelraumfeuerungen	57 %/51 %/38%	32 %/ 37 %/ 41 %	12 %/ 11 %/ 19 %	1 %/ 2 %/ 3 %

Tabelle A- 21 Geschätzte Anteile der Kkehrhäufigkeit je EF-Technologie; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie >95 % und Kkehrhäufigkeit bei EF >90 % (n=245)

Technologie	1 Kehrung	2 Kehrungen	3 Kehrungen	4 Kehrungen
Badeofen	40,5 ± 12,4	18,0 ± 9,7	32,7 ± 11,9	5,5 ± 5,3
Grundofen	58,1 ± 10,6	36,4 ± 10,3	5,4 ± 4,8	0,1 ± 0,1
Heizherd	35,4 ± 11,3	23,1 ± 9,9	30,9 ± 10,9	9,8 ± 7,0
Herd	56,7 ± 10,5	23,9 ± 9,0	17,6 ± 8,1	1,5 ± 1,1
Kamineinsatz/Kaminkassette	70,3 ± 9,7	27,8 ± 9,5	1,8 ± 2,8	-
Kaminofen	54,5 ± 10,1	35,7 ± 9,7	8,7 ± 5,7	0,4 ± 0,1
Offener Kamin	83,3 ± 8,0	15,5 ± 7,7	0,8 ± 1,9	-
Warmluftofen	57,6 ± 10,4	32,2 ± 9,9	8,8 ± 6,0	0,3 ± 0,2
Einzelraumfeuerungen	57,5 ± 3,8	29,1 ± 3,5	11,6 ± 2,5	1,2 ± 0,8

## Zentralfeuerstätten

Tabelle A- 22 Mittelwerte der Anteile der Leistungsklassen je ZF-Brennstoffsoriment 2012/2014; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie &gt;95 % und Leistung bei ZF &gt;90 % (n=357) und den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie &gt;95 % und Leistung bei ZF &gt;90 % (n=640)

Brennstoffsortiment	4<15 kW	15≤50 kW	>50≤100 kW	>100≤150 kW	>150≤500 kW	>500 kW
Scheitholz	20,8/20,6	71,4/73,8	3,0/2,1	0,2/0,2	0,3/0,4	0,1/-
Hackschnitzel	3,9/3,1	49,4/45,4	22,2/22,6	6,5/8,8	11,8/13,0	4,4/3,4
Sägeprodukte	4,5/5,0	39,3/48,2	28,6/15,4	9,0/10,8	13,3/14,4	4,1/5,0
Pellets	36,4/37,0	46,5/55,4	3,5/4,2	1,0/1,4	1,3/1,2	0,2/0,2
Restholz	2,0/1,1	12,1/23,2	39,4/31,2	11,2/14,1	26,7/21,2	7,7/7,4
NawaRo	7,1/3,5	41,1/60,7	32,1/20,3	5,4/3,9	3,6/8,3	3,6/3,3

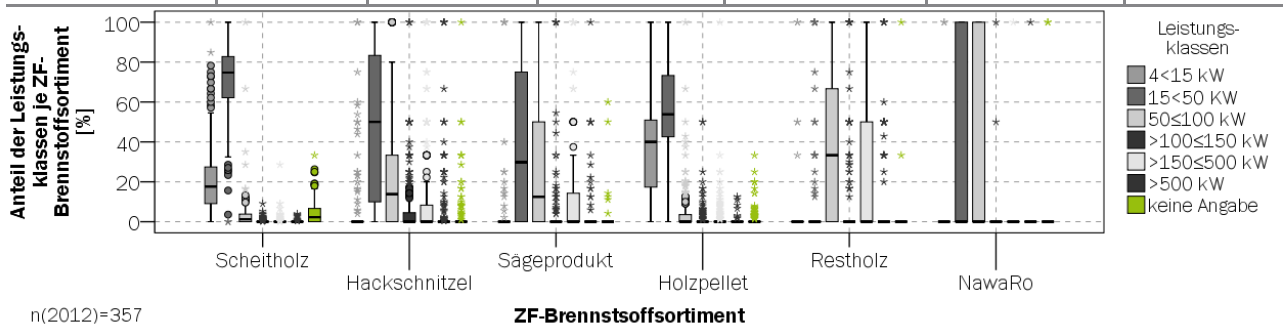


Abbildung A- 25 Verteilung des Anteils der Leistungsklassen bei dem ZF-Brennstoffsoriment; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie &gt;95 % und Leistung bei ZF &gt;90 % (n=357)

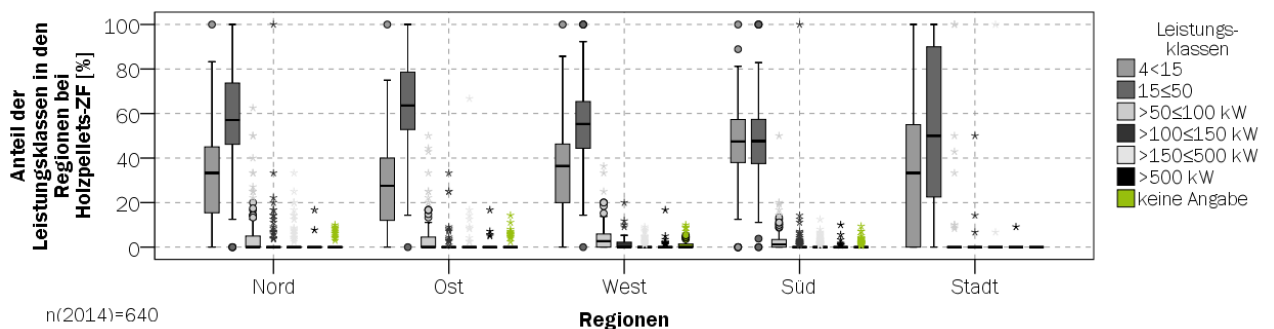
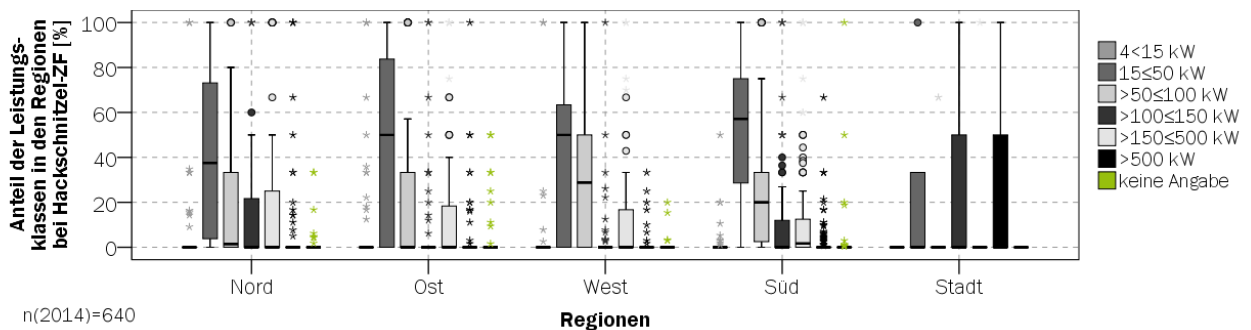


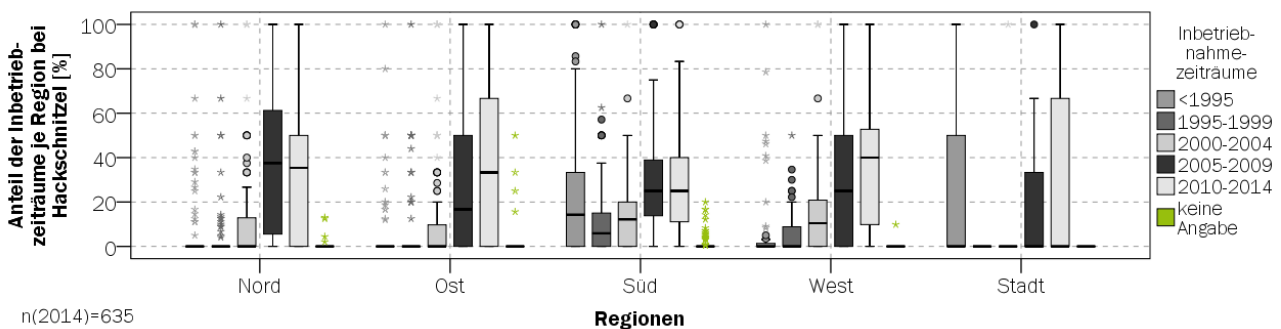
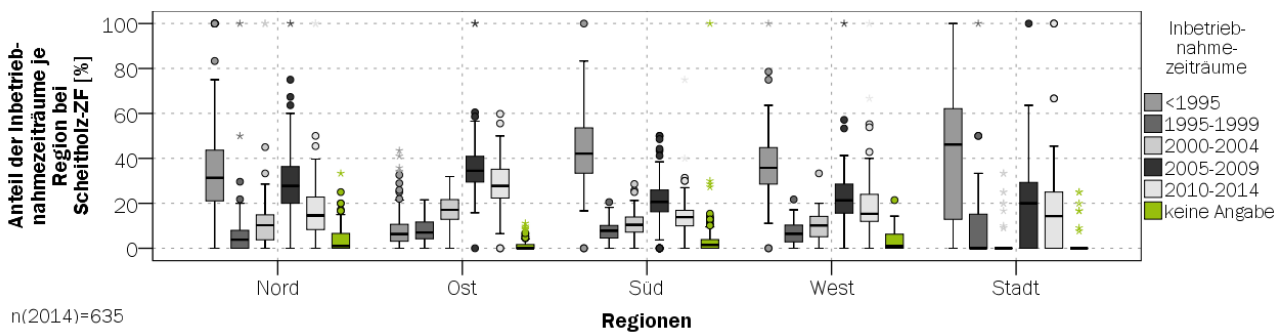
Abbildung A- 26 Verteilung des Anteils der Leistungsklassen je Region bei verschiedenen ZF-Brennstoffsorimenten; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie &gt;95 % und Leistung bei ZF &gt;90 % (n=640)

Tabelle A- 23 Geschätzte Anteile der Leistungsklassen je ZF-Brennstoffsortiment; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei ZF >90 % (n=357)

Brennstoffsortiment	4<15 kW	15<50 kW	50≤100 kW	>100≤150 kW	>150≤500 kW	>500 kW
Scheitholz	20,8 ± 4,3	75,5 ± 4,5	3,3 ± 1,9	0,1 ± 0,4	0,2 ± 0,5	-
Hackschnitzel	-	64,2 ± 5,6	20,1 ± 4,7	5,4 ± 2,6	8,0 ± 3,2	2,4 ± 1,8
Sägeprodukte	2,6 ± 2,7	40,2 ± 8,4	34,1 ± 8,2	8,5 ± 4,8	11,5 ± 5,5	3,1 ± 3,0
Pellets	39,7 ± 5,1	55,4 ± 5,2	2,7 ± 1,7	1,1 ± 1,1	1,0 ± 1,0	0,1 ± 0,4
Restholz	-	14,0 ± 4,6	40,4 ± 7,5	13,4 ± 5,2	23,1 ± 6,4	9,1 ± 4,4
NawaRo	2,6 ± 8,3	44,6 ± 26,0	28,6 ± 23,7	8,5 ± 14,6	7,0 ± 13,4	8,8 ± 14,8
Zentralfeuerstätten	16,4 ± 2,0	51,7 ± 2,7	17,1 ± 2,1	4,5 ± 1,1	7,6 ± 1,4	2,6 ± 0,9

Tabelle A- 24 Mittelwerte der Anteile der Inbetriebnahmezeiträume je ZF-Brennstoffsortiment; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei ZF >90 % (n=635)

Brennstoffsortiment	<1995	1995<2000	2000<2005	2005<2010	2010<2015	keine Angabe
Scheitholz	32,0	5,7	11,5	29,0	10,3	11,6
Hackschnitzel	16,0	7,8	12,1	39,7	20,4	3,1
Sägeprodukte	27,3	14,9	13,4	28,2	14,4	1,7
Pellets	0,7	0,5	8,2	54,3	34,0	2,3
Restholz	35,9	19,4	13,2	19,3	9,9	2,3
NawaRo	17,3	4,2	10,3	34,3	30,8	3,2



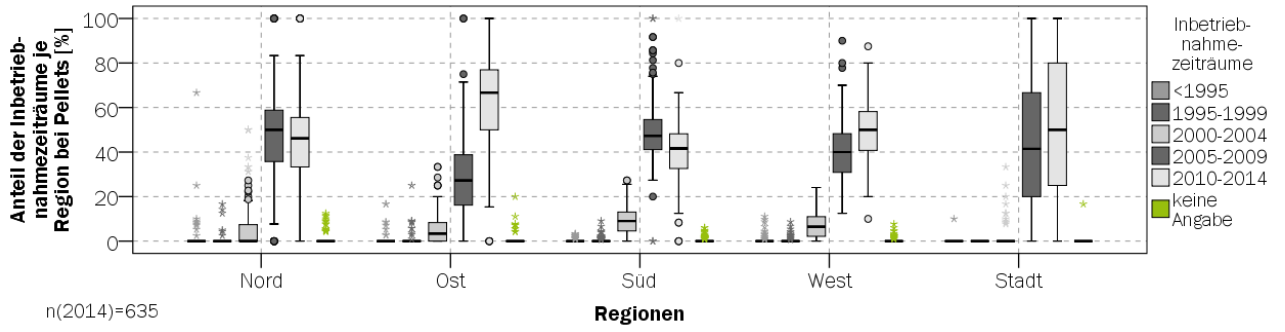


Abbildung A- 27 Verteilung der Inbetriebnahmezeiträume Region bei verschiedenen ZF-Brennstoffsorimenten; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Inbetriebnahmejahr bei ZF >90 % (n=635)

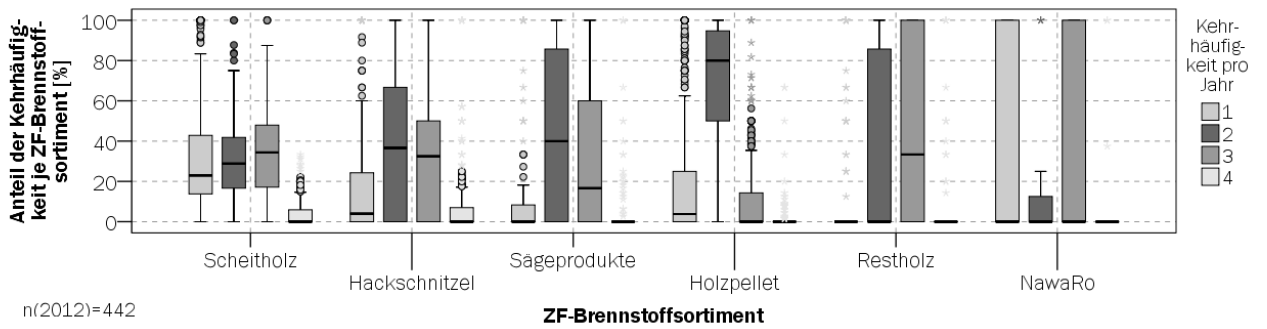
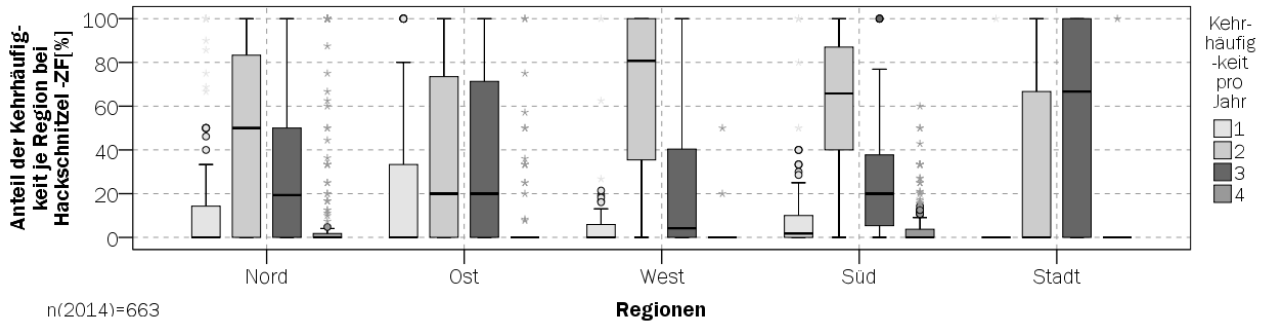
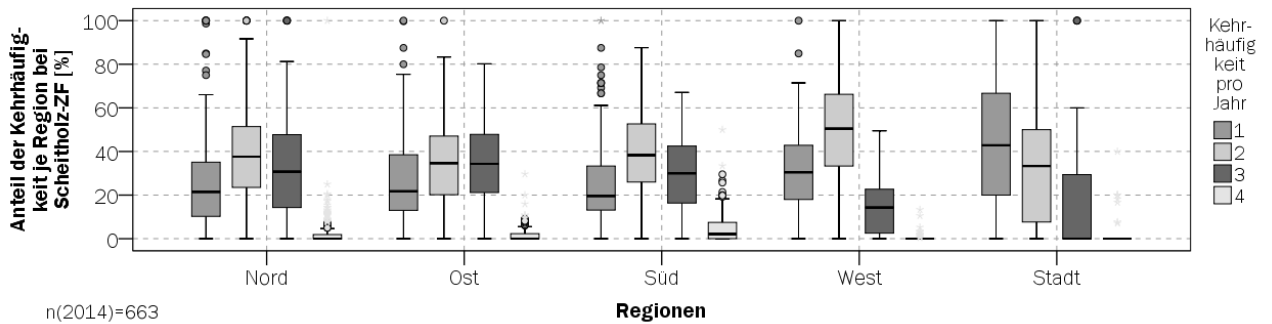


Abbildung A- 28 Verteilung der Anteile der Kehrhäufigkeit bei ZF-Brennstoffsoriment; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie >95 % und Kehrhäufigkeit bei ZF >90 % (n=442)



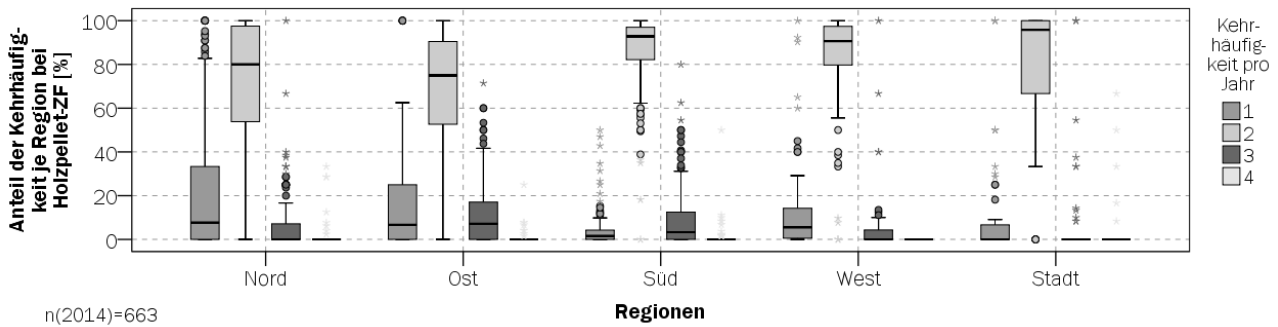


Abbildung A- 29 Verteilung der Anteile der Kehrhäufigkeit bei Scheitholz einsetzenden Zentralfeuerstätten; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Kehrhäufigkeit bei ZF >90 % (n=663)

Tabelle A- 25 Geschätzte Anteile der Kehrhäufigkeit bei ZF-Brennstoffsortiment; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie >95 % und Kehrhäufigkeit bei ZF >90 % (n=442)

Brennstoffsortiment	1 Kehrung	2 Kehrungen	3 Kehrungen	4 Kehrungen
Scheitholz	23,8 ± 2,1	45,2 ± 2,5	27,1 ± 2,2	3,9 ± 1,0
Hackschnitzel	14,6 ± 1,8	51,0 ± 2,5	29,8 ± 2,3	4,6 ± 1,0
Sägeprodukte	14,2 ± 1,8	51,4 ± 2,5	29,8 ± 2,3	4,6 ± 1,1
Pellets	21,7 ± 2,1	47,7 ± 2,5	26,8 ± 2,2	3,8 ± 1,0
Restholz	22,3 ± 2,1	47,4 ± 2,5	26,6 ± 2,2	3,7 ± 1,0
NawaRo	19,2 ± 2,0	48,1 ± 2,5	28,5 ± 2,3	4,3 ± 0,9
Zentralfeuerstätten	21,8 ± 2,1	46,7 ± 2,5	27,5 ± 2,2	4,0 ± 1,0

Sonderfeuerstätten

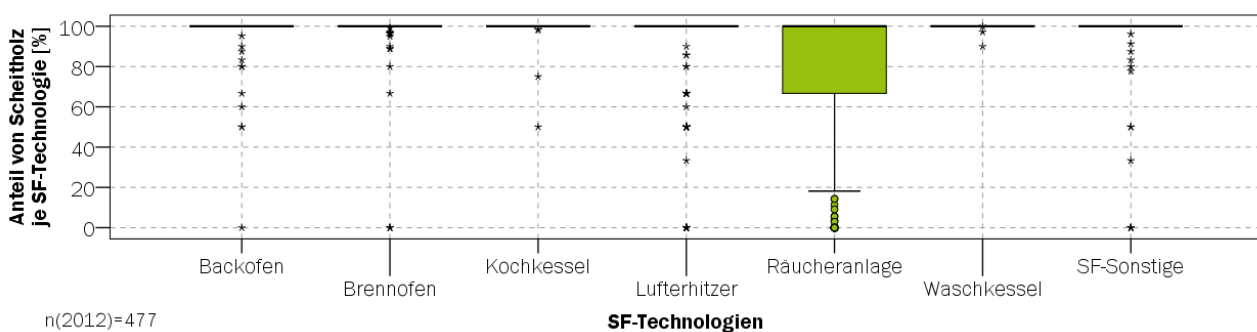
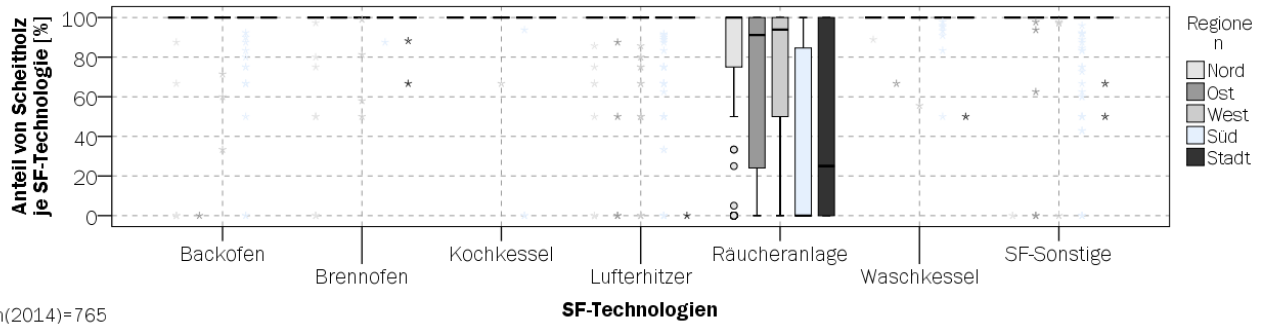


Abbildung A- 30 Verteilung der Anteile des Scheitholzes bei den SF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zu den Technologien >95 % (n=477)

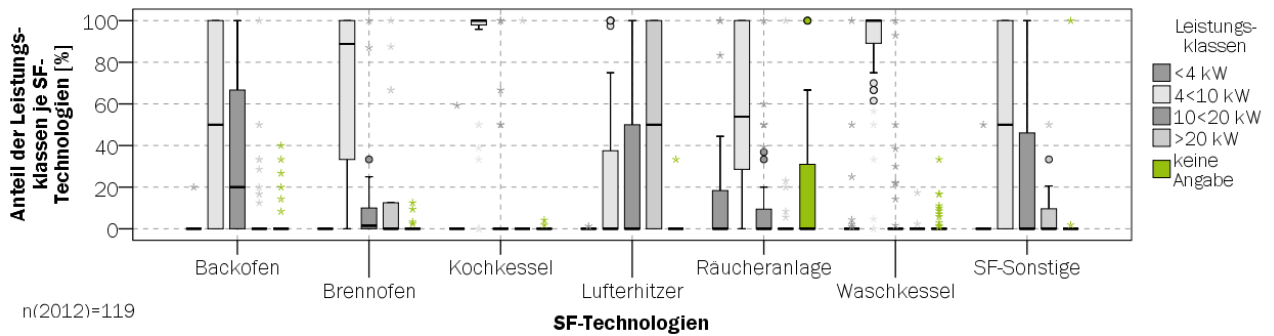


n(2014)=765

Abbildung A- 31 Verteilung der Anteile des Scheitholzes je Region bei den SF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zu den Technologien >95 % (n=765)

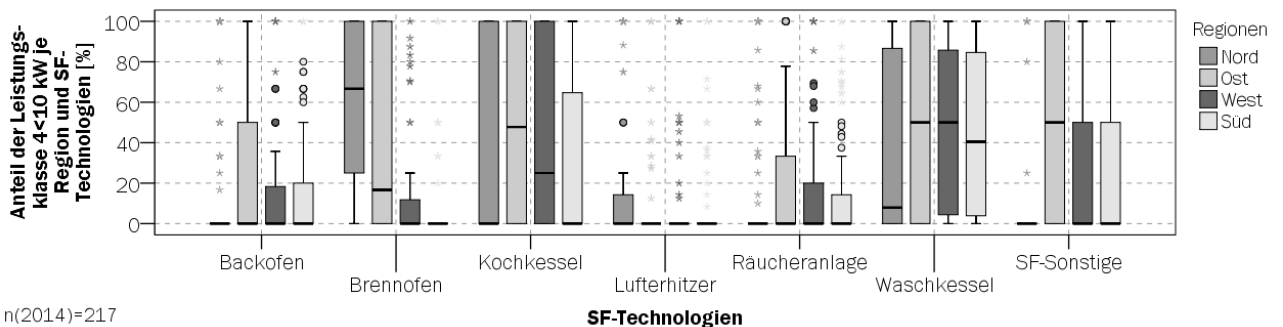
Tabelle A- 26 Geschätzte Anteile der Brennstoffe bei den SF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie >95 % (n=477)

Technologie	Scheitholz	Hackschnitze I	Pellets	Sägeprodukt	Restholz	NawaRo
Backofen	99,8 ± 1,1	-	0,2 ± 1,1	-	-	-
Brennofen	95,1 ± 9,3	0,3 ± 9,1	0,8 ± 1,8	0,1 ± 0,1	-	-
Kochkessel	100	-	-	-	-	-
Luftheritzer	88,3 ± 9,2	2,8 ± 4,7	3,2 ± 5,0	-	5,7 ± 6,6	-
Räucheranlage	73,0 ± 10,0	6,7 ± 5,6	1,3 ± 2,6	18,1 ± 8,7	-	0,9 ± 2,1
Waschkessel	100	-	-	-	-	-
SF-Sonstige	97,6 ± 4,6	-	-	2,4 ± 4,6	-	-
Sonderfeuerstätten	92,3 ± 2,7	2,0 ± 1,4	0,7 ± 0,9	4,0 ± 2,0	0,7 ± 0,9	0,2 ± 0,4



n(2012)=119

Abbildung A- 32 Verteilung der Anteile der Leistungsklassen bei den SF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei SF >70 % (n=119)



n(2014)=217

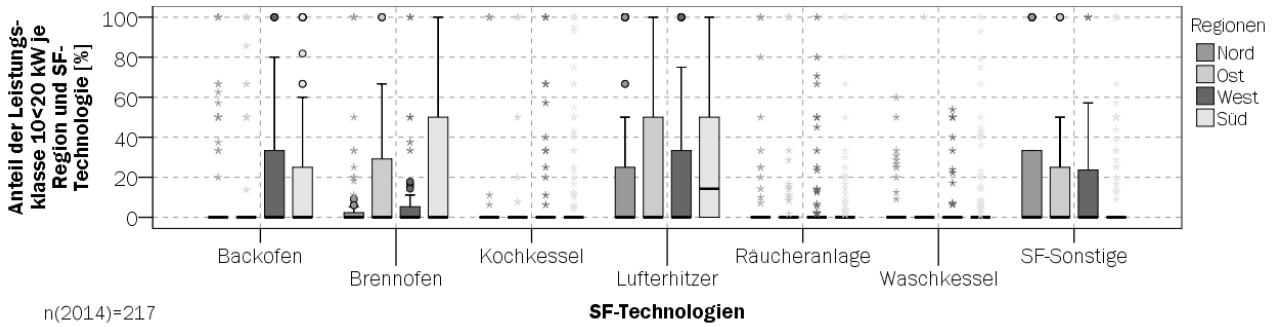
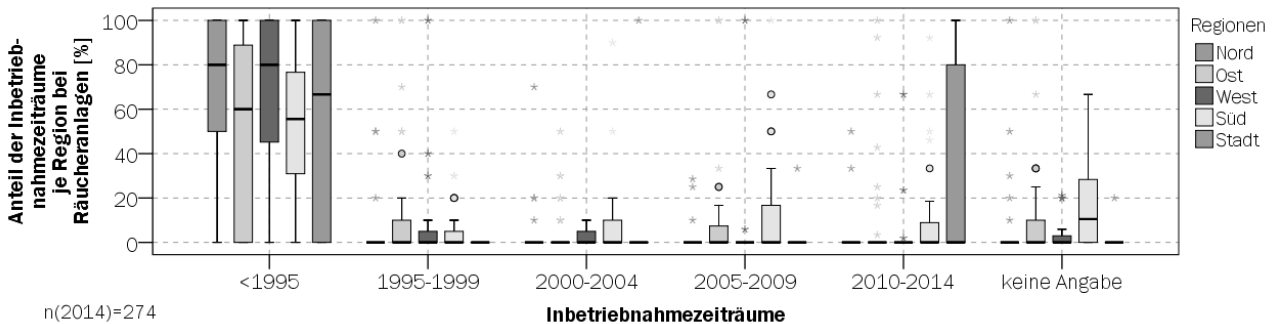
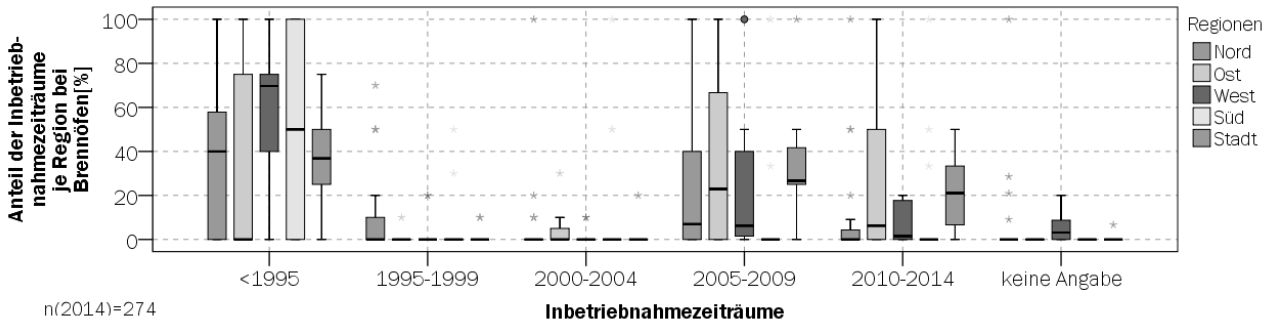


Abbildung A- 33 Verteilung der Anteile verschiedener Leistungsklassen je Region bei SF-Technologie; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei SF >70 % (n=217)

Tabelle A- 27 Geschätzte Anteile der Leistungsklassen [%] je SF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Ehrhebung 2012 mit Angaben zur Technologie >95 % und Leistung bei SF >70 % (n=119)

Technologie	<4 kW	4<10 kW	10<20 kW	>20 kW
Backofen	1,5 ± 3,8	38,9 ± 15,3	24,6 ± 13,5	5,6 ± 7,2
Brennofen	-	67,5 ± 23,7	9,3 ± 14,7	10,9 ± 15,8
Kochkessel	-	33,3 ± 16,1	13,9 ± 11,8	15,2 ± 12,2
Luftheritzer	-	6,8 ± 9,0	13,7 ± 12,3	79,4 ± 14,5
Räucheranlage	18,2 ± 10,7	53,0 ± 13,8	26,7 ± 12,3	2,1 ± 4,0
Waschkessel	1,3 ± 3,1	86,1 ± 9,8	12,6 ± 9,4	0,1 ± 0,8
SF-Sonstige	2,0 ± 5,2	76,1 ± 16,1	16,5 ± 14,0	4,9 ± 8,1
Sonderfeuerstätten	2,8 ± 2,1	52,0 ± 6,3	22,2 ± 5,2	24,0 ± 5,4





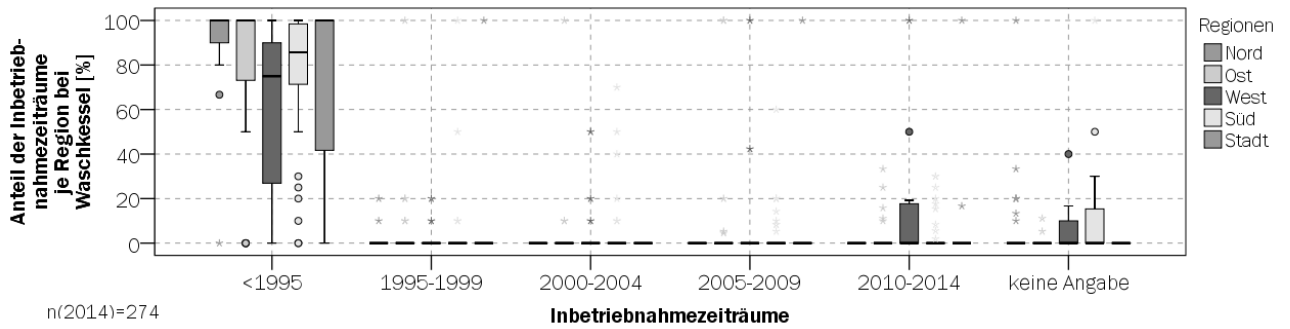


Abbildung A- 34 Verteilung der Anteile der Inbetriebnahmezeiträume bei verschiedenen SF-Technologien je Region; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zu den Technologien >95 % und SF-Inbetriebnahme >70 % (n=274)

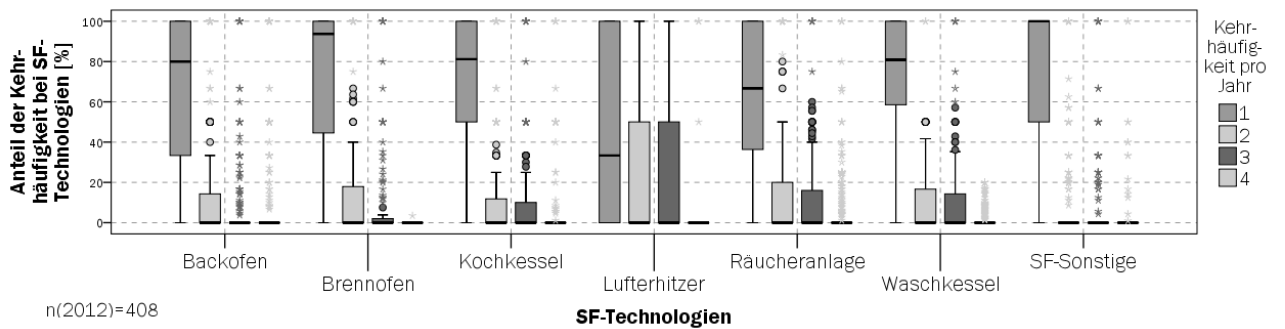
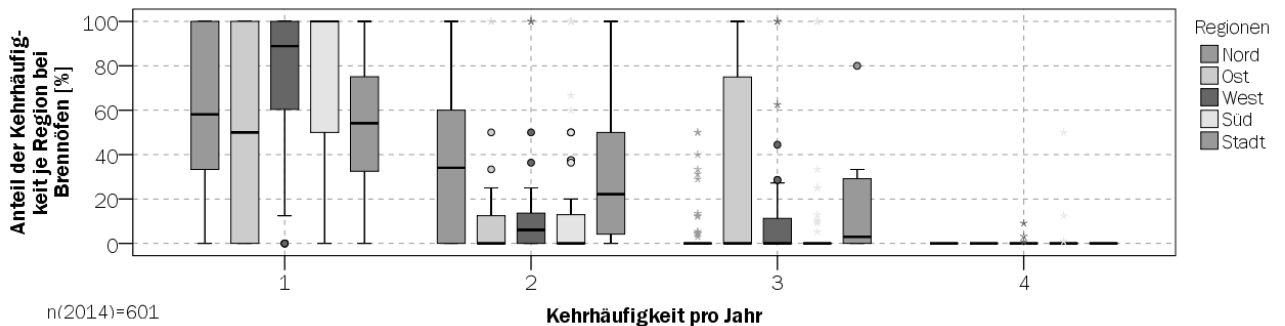
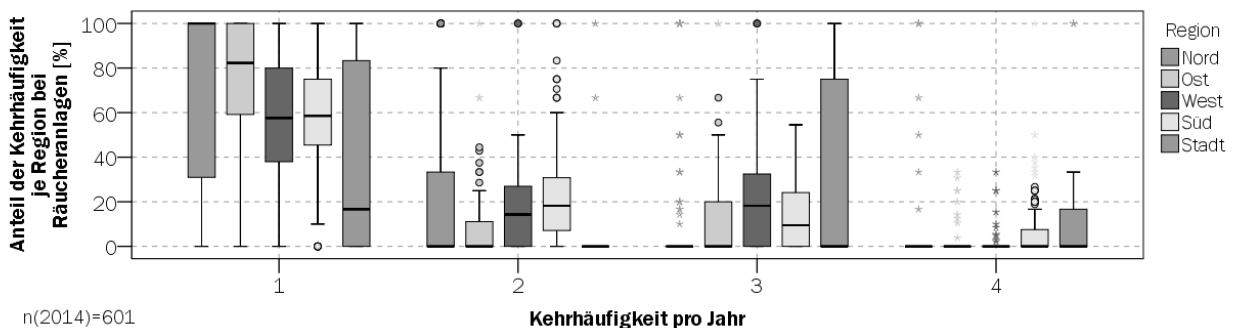


Abbildung A- 35 Verteilung der Anteile der Kehrhäufigkeit bei den SF-Technologien; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie >95 % und Kehrhäufigkeit SF >80 % (n=408)



n(2014)=601



n(2014)=601

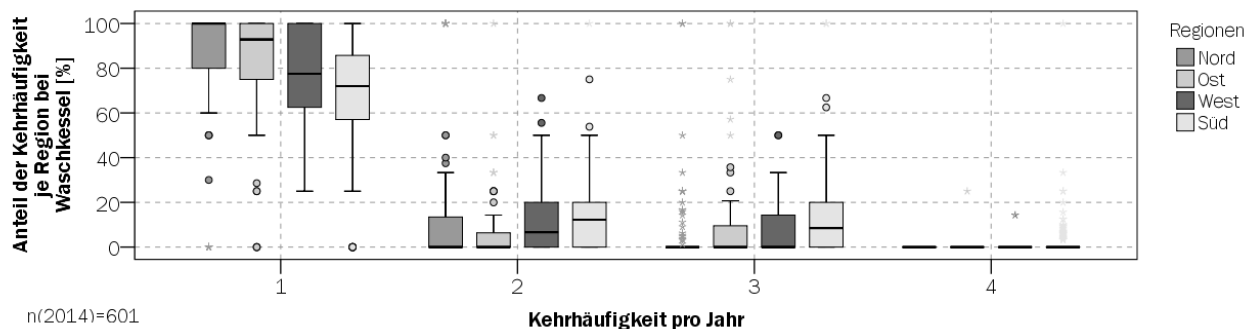


Abbildung A- 36 Verteilung der Anteile der Kehrhäufigkeit bei verschiedenen SF-Technologien je Region; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2014 mit Angaben zu den Technologien >95 % und Kehrhäufigkeit bei >80 % (n=601)

Tabelle A- 28 Geschätzte Anteile der Kehrhäufigkeit je SF-Technologie; basierend auf den Teilnehmern der Erhebung 2012 mit Angaben zur Technologie >95 % und Kehrhäufigkeit bei SF >80 % (n=408)

Technologie	1 Kehrung	2 Kehrungen	3 Kehrungen	4 Kehrungen
Backofen	65,5 ± 14,9	13,5 ± 10,7	16,1 ± 11,5	4,9 ± 6,8
Brennofen	47,1 ± 25,3	40,1 ± 24,8	12,8 ± 16,9	-
Kochkessel	61,8 ± 16,6	17,4 ± 12,9	8,0 ± 9,3	12,8 ± 11,4
Lufterhitzer	34,2 ± 17,0	33,5 ± 16,9	31,6 ± 16,6	0,6 ± 2,8
Räucheranlage	59,8 ± 13,6	24,7 ± 12,0	11,5 ± 8,8	4,0 ± 5,4
Waschkessel	67,9 ± 13,2	13,4 ± 9,6	17,1 ± 10,7	1,5 ± 3,5
SF-Sonstige	64,7 ± 18,0	27,8 ± 16,9	1,8 ± 5,1	5,7 ± 8,7
Sonderfeuerstätten	60,8 ± 6,2	19,8 ± 5,0	15,3 ± 4,5	3,4 ± 2,5

## PUBLIKATIONEN

### Bisher veröffentlichte Reports:

**DBFZ Report No. 33** Recommendations for reliable methane emission rate quantification at biogas plants

**DBFZ Report Nr. 32** Wärmenutzung von Biogasanlagen

**DBFZ Report Nr. 31** Die Niedertemperatursynthese von Methan in Thermoöl-temperierten Plattenreaktoren –  
Dissertationschrift –

**DBFZ Report Nr. 30** Anlagenbestand Biogas und Biomethan – Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland

**DBFZ Report Nr. 29** Effiziente Bioenergie für Regionen -  
Ergebnisse der technisch-ökonomischen Begleitforschung zur Fördermaßnahme Bioenergie-Regionen 2012-2015

**DBFZ Report Nr. 28** Potenziale zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Biogasanlagen - Energetische Effizienz von Repoweringmaßnahmen

**DBFZ Report Nr. 27** Neuartiger emissionsarmer Kaminofen (DBU-NEKO)

**DBFZ Report Nr. 26** Bewertung technischer und wirtschaftlicher Entwicklungspotenziale künftiger und bestehender Biomasse-zu-Methan-Konversionsprozesse -  
Dissertationschrift

**DBFZ Report Nr. 25** Nachrüstlösung zum katalytischen Abbau von gasförmigen organischen Emissionen aus Kaminöfen

**DBFZ Report Nr. 24** Biomasse zur Wärmeerzeugung –  
Methoden zur Quantifizierung des Brennstoffeinsatzes

**DBFZ Report Nr. 23** Technisch-ökonomische Begleitforschung des Bundeswettbewerbes „Bioenergie-Regionen“

**DBFZ Report Nr. 22** Die Biokraftstoffproduktion in Deutschland – Stand der Technik und Optimierungsansätze

**DBFZ Report Nr. 21** Entwicklung der Förderung der Stromerzeugung aus Biomasse im Rahmen des EEG

**DBFZ Report Nr. 20** KlimaCH4 – Klimateffekte von Biomethan

**DBFZ Report Nr. 19** Hy-NOW – Evaluierung der Verfahren und Technologien für die Bereitstellung von Wasserstoff auf Basis von Biomasse

**DBFZ Report Nr. 18** Kleintechnische Biomassevergasung – Option für eine nachhaltige und dezentrale Energieversorgung

**DBFZ Report Nr. 17** Grünlandenergie Havelland – Entwicklung von übertragbaren Konzepten zur naturverträglichen energetischen Nutzung von Gras und Schilf am Beispiel der Region Havelland

**DBFZ Report Nr. 16** Algae biorefinery – material and energy use of algae

**DBFZ Report Nr. 15** Politics and Economics of Ethanol and Biodiesel Production and Consumption in Brazil

**DBFZ Report Nr. 14** Holzpelletbereitstellung für Kleinfeuerungsanlagen

**DBFZ Report Nr. 13** Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung

**DBFZ Report Nr. 12** Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse

**DBFZ Report Nr. 11** Monitoring Biokraftstoffsektor

**DBFZ Report Nr. 10** Ermittlung des Verbrauchs biogener Festbrennstoffe im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD-Sektor) – Endbericht

**DBFZ Report Nr. 9** Analyse und Bewertung ausgewählter zukünftiger Biokraftstoffoptionen auf der Basis fester Biomasse

**DBFZ Report Nr. 8 – Kompakt** – Sammelband

**DBFZ Report Nr. 7** Final Report – Global and Regional Spatial Distribution of Biomass Potentials – Status quo and options for specification –

**DBFZ Report Nr. 6** Katalytisch unterstützte Minderung von Emissionen aus Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen

**DBFZ Report Nr. 5** Optimierung und Bewertung von Anlagen zur Erzeugung von Methan, Strom und Wärme aus biogenen Festbrennstoffen

**DBFZ Report Nr. 4** Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der Biomassenutzung

**DBFZ Report Nr. 3** Feinstaubminderung im Betrieb von Scheitholz-Kaminöfen unter Berücksichtigung der toxikologischen Relevanz

**DBFZ Report Nr. 2** Methodische Vorgehensweise zur Standortidentifikation und Planung der Biomassebereitstellung für Konversionsanlagen am Beispiel von Bio-SNG-Produktionsanlagen

**DBFZ Report Nr. 1** Bewertung und Minderung von Feinstaubemissionen aus häuslichen Holzfeuerungsanlagen

Weitere Informationen and Download:

[www.dbfz.de/pressemediathek/publikationsreihen-des-dbfz/dbfz-reports/](http://www.dbfz.de/pressemediathek/publikationsreihen-des-dbfz/dbfz-reports/)

**DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum  
gemeinnützige GmbH**

Torgauer Straße 116

04347 Leipzig

Phone: +49 (0)341 2434-112

Fax: +49 (0)341 2434-133

E-Mail: [info@dbfz.de](mailto:info@dbfz.de)

**[www.dbfz.de](http://www.dbfz.de)**