AGEB

AG Energiebilanzen e.V.

Endbericht

Umsetzung eines Verfahrens zur regelmäßigen und aktuellen Ermittlung des Energieverbrauchs in nicht von der amtlichen Statistik erfassten Bereichen

Projektnummer

I C 4 - 73/15

Münster, Stuttgart, September 2016

Auftraggeber:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
Referat I C 4
Villemombler Str. 76
53123 Bonn

Auftragnehmer:

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.
c.o.
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Berlin (DIW Berlin)
Mohrenstr. 58
10117 Berlin

Telefon	030 / 897 89 - 0
Telefax	030 / 897 89 - 113
Internet	www.ag-energiebilanzen.de

Unterauftrag-nehmer:

Energy Environment Forecast Analysis GmbH & Co. KG
Windthorststraße 13
48143 Münster

Telefon	0251 / 488 23 - 15
Telefax	0251 / 488 23 - 23
Internet	www.eefa.de

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)
Gemeinnützige Stiftung
Industriestraße 6
70565 Stuttgart

Telefon	0711/ 78 70 - 0
Telefax	0711/ 78 70 - 200
Internet	www.zsw-bw.de

Bearbeiter:

EEFA

Hans Georg Buttermann
Telefon 0251 / 488 23 - 15
E-Mail h.g.buttermann@eefa.de

Tina Baten
Telefon 0251 / 488 23 - 17
E-Mail t.baten@eefa.de

ZSW

Thomas Nieder
Telefon 0711 / 78 70 - 289
E-Mail thomas.nieder@zsw-bw.de

Maike Schmidt
Telefon 0711 / 78 70 - 232
E-Mail maike.schmidt@zsw-bw.de

Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung 1

2. Ergebnisse der Konzeptstudie und weiteres Vorgehen 4

3. Ermittlung des Energieverbrauchs der Privaten Haushalte 6

3.1. Ermittlung des Energieverbrauchs für leichtes Heizöl, Erdgas und Fernwärme 6

3.1.1. Komponenten zur Ermittlung des Heizöl-, Erdgas- und Fernwärmeverbrauchs 6

3.1.2. Erste Komponente: Ermittlung des Energiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser in Zwei- und Mehrfamilienhäusern (Techem-Hochrechnung) 7

3.1.2.1. Kennziffern des Techem-Datensatzes im Überblick (Analysierte Datenmenge 2010 bis 2014) 8

3.1.2.2. Konzept der Hochrechnung 13

3.1.2.3. Hochrechnung des Erdgas-, Heizöl- und Fernwärmeverbrauchs in Zwei- und Mehrfamilienhäusern 17

3.1.3. Zweite Komponente: Ermittlung des Energiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser in Einfamilienhäusern (Wohnungsmodell) 22

3.1.3.1. Konzept und Darstellung des EEFA-Wohnungsmodells 22

3.1.3.2. Verifizierung der Modellergebnisse (Vergleich der Ergebnisse aus dem EEFA-Wohnungsmodell und der Techem-Hochrechnung) 30

3.1.4. Dritte Komponente: Modell „Kochzwecke“ 33

3.1.5. Gesamter Erdgas-, Heizöl- und Fernwärmeverbrauch der Privaten Haushalte 35

3.2. Ermittlung des Holzverbrauchs der Privaten Haushalte 37

3.3. Ermittlung des Verbrauchs von Holzkohle in Privaten Haushalten 44

3.4. Ermittlung des Verbrauchs aus Solarthermie in Privaten Haushalten 48

3.5. Ermittlung des Verbrauchs von Umweltwärme in Privaten Haushalten 62

3.6. Ermittlung des Verbrauchs von flüssiger und gasförmiger Biomasse in Privaten Haushalten 65

3.7. Ermittlung des Ottokraftstoffverbrauchs der Privaten Haushalte 76

4. Ermittlung der Bestandsveränderungen lagerfähiger Energieträger 82

4.1. Bestandsveränderungen bei den Privaten Haushalten 82

4.2. Bestandsveränderungen im GHD-Sektor 90

5. Ermittlung des Energieverbrauchs für den GHD-Sektor 98

5.1. Ermittlung zusätzlicher Zeitreihen für den GHD-Sektor 99

5.1.1. Ermittlung des Verbrauchs von Solarthermie im GHD-Sektor 99

5.1.2. Ermittlung des Verbrauchs von Umweltwärme im GHD-Sektor 102

5.1.3. Ermittlung des Verbrauchs von flüssiger und gasförmiger Biomasse im GHD-Sektor 103

5.1.3.1. Ermittlung des Verbrauchs von flüssiger und gasförmiger Biomasse insgesamt 103

5.1.3.2. Exkurs: Energiebilanzkompatible Darstellung von Biomethan 106

5.1.4. Ermittlung des Verbrauchs von Holzkohle im GHD-Sektor 113

5.1.5. Ermittlung des Dieselverbrauchs für den GHD-Sektor 114

5.1.6. Ermittlung des Ottokraftstoffverbrauchs für den GHD-Sektor 124

5.2. Umsetzung der Restrechnung für den GHD-Sektor 131

5.2.1. Restrechnung zur Ermittlung des Einsatzes von Heizöl, Erdgas und Fernwärme im GHD-Sektor 131

5.2.2. Restrechnung zur Ermittlung des Einsatzes von Strom im GHD-Sektor ... 135

5.2.3. Restrechnung zur Ermittlung des Einsatzes von Klär- und Deponiegas im GHD-Sektor 137

6. Integration der gewonnenen Zeitreiheninformationen (Verbrauchs- und Absatzrechnungen) in die Energiebilanz Deutschland 139

6.1.1. Integration der Zeitreihen in das bestehende Energiebilanzkonzept 140

6.1.2. Integration der Zeitreihen unter Berücksichtigung der Lagerbestandsbewegungen bei Heizöl und Flüssiggas 146

7. Kraftstoffverbrauch im motorisierten Individualverkehr (MIV) von 2010 bis 2015 149

7.1. Modellrahmen 150

7.2. Ermittlung des Fahrzeugbestandes privater und gewerblicher Halter in Deutschland 152

7.3. Fahrleistungen zur privaten und gewerblichen Nutzung von Kfz im motorisierten Individualverkehr nach Antriebsarten 156

7.4. Spezifische Kraftstoffverbräuche von Fahrzeugen im motorisierten Individualverkehr 161

7.5. Energieverbrauch des motorisierten Individualverkehrs für private und gewerbliche Nutzungszwecke 163

8. Fazit und Handlungsempfehlung 166

9. Statistischer Anhang 173

Verzeichnis der Tabellen und Schaubilder

Tabelle 1: Anzahl der Heizgradtage (G20/15) nach Postleitzahlenzonen 15

Tabelle 2: Wohnflächen öl-, erdgas- oder fernwärmebeheizter Mehrfamilienhäuser 18

Tabelle 3: Anzahl der Personen in Haushalten nach Gebäudetyp und Haushaltsgröße 27

Tabelle 4: Umrechnung des Holzverbrauchs der Privaten Haushalte nach Sortimenten von Mengen- in energetische Einheiten 39

Tabelle 5: Zweitheizungssysteme nach Technologie 42

Tabelle 6: Produktion, Außenhandel und Verbrauch von Holzkohle 46

Tabelle 7: Energiebilanz Holzkohle 48

Tabelle 8: Netto-Kollektoraperturfläche in Privaten Haushalten in Deutschland 53

Tabelle 9: Kollektorertrag in Privaten Haushalten nach Monaten und Anwendungen 58

Tabelle 10: Wärmebedarf Privater Haushalte nach Monaten und Anwendungen 59

Tabelle 11: Energiebilanzkompatibler Verbrauch solarthermischer Energie (Raumwärme und Warmwasser) in Privaten Haushalten im Jahr 2015 60

Tabelle 12: Gesamter Verbrauch solarthermischer Energie in Privaten Haushalten 60

Tabelle 13: Installierte Wärmepumpen in privaten Haushalten nach Technologie in Deutschland 64

Tabelle 14: Verbrauch von Umweltwärme in Privaten Haushalten 64

Tabelle 15: Zuordnung von Biomasse-BHKW nach Wirtschaftszweigen anhand der elektrischen Leistung und Bevölkerungsdichte 70

Tabelle 16: KWK-Stromerzeugung (netto) aus flüssiger und gasförmiger Biomasse nach Sektoren 71

Tabelle 17: Spezifische Stromkennziffern und Stromnutzungsgrade verschiedener Biomasse-Anlagentypen nach Sektoren 73

Tabelle 18: Verbrauch von flüssiger Biomasse, Biogas und Biomethan der Privaten Haushalte in Deutschland 74

Tabelle 19: Bestand an Rasenmähern, Motorsägen und sonstige Gartengeräten in Privaten Haushalten 78

Tabelle 20: Benzinverbrauch zum Betrieb motorisierter Gartengeräte in Privaten Haushalten 81

Tabelle 21: Geschätztes Tankvolumen der Privaten Haushalte in Deutschland 85

Tabelle 22: Netto-Kollektoraperturfläche im GHD-Sektor 100

Tabelle 23: Kollektorertrag im GHD-Sektor nach Anwendungen 100

Tabelle 24: Gesamter Verbrauch solarthermischer Energien im GHD-Sektor 101

Tabelle 25: Verbrauch von Umweltwärme im Sektor GHD 102

Tabelle 26: Verbrauch von flüssiger Biomasse, Biogas und Biomethan des GHD-Sektors in Deutschland 104

Tabelle 27: Alternative Konzepte zur Darstellung des Energieträger Biomethan in der Energiebilanz Deutschland 108

Tabelle 28: Anzahl der Biomethan-Aufbereitungsanlagen nach Technologie 110

Tabelle 29: Substratzusammensetzung des Roh-Biogases bei der Aufbereitung zu Biomethan 111

Tabelle 30: Vollständige Darstellung der Biomethan-Bilanz für Deutschland 112

Tabelle 31: Energieverbrauch an Holzkohle im GHD-Sektor 114

Tabelle 32: Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs (Diesel, Biodiesel und Pflanzenöl) der Land- und Forstwirtschaft 116

Tabelle 33: Ermittelter Dieselverbrauch der Land- und Forstwirtschaft differenziert nach Kraftstoffart 117

Tabelle 34: Berechnung des Kraftstoffeinsatzes in der Bauwirtschaft 121

Tabelle 35: Dieselverbrauch in der Bauwirtschaft 122

Tabelle 36: Dieselkraftstoffverbrauch (ohne biogene Anteile) des Sektors GHD 123

Tabelle 37: Gewerblicher Bestand benzinbetriebenen Geräte 128

Tabelle 38: Benzinverbrauch gewerblich genutzter Rasenmäher, Motorsägen und sonstiger Gartengeräte 129

Tabelle 39: Benzinverbrauch der Bauwirtschaft 130

Tabelle 40: Benzinverbrauch (ohne Beimischungen) des GHD-Sektors 131

Tabelle 41: Verbrauch an Heizöl, Erdgas und Fernwärme der Privaten Haushalte 132

Tabelle 42: Ermittlung des Energieverbrauchs an Heizöl, Erdgas und Fernwärme im GHD-Sektor (Restrechnung) 132

Tabelle 43: Stromverbrauch privat genutzter Kfz 137

Tabelle 44: Verbrauch Klär- und Deponiegas im Sektor GHD in Deutschland 138

Tabelle 45: Auswirkungen auf die Energiebilanz (verkürzte Darstellung) 146

Tabelle 46: Aufteilung des Bestandes von Fahrzeugen des motorisierten Individualverkehrs (Krafträder, Pkw, Lkw) nach Zulassung und Nutzung 157

Tabelle 47: Durchschnittliche Fahrleistung von Kfz 158

Tabelle 48: Durchschnittliche Kraftstoffverbräuche von Kfz mit Baujahr 2015 162

Tabelle 49: Energieverbrauch im motorisierten Individualverkehr für private Fahrzwecke 164

Tabelle 50: Energieverbrauch im motorisierten Individualverkehr für gewerbliche Fahrzwecke 165

Schaubild 1: Komponenten zur Ermittlung des Heizöl-, Erdgas- und Fernwärmeverbrauchs der Privaten Haushalte 7

Schaubild 2: Techem-Stichprobe: Anzahl aller Heizungsanlagen nach Art des eingesetzten Energieträgers 9

Schaubild 3: Techem-Stichprobe: Anzahl der reinen Heizungsanlagen nach Art des eingesetzten Energieträgers 10

Schaubild 4: Techem-Stichprobe: Anzahl der verbundenen Anlagen (Heizung u. Warmwasser) nach Art des eingesetzten Energieträgers 10

Schaubild 5: Techem-Stichprobe: Anzahl der Wohnungen (Heizungsanlagen u. verbundene Anlagen) nach Art des eingesetzten Energieträgers 12

Schaubild 6: Wohnfläche des von Techem ausgewerteten Bestandes 12

Schaubild 7: Anteile verschiedener Gebäudegrößenklassen an der Gruppe der Mehrfamilienhäuser >3 Wohneinheiten nach Mikrozensus 2010 und Techem 2010 14

Schaubild 8: Anzahl der Gradtage in Deutschland (alternative Gewichtungsverfahren) 16

Schaubild 9: Spezifischer Fernwärmeverbrauch in Mehrfamilienhäusern (>3 Wohneinheiten) 17

Schaubild 10: Energieverbrauch[1] der Zweifamilienhäuser in Deutschland 19

Schaubild 11: Energieverbrauch[1] der Mehrfamilienhäuser (>3 Wohneinheiten) in Deutschland 19

Schaubild 12: Heizölverbrauch der Zwei- und Mehrfamilienhäuser in Deutschland 21

Schaubild 13: Erdgasverbrauch der Zwei- und Mehrfamilienhäuser in Deutschland 21

Schaubild 14: Fernwärmeverbrauch der Zwei- und Mehrfamilienhäuser in Deutschland 22

Schaubild 15: Konzeption und Struktur des EEFA-Wohnungsmodells: Raumwärmemodul 24

Schaubild 16: Konzeption und Struktur des EEFA-Wohnungsmodells: Warmwassermodul 25

Schaubild 17: Heizölverbrauch der Einfamilienhäuser in Deutschland für Raumwärme und Warmwasser 28

Schaubild 18: Erdgasverbrauch der Einfamilienhäuser in Deutschland für Raumwärme und Warmwasser 29

Schaubild 19: Fernwärmeverbrauch der Einfamilienhäuser in Deutschland für Raumwärme und Warmwasser 29

Schaubild 20: Verbrauch von Heizöl in Mehrfamilienhäusern 31

Schaubild 21: Verbrauch von Erdgas in Mehrfamilienhäusern 32

Schaubild 22: Verbrauch von Fernwärme in Mehrfamilienhäusern 32

Schaubild 23: Erdgasverbrauch Privater Haushalte zu Kochzwecken 34

Schaubild 24: Heizölverbrauch und -absatz der Privaten Haushalte 36

Schaubild 25: Erdgasverbrauch der Privaten Haushalte 36

Schaubild 26: Fernwärmeverbrauch der Privaten Haushalte 37

Schaubild 27: Holzverbrauch der Privaten Haushalte 44

Schaubild 28: Schema zur Berechnung des tatsächlichen solarthermischen Verbrauchs der Privaten Haushalte 50

Schaubild 29: Konzeption und Struktur des ZSW-Solarthermiemodells 51

Schaubild 30: Globalstrahlungsraster am Beispiel von Niedersachsen 55

Schaubild 31: Messstationen zur Ermittlung der durchschnittlichen Lufttemperatur nach Bundesländern 56

Schaubild 32: Verbrauch solarthermischer Energie der Privaten Haushalte 61

Schaubild 33: Verbrauch von Umweltwärme der Privaten Haushalte 65

Schaubild 34: Berechnung des Einsatzes von flüssiger und gasförmiger Biomasse zur Wärmeerzeugung in Privaten Haushalten 67

Schaubild 35: Verbrauch von flüssiger Biomasse der Privaten Haushalte 75

Schaubild 36: Verbrauch von gasförmiger Biomasse der Privaten Haushalten 75

Schaubild 37: Benzinverbrauch der Privaten Haushalte 81

Schaubild 38: Tankbestände (HEL) bei Privaten Haushalten 83

Schaubild 39: Beobachtete und geschätzte Entwicklung der Tankbestände (HEL) bei Privaten Haushalten 84

Schaubild 40: Jährliche absolute Veränderung der Tankbestände (HEL) bei Privaten Haushalten 87

Schaubild 41: Jährliche absolute Veränderung der Flüssiggas bei Privaten Haushalten 88

Schaubild 42: Jährliche absolute Veränderung der HEL-Lagerbestände im GHD-Sektor (Verfahren 1) 91

Schaubild 43: Jährliche absolute Veränderung der HEL-Lagerbestände im GHD-Sektor (Verfahren 2) 95

Schaubild 44: Jährliche absolute Veränderung der HEL-Lagerbestände im GHD-Sektor (Verfahren 3) 96

Schaubild 45: Verbrauch von solarthermischer Energie des GHD-Sektors 101

Schaubild 46: Verbrauch von Umweltwärme des GHD-Sektors 103

Schaubild 47: Verbrauch von flüssiger Biomasse des GHD-Sektors 105

Schaubild 48: Verbrauch von gasförmiger Biomasse des GHD-Sektors 105

Schaubild 49: Dieselverbrauch des GHD-Sektors 124

Schaubild 50: Benzinverbrauch des GHD-Sektors 131

Schaubild 51: Heizölabsatz an den GHD-Sektor 134

Schaubild 52: Erdgasverbrauch des GHD-Sektors 134

Schaubild 53: Fernwärmeverbrauch des GHD-Sektors 135

Schaubild 54: Auswirkungen auf den Primärenergieverbrauch insgesamt 142

Schaubild 55: Auswirkungen auf den Endenergieverbrauch insgesamt 143

Schaubild 56: Auswirkungen auf den Primärenergieverbrauch erneuerbarer Energien 144

Schaubild 57: Auswirkungen auf den Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien 144

Schaubild 58: Auswirkungen auf den Primärenergieverbrauch (inkl. Umbuchung der Lagerbestandseffekte aus den Sektoren Private Haushalte und GHD) 147

Schaubild 59: Auswirkungen auf den Endenergieverbrauch (inkl. Umbuchung der Lagerbestandseffekte aus den Sektoren Private Haushalte und GHD) 148

Schaubild 60: Darstellung und Struktur des ZSW-Straßenverkehrsmodells 151

Schaubild 61: Bestand auf private und gewerbliche Halter zugelassener Kfz in Deutschland nach Fahrzeuggruppen 152

Schaubild 62: Bestand auf private und gewerbliche Halter zugelassener Kfz in Deutschland nach Antriebsarten 153

Schaubild 63: Bestand auf private Halter zugelassener Pkw in Deutschland nach Fahrzeuggruppen 155

Schaubild 64: Bestand auf gewerbliche Halter zugelassener Pkw in Deutschland nach Fahrzeuggruppen 155

Schaubild 65: Spezifische Fahrleistungen von privat genutzten Kfz nach Fahrzeuggruppen und Antriebsarten 159

Schaubild 66: Spezifische Fahrleistungen von gewerblich genutzten Kfz nach Fahrzeuggruppen und Antriebsarten 160

Schaubild 67: Spezifische Kraftstoffverbräuche von Kfz nach Fahrzeuggruppen und Antriebsarten 163

Schaubild 68: Zusammenfassung der Ergebnisse: Ermittelte Zeitreihen zum Energieverbrauch der Privaten Haushalte sowie des GHD-Sektors 169

1. Aufgabenstellung

Im Jahr 2015 fragten die Letztverbraucher in Deutschland nach vorläufigen Berechnungen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AG Energiebilanzen) rund 8 877 PJ an Brennstoffen, Wärme und elektrischem Strom nach. Etwa 29 % dieser Endenergienachfrage entfiel auf industrielle Verbraucher, der Rest in der Reihenfolge ihrer Bedeutung auf den Verkehr (29,5 %), die Privaten Haushalte (25,8 %) sowie den Sektor „Gewerbe, Handel und Dienstleistungen" (GHD) (15,7 %).[1]

Zur Berechnung dieses Endenergieverbrauchs liegen belastbare Daten im Rahmen regelmäßig wiederkehrender statistischer Erhebungen durch das Statistische Bundesamt nur für die Industrie vor. Damit sind rund 71 % des Endenergieverbrauchs nicht über amtliche Erhebungen abgedeckt.

Bei der Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland (aber auch im Rahmen der internationalen energiestatistischen Berichtspflichten gegenüber der International Energy Agency (IEA) oder dem Statistischen Amt der Europäischen Kommission (Eurostat)) bereitet die unzureichende und lückenhafte Datenbasis teilweise erhebliche Schwierigkeiten. Das Institut Energy Environment Forecast Analysis (EEFA) hat vor diesem Hintergrund (unter anderem) zusammen mit dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Jahr 2015 eine umfassende Methodik zur regelmäßigen und aktuellen Ermittlung in nicht von der amtlichen Statistik erfassten Bereichen entwickelt.[2]

Die Studie kommt im Kern zu dem Ergebnis, dass eine kostengünstige Verbesserung der Datenqualität für die zukünftige Abbildung des Endenergieverbrauchs in den Sektoren Private Haushalte und GHD im Rahmen der Erstellung der Energiebilanz Deutschland bei den wichtigen Energieträgern machbar ist. Eine wichtige empirische Grundlage dazu bilden umfangreiche empirische Datenbestände der Energiekostenabrechnungsfirmen zum Energieverbrauch der Privaten Haushalte (Heizöl, Erdgas und Fernwärme) zur Bereitstellung von Warmwasser und Raumwärme, die im Wege der Hochrechnung auch für Zwecke der Energiebilanzerstellung genutzt werden können. Geeignete Modellrechnungen (sowie zum Teil auch Auswertungen verstreut vorliegender empirischer Erhebungen und Datensammlungen) ergänzen bzw. unterstützen die angesprochenen Hochrechnungen in einzelnen Segmenten (z.B. zur Ermittlung des Energiebe-

[1] Vgl. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.

[2] Vgl. EEFA et al. (2015).

darfs zur Beheizung von Einfamilienhäusern sowie zur Ermittlung belastbarer Zeitreihen zum Einsatz erneuerbarer Energien in Privaten Haushalten).

Im Mittelpunkt der Umsetzungsstudie steht also die Ermittlung belastbarer Zeitreihen zur Entwicklung des Energieverbrauchs der Privaten Haushalte in der Zeit von 2010 bis 2015. Der Grund für die Konzentration auf die Ermittlung des Energieverbrauchs der Privaten Haushalte ist, dass jede Verbesserung der Datenqualität bei der Erfassung des Haushaltsenergieverbrauchs sich – quasi automatisch – im Rahmen der Erstellung der Energiebilanz Deutschland in einer genaueren Abbildung des als Restgröße ermittelten Energieverbrauchs im GHD-Sektor niederschlägt.

Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) einen Forschungsauftrag an die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AG Energiebilanzen) vergeben, indem die in der o.g. Konzeptstudie erarbeiteten Methoden zur Bereitstellung belastbarer, energiestatistischer Daten in den Sektoren GHD und Private Haushalte (sowie Motorisierter Individualverkehr) empirisch umgesetzt werden sollen. Zur Durchführung der Forschungsarbeiten hat die AG Energiebilanzen Unteraufträge an die Forschungsinstitute Energy Environment Forecast Analysis GmbH&Co. KG (EEFA) sowie Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) vergeben.

Zu diesem Forschungsprojekt legt die AG Energiebilanzen den folgenden Endbericht vor. Die Studie ist wie folgt aufgebaut:

Im ersten Arbeitsschritt wird aufbauend auf den Ergebnissen der Konzeptstudie das exakte Vorgehen zur empirischen Umsetzung der Studie dargestellt (Kapitel 2).

Der zweite Arbeitsschritt (Kapitel 3) enthält die Darstellung der ermittelten Zeitreihen zum Energieverbrauch des Sektors „Private Haushalte“, die zugleich den Ausgangspunkt für alle weiteren Betrachtungen und Analysen im Rahmen der vorliegenden Umsetzungsstudie bilden. Die Datenreihen umfassen grundsätzlich die Berichtsjahre von 2010 bis 2015, wobei zu beachten ist, dass einige Daten insbesondere für das Berichtsjahr 2015 zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Studie noch einen vorläufigen Charakter aufweisen (Schätzwerte sind im Text, Tabellen und Schaubildern kenntlich gemacht).

Bei den lagerfähigen Brennstoffen erfasst die Energiebilanz Deutschland generell an Private Haushalte und den GHD-Sektor abgesetzte bzw. gelieferte Mengen dieser Energieträger. In dieser Studie werden im Rahmen von Hoch- und Modellrechnungen, im Gegensatz zu den Konventionen der Energiebilanz Deutschland, zunächst Zeitreihen zum Energieverbrauch der Privaten Haushalte (nicht zum Absatz an diese Endkunden) ermittelt. Eine wesentliche Voraussetzung zur Berechnung des Energieverbrauchs bzw. -absatzes im GHD-Sektor als Restgröße ist unter diesen Prämissen die Anwendung geeigneter Verfahren zur Bestimmung der Lagerbestandsbewegungen (wenn nur

der Verbrauch bekannt ist). Darüber hinaus erscheint es sinnvoll, auch den als Restgröße ermittelten Absatz an den GHD-Sektor um die Veränderung der Lagerbestände zu bereinigen und diese separat darzustellen. Auf diese Weise erhalten die Nutzer der Energiebilanz Deutschland die Option, sich im Rahmen von Analysen des Endenergieverbrauchs entweder auf Absatz, oder den Verbrauch zu beziehen (Kapitel 4).

Im vierten Arbeitsschritt schließlich wird – auf der Grundlage der bislang gewonnenen empirischen Erkenntnisse der beiden vorausgegangenen Arbeitsschritte – der Energieverbrauch des GHD-Sektors im Wege der Restrechnung ermittelt. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass das Konzept der Restrechnung aufgrund der gewählten Methodik bei der Erstellung der Energiebilanz nicht uneingeschränkt für alle Energieträger angewendet werden kann. Für ausgewählte Energieträger müssen aus diesem Grund zusätzlich Zeitreihen zum Energieverbrauch im GHD-Sektor (überwiegend mit Hilfe von Modellierungsansätzen) ermittelt werden (Kapitel 5).

Der fünfte Arbeitsschritt (Kapitel 6) analysiert, welche Auswirkungen zu erwarten sind, wenn die in dieser Studie vorgestellten Konzepte und Resultate in die Energiebilanz Deutschland übernommen werden. Es liegt auf der Hand, dass in diesem Abschnitt insbesondere die Auswirkungen der veränderten Datenlage auf die Sektoren Private Haushalte und GHD sowie die übergeordneten Aggregate Endenergie- und Primärenergieverbrauch beleuchtet werden. Eingebettet in diesen Abschnitt ist zusätzlich eine kurze Analyse der Auswirkungen auf die Energiebilanz Deutschland, wenn anstelle des Absatzes an lagerfähigen Energieträgern (Heizöl und Flüssiggas) bei den Privaten Haushalten und im GHD-Sektor der tatsächliche Energieverbrauch bilanziert wird (Erfassung der Lagerbestandsbewegungen in der Primärenergiebilanz).

Der nächste Abschnitt (Kapitel 7) ermittelt modellhaft den Kraftstoffverbrauch im motorisierten Individualverkehr, der auf die private und gewerbliche Nutzung von Kraftfahrzeugen zurückgeht. Diese Ermittlung dient weniger der Verbesserung der Datengrundlagen zur Erstellung der Energiebilanz Deutschland, sondern stellt eher eine wichtige Zusatzinformation für weitergehende Analysen dar. Beispielsweise bilden die Kosten für den Kraftstoffverbrauch im motorisierten Individualverkehr einen wichtigen Bestandteil der gesamten Energieausgaben der Privaten Haushalte. Zudem sind Teilergebnisse der Berechnungen mit dem neu entwickelten Straßenverkehrsmodell zusätzlich relevant für die Erstellung konsistenter Gesamtbilanzen für den Energieträger Strom.

Eine Zusammenfassung und Bewertung der Resultate, sowie Überlegungen zur weiteren Nutzung der vorliegenden Ergebnisse im Rahmen der zukünftigen Erstellung der Energiebilanz Deutschland, beschließen die Studie.

2. Ergebnisse der Konzeptstudie und weiteres Vorgehen

Die Konzeptstudie (BMWi-Studie 18/14) hat gezeigt, dass allein die Energieträger Erdgas, Heizöl und Fernwärme rund 67 % (2013) der gesamten Energienachfrage der Privaten Haushalte decken. Nimmt man elektrischen Strom und die erneuerbaren Energien zusätzlich mit in den Blick, entfielen im Jahr 2013 auf diese Energieträger rund 98 % des gesamten Haushaltsenergieverbrauchs.

Hingegen spielen Flüssiggas und Kohle als Energieträger im Sektor „Private Haushalte" eine eher untergeordnete und teilweise in Zukunft weiter abnehmende Rolle. Vor diesem Hintergrund konzentriert sich die Ermittlung belastbarer Energieverbrauchsdaten – wie bereits in der Konzeptstudie genauer beschrieben – einerseits auf die für die Energiebilanz Deutschland wichtigen Energieträger (Erdgas, Heizöl, Fernwärme und erneuerbare Energien) andererseits auf das empirisch Machbare (also auf jene Energieträger, für die kostengünstige, alternative Ermittlungskonzepte zur Verbesserung der Datenqualität überhaupt zur Verfügung stehen).

Zur Ermittlung des Energieverbrauchs der Privaten Haushalte ist konkret folgende, nach Energieträgern differenzierte, Vorgehensweise geplant:

- **Erdgas, leichtes Heizöl und Fernwärme**: Hochrechnung des Energieverbrauchs auf Basis der in der Techem-Studie („Energiekennwerte") veröffentlichten Verbrauchsinformationen für den Wohnungsbestand in Mehrfamilienhäusern. Um den Erdgas-, Heizöl- und Fernwärmeverbrauch für das Segment der Einfamilienhäuser abzubilden, wird auf Berechnungen des EEFA-Wohnungsmodells zurückgegriffen, das im Rahmen der Konzeptstudie bereits ausführlich beschrieben wurde.
- **Feste biogene Stoffe (Holz, Holzkohle)**: Ermittlung einer vollständigen Zeitreihe auf Basis des im Rahmen der Mantau-Studie („Energieholzverwendung in privaten Haushalten") empirisch erhobenen, hochgerechneten Verbrauchs von Holz in Privaten Haushalten der Jahre 2010 und 2014. Zusätzlich dazu wird in der vorliegenden Umsetzungsstudie erstmals eine vollständige Zeitreihe für den bislang nicht in der Energiebilanz Deutschland erfassten Sekundärenergieträger „Holzkohle" auf Basis vorliegender empirischer Informationen ermittelt.
- **Flüssige und gasförmige Biomasse**: Modellierung insbesondere des Verbrauchs flüssiger und gasförmiger Biomasse in Privaten Haushalten auf der Basis von EEG-Abrechnungsdaten sowie spezifischen Anlagenwirkungsgraden und BHKW-Kenndaten.
- **Sonstige erneuerbare Energien**: Ermittlung des Verbrauchs von Sonnenenergie und Umweltwärme in Solarkollektoren sowie Wärmepumpen im Rahmen von Modellen, die auf der Verknüpfung von Informationen zum Anlagenpark und spezifischen Anlagenparametern sowie Klimadaten beruhen.

- **Ottokraftstoffe:** Schätzung des Kraftstoffverbrauchs Privater Haushalte zum Betrieb mobiler Geräte und Verbrennungsmotoren, die im Rahmen einer Modellrechnung (aufbauend auf der Nutzung exogener Informationen) auf eine belastbarere und transparentere Grundlage gestellt werden.
- **Strom:** Wie bereits in der Konzeptstudie dargestellt, liegen amtliche Daten und Verbandsinformationen zum Stromverbrauch Privater Haushalte vor. Verbesserungspotentiale der Datenbasis durch Modellrechnungen werden für diesen Energieträger nicht gesehen. Der Stromverbrauch Privater Haushalte enthält jedoch Teile der im Straßenverkehrsmodell ermittelten Stromverbräuche zu Mobilitätszwecken, die berücksichtigt werden müssen.
- **Flüssiggas:** Wie bereits in der Konzeptstudie dargestellt, liegen amtliche Daten und Verbandsinformationen zum Flüssiggasabsatz an die Privaten Haushalte vor. Verbesserungspotentiale der Datenbasis durch Modellrechnungen wird für diesen Energieträger nicht gesehen. Lediglich Lagerbestandsveränderungen werden berücksichtigt.
- **Kohle:** Wie bereits in der Vorgängerstudie dargestellt, liegen für den Kohleverbrauch quasi amtliche Daten vor, die die Energiebilanz nutzen kann. Verbesserungspotentiale der Datenbasis durch Modellrechnungen wird für diese Energieträger nicht gesehen. Aus diesem Grund wird der Energieträger Kohle in dieser Untersuchung nicht weiter erwähnt.

Für die Ermittlung des Energieverbrauchs des GHD-Sektors ist konkret folgende, nach Energieträgern differenzierte Vorgehensweise geplant:

- **Erdgas, leichtes Heizöl und Fernwärme**: Restrechnungskonzept.
- **Feste biogene Stoffe (Holz, Holzkohle)**: Holz: keine Ermittlung, da Zeitreihen vorliegen. Holzkohle: wie bei Privaten Haushalten.
- **Flüssige und gasförmige Biomasse**: Modellierung wie bei Privaten Haushalten. Zudem sind die gasförmigen Biomassen Klär- und Deponiegas zu berücksichtigen, deren Verbrauch im GHD-Sektor anhand des Restrechnungskonzepts unter Verwendung empirisch erhobener Daten zum Aufkommen ermittelt wird.
- **Sonstige erneuerbare Energien**: Modellierung wie bei Privaten Haushalten.
- **Otto- und Dieselkraftstoffe:** Modellierung wie bei Privaten Haushalten und Ermittlung auf Basis der Auswertung amtlicher Daten.
- **Strom:** siehe Private Haushalte.
- **Flüssiggas:** siehe Private Haushalte.
- **Kohle:** siehe Private Haushalte.

3. Ermittlung des Energieverbrauchs der Privaten Haushalte

3.1. Ermittlung des Energieverbrauchs für leichtes Heizöl, Erdgas und Fernwärme

3.1.1. Komponenten zur Ermittlung des Heizöl-, Erdgas- und Fernwärmeverbrauchs

Für die Berechnung des Verbrauchs an Heizöl, Fernwärme und Erdgas nutzt die vorliegende Studie drei zentrale Komponenten:

- **Daten des Energiekostenabrechners „Techem“**: Die Auswertung dieser Datensammlung ist das zentrale Element zur Ermittlung des Energieverbrauchs (Heizöl, Erdgas und Fernwärme) zur Beheizung von Wohnungen und Bereitstellung von Warmwasser. Die Techem-Daten liefern belastbare empirische Informationen zum flächenspezifischen Energieverbrauch (Raumwärme und Warmwasser) der Zwei- und Mehrfamilienhäuser in Deutschland. Die Hochrechnung der Stichprobeninformationen erfolgt unter Berücksichtigung einer geeigneten Repräsentativgewichtung mit Hilfe der Informationen aus der Mikrozensuszusatzerhebung (bzw. deren Fortschreibung). Allerdings erfassen Energiekostenabrechnungsfirmen typischerweise nur den Energieverbrauch in Mehrfamilienhäusern.

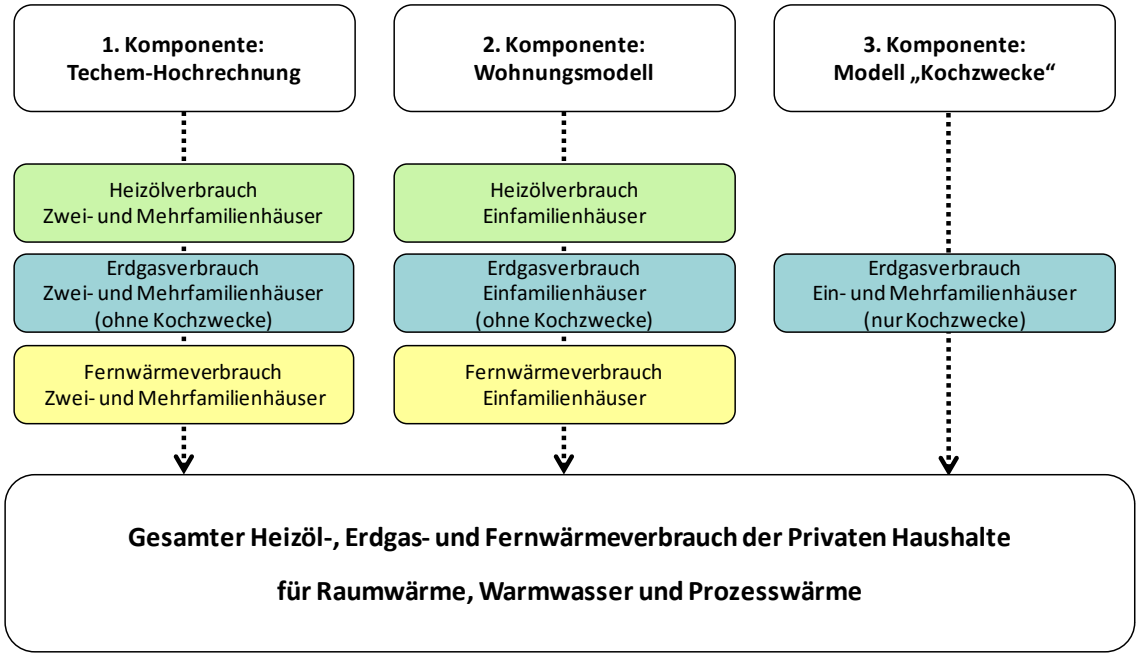
- **Berechnungen mit dem EEFA-Wohnungsmodell**: Um skizzierte Lücken zu schließen bzw. die Hochrechnungen für Zwecke der Erstellung der Energiebilanz Deutschland verwenden zu können, sind zusätzlich Schätzungen des Energieverbrauchs zur Beheizung von Wohnräumen und zur Erwärmung von Wasser in Einfamilienhäusern erforderlich.[3] Dazu wird in der vorliegenden Umsetzungsstudie auf das EEFA-Wohnungsmodell zurückgegriffen, mit dessen Hilfe der Energieverbrauch zur Beheizung von Wohnungen und zur Bereitstellung von Warmwasser differenziert nach Energieträgern, sowohl für den Bestand der Einfamilienhäuser, als auch für Zwei- und Mehrfamilienhäuser, berechnet werden kann.

- **Modellrechnung Erdgaseinsatz zu Kochzwecken**: Um den gesamten Erdgasverbrauch der Privaten Haushalte zu erfassen, ist darüber hinaus der Einsatz dieses Energieträgers zu Kochzwecken zu berücksichtigen. Der Erdgasverbrauch zu Kochzwecken wird in einem ergänzenden Modell ermittelt.

[3] In diesem Zusammenhang ist der Hinweis von Bedeutung, dass eine einfache Übertragung des flächenspezifischen Heizenergiebedarfs der Zwei- oder Mehrfamilienhäuser aus den vorliegenden Techem-Daten auf die Gruppe der Einfamilienhäuser nicht sachgerecht ist. Der Grund hierfür ist, dass die flächenspezifischen Energieverbrauchskennwerte von Einfamilienhäusern sich aufgrund ihrer typischen Gebäudeeigenschaften (Verhältnis von Gebäudehülle zu Wohnfläche, Altersstrukturen, etc.) signifikant von denen der Zwei- und Mehrfamilienhäuser unterscheiden. Allein aufgrund der skizzierten baulichen Spezifika erreichen die flächenspezifischen Energieverbräuche (kWh/m² Wohnfläche) in Einfamilienhäusern typischerweise ein Niveau, das spürbar über den Verbrauchskennziffern von Wohnungen in Mehrfamilienhäusern liegt.

Insgesamt setzt sich die Ermittlung des Energieverbrauchs an Heizöl, Erdgas und Fernwärme in Privaten Haushalten somit aus der „Techem-Hochrechnung“ (**erste Komponente**), dem „Wohnungsmodell“ (**zweite Komponente**) und dem Modell „Kochzwecke“ (**dritte Komponente**) zusammen (vgl. Schaubild 1).

Schaubild 1: Komponenten zur Ermittlung des Heizöl-, Erdgas- und Fernwärmeverbrauchs der Privaten Haushalte



Quelle: Eigene Darstellung EEFA.

3.1.2. Erste Komponente: Ermittlung des Energiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser in Zwei- und Mehrfamilienhäusern (Techem-Hochrechnung)

Um den Heizenergiebedarf von Mehrfamilienhäusern zu ermitteln, nutzt diese Studie Hochrechnungen, die für die Energieträger Erdgas, Heizöl und Fernwärme durchgeführt werden und sich ausschließlich auf die veröffentlichten Daten des Heiz- bzw. Energiekostenabrechners „Techem“ (Studie „Energiekennwerte“) stützen. Die Techem-Studie „Energiekennwerte“ liegt derzeit für die Berichtsjahre von 2010 bis 2014 vor (Studie „Energiekennwerte 2011“ bis „Energiekennwerte 2015“).[4]

[4] Vgl. Techem (2015) und ältere Jahrgänge.

Grundsätzlich halten die Techem-Studien detaillierte Angaben zum Heizenergieverbrauch von Heizöl (l/m^2), Erdgas (m^3/m^2 bzw. kWh/m^2) oder Fernwärme (kWh/m^2) von Wohnungen in Mehrfamilienhäusern bereit. Die Angaben zum spezifischen Heizenergieverbrauch werden separat für reine Heizungsanlagen und sog. verbundene Anlagen, die neben der Bereitstellung von Raumwärme auch der Aufbereitung von Warmwasser dienen, aufgegliedert. Die Auswertungen umfassen außerdem Angaben zum Warmwasserverbrauch der Privaten Haushalte (aus verbundenen Anlagen) sowie zum Energieverbrauch für die Wassererwärmung.

Der Techem-Datensatz erfasst im Einzelnen:

- spezifische Energieverbräuche (Heizung, sowie Heizung und Warmwasser) nach Energieträgern (Erdgas, Heizöl, Fernwärme) in Mehrfamilienhäusern
- Anzahl der Heizungsanlagen (reine Heizungsanlagen, verbundene Heizungsanlagen)
- Anzahl der Wohnungen,
- mittlere Wohnungsgrößen sowie als ergänzende Informationen
- Angaben zu den Heiz-, Warmwasser-, und Nebenkosten

Die wesentlichen Informationen des Datensatzes (z.B. spezifische Energieverbräuche nach Energieträgern und Gebäudegröße) liegen grundsätzlich in regionaler Gliederung differenziert nach Postleitzahlengebieten (0 bis 9), einzelnen Großstädten (bzw. städtischen Großräumen, Postleitregionen) sowie Deutschland insgesamt vor (jeweils Mittelwerte). Darüber hinaus werden die Angaben für die Postleitzahlenzonen nach Verbrauchsbereichen und der Anzahl der Wohnungen je Verbrauchseinheit (Nutzeinheiten je Abrechnungseinheiten) aufgeschlüsselt.[5]

3.1.2.1. Kennziffern des Techem-Datensatzes im Überblick (Analysierte Datenmenge 2010 bis 2014)

Die im Rahmen der Techem-Studien „Energiekennwerte“ veröffentlichten Daten für die Jahre von 2010 bis 2014 stellen Informationen zum Energieverbrauch für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser für insgesamt ca. 119 000 (Minimum

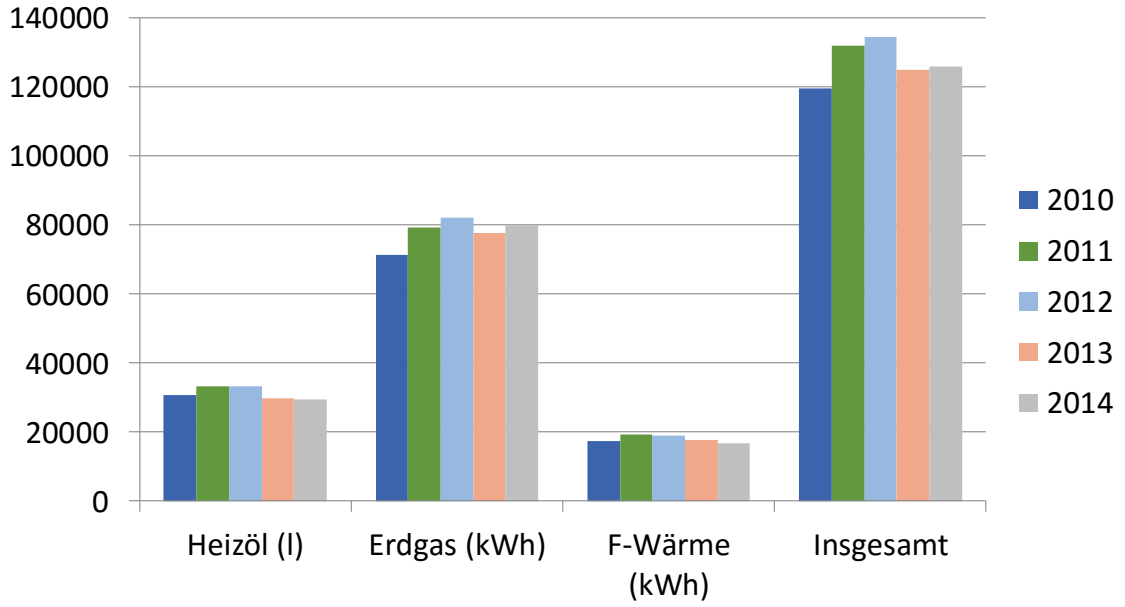
[5] Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, sich diesem Themenkomplex in größerer Tiefe und Genauigkeit zu nähern, denkbar sind folgende Stufen: Verwendung wohnort- bzw. adressscharfer Techem-Abrechnungsdaten (Rohdaten) anstelle der aggregierten, veröffentlichten Informationen. Der Vorteil dieser Vorgehensweise läge darin, dass aus den Rohdaten beliebig geschichtete regionale Daten zum Energieverbrauch nach Gebäudetypen gewonnen werden könnten. Darüber hinaus ist die Einbeziehung weiterer Datenbestände (ggf. auch Rohdatensätze) anderer Energiekostenabrechnungsfirmen (ISTA GmbH, Brunata-Metrona) zur Vergrößerung der Stichprobe bzw. Verbesserung Hochrechnungsergebnisse denkbar.

2010) bis 135 000 (Maximum 2012) Heizungsanlagen zur Verfügung.[6] Der Großteil der erfassten Heizungsanlagen (2014: 79 898 bzw. 63,4 % aller Anlagen) wird mit dem Energieträger Erdgas befeuert. Die Zahl der Heizungsanlagen in Mehrfamilienhäusern, die mit Heizöl oder Fernwärme betrieben werden, spielt gemessen an allen in der Stichprobe erfassten Heizungsanlagen mit 23,3 % bzw. 13,3 % eine deutlich geringere Rolle (vgl. Schaubild 2).

Mit Blick auf die Struktur der erfassten Heizungsanlagen fällt auf, dass die Mehrzahl als sog. verbundene Heizungsanlagen, also zur gleichzeitigen Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser, betrieben werden. Im Durchschnitt der Jahre 2010 bis 2014 erfasste die Techem-Stichprobe 87 419 verbundene Heizungsanlagen sowie 39 974 reine Heizungsanlagen (vgl. Schaubild 3 und Schaubild 4).

Schaubild 2: Techem-Stichprobe: Anzahl aller Heizungsanlagen nach Art des eingesetzten Energieträgers

2010 bis 2014, Anzahl

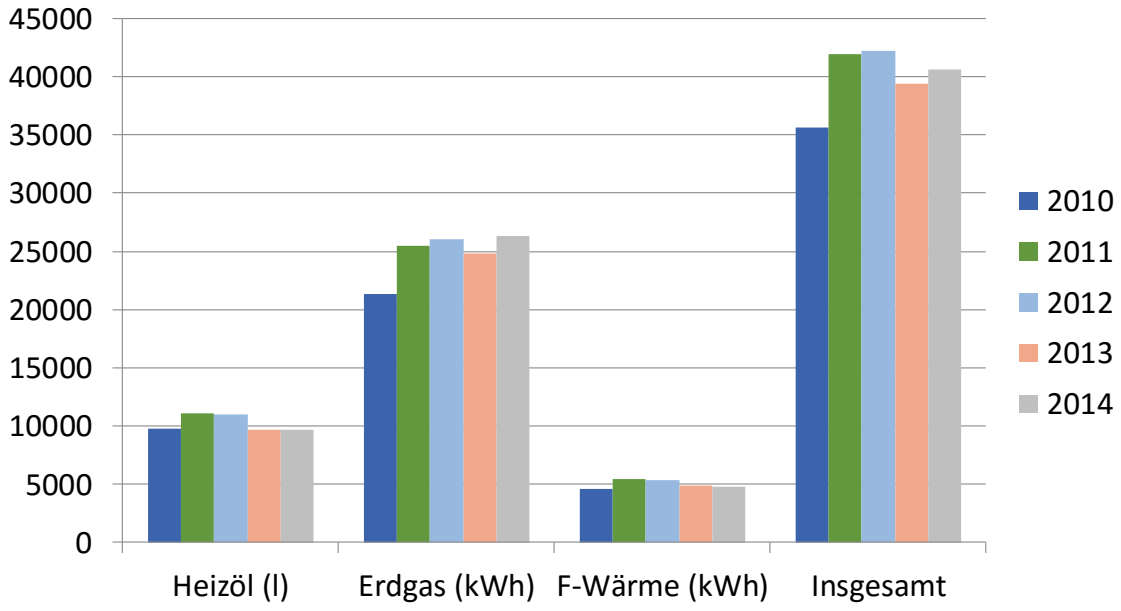


Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach Techem.

[6] Ohne Erdgasheizungen in Mehrfamilienhäusern, deren Angaben zum Energieverbrauch nicht in kWh, sondern in m^3 erfasst wurden. Hintergrund dafür ist, dass eine Umrechnung der m^3-Werte in kWh mit Hilfe eines pauschalen Umrechnungsfaktors von 10 kWh/m^3 nach Angaben von Techem zu inakzeptablen Ungenauigkeiten führt.

Schaubild 3: Techem-Stichprobe: Anzahl der reinen Heizungsanlagen nach Art des eingesetzten Energieträgers

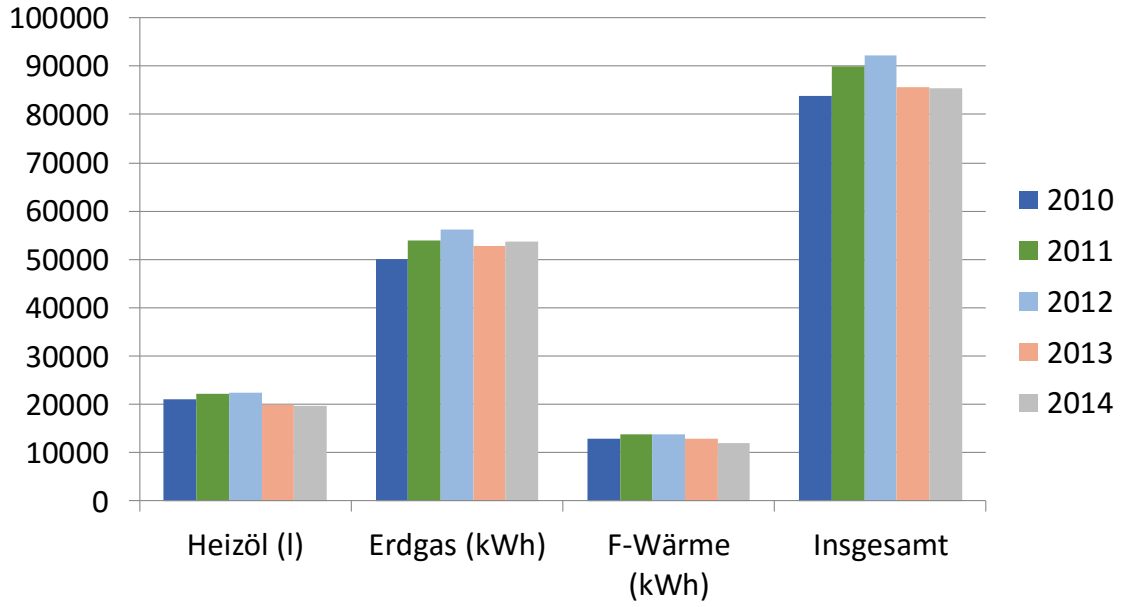
2010 bis 2014, Anzahl



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach Techem.

Schaubild 4: Techem-Stichprobe: Anzahl der verbundenen Anlagen (Heizung u. Warmwasser) nach Art des eingesetzten Energieträgers

2010 bis 2014, Anzahl



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach Techem.

Hinter der Anzahl der Heizungsanlagen (die einmal abgesehen von Ausnahmen der Zahl der Abrechnungseinheiten bzw. Gebäude entspricht) verbirgt sich naturgemäß eine erhebliche größere Anzahl von Wohnungen. Allein im Jahr 2014 erfasste Techem im Rahmen seiner Abrechnungstätigkeit das Verbrauchsverhalten der Bewohner von mehr als 425 000 Wohnungen in Mehrfamilienhäusern, die über reine Heizungsanlagen mit Raumwärme versorgt wurden. Hinzu kamen mehr als eine Millionen Wohnungen, die sich in Gebäuden mit Kombi-Anlagen befanden und zentral sowohl mit Warmwasser als auch Raumwärme versorgt werden.

Im Beobachtungszeitraum von 2010 bis 2014 stellten die von Techem veröffentlichen Daten somit detaillierte Informationen zum Energieverbrauch (Raumwärme und Warmwasser) von mehr als 1,5 Mio. Wohnungen in Mehrfamilienhäusern bereit. In der Spitze erfasste die Stichprobe Angaben zum Energieverbrauch von mehr als 1,59 Mio. Wohnungen (2012), im Minimum von 1,44 Mio. (2014) (Schaubild 5). Sowohl die Zusammensetzung als auch Umfang der Techem-Stichprobe (bezogen auf Anzahl erfassten Wohnungen, aber auch die Zahl der Heizungsanlagen) unterliegt naturgemäß marktgetriebenen Veränderungen.

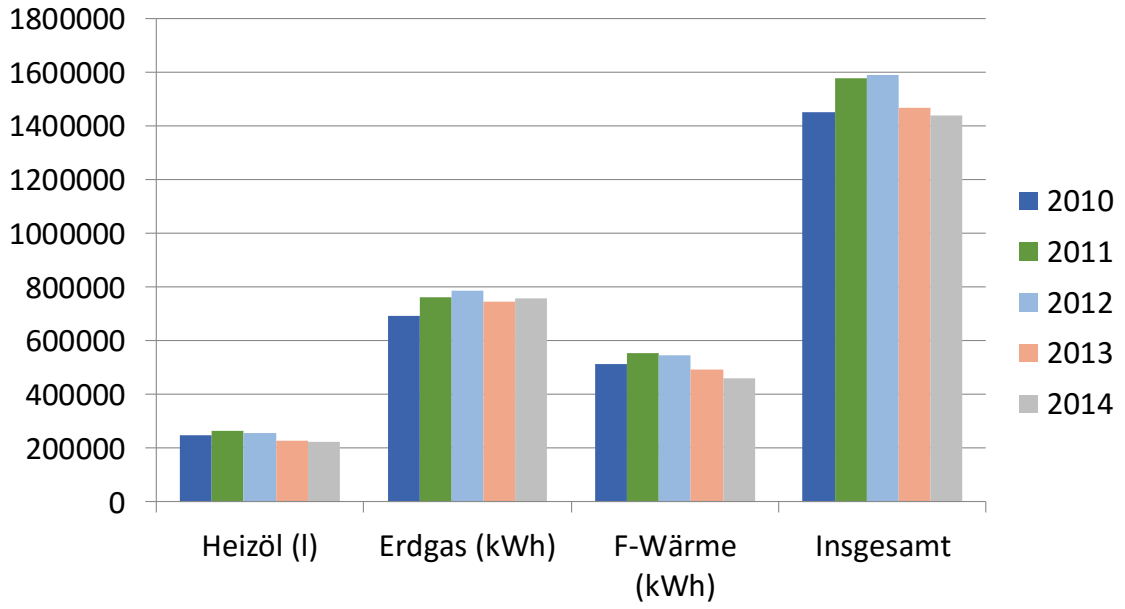
Die Größe der Wohnungen (die sich neben dem Heizverhalten der Bewohner, dem energetischen Zustand der Gebäudehülle sowie der Effizienz der Heizungsanlage maßgeblich auf den Heizenergieverbrauch auswirkt) hat sich in dem von Techem ausgewerteten Bestand im Zeitraum von 2010 bis 2014 spürbar verringert. Bei Erdgas liegt die mittlere Wohnungsgröße in Gebäuden mit verbundenen Heizungsanlagen im Jahr 2014 bei 68,8 m^2/Wohnung; im Jahr 2010 waren es noch 73,8 m^2/Wohnung. Hingegen weisen erdgasbeheizte Wohnungen, die über reine Heizungsanlagen versorgt werden im Jahr 2014 eine Größe von 67,1 m^2/Wohnung auf. Zum Vergleich: im Jahr 2010 waren es in dieser Kategorie noch 70,6 m^2/Wohnung.

Ein ähnlicher Trend sinkender mittlerer Wohnungsgrößen ist auch bei den Energieträgern Heizöl und Fernwärme zu beobachten (sowohl bei den Kombi-Heizungen als auch reinen Heizungsanlagen). Die mittlere Wohnungsgröße im Bestand der Mehrfamilienhäuser hängt darüber hinaus von regionalen Unterschieden ab (Nordosten vs. Südwesten; Stadt vs. Land)

Unter Berücksichtigung der skizzierten Unterschiede ergibt sich in dem von Techem ausgewerteten Wohnungsbestand in Mehrfamilienhäusern für das Berichtsjahr 2010 eine absolute Wohnfläche in Höhe von knapp 104 Mio. m^2. Seit 2010 ist die in der Techem-Stichprobe erfasste Gesamtwohnfläche um rund 7,3 % auf 96,3 Mio. m^2 im Jahr 2014 gesunken (vgl. Schaubild 6). Damit repräsentiert der von Techem ausgewertete Bestand an Wohnungen in Mehrfamilienhäusern, die mit Heizöl, Fernwärme oder Erdgas beheizt werden, rund 5,3 % der gesamten in diesem Segment in Deutschland vorhandenen Wohnflächen (nach Fortschreibung auf Basis der Angaben der Mikrozensus-Zusatzerhebung 2010).

Schaubild 5: Techem-Stichprobe: Anzahl der Wohnungen (Heizungsanlagen u. verbundene Anlagen) nach Art des eingesetzten Energieträgers

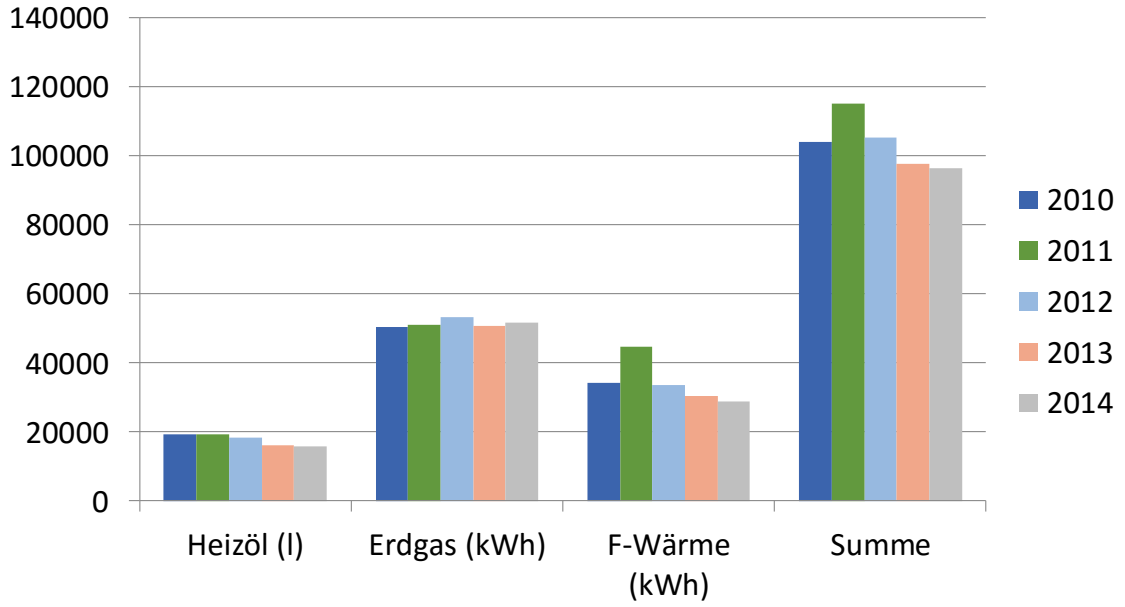
2010 bis 2014, Anzahl



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach Techem.

Schaubild 6: Wohnfläche des von Techem ausgewerteten Bestandes

2010 bis 2014, in 1000 m²



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach Techem.

3.1.2.2. Konzept der Hochrechnung

Es wurde bereits in der Konzeptstudie ausführlich darauf hingewiesen, dass die von Techem ausgewerteten Daten (ebenso wie die Datensammlungen anderer Energiekostenabrechnungsfirmen) keine Zufallsstichprobe bilden. Mit anderen Worten kann die Techem-Stichprobe also keineswegs als repräsentativ im Hinblick auf die beobachteten Merkmalsausprägungen in der Grundgesamtheit angesehen werden. Um die Techem-Daten dennoch für Hochrechnungen auf den Gesamtenergieverbrauch nutzen zu können, müssen diese also mit Hilfe geeigneter Gewichtungsfaktoren korrigiert werden, um bekannte Abweichungen bzw. Verzerrungen in Bezug auf die Grundgesamtheit auszuschalten.

Bekannte Verzerrungen beziehen sich zum einen auf die Bedeutung größerer Mehrfamilienhäuser in der Techem-Stichprobe. In den Daten der Energiekostenabrechner sind große Mehrfamilienhäuser typischerweise überrepräsentiert, da die professionelle Abrechnung der Energiekosten mit wachsender Zahl der Abrechnungseinheiten schon aus Gründen der Rechtssicherheit immer unverzichtbarer wird.

Gleichzeitig ist aus Untersuchungen des Energieverbrauchs bekannt, dass der flächenspezifische Energieverbrauch für Raumwärmezwecke mit der Zunahme der Gebäudegröße (Anzahl der Wohnungen) im Bereich der Mehrfamilienhäuser tendenziell abnimmt. Eine einfache (unkorrigierte) Hochrechnung der flächenspezifischen Energieverbräuche würde folglich zu einer Verzerrung bzw. Überschätzung des tatsächlichen Heizenergieverbrauch führen.

Um diese Verzerrung zu korrigieren, wird der flächenspezifische Energieverbrauch in der Gruppe der Mehrfamilienhäuser (Gebäude mit drei und mehr Wohneinheiten) mit Hilfe von Repräsentativfaktoren so gewichtet, dass die Anteile der Gebäudeklassen (bezogen auf die Wohnflächen) denen in der Grundgesamtheit (bzw. den in der Mikrozensus-Zusatzerhebung 2010[7] angegebenen Gewichten der Gebäudeklasse) entspricht. Vergleicht man die Anteile kleiner (3 bis 6 Wohneinheiten), mittlerer (7 bis 12 Wohneinheiten) und großer (mehr als 13 Wohneinheiten) Mehrfamilienhäuser an der Gruppe aller Mehrfamilienhäuser mit mehr als 3 Wohneinheiten fallen Unterschiede ins Auge, die sich allerdings in erster Linie auf Mehrfamilienhäuser beziehen, die mit Fernwärme versorgt werden (vgl. Schaubild 7). Insbesondere ist die Gruppe mittelgroßer fernwärmebeheizter Mehrfamilienhäuser in den Daten von Techem – verglichen mit den Verhältnissen, die in der Mikrozensus-Zusatzerhebung 2010 abgebildet sind – stark

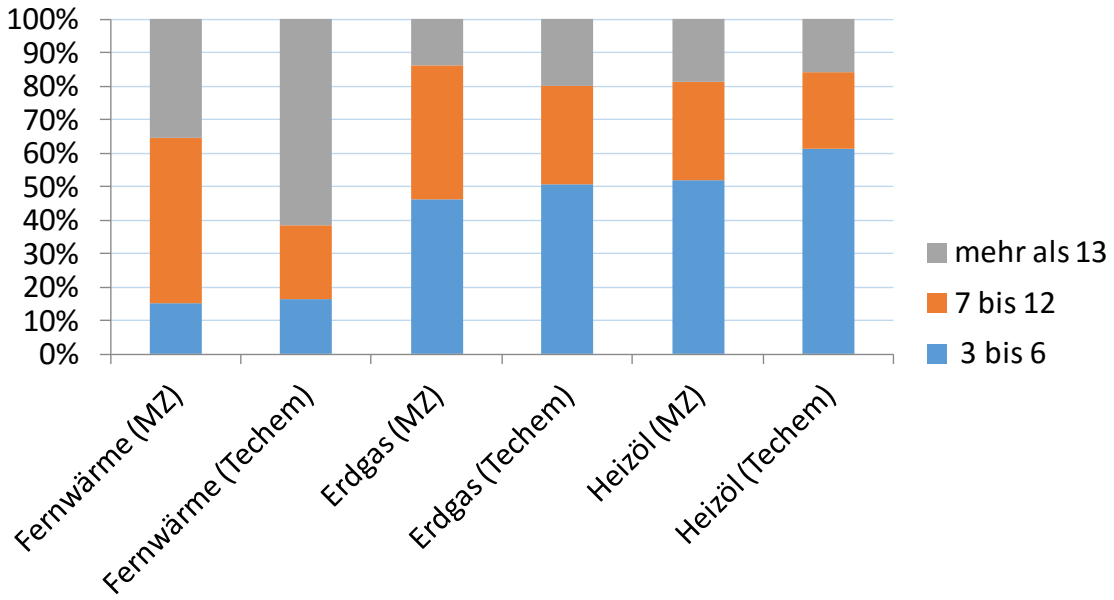
[7] Vgl. StBA (2012).

unterrepräsentiert; die Gruppe sehr großer Mehrfamilienhäuser, die mit Fernwärme versorgt werden, hingegen überrepräsentiert.

Eine weitere bekannte Verzerrung bezieht sich auf die Witterungsbedingungen. Die Techem-Daten können – wie bereits erwähnt – nicht als echte Zufallsstichprobe interpretiert werden. Insofern kann nicht sicher ausgeschlossen werden, dass Wohngebäude in kühleren oder wärmeren Regionen aufgrund der Kundenstruktur des Unternehmens (die Auswahl der Mehrfamilienhäuser folgt allein den Marktgegebenheiten) über- bzw. unterrepräsentiert sind. Um damit verbundene Verzerrungen auszuschalten, werden die aus den Stichprobendaten ermittelten flächenspezifischen Heizenergieverbräuche (auf der Ebene von Postleitzahlenzonen) mit Hilfe der Heizgradtage auf die klimatischen Bedingungen in Deutschland normalisiert.

Schaubild 7: Anteile verschiedener Gebäudegrößenklassen an der Gruppe der Mehrfamilienhäuser >3 Wohneinheiten nach Mikrozensus 2010 und Techem 2010

2010 bis 2014, Anteile in %



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach Techem und StBA (2012).

Die dazu erforderlichen Zeitreihen zur Entwicklung der Anzahl der Heizgradtage auf der Ebene von Postleitzahlenzonen in der Zeit von 2010 bis 2015 wurden unter Zuhilfenahme des IWU-Gradtagszahlenrechners ermittelt. Mit diesem Excel-Tool lassen sich die Gradtagzahlen in Deutschland für 44 Orte (Wetterstationen) bis Dezember 2015

ermitteln.[8] Die Gradtage ergeben sich nach der Zuordnung zum jeweiligen Postleitzahlengebiet als einfache Mittelwerte über die Wetterstationen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Anzahl der Heizgradtage (G20/15) nach Postleitzahlenzonen
2010 bis 2015, Anzahl

Postleitzone	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Postleitzone 0	4 297	3 421	3 681	3 896	3 232	3 410
Postleitzone 1	4 266	3 417	3 681	3 743	3 223	3 433
Postleitzone 2	4 254	3 500	3 733	3 796	3 165	3 474
Postleitzone 3	4 170	3 364	3 611	3 701	3 171	3 394
Postleitzone 4	3 818	3 040	3 322	3 565	2 561	3 008
Postleitzone 5	4 056	3 377	3 751	3 999	3 330	3 605
Postleitzone 6	3 813	3 045	3 386	3 601	2 875	3 240
Postleitzone 7	3 799	3 057	3 377	3 607	2 900	3 192
Postleitzone 8	4 462	2 935	3 101	3 255	2 794	3 743
Postleitzone 9	4 623	3 184	3 385	3 558	3 019	3 861

Quelle: IWU (2016) und eigene Berechnungen EEFA.

Um aus den regional differenzierten Heizgradtagen geeignete Gewichtungs- bzw. Korrekturfaktoren zu gewinnen, werden die Gradtage der Postleitzone in das Verhältnis zu denen im Bundesdurchschnitt gesetzt. Methodisch von größerem Interesse ist in diesem Zusammenhang die Frage, welches Gewichtungsschema zur Ermittlung der „repräsentativen“ klimatischen Bedingungen in Deutschland herangezogen werden soll. Üblicherweise gilt der Standort „Würzburg“ als durchschnittlicher Referenzstandort für die Witterungsverhältnisse in Deutschland.[9]

Schaubild 8 veranschaulicht vor diesem Hintergrund den Einfluss verschiedener Gewichtungsverfahren bei der Berechnung der Gradtage für den Bundesdurchschnitt. Die höchste Genauigkeit als Gewichtungsschema im Rahmen der angesprochenen Witterungskorrektur verspricht im Prinzip die Verwendung der Absatz- bzw. Verbrauchsmengen (der in dieser Studie betrachteten Energieträger) an die Privaten Haushalte

[8] Vgl. IWU (2016). Zur Berechnung der Gradtage wurde eine Raumtemperatur von 20°C sowie eine Heizgrenztemperatur von 15°C unterstellt.

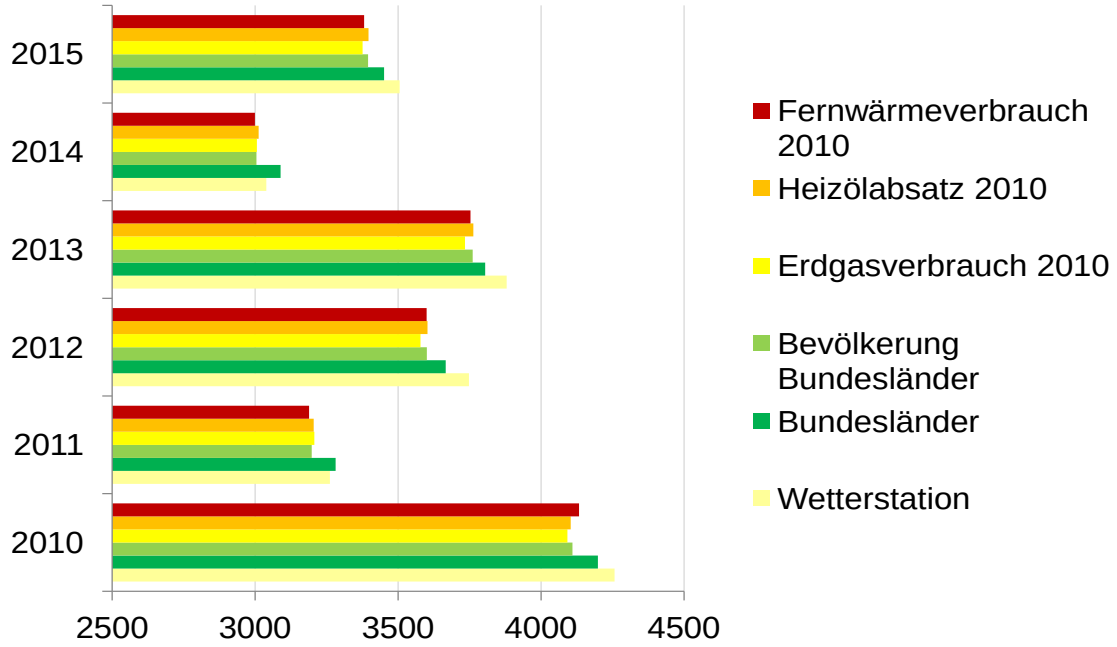
[9] Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2007), S. 4.

z.B. in den einzelnen Bundesländern. Allerdings liegen die dazu erforderlichen Daten (die Energiebilanzen der Länder), wie sie vom Länderarbeitskreis Energiebilanzen (LAK) in jährlichem Abstand veröffentlicht werden, weder in allen Jahren flächendeckend, noch bis zum aktuellen Rand vor (Energiebilanzen für die Bundesländer sind derzeit bis zum Berichtsjahr 2013 veröffentlicht).

Vor diesem Hintergrund nutzt diese Studie den Stand der Bevölkerung in den Bundesländern in den Jahren von 2010 bis 2015 als einheitliches Gewichtungsschema zur Ermittlung des Bundesdurchschnitts der Gradtage.

Am Beispiel des flächenspezifischen Fernwärmeverbrauchs in Mehrfamilienhäusern (> 3 Wohneinheiten) wird der Einfluss des angewandten Korrekturverfahrens (Witterung und Repräsentativgewichtung) grafisch dargestellt (vgl. Schaubild 9). Bei der Interpretation des Befundes sollte nicht übersehen werden, dass sich das Ausmaß der Korrekturen bei den einzelnen Energieträgern (Fernwärme, Erdgas, Heizöl) je nach regionaler Verteilung der Gebäude (Postleitzahlenzonen), den mit dem Standort verbundenen spezifischen Witterungsverhältnissen sowie der Abweichung der Verhältnisse in der Techem-Stichprobe von der Grundgesamtheit (Mikrozensus 2010) unterscheidet.

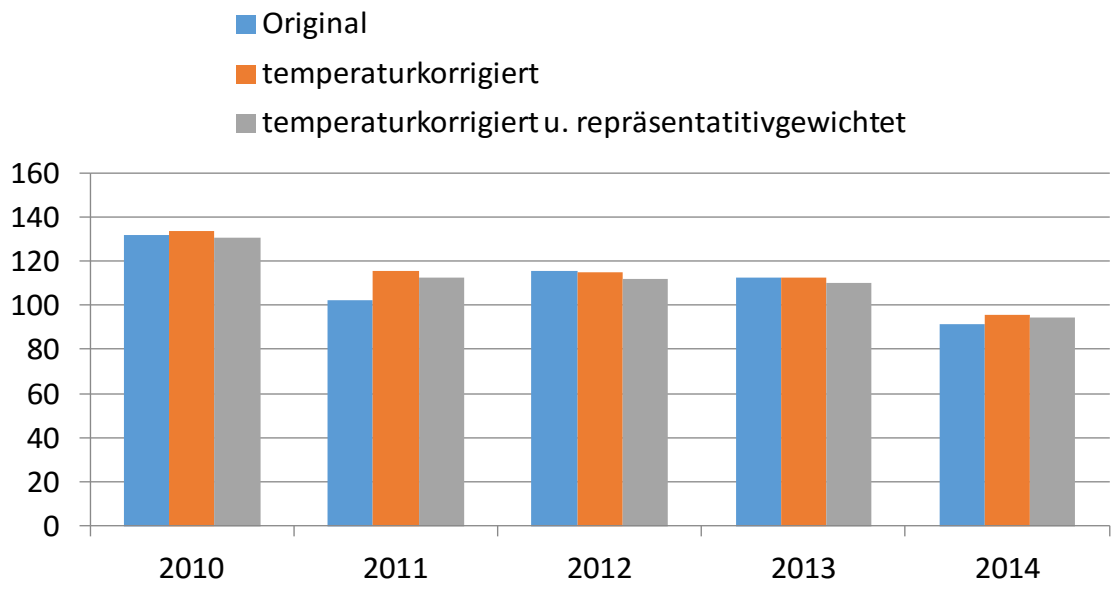
Schaubild 8: Anzahl der Gradtage in Deutschland (alternative Gewichtungsverfahren)
2010 bis 2015, Anzahl



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach IWU (2016), Destatis und Länderarbeitskreis Energiebilanzen (LAK).

Schaubild 9: Spezifischer Fernwärmeverbrauch in Mehrfamilienhäusern (>3 Wohneinheiten)

2010 bis 2014, in kWh/m² (beobachtete, temperaturkorrigierte sowie temperaturkorrigierte u. repräsentativgewichtete Werte



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach Techem.

3.1.2.3. Hochrechnung des Erdgas-, Heizöl- und Fernwärmeverbrauchs in Zwei- und Mehrfamilienhäusern

Auf der Grundlage der skizzierten Annahmen und Korrekturen der flächenspezifischen Energieverbräuche (Raumwärme und Warmwasser) in dem von Techem ausgewerteten Bestand an Mehrfamilienhäusern werden im Folgenden Hochrechnungen des Energieverbrauchs durchgeführt. Die Hochrechnung erfolgt für jeden Energieträger (Erdgas, Heizöl, Fernwärme), geschichtet nach Gebäudekategorie (Zweifamilienhäuser sowie 3- und Mehrfamilienhäuser).

Wesentliche Voraussetzung zur Hochrechnung der korrigierten, flächenspezifischen Energieverbrauchskennziffern sind zunächst detaillierte Zeitreihen zur Entwicklung der Wohnflächen im Mehrfamilienhausbestand (differenziert nach Energieträgern Erdgas, Heizöl und Fernwärme sowie nach den Gebäudekategorien „Zweifamilienhaus“ sowie „3- und Mehrfamilienhaus“) für die Zeit von 2010 bis 2014.

Die zur Hochrechnung erforderlichen Angaben über die Entwicklung der Wohnflächen wurden aufsetzend auf der Mikrozensus Zusatzerhebung 2010 durch Fortschreibung (vgl. dazu EEFA-Wohnungsmodell) gewonnen. Tabelle 2 fasst die berechnete Entwicklung der Wohnflächen in der erforderlichen Differenzierung zusammen. Die Berechnungen lassen erkennen, dass die Mehrfamilienhäuser in Deutschland bezogen auf die

Wohnfläche überwiegend (2014 zu fast 53 %) mit Erdgas beheizt werden (gefolgt von Heizöl 26,6 % und Fernwärme 17,4 %). Bei den leitungsgebundenen Energieträgern Erdgas und Fernwärme dominieren Mehrfamilienhäuser mit mehr als 3 Wohneinheiten die (flächenbezogene) Beheizungsstruktur; hingegen konzentriert sich die ölbeheizte Wohnfläche tendenziell auf das Segment der Zweifamilienhäuser (ölbeheizte Wohnhäuser sind überwiegend in dispersen Siedlungsstrukturen zu finden, die oftmals nicht über die notwendige Infrastruktur zur Versorgung mit leitungsgebundenen Energieträgern verfügen).

Tabelle 2: Wohnflächen öl-, erdgas- oder fernwärmebeheizter Mehrfamilienhäuser 2010 bis 2014, in Mio. m²

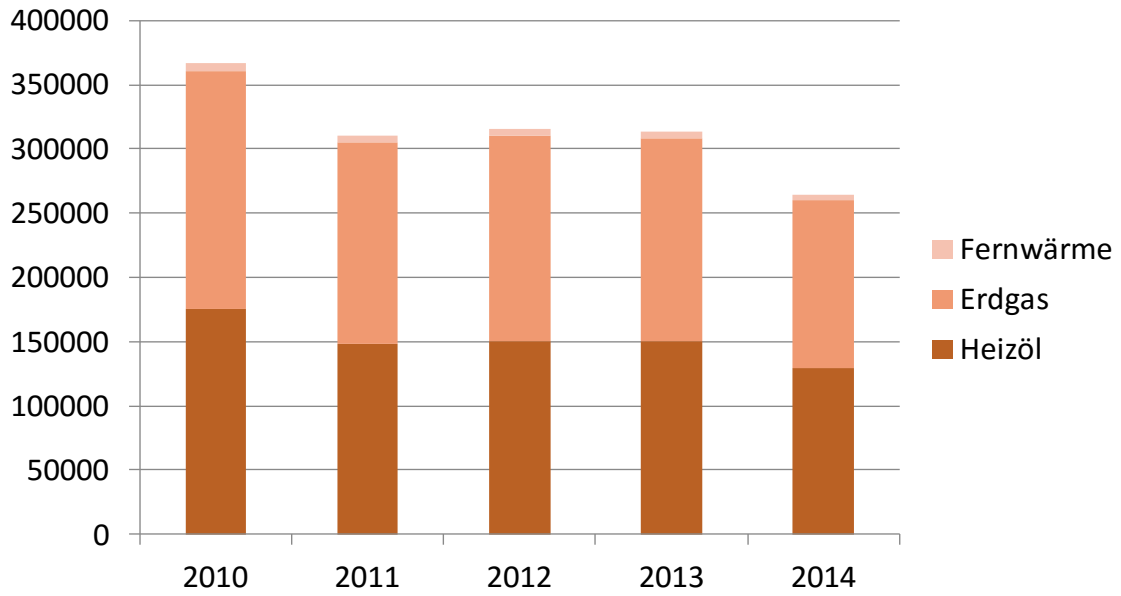
	2010	2011	2012	2013	2014
		ölbeheizte Mehrfamilienhäuser			
Zweifamilienhaus	284,9	284,9	284,9	284,8	284,8
Mehrfamilienhaus (>3)	258,4	258,3	258,2	258,1	258,0
Insgesamt	543,4	543,2	543,1	542,9	542,8
		erdgasbeheizte Mehrfamilienhäuser			
Zweifamilienhaus	284,8	285,5	286,2	286,8	287,6
Mehrfamilienhaus (>3)	673,1	675,4	678,1	680,9	684,6
Insgesamt	957,9	960,9	964,2	967,7	972,2
		fernwärmebeheizte Mehrfamilienhäuser			
Zweifamilienhaus	11,4	11,5	11,5	11,6	11,7
Mehrfamilienhaus (>3)	301,6	302,6	304,0	305,7	308,2
Insgesamt	313,1	314,1	315,5	317,3	319,8

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach StBA (2012) u. EEFA-Wohnungsmodell.

Die Hochrechnung der korrigierten, flächenspezifischen Energieverbräuche anhand der dargestellten Entwicklung der Wohnflächen ergibt für das Jahr 2014 einen absoluten Energieverbrauch der Zweifamilienhäuser (Erdgas, Heizöl und Fernwärme) in Höhe von 264,5 PJ. Für die Gruppe der Mehrfamilienhäuser mit mehr als 3 Wohneinheiten errechnet sich – angesichts der skizzierten Struktur der beheizten Wohnflächen – ein Energieverbrauch von 476,6 PJ (für Heizung und zentrale Warmwasseraufbereitung).

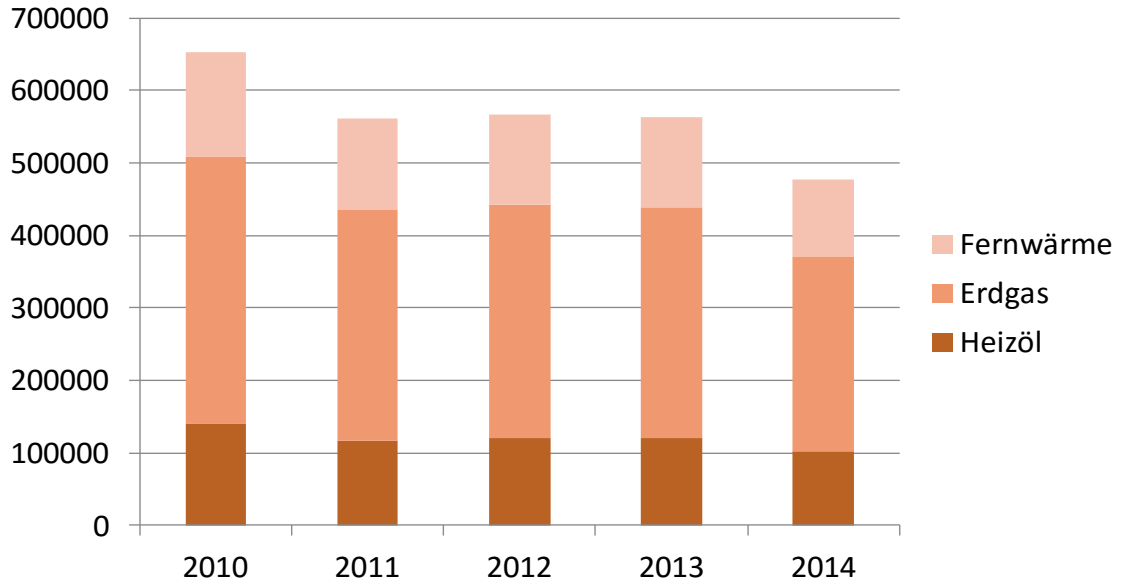
Verglichen mit 2010 liegt der absolute Heizenergieverbrauch sowohl im Segment der Zwei- als auch im Bereich der Mehrfamilienhäuser (>3 Wohneinheiten) 2014 spürbar niedriger (vgl. Schaubild 10 undSchaubild 11). Ursächlich für die beobachtete Entwicklung dürfte in erster Linie der Einfluss der Witterung gewesen sein. Die Zahl der Heizgradtage lag 2014 um 1 009 bzw. 24,8 % unter dem Niveau des Jahres 2010 (4 072 Heizgradtage).

Schaubild 10: Energieverbrauch[1] der Zweifamilienhäuser in Deutschland
2010 bis 2014, in TJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA. [1] für Heizung und Warmwasser (zentral); Erdgas gerechnet zum unteren Heizwert.

Schaubild 11: Energieverbrauch[1] der Mehrfamilienhäuser (>3 Wohneinheiten) in Deutschland
2010 bis 2014, in TJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA. [1] für Heizung und Warmwasser (zentral); Erdgas gerechnet zum unteren Heizwert.

Um die Hochrechnungen mit den Berechnungsergebnissen des EEFA-Wohnungsmodells verknüpfen zu können und mit den Angaben der AG Energiebilanzen vergleichen zu können, ist es sinnvoll, die Ergebnisse nicht allein nach Gebäudekategorien sondern zusätzlich nach Energieträgern differenziert darzustellen. In diesem Zusammenhang wurden zugleich die Verbräuche an Heizöl, Erdgas und Fernwärme zur Beheizung der Zwei- und Mehrfamilienhäuser (inkl. Warmwasseraufbereitung) mit Hilfe der jeweiligen Veränderungsraten des Energieverbrauchs dieser Gebäudekategorie, wie sie im EEFA-Wohnungsmodell bereits für 2015 errechnet wurden, bis zum aktuellen Rand fortgeschrieben. Die Techem-Studie mit den Energiekennwerten der Mehrfamilienhäuser für das Berichtsjahr 2015 (Energiekennwerte 2016) erscheint voraussichtlich Ende 2016).

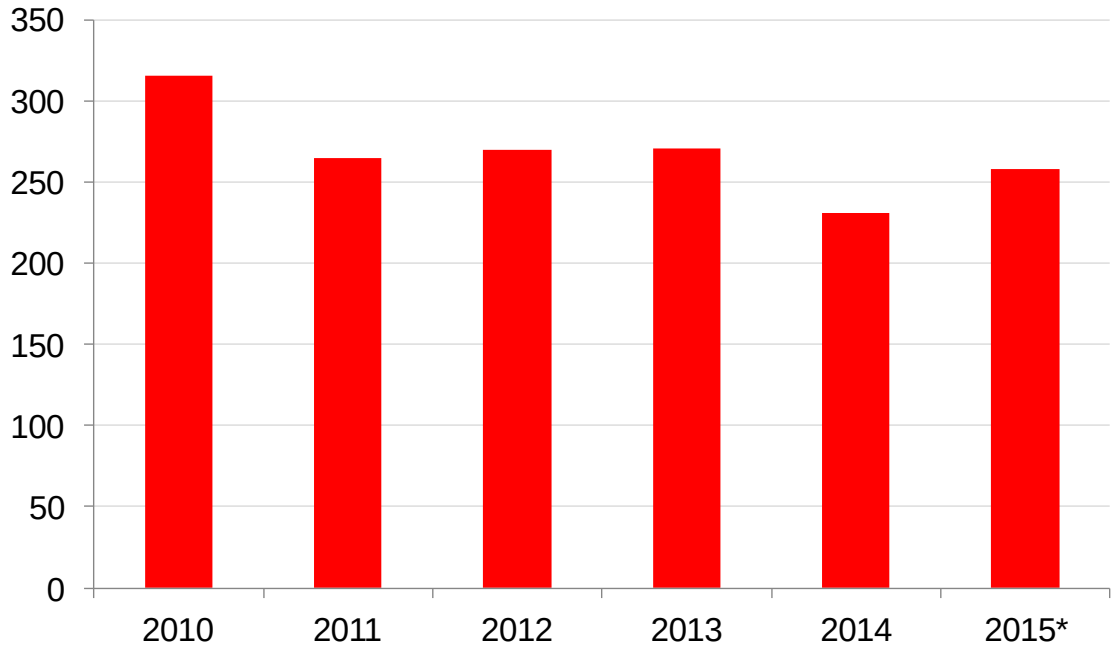
Für die einzelnen Energieträger zeigt sich mit geringen Abweichungen ein ähnlicher Verlauf wie er für die Aufgliederung nach Gebäudekategorien zu beobachten ist: Bei allen Energieträgern liegt der Energieverbrauch der Zwei- und Mehrfamilienhäuser für Zwecke der Wohnraumbeheizung (inkl. Warmwasser) im Jahr 2014 signifikant unter dem Niveau des Jahres 2010 (vgl. Schaubild 12 bis Schaubild 14). Allerdings fallen die (witterungsbedingten) Schwankungen beim Energieträger Heizöl etwas geringer aus, als bei den leitungsgebundenen Energieträgern Fernwärme und Erdgas.[10]

Insgesamt lassen die Hochrechnungen für 2014 erkennen, dass Erdgas mit etwa 399 PJ der mit Abstand bedeutendste Energieträger zur Beheizung von Zwei- und Mehrfamilienhäusern ist. Hingegen beläuft sich der Verbrauch von Heizöl zur Beheizung von Zwei- und Mehrfamilienhäusern nach vorliegender Hochrechnung auf rund 231 PJ (2014), der von Fernwärme im selben Jahr auf ca. 111 PJ.

[10] Die Ursache dafür könnte u.a. in der Altersstruktur der Heizungsanlagen zu finden sein. Nach Auswertungen des Zentralinnungsverbandes der Schornsteinfeger weisen Ölheizungen i.d.R. ein höheres Alter auf als z.B. Erdgasheizungen. Aufgrund verbesserter witterungsgeführter Steuerungen moderner Heizungsanlagen könnten dies ein Grund für die höhere Witterungs- bzw. Temperatursensibilität der Ergebnisse bei Erdgas (oder Fernwärme) sein.

Schaubild 12: Heizölverbrauch der Zwei- und Mehrfamilienhäuser in Deutschland

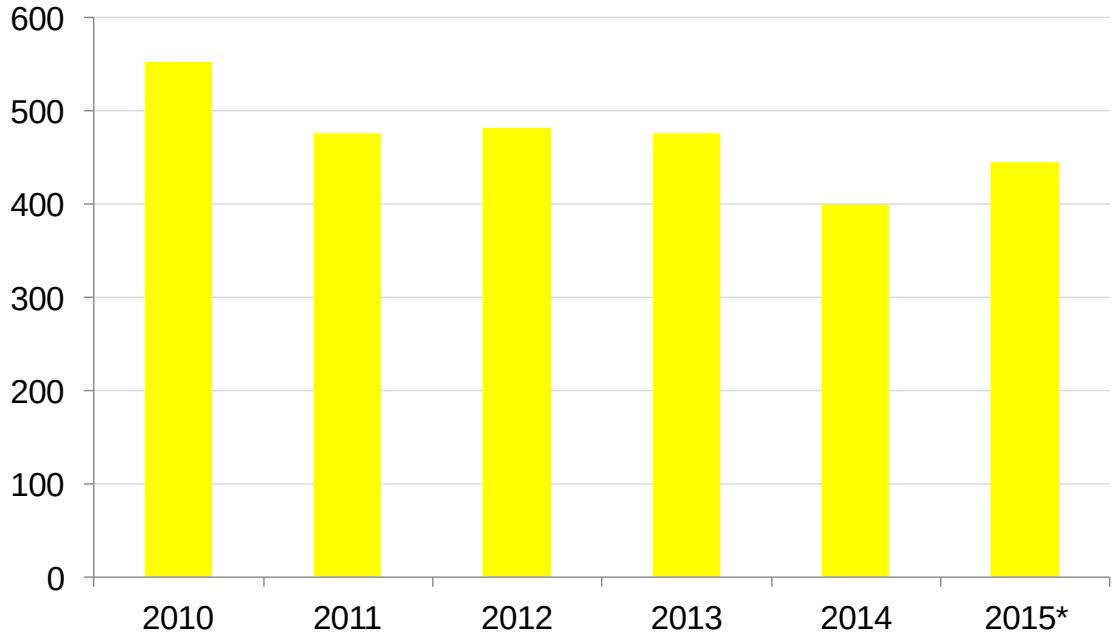
2010 bis 2015, in PJ, für Heizung und Warmwasser.



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA, *2015: geschätzt.

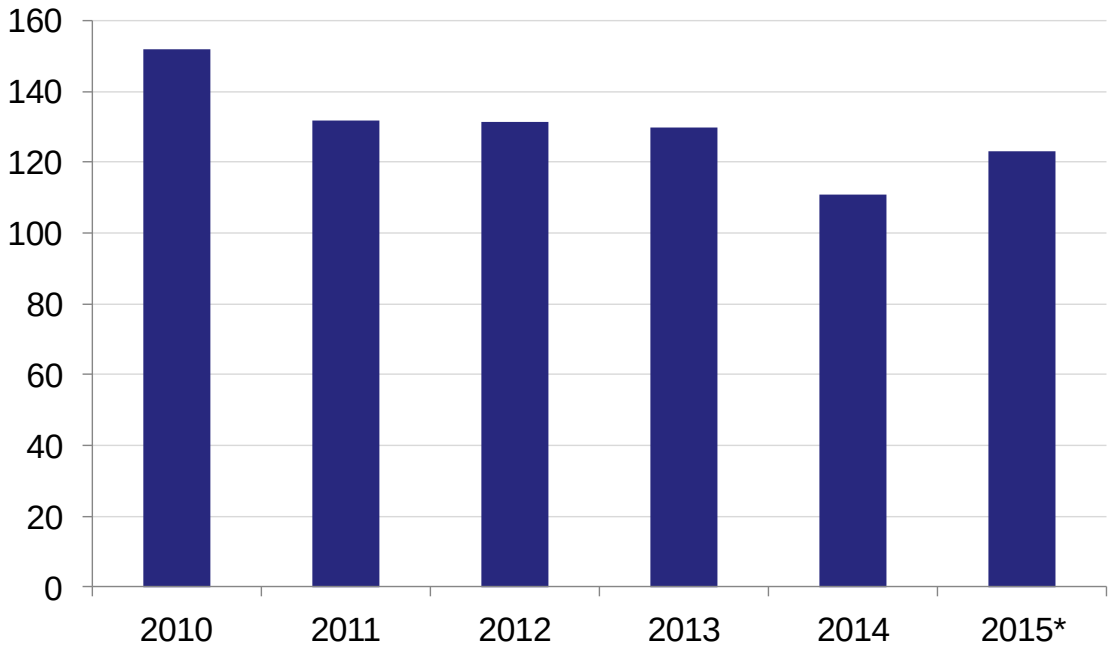
Schaubild 13: Erdgasverbrauch der Zwei- und Mehrfamilienhäuser in Deutschland

2010 bis 2015, in PJ (Ho), für Heizung und Warmwasser.



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA. *2015: geschätzt.

Schaubild 14: Fernwärmeverbrauch der Zwei- und Mehrfamilienhäuser in Deutschland 2010 bis 2015, in PJ, für Heizung und Warmwasser.



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA. *2015: geschätzt.

3.1.3. Zweite Komponente: Ermittlung des Energiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser in Einfamilienhäusern (Wohnungsmodell)

3.1.3.1. Konzept und Darstellung des EEFA-Wohnungsmodells

Das EEFA-Wohnungsmodell besteht im Kern aus zwei Modellteilen, dem Raumwärme- sowie dem Warmwassermodul. Das Modell wurde in der Konzeptstudie[11] bereits ausführlich dargestellt, so dass an dieser Stelle nur die wesentlichen Merkmale des Modellierungsansatzes knapp widergespiegelt werden.

Das **Raumwärmemodul** bildet den Energieverbrauch der Privaten Haushalte zur Gebäude- und Wohnraumbeheizung im Rahmen eines „Vintage"-Modells differenziert nach (allen) Energieträgern ab. Dazu wird der Bedarf an Raumwärme der Privaten Haushalte grob gesprochen aus der Multiplikation folgender Komponenten ermittelt:

[11] Vgl. EEFA et. al (2015), S. 79-93.

- Der **Ausstattungskomponente**: Der Wohnungsbestand – differenziert nach Ein- Zwei- und Mehrfamilienhäusern, nach Alterststruktur sowie nach eingesetzter Energieart – setzt auf der Mikrozensus-Zusatzerhebung 2010 auf. Bis zum aktuellen Rand (Stand 2014) errechnet sich der Wohnungsbestand über Definitionsgleichungen aus dem Bestand der jeweiligen Vorperiode, den Neuzugängen sowie den Wohnungsabgängen der jeweiligen Baualtersklassen. Die fortgeschriebenen Wohnungsbestände werden mit den für die jeweiligen Baualtersklassen und Gebäudetypen typischen spezifischen Wohnflächen verknüpft.

- Der spezifischen **Verbrauchskomponente**: Zur Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs – differenziert nach Ein- Zwei-, Mehrfamilienhäusern sowie Altersstruktur – werden zunächst die typischen energetischen Hüllflächen (Dach-, Keller- Fensterflächen und Außenwände) berechnet und mit ihren typischen Wärmedurchgangskoeffizienten verknüpft. Sowohl zur Berechnung der energetischen Hüllflächen sowie der Wärmedurchgangskoeffizienten verwendet das EEFA-Wohnungsmodell die Kennziffern der Gebäudetypologie, wie sie vom Institut für Wohnen und Umwelt (IWU) veröffentlicht werden.[12]

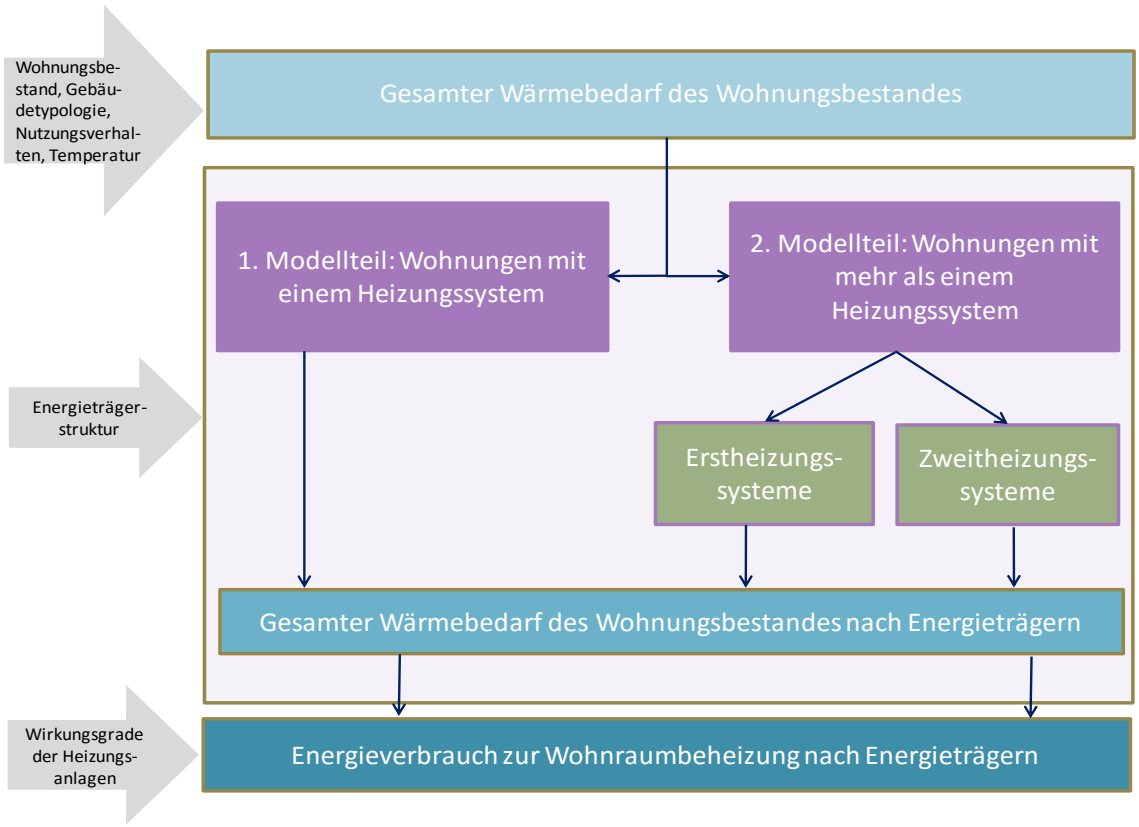
- Der **Nutzungskomponente** und **Witterungsverhältnisse**: Der tatsächliche Wärmebedarf ergibt sich über die Berücksichtigung verschiedener Komponenten, allen voran den Witterungsverhältnissen (gemessen anhand der Heizgradtage), die den Raumwärmebedarf unabhängig vom Nutzungsverhalten beeinflussen. Zu den verhaltensbedingten Einflussgrößen zählen Faktoren wie z.B. die individuell angestrebte bzw. gewählten Rauminnentemperatur, Vorgaben zur Nachtabsenkung der Raumtemperatur sowie die Präferenzen hinsichtlich der Teilflächenbeheizung der Wohnungen (z.B. keine Beheizung des Schlafzimmers).

ermittelt. Der auf diese Weise ermittelte Wärmebedarf der Wohnungen muss letztlich durch den Einsatz von Heizenergie ausgeglichen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Heizungs- und Feuerungstechnik stetig weiterentwickelt hat, bzw. die Kesselwirkungsgrade und schließlich die Effizienz der ganzen Heizungsanlagen, die der Umwandlung von End- in Nutzenergie dienen, spürbar zugenommen haben.[13] Eine schematische Darstellung der Konzeption und Struktur des EEFA-Wohnungsmodells (Raumwärmemodul) findet sich in Schaubild 15.

[12] Vgl. IWU (2011).

[13] Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang ferner, dass sich die Wirkungsgrade nicht allein aufgrund der Modernität der Heizungsanlage und dem Stand der Technik, sondern auch nach je Art des eingesetzten Energieträgers unterscheiden.

Schaubild 15: Konzeption und Struktur des EEFA-Wohnungsmodells: Raumwärmemodul

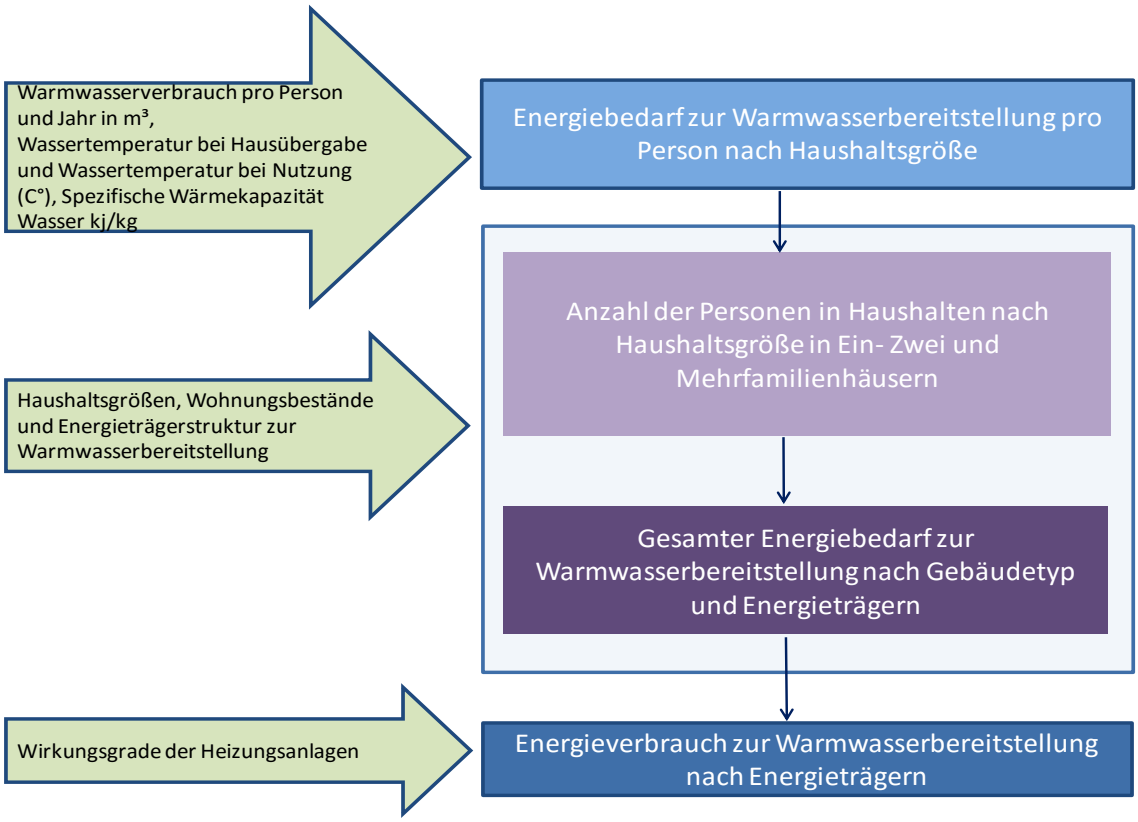


Quelle: Eigene Darstellung EEFA.

Das zweite Modul innerhalb des EEFA-Wohnungsmodells widmet sich der Ermittlung des Energieverbrauchs zur Bereitstellung von Warmwasser (Körperpflege, Putzen, Spülen von Hand) bei den Privaten Haushalten (**Warmwassermodul**). Die Erfassung des Energieverbrauchs zur Aufbereitung von Warmwasser konzentriert sich ausschließlich auf Anwendungen, die warmes Wasser aus dezentralen Warmwasseraufbereitungsanlagen (z.B. Durchlauferhitzer, Boiler etc.) oder aus einer zentralen Heizungsanlage (verbundene Anlagen mit Warmwasserspeicher) beziehen.[14]

[14] Auf eine Ermittlung des Energieverbrauchs für die Warmwasseranwendungen z.B. im Rahmen des Einsatzes elektrischer Haushaltsgroßgeräte wie z.B. Wasch- und Spülmaschinen wird hier explizit verzichtet. Bis auf wenige Ausnahmen erhitzen Haushaltsgroßgeräte das erforderliche Warmwasser mit Hilfe von elektrischem Strom, der an dieser Stelle nicht relevant ist. Zur Berechnung des Stromverbrauches von Waschmaschinen s. EEFA et. al (2015), S. 97-100.

Schaubild 16: Konzeption und Struktur des EEFA-Wohnungsmodells: Warmwassermodul



Quelle: Eigene Darstellung EEFA.

Um den Energieverbrauch der Warmwasseraufbereitung zu ermitteln, wird grob gesprochen

- der Warmwasserverbrauch pro Person mit
- dem theoretischen Energiebedarf zur Bereitstellung von Warmwasser auf einem vorgegebenen Temperaturniveau (Nutzenergie),
- der Anzahl der in Privaten Haushalten lebenden Personen (differenziert nach Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäusern)[15], sowie

[15] Die Differenzierung nach Ein- Zwei und Mehrfamilienhäusern erscheint zunächst zur Berechnung des Warmwasserverbrauchs irrelevant, denn der Warmwasserverbrauch hängt nicht vom Gebäudetyp, sondern von Parametern wie z.B. Alter und Anzahl der in einem Haushalt lebenden Personen ab. Dennoch muss die Differenzierung nach Gebäudekategorie vorgenommen werden, um die ergänzenden Informationen zu Einfamilienhäusern separat ermitteln zu können (bzw. Ergebnisse von Hochrechnungen auf der Grundlage der Techem-Daten zu ergänzen). Hinzu kommt, dass Informationen zur Energieträgerstruktur der Warmwasserbereit-

- dem Wirkungsgrad der Warmwasseraufbereitungsanlage (Endenergie)

verknüpft (vgl. Schaubild 16).

Der Warmwasserverbrauch lag nach Angaben des Energiekostenabrechners Techem 2014 im Durchschnitt bei 11,2 m³ pro Kopf.[16] Aus diesem Wert (der auch für die Vorjahre vorliegt) lässt sich – unter Setzung weniger plausibler Annahmen[17] – ein spezifischer Energiebedarf zur Bereitstellung von Warmwasser in Höhe von 625,7 kWh/Person im Jahr 2014 berechnen.

Geht man außerdem davon aus, dass der ermittelte spezifische Pro-Kopf-Energiebedarf einen durchschnittlichen Zwei-Personen-Haushalt repräsentiert und berücksichtigt zusätzlich, dass der Pro-Kopf-Energiebedarf zur Erwärmung von Warmwasser mit steigender Haushaltsgröße abnimmt[18], lässt sich der Energieverbrauch zur Erwärmung von Warmwasser aus der Verknüpfung der spezifischen Verbräuche pro Person nach Haushaltsgröße (kWh/Kopf) mit der Anzahl der Personen nach Haushaltsgröße differenziert nach Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäusern abschätzen.

Nach eigenen Berechnungen lebten im Jahr 2015 in den vom EEFA-Wohnungsmodell erfassten knapp 37 Mio. Wohneinheiten etwa 77,2 Mio. Personen, darunter 14,7 Mio. Personen in Singlehaushalten, 26,6 Mio. Menschen in Haushalten mit zwei Personen und 35,9 Mio. Menschen in Haushalten mit mehr als drei Personen.

stellung differenziert nach Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäusern vorliegen und letztlich eine genauere Abbildung des Energieverbrauchs für die Warmwasserbereitstellung erlauben.

[16] Vgl. Techem (2015), S. 90.

[17] Nimmt man eine Temperatur des Kaltwasserzulaufs von durchschnittlich 12°C sowie ein angestrebtes Temperaturniveau des Warmwassers von 60°C an, gilt der folgende physikalische Zusammenhang zur Ermittlung des Energieverbrauchs: Um einen Liter Wasser um ein Grad zu erwärmen ist ein Energieeinsatz von 4,19 kJ bzw. 1,1639 Wh (spezifische Wärmekapazität) erforderlich. Aus der spezifischen Wärmekapazität des Wassers (WkW), der Temperaturdifferenz zwischen Kaltwasserzulauf (KW, 12°C) und Warmwasser (WW, 60°C) sowie dem jährlichen pro Kopf Verbrauch (WWV) lässt sich der Energieverbrauch (EV) wie folgt berechnen: (1) $EV_{\text{Warmw,kWh/Kopf}} = WWV_{\text{Liter pro Kopf}} * (\text{WW}_{\text{Grad}} - \text{KW}_{\text{Grad}}) * \frac{\text{WkW}_{\text{Wh}}}{1000}$. Näheres hierzu vgl. EEFA et al. (2015), S. 94-95.

[18] Als Ursache hierfür kann zum einen das Auftreten relativ konstanter Sockelverbräuche an warmem Wasser (etwa beim Spülen oder Putzen) verantwortlich gemacht werden. Zum anderen sind teilweise auch verhaltensbedingte Effekte mit für die skizzierte Entwicklung verantwortlich. Insbesondere in großen Haushalten kann z.B. allein aus technischen Gründen die „Duschzeit“ begrenzt sein, (begrenzte Kapazität des Warmwasserspeichers), hinzu kommen organisatorische und zeitliche Aspekte die die z.B. Duschzeiten pro Person limitieren können oder schließlich demografische Aspekte (z.B. duschen Kinder, die i.d.R. maßgeblich für die Haushaltsgröße sind, je nach Alter seltener als erwachsene Haushaltsmitglieder). Nach Angaben des Internetportals „co2online.de“ ist vor diesem Hintergrund in Deutschland für Singlehaushalte ein Pro-Kopf-Verbrauch zu beobachten, der in etwa um 30 % über dem Niveau eines durchschnittlichen Zweipersonenhaushalts liegt. Hingegen verringert sich der Pro-Kopf-Verbrauch an Warmwasser in Haushalten mit drei und mehr Personen auf rund 90 % des durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauchs in Zweipersonenhaushalten.

Tabelle 3: Anzahl der Personen in Haushalten nach Gebäudetyp und Haushaltsgröße

2010 bis 2015, Anzahl in 1000

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
			Personen in Singlehaushalten			
Einfamilienhaus	2 198	2 208	2 210	2 211	2 215	2 227
Zweifamilienhaus	2 270	2 280	2 283	2 284	2 288	2 300
Mehrfamilienhaus (>3)	10 017	10 061	10 072	10 078	10 094	10 147
			Personen in Zweipersonenhaushalten			
Einfamilienhaus	9 218	9 258	9 269	9 274	9 289	9 338
Zweifamilienhaus	4 470	4 490	4 495	4 497	4 505	4 528
Mehrfamilienhaus (>3)	12 546	12 601	12 615	12 622	12 643	12 709
			Personen in Mehrpersonenhaushalten			
Einfamilienhaus	16 937	17 011	17 030	17 039	17 067	17 157
Zweifamilienhaus	5 839	5 864	5 871	5 874	5 884	5 915
Mehrfamilienhaus (>3)	12 698	12 754	12 768	12 775	12 796	12 863
Summe	76 193	76 526	76 614	76 653	76 781	77 184
Bevölkerung insgesamt	81 284	80 275	80 426	80 646	80 983	81 681

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach StBA (2012) u. Fortschreibung nach EEFA-Wohnungsmodell.

Die Personen in den genannten Haushaltsgrößen verteilen sich, wie in Tabelle 3 dargestellt, auf die Gebäudekategorien Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäuser.[19] Mit Hilfe des spezifischen, nach Haushaltsgröße untergliederten Pro-Kopf-Energiebedarfs zur Bereitstellung von Warmwasser lässt sich nun der gesamte Energiebedarf zur Warmwasserbereitstellung der Privaten Haushalte detailliert nach Ein-, Zwei- sowie Mehrfamilienhäusern für die Jahre 2010 bis 2015 ermitteln (Nutzenergie).

Um daraus den tatsächlichen Endenergieverbrauch zu berechnen, benötigt man zudem Informationen über den Wirkungsgrad und die Art des zur Warmwasseraufbereitung eingesetzten Energieträgers. Die Mikrozensus-Zusatzerhebung 2010 hält alle benötigten Informationen über die Struktur des Energieträgereinsatzes zur Bereitstellung von Warmwasser in Wohngebäuden bereit. Mit Blick auf die Wirkungsgrade der Warm-

[19] Das Wohnungsmodell erfasst ausschließlich den Energieverbrauch von Wohnungen, die sich in Wohngebäuden befinden. Daraus folgt, dass auch nur jene Personen betrachtet werden, die in solchen Wohnungen leben. Der Energieverbrauch von Bewohnern, die in Wohnheimen oder ähnlichen Einrichtungen leben, wird nach dieser Abgrenzung nicht bei den Privaten Haushalte bilanziert, sondern den entsprechenden Wirtschaftszweigen des GHD-Sektors zugeordnet. Aus diesem Grund liegt die Zahl der im Wohnungsmodell berücksichtigten Einwohner niedriger als die Zahl der tatsächlich in Deutschland gemeldeten Einwohner, die im Jahr 2015 ein Niveau von mehr als 81 Mio. Menschen erreichte.

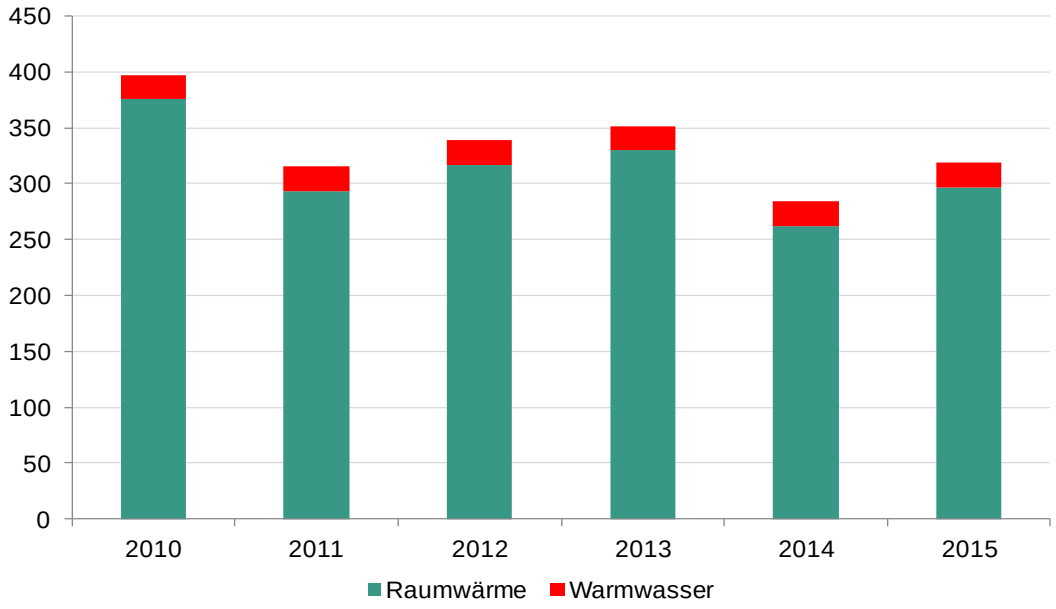
wasseraufbereitung wird angenommen, dass diese sich nicht nennenswert von den im Rahmen des Wohnungsmodells ermittelten Wirkungsgrade der Heizungsanlagen (differenziert nach Energieträgern) unterscheiden.

Die aktuellen Berechnungen mit Hilfe des **EEFA-Wohnungsmodells** zur Ermittlung des Energieverbrauchs zur Beheizung von Wohnräumen und Erwärmung von Warmwasser in Einfamilienhäusern sind jeweils für die Energieträger Heizöl, Erdgas und Fernwärme in Schaubild 17 bis Schaubild 19 dargestellt.

Bei der Interpretation der Resultate sollte nicht übersehen werden, dass das EEFA-Wohnungsmodell gegenwärtig noch auf dem Bestand und der Struktur aller Wohneinheiten (inkl. Beheizungsstruktur) des Jahres 2010 aufsetzt und diese Strukturen bis zum Jahr 2015 fortschreibt. Die aktuelle Fassung der Mikrozensus-Zusatzerhebung zur Wohnsituation für das Berichtsjahr 2014 ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht publiziert.[20]

Schaubild 17: Heizölverbrauch der Einfamilienhäuser in Deutschland für Raumwärme und Warmwasser

2010 bis 2015, in PJ

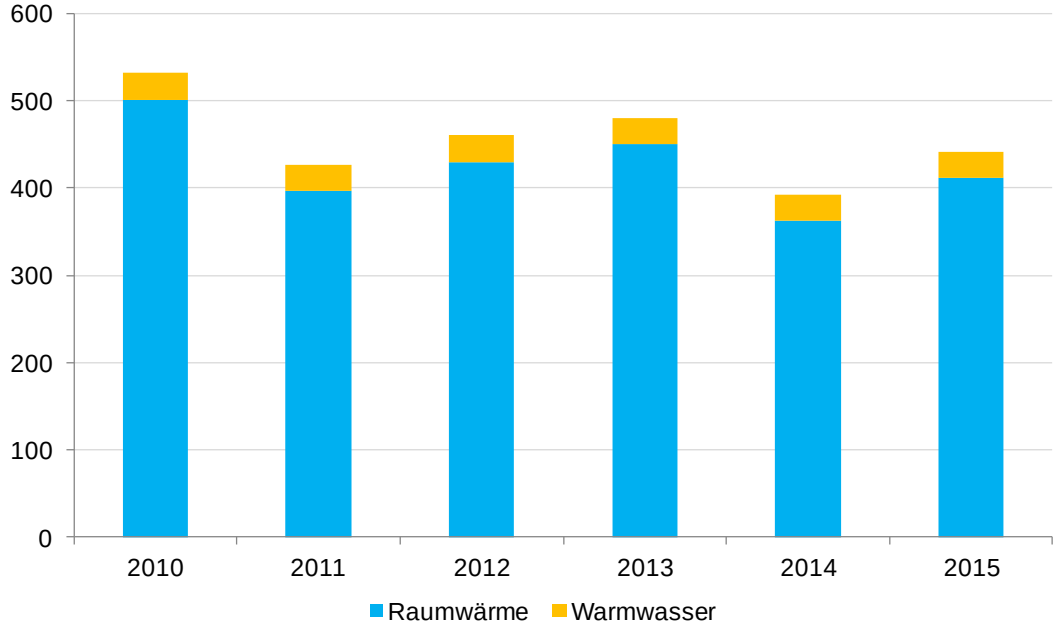


Quelle: Eigene Berechnungen EEFA.

[20] Zu diesem Zeitpunkt liegt die Publikation Statistisches Bundesamt (2012), Fachserie 5 Heft 1, „Mikrozensus - Zusatzerhebung 2010, Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte“ vor.

Schaubild 18: Erdgasverbrauch der Einfamilienhäuser in Deutschland für Raumwärme und Warmwasser

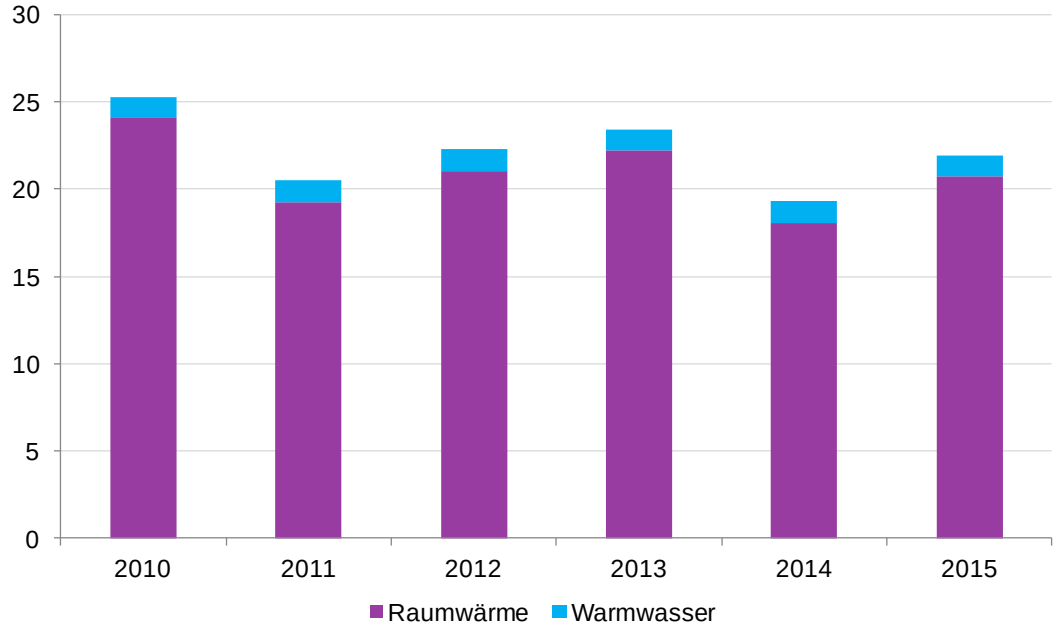
2010 bis 2015, in PJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA.

Schaubild 19: Fernwärmeverbrauch der Einfamilienhäuser in Deutschland für Raumwärme und Warmwasser

2010 bis 2015, in PJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA.

3.1.3.2. Verifizierung der Modellergebnisse (Vergleich der Ergebnisse aus dem EEFA-Wohnungsmodell und der Techem-Hochrechnung)

Ergebnisse aus Modellrechnungen sind naturgemäß mit Unsicherheiten verbunden. Hinzu kommt, dass speziell im Hinblick auf das EEFA-Wohnungsmodell eine Angabe von Konfidenzintervallen oder statistischen Prüfmaßen für die berechneten Verbrauchskennziffern (absolut oder spezifisch) nicht möglich ist, da das EEFA-Wohnungsmodell definitorisch (als „Vintage"-Modell) konzipiert ist und demzufolge weder die Auswertung einer Zufallsstichprobe darstellt, noch auf ökonometrische Schätzverfahren zurückgreift.

Um die Berechnungen mit dem EEFA-Wohnungsmodell dennoch hinsichtlich ihrer Plausibilität überprüfen zu können, bieten sich empirische Vergleiche mit anderen Berechnungsverfahren an. Die aus den Techem-Daten hochgerechneten Kennziffern bieten zumindest für den Heizenergieverbrauch (inkl. Warmwasser) im Bereich der Mehrfamilienhäuser eine gute Vergleichsbasis, da dieses Teilaggregat des Energieverbrauchs auch im EEFA-Wohnungsmodell explizit in dieser Abgrenzung ausgewiesen wird.

Insgesamt deuten die Ergebnisse des Vergleichs darauf hin, dass sich die Abweichungen zwischen hochgerechnetem sowie unter Zuhilfenahme des Modells ermitteltem Energieverbrauch in engen Grenzen bewegen. Sowohl Hochrechnungen des Energieverbrauchs, als auch seine Ermittlung mit dem Modell weisen darüber hinaus eine ähnliche zeitliche Entwicklung auf.[21]

Schaubild 20 fasst die Entwicklung des Heizölverbrauchs in Mehrfamilienhäusern in der Zeit von 2010 bis 2014 für die beiden genannten Ermittlungsmethoden grafisch zusammen.[22] Die Verbrauchsberechnungen des Wohnungsmodells weisen einen ähnlichen Verlauf auf, wie die Hochrechnungen. Allerdings liegt der Heizölverbrauch in Mehrfamilienhäusern nach Berechnungen mit dem Wohnungsmodell in jedem Jahr (ausgenommen 2011) um wenige Prozentpunkte über den Werten, die mittels Hochrechnung aus den Techem-Daten gewonnen wurden (Minimum: -0,2 % im Jahr 2011; Maximum +7,7 % im Jahr 2013).

Bei den Modellrechnungen zum Erdgasverbrauch in Mehrfamilienhäusern – bezogen auf die Ergebnisse der Hochrechnung – treten sowohl „Über-" als auch „Unterschätzun-

[21] Bei der Interpretation dieses empirischen Befundes ist zu beachten, dass eine „Kalibrierung" oder „Justierung" spezifischer Parameter, um z.B. die Berechnungsergebnisse des EEFA-Wohnungsmodells an die Hochrechnungen (Techem) anzugleichen, weder durchgeführt wurde, noch in Zukunft vorgesehen ist.

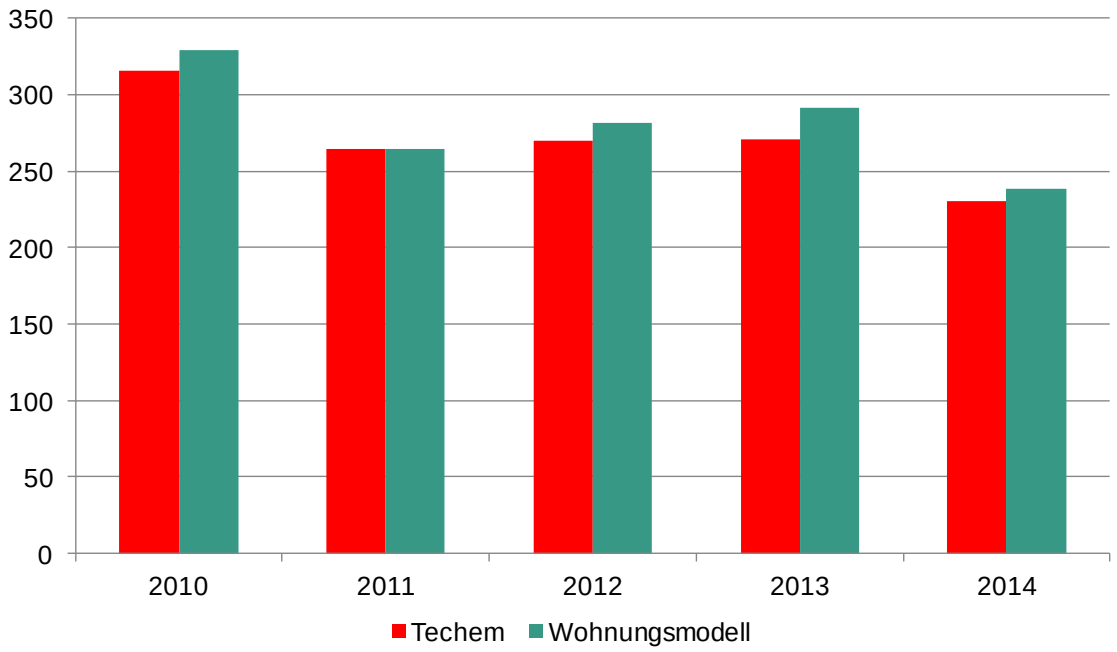
[22] Ein weitergehender Vergleich, der auch 2015 einschließt, erscheint an dieser Stelle wenig sinnvoll, weil der aus der Techem-Stichprobe hochgerechnete Energieverbrauch der Zwei- und Mehrfamilienhäuser unter Zuhilfenahme der Ergebnisse des EEFA-Wohnungsmodells für das aktuelle Berichtsjahr 2015 fortgeschrieben wurde.

gen“ auf. Der Erdgasverbrauch der Mehrfamilienhäuser (Raumwärme und Warmwasser) schwankt in einer Bandbreite zwischen +0,8 % (2014) und -7,3 % (2011) um die absoluten Verbrauchswerte, die aus der Techem-Stichprobe hochgerechnet wurden (vgl. Schaubild 21).

Die Modellrechnungen zum Verbrauch von Fernwärme in Mehrfamilienhäusern weisen die größten relativen Abweichungen zur Techem-Hochrechnung auf. Mit dem EEFA-Wohnungsmodell errechnen sich durchgängig höhere absolute Verbrauchswerte beim Einsatz von Fernwärme zur Beheizung von Mehrfamilienhäusern (vgl. Schaubild 22). Insgesamt liegt der Fernwärmeverbrauch in Mehrfamilienhäusern nach Berechnungen des Wohnungsmodells in der Größenordnung zwischen +2,0 % (2011) und +14,3 % (2013) über den Verbrauchswerten, die sich über Hochrechnung der Techem-Daten ergeben.

Schaubild 20: Verbrauch von Heizöl in Mehrfamilienhäusern

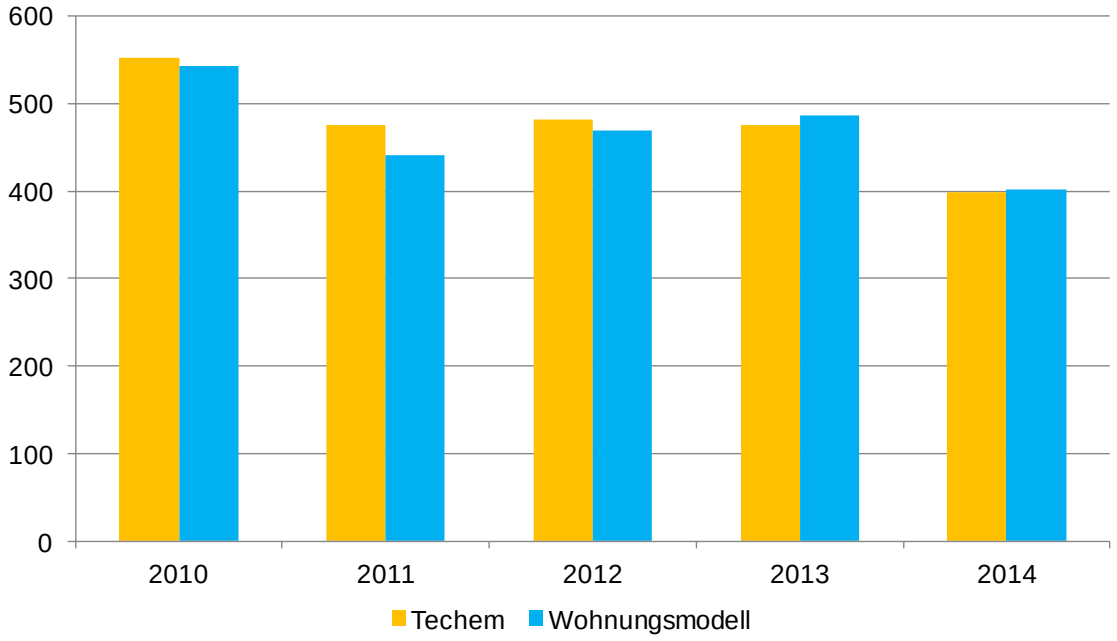
2010 bis 2014, Vergleich Hochrechnung (Techem) und EEFA-Wohnungsmodell, in PJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA.

Schaubild 21: Verbrauch von Erdgas in Mehrfamilienhäusern

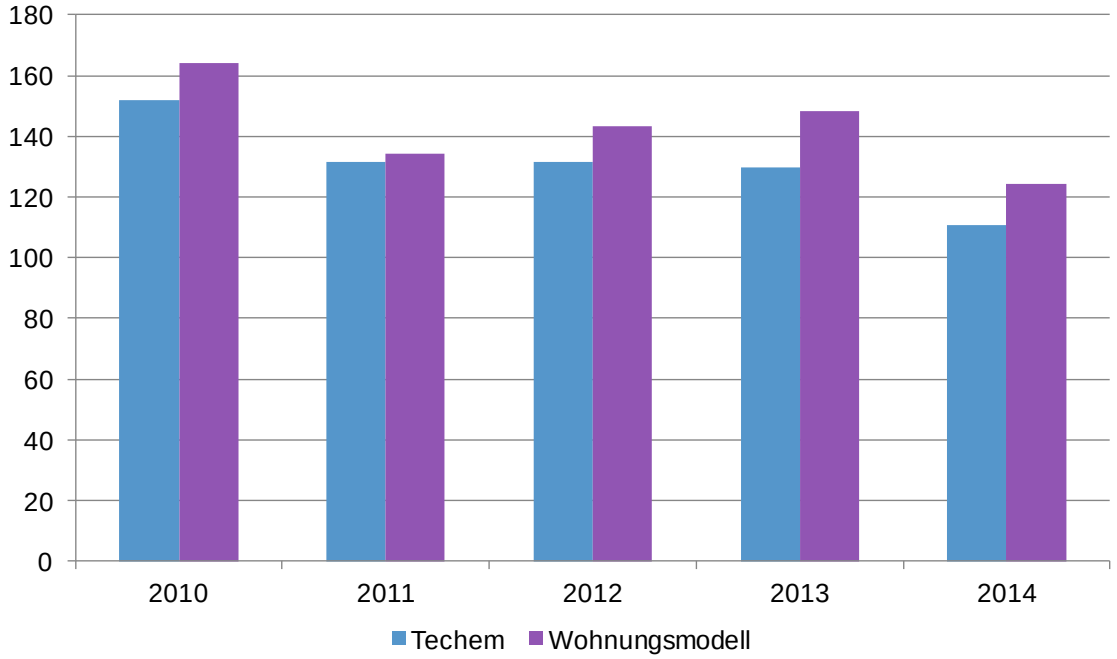
2010 bis 2014, Vergleich Hochrechnung (Techem) und EEFA-Wohnungsmodell, in PJ (Ho)



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA.

Schaubild 22: Verbrauch von Fernwärme in Mehrfamilienhäusern

2010 bis 2014, Vergleich Hochrechnung (Techem) und EEFA-Wohnungsmodell, in PJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA.

3.1.4. Dritte Komponente: Modell „Kochzwecke“

Fernwärme und Heizöl werden in Privaten Haushalten ausschließlich zur Beheizung von Wohnräumen und zur Bereitstellung von Warmwasser genutzt. Insofern kann die Erfassung dieser Energieträger, sowohl in den Daten des Energiekostenabrechners Techem als auch im Rahmen der skizzierten Analysen mit dem EEFA-Wohnungsmodell, als vollständig angesehen werden. Im Gegensatz dazu kann Erdgas über die genannten Anwendungsbereiche hinaus in Privaten Haushalten insbesondere auch zusätzlich zu Koch- und Backzwecken verwendet werden (wobei sich außerdem Haushaltsgeräte wie Wäschetrockner, Grill oder Terrassenstrahler mit Erdgas betreiben lassen).[23]

Wie bereits in der Konzeptstudie genauer beleuchtet, lässt sich der Erdgasverbrauch zu Kochzwecken abschätzen[24], indem

- der spezifische Energieverbrauch für Anwendungszwecke wie Kochen und Backen pro Haushalt (differenziert nach Haushaltsgrößen) in kWh pro Jahr mit
- der Anzahl der mit Gasherden (und Backofen) ausgestatteten Haushalte (ebenfalls differenziert nach Haushaltsgrößen)

verknüpft wird.[25]

Empirische Informationen über den spezifischen Energieverbrauch zu Kochzwecken differenziert nach Haushaltsgrößen halten u.a. Publikationen und Untersuchungen des BDEW bereit[26]: Danach verbrauchen Ein-Personen-Haushalte rund 198 kWh/a, Zwei-Personen-Haushalte 396 kWh/a, Drei-Personen-Haushalte 440 kWh/a und Haushalte mit vier oder mehr Personen 595 kWh/a an elektrischem Strom zur Zubereitung von Speisen.

Der Ausstattungsgrad Privater Haushalte mit gasbetriebenen Kochfeldern (bzw. Backöfen) kann wie folgt abgeschätzt werden: Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes sind 91,1 % der Ein-, 95,2 % der Zwei-, 96,2 % der Drei-, 97,5 % der Vierpersonenhaushalte sowie 96,8 % der Haushalte mit mehr als vier Personen mit einem Elektro-

[23] Die technische Voraussetzung dazu bieten sog. Erdgas-Steckdosen im Innen- und Außenbereich, die ähnlich wie beim elektrischen Strom durch Einstecken des Steckers den flexiblen Betrieb von Erdgasgeräten in Haushalten ermöglichen.

[24] Als Alternative zur eigenständigen Ermittlung des Erdgasverbrauchs zu Kochzwecken, könnte auch auf die Berechnungen bzw. Angaben der Anwendungsbilanzen zurückgegriffen werden, die allerdings derzeit nur bis zum Berichtsjahr 2012 vorliegen.

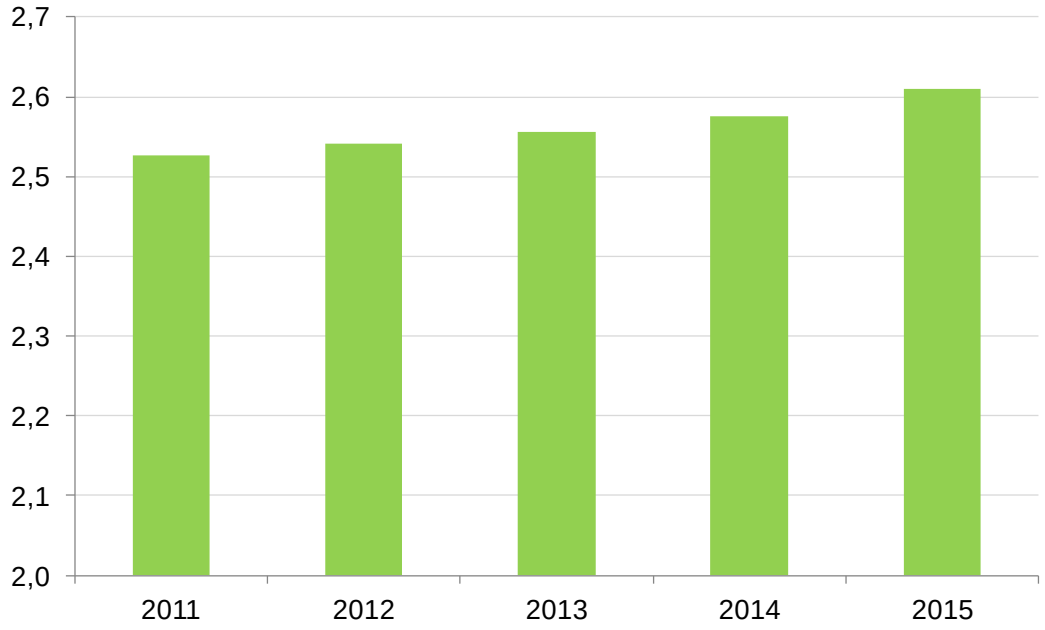
[25] Siehe EEFA et al. (2015), S. 105-107.

[26] Vgl. dazu auch EEFA (2012).

herd ausgestattet.[27] Unter der vereinfachenden Annahme, dass alle Haushalte über eine Kochgelegenheit verfügen, ergibt sich die Anzahl der Haushalte die mit Erdgas Kochen (oder Backen) als Restgröße.[28]

Schaubild 23: Erdgasverbrauch Privater Haushalte zu Kochzwecken

2010 bis 2015, in PJ



Quelle: Eigene Darstellung EEFA.

Geht man unter diesen Prämissen schließlich davon aus, dass die verfügbaren Angaben zum spezifischen Energie- bzw. Stromverbrauch ohne größere Einschränkungen auf den Einsatz von Erdgas zu Kochzwecken übertragbar sind, ergibt sich der in Schaubild 23 dargestellte Erdgasverbrauch der Privaten Haushalte rechnerisch durch Multiplikation des Ausstattungsgrades (in %) mit der Anzahl der Haushalte (nach Größenklasse) und dem zugehörigen spezifischen Verbrauch (kWh/a).[29]

[27] Vgl. StBA (2014).

[28] Die Vorgehensweise lässt außer Acht, dass natürlich auch Private Haushalte (z.B. in Studentenwohnheimen) existieren, die nicht über eine eigene Kochgelegenheit verfügen. Leider liegen hierzu keine genaueren Angaben vor, so dass auf eine vertiefende Analyse an dieser Stelle vorerst verzichtet wurde.

[29] Es ist bekannt, dass Kochen mit Erdgas u.a. aufgrund der besseren Dosierbarkeit des Energieträgers effizienter ist, als das Kochen mit elektrischem Strom. Allerdings dürfte ein Teil des Effizienzvorteils beim Kochen mit Erdgas dadurch kompensiert werden, dass erdgasbetriebene Profikochgeräte i.d.R. auch intensiver genutzt werden.

Nach diesen Berechnungen erreichte der Erdgasverbrauch der Privaten Haushalte zu Kochzwecken in der Zeit zwischen 2010 und 2015 eine Größenordnung zwischen 2,5 und 2,6 PJ. Zur Einordnung: Damit entfällt auf den Erdgaseinsatz zum Kochen im Jahr 2014 etwa 0,3 % des gesamten in dieser Studie ermittelten Erdgasverbrauchs der Privaten Haushalte.[30]

3.1.5. Gesamter Erdgas-, Heizöl- und Fernwärmeverbrauch der Privaten Haushalte

Aus alledem setzen sich vollständige Zeitreihen zum Endenergieverbrauch der Privaten Haushalte an Erdgas, Heizöl und Fernwärme wie folgt zusammen:

- **Endenergieverbrauch der Privaten Haushalte Erdgas**: Erdgasverbrauch der Mehrfamilienhäuser zur Beheizung von Wohnungen und Aufbereitung von Warmwasser (Hochrechnung der Techem-Daten) zzgl. Erdgasverbrauch der Einfamilienhäuser für Raumwärmezwecke und Warmwasseraufbereitung (EEFA-Wohnungsmodell) zzgl. Erdgasverbrauch für Kochzwecke (Ergebnisse der ergänzenden Modellrechnung).

- **Endenergieverbrauch der Privaten Haushalte Fernwärme**: Fernwärmeverbrauch der Mehrfamilienhäuser zur Beheizung von Wohnungen und Aufbereitung von Warmwasser (Hochrechnung der Techem-Daten) zzgl. Fernwärmeverbrauch der Einfamilienhäuser für Raumwärmezwecke und Warmwasseraufbereitung (EEFA-Wohnungsmodell).

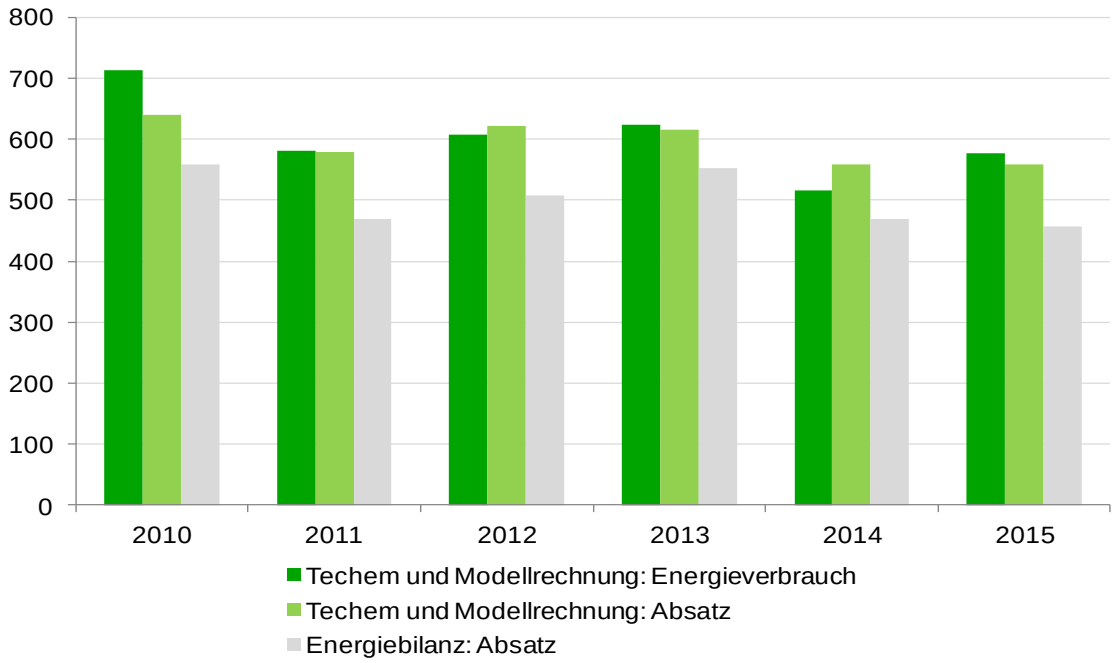
- **Endenergieverbrauch der Privaten Haushalte Heizöl**: Heizölverbrauch der Mehrfamilienhäuser zur Beheizung von Wohnungen und Aufbereitung von Warmwasser (Hochrechnung der Techem-Daten) zzgl. Heizölverbrauch der Einfamilienhäuser für Raumwärmezwecke und Warmwasseraufbereitung (EEFA-Wohnungsmodell) zzgl. der Tankbestandsveränderung (vgl. Kapitel 4.1 dieser Studie).

In Schaubild 24 bis Schaubild 26 werden die ermittelten Endenergieverbräuche an Erdgas, Heizöl und Fernwärme grafisch für die Jahre von 2010 bis 2015 dargestellt. Zur besseren Einordung werden die Zeitreihen den jeweiligen Ergebnissen der Energiebilanz Deutschland gegenübergestellt. Bei der Interpretation der Resultate ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse (Techem-Hochrechnung und Energiebilanz) für das Jahr 2015 noch einen vorläufigen Charakter haben.

[30] Die Anwendungsbilanzen weisen für das Jahr 2011 und 2012 einen Anteil von 0,4 % aus, vgl. RWI (2014).

Schaubild 24: Heizölverbrauch und -absatz der Privaten Haushalte

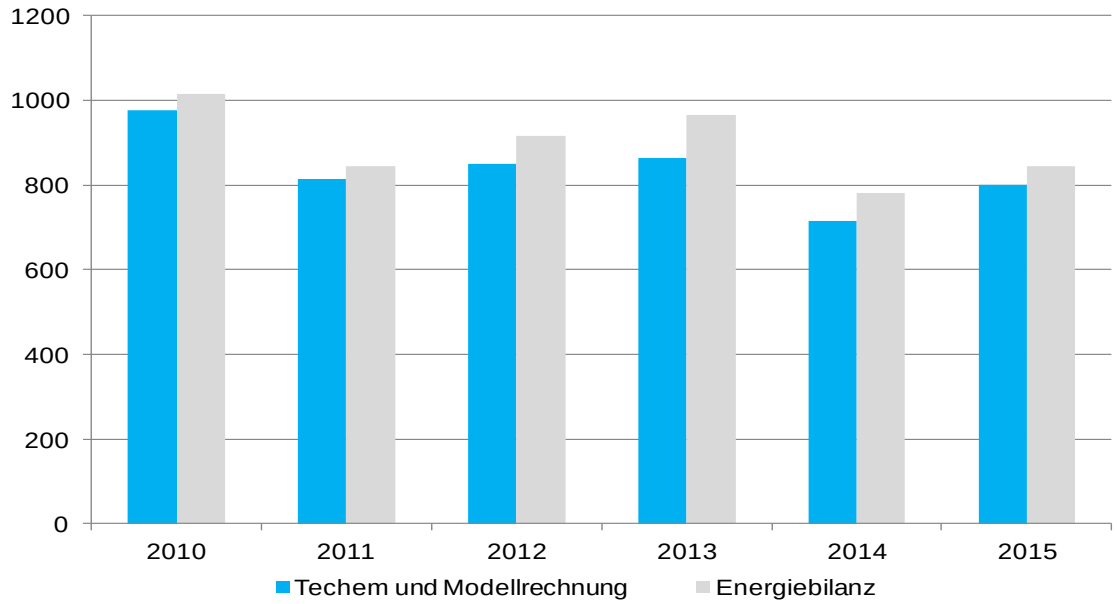
2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen EEFA. *2015: vorläufig.

Schaubild 25: Erdgasverbrauch der Privaten Haushalte

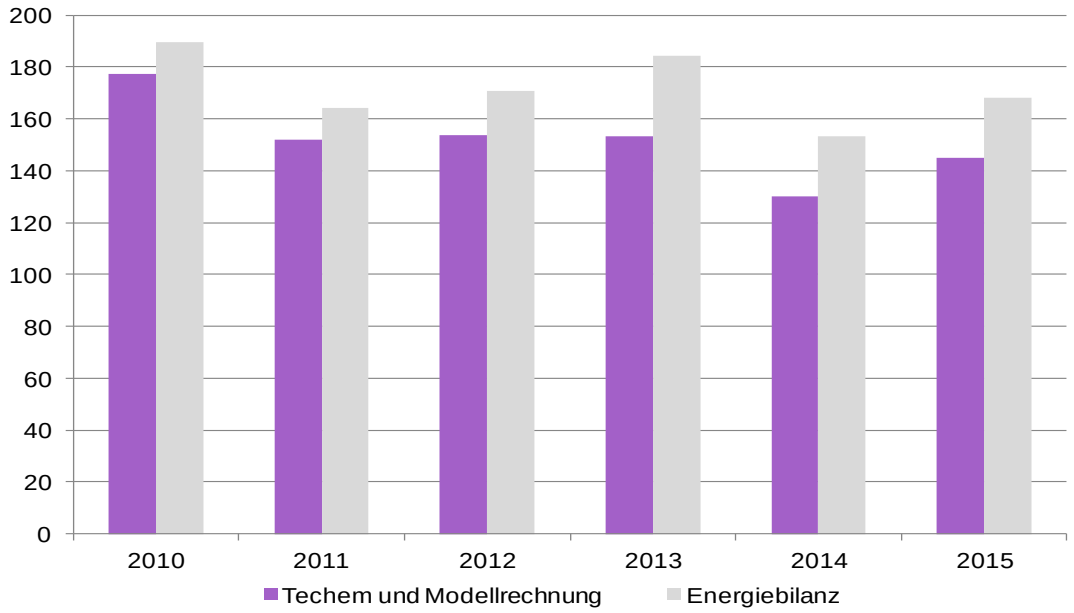
2010 bis 2015, in PJ (Hu)*, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.**



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen EEFA.
* Die Darstellung erfolgt, entsprechend den Konventionen der AG Energiebilanzen, zum unteren Heizwert (Hu).
** 2015: vorläufig.

Schaubild 26: Fernwärmeverbrauch der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen EEFA. *2015: vorläufig.

3.2. Ermittlung des Holzverbrauchs der Privaten Haushalte

Rund 9,4 % der im Jahr 2014 in Privaten Haushalten nachgefragten Energie wurde durch Holz gedeckt. Wie bereits in der Konzeptstudie beschrieben, existieren nur begrenzte Möglichkeiten, den Energieholzverbrauch der Privaten Haushalte empirisch zu ermitteln. Dies liegt zum einen an der unüberschaubaren Vielzahl von Feuerstätten die in Privaten Haushalten genutzt werden und eine regelmäßige, statistische Erfassung spürbar erschweren (bzw. einen beträchtlichen Aufwand und damit verbunden hohe Kosten nach sich ziehen). Zum anderen wird rund die Hälfte des Holzes, das in Klein- und Kleinstfeuerungsanlagen Privater Haushalte eingesetzt wird, nicht über den Handel bezogen, sodass eine vergleichsweise einfache Datenerfassung über Absatz- oder Verbandsstatistiken grundsätzlich ausscheidet.[31]

[31] Darüber hinaus bereitet auch der Versuch den energetischen Verbrauch von Holz bei Privaten Haushalten (bzw. im GHD-Sektor) über das Holzaufkommen im Inland zu bestimmen (Restrechnung) erhebliche Schwierigkeiten. Der Hauptgrund hierfür ist, dass eine sichere Trennung zwischen der energetischen und der stofflichen Nutzung (u.a. Möbelindustrie, Baugewerbe) statistisch kaum möglich ist.

In der Vergangenheit wurde für Zwecke der Erstellung der Energiebilanz Deutschland deshalb ausschließlich auf punktuell vorliegende empirische Erhebungen zum Holzverbrauch zurückgegriffen. Für die Berichtsjahre bis einschließlich 2009 sind beispielsweise Hochrechnungen der Rheinbraun Brennstoff AG und der Gesellschaft für Konsumforschung (GfK), ergänzt um Angaben des Deutschen Pelletinstituts in die Energiebilanz eingeflossen.[32] Seit dem Jahr 2013 nutzt die AG Energiebilanzen die Ergebnisse der RWI/forsa-Erhebungsstudie zum Holzverbrauch der Privaten Haushalte, die unter anderem in den Jahren 2013 und 2015 durchgeführt wurde.[33]

Die umfassenden Erhebungen im Rahmen des Rohstoffmonitoring Holz sind bisher bei der Erstellung der Energiebilanz Deutschland weitgehend ungenutzt geblieben.[34] Speziell zur Energieholzverwendung der Privaten Haushalte liegen mit dem Rohstoffmonitoring Holz also empirische Daten für die Berichtsjahre von 2005, 2007, 2010 und 2014 vor. Aufgrund des sehr großen Erhebungsumfangs sowie der im Rahmen des Rohstoffmonitoring Holz angewandten Hochrechnungsmethode eignen sich die Ergebnisse dieser Studie besonders gut zur Abbildung des Holzverbrauchs der Privaten Haushalte in der Energiebilanz Deutschland.[35] Insgesamt stellt das Rohstoffmonitoring für die vorliegenden Erhebungsjahre (2005, 2007, 2010 und 2014) energiebilanzkompatible Eckgrößen zum Holzverbrauch der Privaten Haushalte bereit.

Zur uneingeschränkten Nutzung der Daten zur Energieholzverwendung in Privaten Haushalten für die regelmäßige, jährliche Erstellung der Energiebilanz Deutschland bilden allerdings zwei Arbeitsschritte die unabdingbare Voraussetzung:

- erstens müssen die Angaben zum Energieholzverbrauch der Privaten Haushalte für die Jahre zwischen den Erhebungen geschätzt bzw. interpoliert werden und

- zweitens ist eine einheitliche Umrechnung der in natürlichen Einheiten (Festmeter) erhobenen Holzverbrauchsmengen in Tonnen und schließlich in Energieäquivalenten (PJ) notwendig.

Die Verbrauchsmengen, die in der Studie „Energieholzverwendung in Privaten Haushalten“ (vorwiegend Scheitholz aus Wald und Garten) für die Jahre 2010 und 2014 erho-

[32] Diese Datenquellen standen allerdings ab dem Berichtsjahr 2010 nicht mehr zur Verfügung und mussten zur Erstellung der Energiebilanz Deutschland bis 2012 zunächst über plausible Schätzungen fortgeschrieben werden.

[33] Ab 2014 erfolgt eine Fortschreibung des gesamten Holzverbrauchs allein über die Entwicklung der Gradtagszahlen. Beide genannten Erhebungen sind mittlerweile eingestellt.

[34] Vgl. Mantau, U., Sörgel, C. (2006), Hick, A., Mantau, U. (2008), Mantau, U. (2012a), Döring, P., Glasenapp, S., Mantau, U. (2016).

[35] Ein umfassender Vergleich der Ergebnisse im Rahmen des Rohstoffmonitorings Holz mit den Befunden anderer empirischer Studien (z.B. RWI/forsa) sowie eine ausführliche Bewertung der verschiedenen Erhebungen wurde bereits im Rahmen der Konzeptstudie durchgeführt, vgl. EEFA et al. (2015).

ben und hochgerechnet wurden, liegen in der holztypischen Mengeneinheit Festmeter vor. Zur Übernahme der Daten in die Energiebilanz Deutschland erfolgt zunächst – unter Berücksichtigung des spezifischen Wassergehaltes des jeweiligen Holzsortiments – eine Umrechnung von Festmeter in Masse absolut trockenes Holz (t_{atro}). Anschließend kann der Holzverbrauch in Tonne (atro) mit Hilfe eines durchschnittlichen Heizwertes von 5,09 MWh//t_{atro} im Erhebungsjahr 2010 bzw. 5,08 MWh/t_{atro} im Erhebungsjahr 2014 in energetische Einheiten umgerechnet werden.[36] Ausnahme sind Holzpellets: für dieses Sortiment wird ein Heizwert von 4,9 MWh/t_{atro} angesetzt.

Unter den skizzierten Prämissen errechnet sich insgesamt ein Holzverbrauch in Privaten Haushalten in Höhe von rund 280,0 PJ im Jahr 2010 sowie 240,4 PJ im Jahr 2014 (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Umrechnung des Holzverbrauchs der Privaten Haushalte nach Sortimenten von Mengen- in energetische Einheiten

Jahre 2010 und 2014

	Umrechnungsfaktor Fm in t_{atro}	Holzverbrauch in Mio. Fm 2010	Holzverbrauch in PJ 2010	Holzverbrauch in Mio. Fm 2014	Holzverbrauch in PJ 2014
Scheitholz Wald	2,083	23,579	207,3	19,731	173,1
Scheitholz Garten	2,083	2,082	18,3	2,092	18,4
Landschaftspflegeholz	1,980	0,750	6,9	0,390	3,6
Schnittholzreste Sägewerk	2,128	0,841	7,2	0,759	6,5
Schnittholzreste Altholz	2,163	2,016	17,1	1,280	10,8
Holzbriketts	2,170	0,604	5,1	0,520	4,4
Holzpellets	2,170	1,627	13,2	2,288	18,6
Hackschnitzel	1,833	0,450	4,5	0,488	4,9
Späne/Sägemehl	2,128	0,038	0,3	0,029	0,2
Summe			280,0		240,4

Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach Mantau, U. (2012a), Mantau, U. (2012b), Mantau, U. (2013) und Döring, P., Glasenapp, S., Mantau, U. (2016).

[36] Der Heizwert von Laubholz beträgt 5,0 MWh/t_{atro}, wohingegen der Heizwert von Nadelholz mit 5,2 MWh/t_{atro} geringfügig höher liegt. Nach Döring, P., Glasenapp, S., Mantau, U. (2016) liegt der Laubholzanteil zur energetischen Verwendung in Privaten Haushalten im Jahr 2010 bei 56,6 %, im Jahr 2014 sogar bei 62,4 %.

Um die Entwicklung des Holzverbrauchs in den Zwischenjahren konsistent ermitteln zu können, wird im Rahmen dieser Studie eine Fortschreibung anhand des Wärmebedarfs der holzbeheizten Wohnflächen, wie er mit dem EEFA-Wohnungsmodell berechnet wurde, vorgenommen.[37]

Das Modell ermittelt den Wärmebedarf (Nutzenergie) für Holz aus

- dem Wärmebedarf der Wohnungen, die ausschließlich mit Holz heizen,
- dem Wärmebedarf der Wohnungen, die Holz als Zweitheizung einsetzen sowie
- dem Energiebedarf zur Warmwasserbereitstellung,

die jeweils mit plausiblen Wirkungsgraden verknüpft werden, um schließlich den Holzverbrauch (Endenergie) darzustellen.[38]

Eine besondere Schwierigkeit bei der Nutzung des EEFA-Wohnungsmodells im skizzierten Zusammenhang besteht darin, dass für Wohnungen, in denen eine Zweitheizung installiert ist, i.d.R. nicht bekannt ist, welchen Beitrag die Sekundärheizung zur Beheizung der gesamten Wohnfläche bzw. zum gesamten Wärmebedarf einer Wohnung leistet. Sicher ist, dass der Einsatz von Holz in Zweitheizungssystemen wie Kachelöfen oder Heizkaminen, extrem verhaltensabhängig ist und von Nutzer zu Nutzer (bzw. Wohnung zu Wohnung) stark schwanken kann.[39] Zur Bestimmung des Beitrags holzbefeuerter Zweitheizungen (am gesamten Wärmebedarf) stützt sich das EEFA-Wohnungsmodell an dieser Stelle auf vertiefende „exogene“ Zusatzinformationen.[40] Hingegen lässt sich der Wärmebedarf der ausschließlich mit Holz beheizten Wohnflächen vergleichsweise problemlos berechnen; gleiches gilt für den Energieholzbedarf zu Erwärmung von Warmwasser.[41]

---

[37] Selbstverständlich kann alternativ auch eine vereinfachte Fortschreibung anhand der Heizgradtage erfolgen. Allerdings wäre die Fortschreibung des Holzverbrauchs in diesem Falle ausschließlich von den Witterungsverhältnissen abhängig ohne wichtigen Einflussfaktoren wie z.B. der Bevölkerungsentwicklung, der Wohnungsbestandsentwicklung (und damit dem Zugang holzbeheizter Wohnflächen) angemessen Rechnung zu tragen.

[38] Näheres zur Modellbeschreibung vgl. Kapitel 3.1.3 dieser Studie, sowie EEFA et al. (2015).

[39] Von den insgesamt 5,8 Mio. Haushalten, die angeben über eine Holzfeuerungsstätte zu verfügen, geben nur 20 % an, Holz vorwiegend als Heizenergieträger zu verwenden; lediglich 655 000 Haushalte setzten ausschließlich Holz zu Beheizungszwecken ein, vgl. StBA (2012).

[40] Diese Eingangsdaten sind darüber hinaus wichtige Zusatzinformationen zur Berechnung des Energieverbrauchs der konventionellen Energieträger Heizöl, Erdgas und Fernwärme, die durch den vermehrten Einsatz von Holz (wenn dies ein Zweitheizungssystem ist) verdrängt bzw. ersetzt werden. Näheres dazu vgl. EEFA et al. (2015).

[41] Eine Beschreibung des Warmwassermodells erfolgte in Kapitel 3.1.3.1. Es wird unterstellt, dass es sich bei Warmwassersystemen auf Basis von Holz um moderne zentrale Heizungsanlagen (z.B. Pelletheizungen) handelt. Knapp 2 % der Haushalte geben an, warmes Wasser mithilfe von Holz aufzubereiten. Eine Problematik analog zur Zweitheizung besteht damit nicht.

Konkret wird folgende Vorgehensweise angewandt: Um den Beitrag der Zweitheizungen zu bestimmen, wird das EEFA-Wohnungsmodell auf die Jahre 2010 und 2014 (in diesen Jahren liegen Erhebungsdaten zum Holzverbrauch vor) kalibriert. Von diesen Eckgrößen (280,0 PJ sowie 240,4 PJ, s.o.) wird der rechnerische Holzverbrauch abgezogen, der zur Warmwasserbereitstellung eingesetzt wird, sowie der Teil, der zur Beheizung von Wohnflächen aufgewendet wird, die ausschließlich mit Holz heizen. Der Holzverbrauch der Wohnungen, die Holz als Zweitheizung einsetzen, bildet die Restgröße.

Aus dem Holzeinsatz in Zweitheizungen lässt sich (die Annahme geeigneter Wirkungsgrade vorausgesetzt) der **Beitrag der Zweitheizungssysteme** (Holz) zum Wärmebedarf der betreffenden Wohnungen für beide Erhebungsjahre ermitteln.

Sicherlich stellt die Vorgabe plausibler Wirkungs- bzw. Nutzungsgrade für die Holzheizungssysteme eine gewisse empirische Herausforderung dar. Während im Rahmen der Konzeptstudie, die dieser Arbeit zugrunde liegt, noch relativ grobe durchschnittliche Wirkungsgrade für Holzheizungsanlagen insgesamt verwendet wurden, konnte das Modell inzwischen an dieser Stelle spürbar verfeinert werden und berücksichtigt nun differenziertere Jahresnutzungsgrade, vor allem um zwischen Primärheizungen und Zweitheizungen auf Basis von Holz unterscheiden zu können und die Genauigkeit der Berechnungen zu erhöhen.

Insbesondere wird angenommen, dass es sich bei Heizungsanlagen in Haushalten die ausschließlich mit Holz heizen, im Wesentlichen um modernere Zentralheizungen handelt, die mit Scheitholz-, Hackschnitzel- oder Holzpellets befeuert und mechanisch beschickt werden. Die durchschnittlichen Jahresnutzungsgrade solcher Heizungssysteme unterscheiden sich je nach eingesetztem Holzsortiment nur marginal von Heizöl oder erdgasbefeuerten Niedertemperaturanlagen und liegen in der Größenordnung von 78 %.[42] Dieser Jahresnutzungsgrad wird folglich in den vorliegenden Berechnungen für die Erstheizungssysteme sowie die Warmwasseraufbereitung angenommen.[43]

Als Zweitheizungssysteme kommen hingegen im wesentlichen handbeschickte Kaminöfen, Kachelöfen, Pelletkaminöfen, sowie Grund- oder Dauerbrandöfen zum Einsatz. Die Jahresnutzungsgrade dieser Heizungssysteme variieren zum Teil deutlich. So errei-

[42] Während Scheitholz- und Pelletkessel einen Jahresnutzungsgrad von 78 % erreichen, liegen die Heizwerte von Hackschnitzelkesseln mit 75 % knapp darunter. Vgl. dazu Fichtner et al. (2012).

[43] Der Wirkungsgrad moderner Pelletkessel (in denen zum Teil Brennwerttechnologie zu Einsatz kommt) liegt in der Regel bei über 90 %. Der Jahresnutzungsgrad unterscheidet sich jedoch wesentlich vom feuerungstechnischen Wirkungsgrad (standardisierte Prüfwerte), da die Anlagen in der Regel in Teillast betrieben werden und eher selten die volle Wärmeleistung abgerufen wird. Handelt es sich nicht um moderne, automatisch beschickte Holzfeuerungsanlagen kommt hinzu, dass sich Bedienungsfehler durch die manuelle Beschickung nachteilig auswirken. Der Gesamtnutzungsgrad liegt deshalb näherungsweise 15-20 %-Punkte unterhalb des Wirkungsgrades, vgl. dazu FNR (2013).

chen Pelletkaminöfen Nutzungsgrade von bis zu 75 %, hingegen liegen die Jahresnutzungsgrade bei Kamin- und Kachelöfen mit 40-60 % zum Teil deutlich darunter.

Um dem EEFA-Wohnungsmodell einen geeigneten Wirkungsgrad für den Durchschnitt der Zweitheizungssysteme vorgeben zu können, müssen die anlagenspezifischen Wirkungs- bzw. Nutzungsgrade entsprechend gewichtet werden.

Die hier vorgenommene Gewichtung stützt sich auf die Anzahl der installierten Anlagen. Die vorliegenden Analysen haben gezeigt, dass rund 55 % aller installierten Feuerstätten für Festbrennstoffe (die neben Holz auch mit Kohle befeuert werden können) auf Kamin- und Kachelöfen, etwa 26 % auf Heizkamine, Kamineinsätze, Dauerbrand- und Grundöfen sowie etwa 19 % auf sonstige Öfen entfallen. Danach ergibt sich rechnerisch ein gewichteter Jahresnutzungsgrad von rund 47 % über alle Zweitheizungssysteme (vgl. Tabelle 5).[44]

Tabelle 5: Zweitheizungssysteme nach Technologie

Jahre 2010 bis 2015

	Jahresnutzungsgrad (Durchschnittswerte) in %	Zweitheizungen nach Technologie, Anteile in %					
		2010	2011	2012	2013	2014	2015
Kaminöfen (Scheitholz)	40 %	33,3	33,8	34,2	34,7	35,0	35,3
Kaminöfen (Holzpellets)	75 %	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8
Kachelöfen	60 %	20,0	19,8	19,6	19,4	19,2	19,2
Heizkamine, Kamineinsätze	52 %	13,1	12,9	12,7	12,5	12,3	12,2
Dauerbrandöfen, Grundöfen	45 %	12,7	12,9	13,1	13,3	13,4	13,5
Sonstige Öfen	15 %	20,5	20,1	19,8	19,5	19,2	19,0
Gewichteter Jahresnutzungsgrad		46,6 %	46,8 %	47,0 %	47,1 %	47,3 %	47,5 %

Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach IVD (2008), FNR (2013), HKI (2015), DEPI (2015).

[44] Die Ermittlung des durchschnittlichen Wirkungsgrades könnte zusätzlich dadurch verbessert werden, indem nicht die Zahl der installierten Zweitheizungssysteme, sondern deren installierte Leistung sowie ggf. das Nutzungsverhalten im Gewichtungsschema berücksichtigt werden. Aufgrund unzureichender empirischer Daten zur installierten Leistung sowie zum Nutzungsverhalten konnte dieser Ansatz leider nicht weiter verfolgt werden.

Aus all diesen Vorgaben lässt sich der Beitrag der Zweitheizungen für die Jahre 2010 und 2014 berechnen, indem vom gesamten Holzverbrauch der Privaten Haushalte (insgesamt 280,0 PJ und 240,4 PJ),

- der Holzverbrauch zur Warmwasserbereitstellung in den Jahren 2010 bzw. 2014 in Höhe von 5,2 PJ bzw. 5,4 PJ (bei einem rechnerischen Energiebedarf von 1 136 GWh bzw. 1 177 GWh und einem Wirkungsgrad der Warmwasseraufbereitungsanlage von 78 % in beiden Jahren), sowie

- der Holzverbrauch für Wohnraumbeheizung der ausschließlich mit Holz beheizten Wohnflächen in Höhe von jeweils 58,7 PJ im Jahr 2010 und 42,1 PJ im Jahr 2014 (bei einem rechnerischen Wärmebedarf von 12 728 GWh bzw. 9 122 GWh und einem Wirkungsgrad der Heizungsanlagen von 78 %)

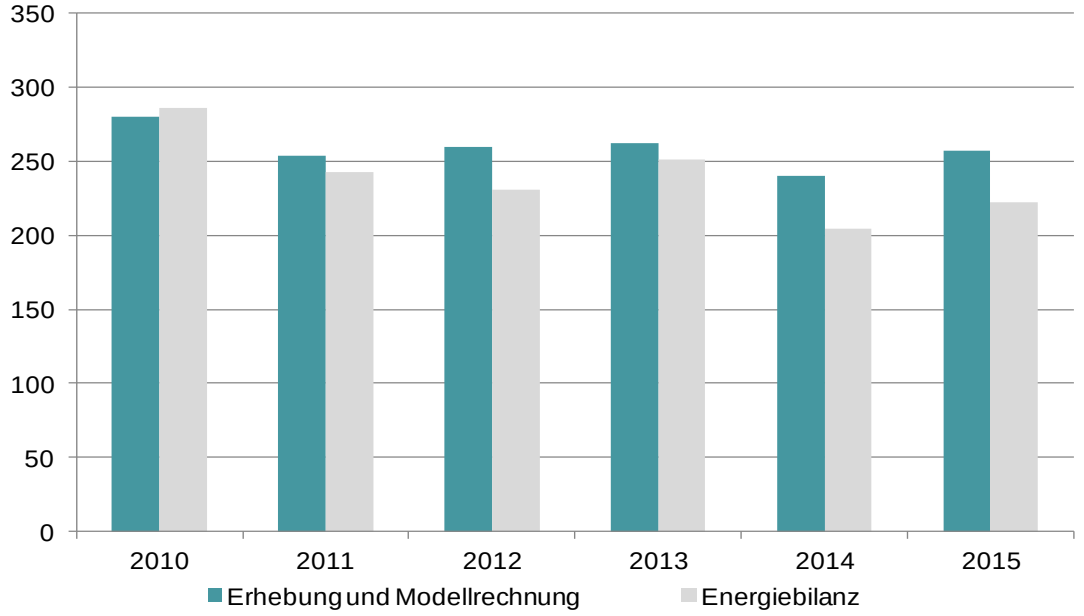
abgezogen werden. Auf den Holzeinsatz in Zweitheizungssystemen entfallen nach dieser Rechnung etwa 216 PJ (2010) bzw. 193 PJ (2014). Mit Hilfe des für Zweitheizungssysteme ermittelten, gewogenen Wirkungsgrades (47 %) errechnet sich daraus ein Wärmebedarf von 28 199 GWh (2010) bzw. 25 184 GWh (2014). Dies entspricht – gemessen am gesamten Wärmebedarfs der Wohnflächen (bzw. Wohnungen die Holz als zusätzlichen Heizenergieträger einsetzen) – einem Anteil von rund 28 % im Jahr 2010 und rund 34 % im Jahr 2014.[45]

Unter diesen Prämissen berechnet sich der Holzverbrauch der Privaten Haushalte wie in Schaubild 27 dargestellt. Zur besseren Einordnung sind die empirischen Befunde dieser Studie, den Holzmengen gegenüber gestellt, die die Energiebilanz Deutschland im Sektor „Private Haushalte“ in der Zeit von 2010 bis 2015 bilanziert hat.

[45] Zur Interpolation der Zwischenjahre sowie zur Fortschreibung des ermittelten Wärmebedarfs (aus Holzeinsatz in Zweitheizungen) wurde angenommen, dass der Nutzungs-Anteil der Zweitheizungen grundsätzlich Schwankungen unterworfen ist, die in erster Linie von der Temperaturentwicklung abhängig sind. Insbesondere dürfte der Beitrag „handbefeuerter“ Holzöfen in kalten Wintern geringer ausfallen als in milderen (der konkrete Zweitheizungs-Beitrag ist von der Entwicklung der Heizgradtage abhängig, wobei eine Temperatur-Elastizität von 0,7 unterstellt wurde). Die skizzierte Vorgehensweise stellt zum einen sicher, dass die empirisch ermittelten jeweiligen „Eckgrößen“ (Mantau-Studie) für die Jahre 2010 und 2014 widergespiegelt werden. Zum anderen lässt sich der Holzverbrauch der Privaten Haushalte auch für die Jahre nach 2014 auf diese Weise energiebilanzkonsistent errechnen.

Schaubild 27: Holzverbrauch der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen ZSW/EEFA. *2015: vorläufig.

3.3. Ermittlung des Verbrauchs von Holzkohle in Privaten Haushalten

Holzkohle wird vor allem von Privaten Haushalten sowie in geringen Mengen im GHD-Sektor (Gastgewerbe) eingesetzt. Sie dient in beiden Verbrauchsbereichen nahezu ausschließlich zu Kochzwecken bzw. zum Grillen unter freiem Himmel.

Die Herstellung von Holzkohle ist ein thermochemischer Prozess, bei dem Holz langsam pyrolysiert und die Faserstruktur des Holzes bei hohen Temperaturen in die kristalline Struktur von Graphit umgewandelt wird. Bei diesem Prozess wird aus 10 Tonnen Buchenholz etwa 3,5 Tonnen Holzkohle hergestellt.[46]

In der Energiebilanz Deutschland ist der Verbrauch (bzw. Absatz) an Holz- oder Grillkohle bislang nicht enthalten. Gleichwohl ist die Erfassung dieses Energieträgers trotz seiner Nischenrolle für eine vollständige Darstellung des Primär- und Endenergieverbrauchs bereits heute von erheblicher und aller Voraussicht in Zukunft weiter wachsender Bedeutung: Nach unten stehenden Berechnungen verbrauchten die Privaten

[46] Vgl. hierzu Oberhundemer Dorfzeitung (2009).

Haushalte und der GHD-Sektor im Jahr 2014 Holz- und Grillkohle mit einem Energieäquivalent von ca. 8 PJ; dies entspricht etwa 0,2 %. des Endenergieverbrauchs dieser Sektoren.

Eine statistische Erfassung der Holz- und Grillkohle im Rahmen der Erstellung der Energiebilanz Deutschland ist grundsätzlich möglich. Der Grund hierfür ist, dass die amtlichen Erhebungen das Aufkommen an Holz- und Grillkohle im Inland nahezu vollständig erfassen.

Aufgrund strenger gesetzlicher Reglementarien zur Luftreinhaltung und Geruchsimmission wird hierzulande verbrauchte Holz- und Grillkohle hauptsächlich aus dem europäischen und internationalen Ausland importiert.[47] Es liegt auf der Hand, dass über die Einfuhrmengen (bzw. die Ausfuhr) der mit Abstand größte Teil des Absatzes bzw. Verbrauchs im Inland als statistische Größe vorliegt.[48]

Dem gegenüber liegen zur Produktion von Holz- bzw. Grillkohle in Deutschland nur lückenhafte Informationen vor. Zwar erfasst die amtliche Produktionserhebung die Produktion von Holzkohle (Meldenummer 2014 72 000), allerdings unterliegen diese Angaben der statistischen Geheimhaltung weil in Deutschland nur ein Unternehmen (die Firma proFagus) in einem großtechnischen Verfahren Holz- und Grillkohle produziert.

Einen groben Gesamteindruck von der Höhe der Holz- und Grillkohleproduktion in Deutschland liefern Angaben, die vom Unternehmen proFagus selbst stammen.[49] Demnach beschränkt sich die inländische Produktion in Deutschland auf die Verarbeitung von rund 100 000 Tonnen Holz pro Jahr.[50] Diese Einsatzmenge entspricht einer Produktionskapazität von durchschnittlich etwa 35 000 Tonnen Holzkohle pro Jahr. Selbstverständlich verläuft die Entwicklung der Holzkohlenproduktion von Jahr zu Jahr nicht konstant, sondern schwankt in Abhängigkeit von den jeweiligen Marktentwicklungen. Geht man davon aus, dass die inländische Nachfrage nach Holzkohle vor allem witterungsabhängig ist (je mehr sonnige und trockene Tage im Jahr, desto mehr Grillkohle wird benötigt) und das langjährige Mittel der Sonnenscheindauer der Produktion

[47] Anbieter der fertigen Produkte sind in Deutschland ansässige Firmen, die Holzkohle und Briketts importieren. In Deutschland werden sie jedoch lediglich gesiebt und abgefüllt bzw. abgepackt.

[48] Zur Ein- und Ausfuhr von Holzkohle (Warennummer WA 4402) siehe Destatis, Datenbanken, Genesis-online, https://www-genesis.destatis.de/genesis/online.

[49] Vgl. http://profagus.de/unternehmen

[50] Darüber hinaus wird Holzkohle in einigen privaten Familienköhlereien im Thüringer und Frankenwald hergestellt, die jährlich durchschnittlich 500 Tonnen ab Hof an Privatkunden und Gastronomen verkaufen. Einzelheiten dazu vgl. u.a. http://www.harzkoehlerei.de/Koehlerei, http://www.graefenhainichen.de/eisenh.htm, http://www.t-online.de/regionales/id_45469210/holzkohle-der-spitzenklasse.html.

mit der genannten Kapazität entspricht, lässt sich eine Zeitreihe über die großtechnische Produktion von Holzkohle für die Jahre 2010 bis 2015 abschätzen. Insgesamt wurden in Deutschland nach diesen Berechnungen im Jahr 2015 rund 37 300 Tonnen Holz- und Grillkohle (inkl. Erzeugung kleinerer Familienköhlereien) produziert. Die Produktion von Holzkohlen bewegt sich seit 2010 auf einem Niveau zwischen 34 000 Tonnen (Minimum) und 39 000 Tonnen (Maximum).

Unter den genannten Prämissen ergibt sich folgendes Bild: In Deutschland wurden im Jahr 2015 rund 265 300 Tonnen Holzkohle verbraucht bzw. abgesetzt (vgl. Tabelle 6). Von dieser Absatz- bzw. Verbrauchsmenge entfallen rund 95 % oder 252 000 Tonnen auf den Einsatz in Privaten Haushalten.[51] Allein die Privaten Haushalte setzten damit im Jahr 2015 durchschnittlich 3,1 kg Holzkohle pro Kopf zum Grillen ein.

Bei der Umrechnung des Holzkohleabsatzes von physischen Mengen in Energieäquivalenzeinheiten ist zu beachten, dass der Heizwert der Holz- und Grillkohlenkohle je nach Art der zur Produktion eingesetzten Holzart (Laub- oder Nadelholz) Schwankungen unterworfen ist.[52]

Tabelle 6: Produktion, Außenhandel und Verbrauch von Holzkohle
2010 bis 2015, in 1 000 Tonnen

		2010	2011	2012	2013	2014	2015
Import		230,5	242,0	269,8	239,9	238,1	243,5
darunter	Polen	53,3	54,6	72,7	67,3	70,1	75,9
	Paraguay	46,6	56,9	43,6	39,2	36,8	34,0
	Nigeria	19,5	17,0	26,5	28,6	24,9	31,8
	Litauen	6,4	23,8	31,3	19,2	21,7	9,8
	Niederlande	13,4	7,7	17,2	14,1	5,2	5,2
	Ukraine	14,5	13,4	10,4	13,6	13,7	17,6
	Sonstige	76,7	68,7	68,2	57,8	65,8	69,2
Exporte		13,2	17,2	22,8	12,9	14,5	15,5
Inländische Produktion		35,3	39,0	35,2	34,1	33,8	37,3
Verbrauch		252,5	263,8	282,2	261,0	257,4	265,3
darunter in Priv. HH		239,9	250,6	268,0	248,0	244,5	252,0

Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

[51] Es wird angenommen, dass etwa 5 % der Holzkohle durch das Gastgewerbe und sonstige Abnehmer verbraucht werden.

[52] So hat Holzkohle aus Kiefernholz mit 32,93 MJ/t einen hohen Energiegehalt, während etwa Holzkohle aus Buchenholz lediglich einen Energiegehalt von 31,63 MJ/t aufweist. Vgl. hierzu Bunbury H.M. et al. (1925).

Zur Produktion von Holzkohle in Deutschland wird in der Regel Buchenholz aus heimischen Wäldern verwendet, da die gewonnene Buchen-Holzkohle keine schwer entflammbaren Kleinpartikel und Staubteile enthält, schnell anglüht und die Wärme gleichmäßig abgibt.[53] Somit kann für die inländische Holzkohlenproduktion ein Heizwert von 31,63 MJ/t unterstellt werden.

Für die importierte Holzkohle liegen weder genaue Informationen zum Energiegehalt noch zur Art der eingesetzten Holzsorte vor. Grobe Hinweise auf die zur Produktion eingesetzte Holzart liefert die Verteilung von Laub- und Nadelholz in den jeweiligen Einfuhrländern. Angaben dazu bietet die Statistik zur Holzentnahme nach Ländern, die von Eurostat in jährlichem Abstand veröffentlicht wird. Hieraus geht hervor, dass der Anteil des Laubholzes an der gesamten Holzentnahme beispielsweise in Polen durchschnittlich etwa 50 %, in der Ukraine rund 30 % und in Litauen 60 % beträgt. Hingegen ist in den Niederlanden ein deutlich höherer Laubholzanteil zu erwarten (83 %).[54]

Geht man davon aus, dass die verfügbaren Angaben zum Verhältnis von Laub- und Nadelholzentnahmen in verschiedenen Ländern ohne Einschränkungen auch auf den Einsatz von Holz zur Holzkohleproduktion übertragbar sind, errechnet sich für die Einfuhr von Holz- und Grillkohle nach Deutschland ein nach Herkunftsländern gewichteter durchschnittlicher Laubholzkohlenanteil von 71 %.[55] Der analog gewichtete Heizwert der Holzkohleeinfuhren beträgt im Jahr 2015 rund 32,09 MJ/t. Für die Ausfuhren an Holz- und Grillkohle wurde der über das gesamte Aufkommen im Inland gewichtete Heizwert (32,03 MJ/t im Jahr 2015) unterstellt.

Aus alledem errechnet sich hierzulande insgesamt ein Holzkohlenverbrauch im Inland in Höhe von 8,5 PJ (2015). Von diesem Gesamtverbrauch entfallen 2015 ca. 8,1 PJ bzw. rund 95 % auf den Einsatz zu Grillzwecken in Privaten Haushalte. Tabelle 7 fasst die ermittelten Zeitreihen zum Verbrauch von Holz- und Grillkohle in Deutschland in Privaten Haushalten für die Jahre 2010 bis 2015 zusammen. Nachrichtlich ist hier der Holzeinsatz zur Holzkohleproduktion in Deutschland dargestellt, der zur Erstellung einer konsistenten Gesamtbilanz als Umwandlungseinsatz von Holz zur Holzkohlenproduktion nicht fehlen darf.[56]

---

[53] Vgl. www.profagus.de sowie Stellungnahme proFagus „Rückmeldung zu Testergebnissen“ gegenüber SWR, im Internet abrufbar unter www1.wdr.de/verbraucher/wohnen/stellungnahme-104.pdf

[54] Für Paraguay sowie Nigeria wird der für Brasilien beobachte Laubholz-Entnahmeanteil von 97 % angesetzt.

[55] Eigene Berechnungen ZSW. Die Holzentnahme nach Ländern ist der Eurostatdatenbank „Forstwirtschaft“ entnommen, im Internet abrufbar unter http://ec.europa.eu/eurostat/web/forestry/data/database.

[56] Bei der Berechnung des Holzeinsatzes zur inländischen Holzkohleproduktion wird unterstellt, dass Buchenholz mit einem Wassergehalt von 20 % (lufttrocken) verwendet wird. Der Heizwert beträgt 13,9 MJ/t, vgl. C.A.R.M.E.N. (2016). Das Massenverhältnis von Buchenholzkohle zu Buchenholz wird mit 34,6 % angesetzt, vgl. Oberhundemer Dorfzeitung (2009).

Tabelle 7: Energiebilanz Holzkohle
2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Import	7 387	7 762	8 655	7 696	7 640	7 813
Export	422	552	731	414	465	496
Umwandlungsausstoß	1 115	1 233	1 113	1 077	1 070	1 181
nachrichtlich: Holzeinsatz zur Holzkohleproduktion	*1 416*	*1 565*	*1 414*	*1 368*	*1 359*	*1 499*
Energieverbrauch im Inland	8 080	8 443	9 038	8 360	8 245	8 497
darunter im Sektor Private Haushalte	7 959	8 317	8 858	8 194	8 000	8 077

Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

3.4. Ermittlung des Verbrauchs aus Solarthermie in Privaten Haushalten

Die dezentrale Wärmeerzeugung mit solarthermischen Anlagen zum Zwecke der Beheizung von Wohnräumen, zur Bereitstellung von Warmwasser oder zur Erzeugung von Prozesswärme sowie Klimakälte spielt in Deutschland noch eine eher untergeordnete Rolle: zwar sind bereits heute 2,15 Mio. solarthermische Anlagen im Wesentlichen als Dachanlagen auf Wohngebäuden installiert, ihr Beitrag zum Endenergieverbrauch der Sektoren Private Haushalte und GHD beläuft sich jedoch auf lediglich 0,8 %.[57]

Die hohen Anlagenzahlen bei der Solarthermie stehen im Widerspruch zur Tatsache, dass bislang kaum Informationen zur Nutzung bzw. zur Energieerzeugung oder zum Energieverbrauch aus diesen Anlagen verfügbar sind. Zur Abbildung des Energieverbrauchs aus Solarthermie in der Energiebilanz Deutschland besteht folglich nur die Möglichkeit die fehlenden Daten im Wege einer Modellbetrachtung zu generieren.

In diesem Zusammenhang bisher durchgeführte Modellanalysen fußen auf einem Ansatz, der im Rahmen des Solar Heating and Cooling Programs der IEA entwickelt wurde. Die IEA-Methodik greift auf die Komponenten

- Bestand der Kollektorfläche,

[57] Vgl. BSW (2016).

- horizontal auf die Erdoberfläche auftreffende, durchschnittliche Jahres-Globalstrahlung sowie

- dimensionslose Kennziffern zur Berechnung des durchschnittlichen Kollektorertrags nach Anwendungen[58]

zurück, die durch einfache Multiplikation miteinander verknüpft werden.

Es steht außer Frage, dass der IEA-Ansatz zunächst eine international anerkannte Berechnungsmethode darstellt. Die stark vereinfachte Herangehensweise impliziert jedoch auch Schwächen:

- Die zugebaute Kollektorfläche wird als ein Aggregat behandelt. Es erfolgt keine Differenzierung nach Regionen, obwohl mehr als die Hälfte des jährlichen Zubaus auf die sonnenreichen, südlichen Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg entfällt. Hinzu kommt, dass die Kollektortypen in Verbindung mit der Witterung variierende Wirkungsgrade aufweisen, eine technologiespezifische Unterscheidung wird jedoch nicht durchgeführt.

- Die horizontale Globalstrahlung geht als Mittel über die gesamte deutsche Landesfläche sowie für zwölf Monate in die Berechnung ein, obwohl auch hier starke regionale und vor allem tageszeitliche Schwankungen zu beobachten sind. Zudem bleibt der Einfluss der Kollektorneigung, die im Normalfall zwischen 30° und 60° zur Horizontalen beträgt, unberücksichtigt.

- Die Berechnung unter Verwendung der (jährlich konstanten) dimensionslosen Kennziffern ist mit großen Ungenauigkeiten verbunden.[59]

- Grundsätzlich ist zudem zu beachten, dass nach dem bestehenden IEA-Ansatz der gesamte verfügbare, potenzielle Kollektorertrag als Endenergie der Privaten Haushalte in der Energiebilanz abgebildet wird. Dabei bleibt vollkommen außer Acht, ob diese Wärme von den Haushalten bzw. Endverbrauchern auch tatsächlich genutzt werden kann. Aus Analysen des Energieverbrauchs ist bekannt, dass Angebot und Nachfrage bei der Solarthermie in der Regel antizyklisch verlaufen. Die einfache Anwendung der IEA-Methodik führt also in der Energiebi-

[58] Die dimensionslosen Kennziffern beschreiben das Verhältnis von horizontal eintreffender Globalstrahlung zum Kollektoroutput und wurden von der IEA und dem Europäischen Solarthermie-Industrieverband (ESTIF) entwickelt (die Kennziffern lauten für die Anwendungen Trinkwassererwärmung 0,44, Heizungsunterstützung 0,33 und Schwimmbadbeheizung 0,29), um den Mitgliedsstaaten die einfache Abschätzung des Verbrauchs solarthermischer Energie zu ermöglichen. Vgl. hierzu IEA (2011).

[59] Von der IEA wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Verwendung der dimensionslosen Kennziffern zwar eine gewisse Vergleichbarkeit von Statistiken verschiedener Länder impliziert und garantiert, jedoch nur als Notlösung dienen soll, falls kein anderer nationaler Berechnungs-/Schätzansatz existiert (Vgl. ESTIF (2011)). Die Kennziffern (als Verhältnis von Globalstrahlung zu Kollektorertrag) sind keineswegs konstant und für alle Länder identisch. Einflussfaktoren sind u.a. der Reflexions- und Wärmeverlust der Anlage, die Außentemperatur usw.

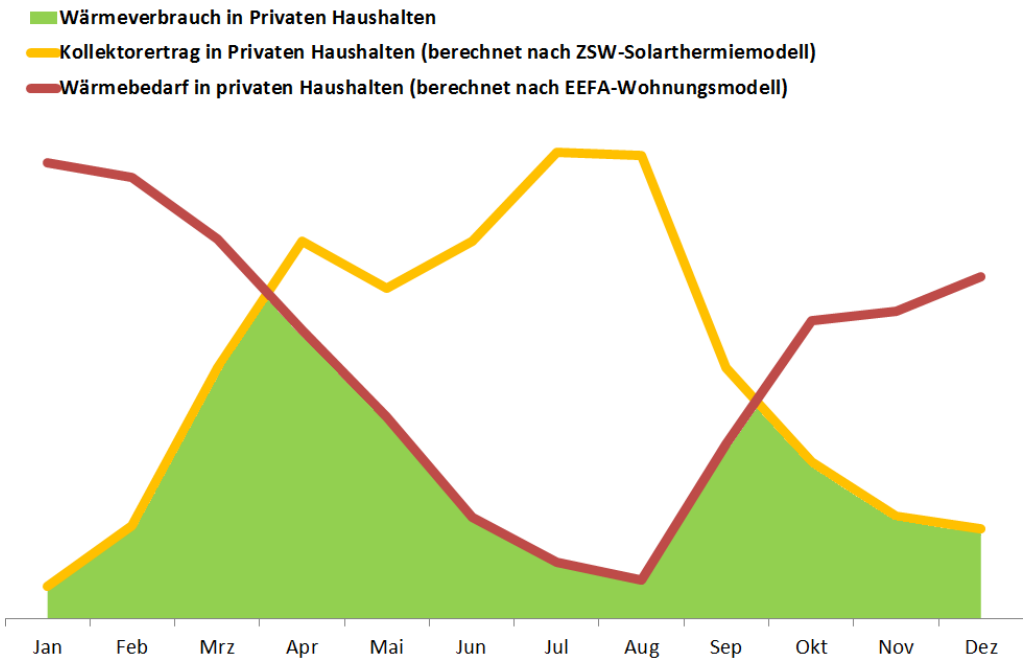
lanz zu einer deutlichen Überschätzung des tatsächlichen Verbrauchs aus solarthermischer Energie in Privaten Haushalten.

Um die genannten Schwächen zu beseitigen bzw. den bestehenden IEA-Ansatz zu verfeinern, wurde die Ermittlung des Verbrauchs solarthermischer Energie in Privaten Haushalten und im GHD-Sektor im Rahmen der vorliegenden Studie grundlegend überarbeitet. Kern der Analyse bildet die Verknüpfung von zwei Modellen:

Zunächst wird mit dem **ZSW-Solarthermiemodell** der gesamte potenzielle Kollektorertrag berechnet. Im Unterschied zur bisherigen Herangehensweise werden allerdings sowohl Kollektorstandorte als auch klimabezogene Daten, differenziert nach Bundesländern, berücksichtigt. Als Resultat der Analyse mit dem ZSW-Solarthermiemodell erhält man das **Angebot** an Solarthermie in monatlicher Auflösung.

Mit dem **EEFA-Wohnungsmodell** (vgl. auch Kapitel 3.1.3), das bereits in der Konzeptstudie ausführlich beschrieben wurde, wird parallel dazu der (gesamte theoretische) Wärmebedarf der Privaten Haushalte mit solarem Zweiheizungssystem sowie solarer Trinkwassererwärmung ermittelt. Als Ergebnis stellt das EEFA-Wohnungsmodell die **Nachfrage** nach bzw. den potenziellen Verbrauch an Solarthermie (bei ständiger Verfügbarkeit des Solarthermieangebots) ebenfalls in monatlicher, bundeslandschafer Auflösung bereit.

Schaubild 28: Schema zur Berechnung des tatsächlichen solarthermischen Verbrauchs der Privaten Haushalte



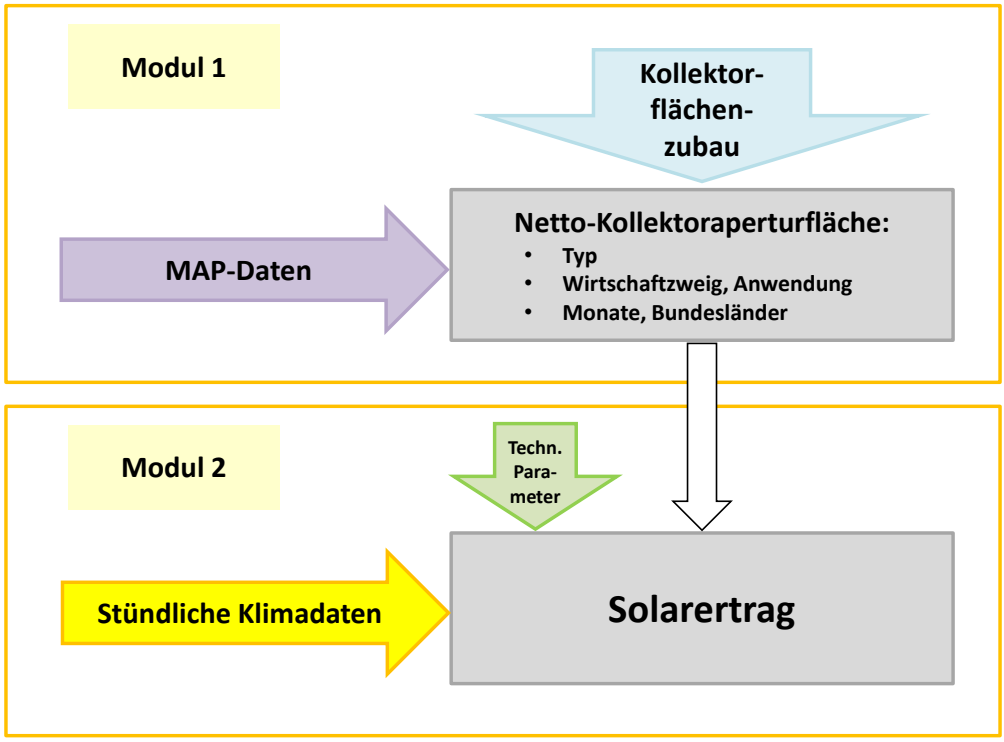
Quelle: Eigene Darstellung EEFA/ZSW.

Das jeweilige, auf der Basis von Monaten ermittelte Minimum unterhalb der Schnittpunkte von Kollektorertrags- (ZSW-Solarthermiemodell) und Wärmebedarfskurve (EEFA-Wohnungsmodell) entspricht letztlich dem Verbrauch von solarthermischer Energie in Privaten Haushalten im Sinne der Energiebilanz Deutschland (vgl. Schaubild 28). Der vorgeschlagene Ansatz trägt dem Umstand Rechnung, dass in Sommermonaten mit hohem Erzeugungspotential die entsprechende Solarwärme nicht immer verwendet werden kann bzw. im Sinne der Energiebilanz auch nicht erzeugt wird, da beispielsweise die vorhandenen Speicher gefüllt sind.

Berechnung des Kollektorertrags mithilfe des ZSW-Solarthermiemodells

Zunächst erfolgt eine detaillierte Beschreibung des **ZSW-Solarthermiemodells.** Mit dem Modul 1 wird auf Basis eines „Vintage"-Ansatzes die gesamte, in Deutschland installierte Nettokollektorfläche differenziert nach Bauweise, Sektoren, Anwendungen und Bundesländern berechnet. Durch die Verwendung stündlicher, regional differenzierter Klimadaten (Lufttemperatur und Globalstrahlung) sowie technischer Parameter in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Kollektoren, wird aus der Nettokollektorfläche im Modul 2 schließlich der tatsächliche Kollektorertrag in den Sektoren Privaten Haushalte und GHD abgeleitet (vgl. Schaubild 29).

Schaubild 29: Konzeption und Struktur des ZSW-Solarthermiemodells



Quelle: Eigene Darstellung ZSW.

In der Konzeptstudie wurde bereits darauf hingewiesen, dass primärstatistische Informationen zum Solarthermie-Anlagenpark in Deutschland derzeit nicht vorliegen. Zur sachgerechten Ermittlung des Kollektorertrags wird aus diesem Grund zunächst die gesamte Kollektorfläche (Modul 1 des ZSW-Solarthermiemodells) berechnet.

Erster Ansatzpunkt hierfür ist der vom Bundesverband Solarwirtschaft regelmäßig veröffentlichte gesamte Absatz von Solarkollektoren in Deutschland.[60] Um aus den vollständigen Absatzzahlen für Deutschland die für die Berechnungen notwendige Disaggregierung des Kollektorflächenbestands zu generieren, müssen weitere Daten hinzugezogen werden, die im Rahmen des Marktanreizprogramms für erneuerbare Energien im Wärmemarkt (MAP) für einen Großteil des Solarthermiemarktes seit dem Jahr 2001 erhoben werden.[61] Neben der Neuinbetriebnahme von Kollektoren nach Monaten und Fläche stehen u.a. Informationen

- zur Bauart (Flach-, Röhren- oder Luftkollektor[62]),
- zum Sektor (Private Haushalte, GHD-Sektor[63] darunter Landwirtschaft),
- zur Verwendung (Heizungsunterstützung/Raumheizung, Warmwasserbereitung, Prozesswärme, Kälteerzeugung) und
- zum Standort (nach Bundesländern)

der Kollektoren zur Verfügung.[64] Unter Berücksichtigung von Annahmen zur typischen Lebensdauer der Kollektoren liegen damit in Bezug auf Inbetriebnahme und Standort vollständige, tief disaggregierte, anlagen- und anwendungsspezifische Angaben zur Net-

[60] Vgl. BSW (2016). Der Bundesverband Solarwirtschaft erhebt Daten zum Bruttokollektorflächenzubau. In diesem Kontext ist zu berücksichtigen, dass dem Kollektorrahmen bei der Wärmeerzeugung keinerlei Funktion zukommt, die Rahmenfläche muss folglich abgezogen werden. Relevant für die weitere Berechnung des Kollektorertrags ist die Kollektoraperturfläche, die nach eigenen Berechnungen des ZSW auf Basis von momentan am Markt angebotenen Kollektoren bei Flachkollektoren durchschnittlich 92 %, bei Röhrenkollektoren 75 % und bei Luftkollektoren 90 % der Bruttokollektorfläche ausmacht.

[61] Im Internet abrufbar unter www.solaratlas.de.

[62] Speicherkollektoren spielen in Deutschland aufgrund der starken Frostanfälligkeit der freistehenden Speichertanks keine Rolle.

[63] Unter dem GHD-Sektor sind die Kategorien Gewerbe/Handel/Freiberufler, Kontraktor, Öffentlichrechtlicher, Landwirtschaft, Industrie und Sonstiges zusammengefasst. Die amtliche Statistik „Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden“ (Statistik 060) berücksichtigt zwar den Energieträger Solarthermie, allerdings wird kein Energieverbrauch gemeldet. Insofern wird davon ausgegangen, dass es sich bei der MAP-Kategorie „Industrie“ um eine andere Abgrenzung als die der Energiebilanz handelt und die Verbrauchsmengen dem GHD-Sektor zugerechnet werden müssen.

[64] In den Jahren 2001 bis 2009 wurden zwischen 78 % und 98 % der neu installierten Bruttokollektorfläche über das MAP gefördert. Es wird angenommen, dass die Detailinformationen dieser außerordentlich großen Stichprobe repräsentativ für den Gesamtzubau nach Angaben des BSW sind. In den Folgejahren bis 2014 sank die Quote der geförderten Anlagen auf 25 % bis 42 %, da die Anlagen zur Warmwasserbereitstellung aus der MAP-Förderung entfielen. Aus diesem Grund werden zwischen 2010 und 2014 Zusatzinformationen des Bundesverbandes Solarwirtschaft zum Anteil der Warmwasseranlagen am gesamten Zubau berücksichtigt (35 % in den Jahren 2010, 2011 und 2012, 40 % in den Jahren 2013 und 2014).

to-Kollektoraperturfläche vor.[65] Nachfolgende Tabelle 8 veranschaulicht beispielhaft den Einsatz von Flach-, Röhren- und Luftkollektoren im Sektor Private Haushalte, differenziert nach Anwendungsgebiet.

Tabelle 8: Netto-Kollektoraperturfläche in Privaten Haushalten in Deutschland

2010 bis 2015, in 1 000 m²

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Kollektorfläche insg.	11 170	12 058	12 786	13 353	13 749	14 009
Flachkollektoren	9 945	10 642	11 194	11 592	11 822	11 981
Raumwärme	5 421	5 903	6 298	6 570	6 754	6 870
Warmwasser	4 515	4 730	4 885	5 010	5 055	5 098
Prozesswärme	8,9	9,4	10,3	12,0	13,2	12,7
Klimakälte	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Röhrenkollektoren	1 219	1 408	1 585	1 752	1 919	2 019
Raumwärme	721	844	959	1 060	1 160	1 242
Warmwasser	497	562	624	690	756	773
Prozesswärme	1,5	1,7	2,3	2,7	3,1	3,1
Klimakälte	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Luftkollektoren	6,0	7,1	7,5	8,1	8,7	9,2
Raumwärme	4,7	5,4	5,7	6,0	6,4	6,9
Warmwasser	1,3	1,6	1,8	2,0	2,3	2,3
Prozesswärme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Klimakälte	0	0	0	0	0	0

Abweichungen in den Summen durch Rundungen.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

[65] Eine wichtige Einflussgröße bei der Berechnung des Bestandes nach dem „Vintage"-Konzept ist die durchschnittliche Lebensdauer der Kollektoren. Bisher wurde ein Betrieb von 20 Jahren über alle Kollektortypen und Anwendungen unterstellt. Es liegt jedoch auf der Hand, dass ein Teil der Kollektoren bereits in den ersten Betriebsjahren ausfällt und andere durchaus länger als die angesetzten 20 Jahre in Betrieb sind. Um die signifikante Abhängigkeit des berechneten Solarertrags von Kollektorfläche und Sonneneinstrahlung exakter abbilden zu können, wurde daher jedem Jahrgang differenziert nach Kollektorart eine Gesamtlebensdauer und für jedes Betriebsjahr eine Ausfallrate unterstellt. Hinsichtlich der Lebensdauer von Flachkollektoren wurde angenommen, dass nach 15 Jahren 50 %, nach 20 Jahren 95 % und nach 25 Jahren 100 % außer Betrieb gehen. Röhrenkollektoren hingegen sind erst nach 20 Jahren zur Hälfte, nach 25 Jahren zu 95 % und nach 30 Jahren zu 100 % demontiert. Die längste Lebensdauer besitzen Luftkollektoren, die erst nach 25 Jahren zu 50 %, nach 30 Jahren zu 95 % und nach 35 Jahren zu 100 % nicht mehr installiert sind.

Das zweite Modul des ZSW-Solarthermiemodells ermittelt den gesamten Kollektorertrag. Es ist unstrittig, dass der solarthermische Energieverbrauch starken jahres- und sogar tageszeitlichen, witterungsbedingten Schwankungen unterworfen ist. So können Kollektoren, unabhängig von der Art der Anwendung, in der kalten Jahreszeit lediglich zur höchsten Einstrahlungsintensität in der Mittagszeit auch tatsächlich Wärme abgeben. Vor diesem Hintergrund wird die Genauigkeit der Ergebnisse spürbar verbessert, indem die Berechnung des Kollektoroutputs auf stündlicher Basis durchgeführt wird. Um diesem Anspruch zu genügen, wird der Zusammenhang von Kollektorfläche und Kollektoroutput im Rahmen von Modul 2 des ZSW-Solarthermiemodels anhand folgender Gleichung repliziert, wobei i jeweils für die Anwendungen Heizungsunterstützung, Warmwasserbereitstellung, Prozesswärme und Kälteerzeugung steht:

(1) $$Q_{sol,i} = A_i * \int \left(G * n_{0,i} - a_{1,i} * \left(T_L - T_{K,i}\right) - a_{2,i} * \left(T_L - T_{K,i}\right)\right) \, dt$$

mit

A: Netto-Kollektoraperturfläche

G: stündliche Globalstrahlung

T_L: stündliche Lufttemperatur

T_K: Kollektordurchschnittstemperatur

n_0: Konversionsfaktor (optische Verluste)

a_1, a_2: Wärmeverlustfaktoren erster und zweiter Ordnung

Die Ergebnisse zur Netto-Kollektoraperturfläche liegen bereits differenziert nach Kollektortypen, Sektoren, Anwendungen, Bundesländern und Monaten vor (Modul 1).

Sowohl die Globalstrahlung[66], als auch die Lufttemperatur wurden für die Jahre 2010 bis 2015 in stündlicher Granularität für jedes Bundesland ermittelt. Um die frei zugänglichen Globalstrahlungsdaten für die Berechnung des solarthermischen Ertrages aufzubereiten, müssen allerdings vorab einige Umrechnungsschritte durchgeführt werden:

[66] Als Globalstrahlung wird die gesamte auf die Erdoberfläche auftreffende Solarstrahlung bezeichnet. Sie setzt sich aus der Direktstrahlung und der Diffusstrahlung, die an Wasser- und Staubpartikeln gestreut wird, zusammen, wobei das Verhältnis auf den solarthermischen Ertrag bezogen in etwa fünf zu eins beträgt.

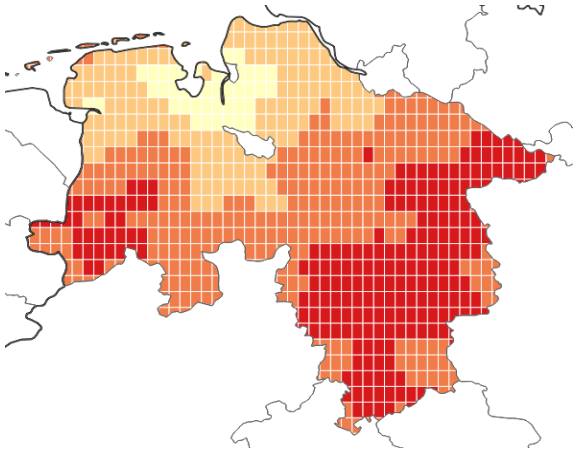
- Zunächst werden die aus Daten von geostationären Wettersatelliten berechneten Strahlungskartenraster auf das deutsche Bundesgebiet zugeschnitten.[67]

- Anschließend werden die Rasterdaten Geoinformationssystem-gestützt auf die Bundesländer umgelegt (vgl. Schaubild 30).

- Um die Ausrichtung der Kollektoren möglichst realitätsnah im Modell zu berücksichtigen, wird im letzten Schritt die auf Bundesländer normierte, horizontale Globalstrahlung auf eine um 40° geneigte Fläche in südlicher Ausrichtung umgerechnet.[68]

Im Unterschied zur Globalstrahlung wird die Lufttemperatur (T_L) vom Deutschen Wetterdienst (DWD) für ein flächendeckendes Netz von insgesamt über 600 verschiedenen Messstationen im deutschen Bundesgebiet in stündlicher Auflösung veröffentlicht.[69] Um aus den punktuellen Messdaten bundesländerspezifische Durchschnittstemperaturen zu generieren, wurden im Rahmen der vorliegenden Studie insgesamt 82 Messstationen nach den Gesichtspunkten Verwertbarkeit und Vollständigkeit der Messdaten sowie Repräsentativität in Bezug auf die geographische Lage ausgewählt (vgl. Schaubild 31). Auf Flächenländer entfallen damit im Durchschnitt rund sechs Messreihen, deren arithmetisches Stundenmittel in die Berechnung eingeht, auf die Stadtstaaten jeweils eine Messreihe.

Schaubild 30: Globalstrahlungsraster am Beispiel von Niedersachsen



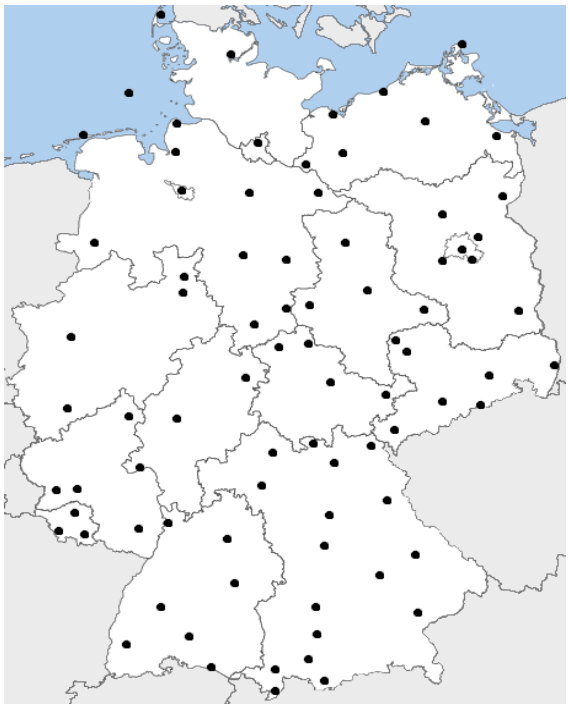
Quelle: Eigene Darstellung ZSW.

[67] Eigene Berechnungen ZSW nach CM SAF (2016) und KNMI (2016).

[68] Zu beachten ist gleichwohl, dass es in Abhängigkeit von Ausrichtung und Neigung der Dachfläche selbstverständlich wesentliche Unterschiede bei solarthermischen Kollektoren in Deutschland gibt. Entsprechende empirische Daten sind jedoch nicht verfügbar.

[69] Eigene Berechnungen ZSW nach DWD Climate Data Center (2016).

Schaubild 31: Messstationen zur Ermittlung der durchschnittlichen Lufttemperatur nach Bundesländern



Quelle: Eigene Darstellung ZSW (Karte nach www.stepmap.de).

Die Kollektordurchschnittstemperatur (T_K) ist von einer Fülle von Einflussparametern abhängig. Neben den aktuellen Wetterverhältnissen spielen vor allem Kollektorfläche und Kollektortyp, Anlageneffizienz, Speichertank, Wärmeverluste sowie die Regelungstechnik eine bedeutende Rolle. Nicht zuletzt aus den genannten Gründen, aber auch angesichts der insgesamt 2,15 Mio. solarthermischen Anlagen in Deutschland liegt es auf der Hand, mangels vorliegender, empirischer Daten die Kollektordurchschnittstemperatur im Modell über den gesamten Zeitraum hinweg als konstant anzunehmen. Zum skizzierten Sachverhalt hat der Europäische Solarthermie-Industrieverband (ESTIF) Durchschnittswerte in Bezug auf alle gängigen Anwendungen vorgelegt, die im Rahmen dieser Studie übernommen wurden:

- Wohnraumbeheizung: 60 °C,
- Warmwasserbereitstellung: 50 °C,
- Prozesswärmeerzeugung: 70 °C,

- Kälteerzeugung: 90 °C.[70]

Mit dem Konversionsfaktor werden optische Verluste, beispielsweise bedingt durch Verschmutzung der Verglasung und damit einhergehend die Reduzierung der Sonneneinstrahlung auf den Kollektorabsorber, oder durch Reflexion in die Berechnung integriert. Es wird angenommen, dass sich die Verluste im Rahmen der Betriebszeit der Kollektoren technologieübergreifend um 1,0 % pro Jahr erhöhen. Für Flachkollektoren resultiert daraus ein gewichteter, durchschnittlicher Konversionsfaktor von 0,79, für Röhrenkollektoren von 0,71 und für Luftkollektoren von 0,84.[71]

Mit den Wärmeverlustfaktoren erster und zweiter Ordnung werden schließlich Wärmeverluste durch Konvektion oder Schwachstellen im Material in der Berechnung berücksichtigt. Es wird angenommen, dass die Verluste während der Betriebszeit der Kollektoren technologieübergreifend um 1,0 % pro Jahr ansteigen. Für Flachkollektoren ergeben sich aus den Annahmen gewichtete, durchschnittliche Wärmeverlustfaktoren erster und zweiter Ordnung von 2,93 W/(m^2*K) sowie 0,008 W/(m^2*K^2), für Röhrenkollektoren von 0,96 W/(m^2*K) sowie 0,003 W/(m^2*K^2) und für Luftkollektoren von 10,33 W/m^2*K sowie 0,052 W/(m^2*K^2).[72]

Nach eigenen Berechnungen erreichte der Flach-, Röhren- und Luft-Kollektorertrag der Privaten Haushalte in der Zeit zwischen 2010 und 2015 demnach eine Größenordnung zwischen 21 und 34 PJ wovon über 99 % auf die Anwendungen Wohnraumbeheizung (Raumwärme) und Warmwasserbereitstellung entfallen. Um im nächsten Schritt den Kollektorertrag (ZSW-Solarthermiemodell) mit der Wärmenachfrage (EEFA-Wohnungsmodell) verbinden zu können, ist zunächst die Darstellung in monatlicher Auflösung notwendig. Tabelle 9 stellt die monatliche Auflösung des Kollektorertrags für die Anwendungen Raumwärme und Warmwasser für die Jahre 2010 bis 2015 dar.

Für solarthermische Anlagen, die zur Bereitstellung von Prozesswärme und Kälteerzeugung dienen, ist die monatliche Aufteilung nicht notwendig, da angenommen wird, dass das Nachfrageprofil für diese speziellen Anwendungszwecke mit dem Angebotsprofil korreliert. Dementsprechend wird zur Ermittlung des Endenergieverbrauchs Solarthermie der gesamte Kollektorertrag berücksichtigt.

[70] Vgl. ESTIF (2007).

[71] Eigene Berechnungen ZSW nach Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik (2012) und Solarserver (2016).

[72] Eigene Berechnungen ZSW nach Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik (2012) und Solarserver (2016).

Tabelle 9: Kollektorertrag in Privaten Haushalten nach Monaten und Anwendungen

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Januar	154	264	438	200	632	366
Februar	353	875	861	246	1.553	1.047
März	1 538	2.849	2.841	1.581	3.599	2.837
April	3081	3.935	2.533	2.619	3.423	4.265
Mai	1.623	4.233	4.153	2.537	3.481	3.733
Juni	3.400	3.065	3.221	3.814	4.644	4.265
Juli	4.099	2.809	3.552	5.468	4.379	5.260
August	2.359	3.641	4.385	4.296	3.565	5.228
September	2.234	3.243	3.074	2.454	2.901	2.826
Oktober	1.635	2.169	1.811	1.753	1.956	1.773
November	389	1.193	572	498	867	1.157
Dezember	92	178	225	638	228	1.018
Summe Raum-wärme, Warmwasser	20.956	28.455	27.666	26.102	31.229	33.774
darunter Raumwärme	10 667	14 823	14 660	14 031	16 974	18 620
darunter Warmwasser	10 289	13 631	13 006	12 071	14 255	15 154
Prozesswärme	17	22	22	23	30	34
Klimakälte	0	1	1	1	1	1
Gesamt	20 972	28 477	27 688	26 125	31 260	33 808

Abweichungen in den Summen durch Rundungen.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

Wärmebedarf der Privaten Haushalte nach EEFA-Wohnungsmodell:

Zur Ermittlung des gesamten Wärmebedarfs solarthermisch beheizter Wohnflächen sowie des Wärmebedarfs der Privaten Haushalte, die Solarthermie zur Warmwasserbereitstellung nutzen, wurde auf das EEFA-Wohnungsmodell zurückgegriffen. Da dieses bereits in Kapitel 3.1.3 sowie in der Konzeptstudie ausführlich beschrieben wurde, werden hier lediglich die Ergebnisse dargestellt. Für die Jahre 2010 bis 2015 ergibt sich der in Tabelle 10 dargestellte, monatlich differenzierte Bedarf.

Tabelle 10: Wärmebedarf Privater Haushalte nach Monaten und Anwendungen 2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Januar	6.600	5.373	5.040	5.525	4.856	5.148
Februar	5.275	4.787	5.803	5.250	3.974	4.990
März	4.507	4.244	3.688	5.507	3.623	4.285
April	3.129	2.187	3.315	3.213	2.501	3.255
Mai	2.890	1.609	1.564	2.414	2.193	2.278
Juni	1.062	1.119	1.330	1.288	883	1.142
Juli	434	970	775	437	481	631
August	699	839	489	532	1.140	437
September	2.175	1.154	1.746	1.864	1.063	1.969
Oktober	3.411	2.931	3.263	2.577	2.210	3.370
November	4.312	4.183	4.095	4.235	3.709	3.466
Dezember	6.688	4.603	5.084	4.614	4.847	3.863
Summe Raum-wärme, Warmwasser	41.182	33.998	36.191	37.454	31.480	34.834
darunter Raumwärme	35.970	28.763	30.950	32.210	26.227	29.588
darunter Warmwasser	5.212	5.235	5.241	5.244	5.253	5.246

Abweichungen in den Summen durch Rundungen.
Quelle: Eigene Berechnungen EEFA.

Berechnung des Wärmebedarfs und des tatsächlichen Wärmeverbrauchs:

Mit Blick auf den unterjährigen Verlauf von Sonnenenergie-Angebot und tatsächlichem Wärmebedarf am Beispiel des Jahres 2015 wird deutlich, dass ein Großteil des speziell in den Sommermonaten bereitgestellten Kollektorertrags nicht genutzt werden kann, wohingegen der Wärmebedarf im Winter das Sonnenenergie-Dargebot bei weitem übersteigt (vgl. Tabelle 11). Um den tatsächlichen solarthermischen Energieverbrauch zu ermitteln, wird wie eingangs beschrieben, dass jeweilige Minimum aus Angebot und Verbrauch eines jeweiligen Monats berücksichtigt. Die Summe aller Minima eines Jahres ergibt dann den tatsächlichen Verbrauch.

Das skizzierte Verfahren wurde für die Jahre von 2010 bis 2015 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 zusammengefasst. Zum Gesamtergebnis müssen schließlich noch die Verbräuche für Prozesswärme und Klimakälte (s.o.) hinzugezählt werden.

Tabelle 11: Energiebilanzkompatibler Verbrauch solarthermischer Energie (Raumwärme und Warmwasser) in Privaten Haushalten im Jahr 2015

Januar bis Dezember 2015, in TJ

	Kollektor-ertrag nach ZSW	Wärme-bedarf nach EEFA	Verbrauch (jew. Mini-mum)	Anteile Verbrauch / Ertrag
				in %
Januar	366	5.148	366	100,0
Februar	1.047	4.990	1.047	100,0
März	2.837	4.285	2.837	100,0
April	4.265	3.255	3.255	76,3
Mai	3.733	2.278	2.278	61,0
Juni	4.265	1.142	1.142	26,8
Juli	5.260	631	631	12,0
August	5.228	437	437	8,4
September	2.826	1.969	1.969	69,7
Oktober	1.773	3.370	1.773	100,0
November	1.157	3.466	1.157	100,0
Dezember	1.018	3.863	1.018	100,0
Summe 2015 (Raumwärme, Warmwasser)	33.774	34.834	17.910	53,0

Abweichungen in den Summen durch Rundungen.
Quelle: Eigene Berechnungen EEFA/ZSW.

Tabelle 12: Gesamter Verbrauch solarthermischer Energie in Privaten Haushalten

2010-2015, in TJ

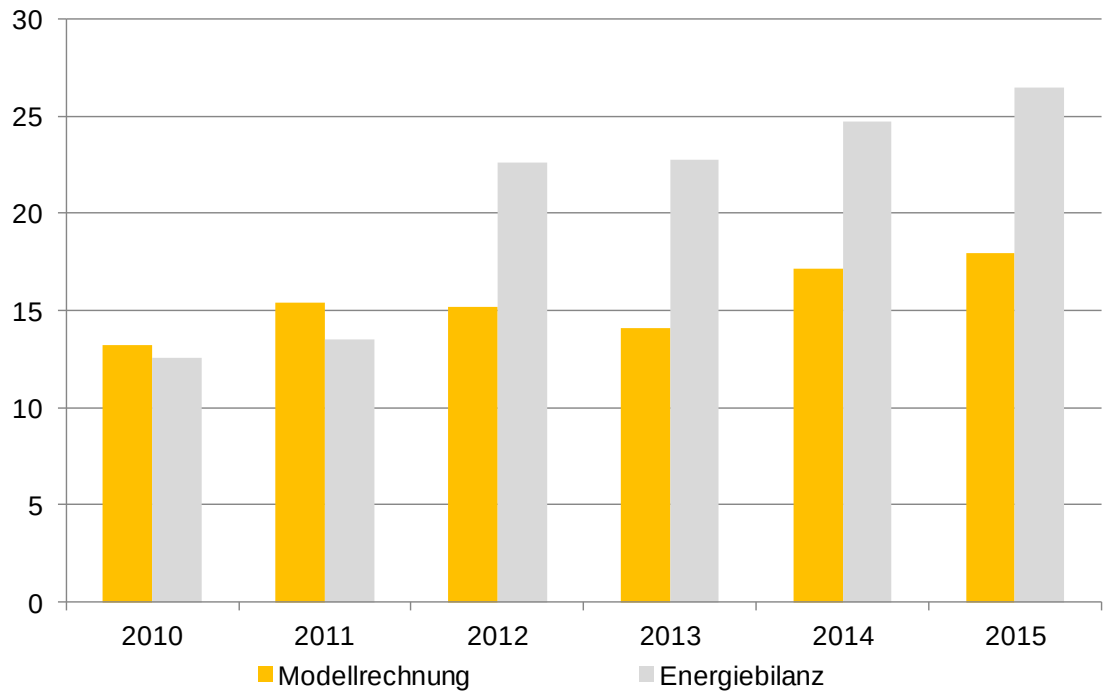
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
tatsächlicher Ver-brauch (Raumwärme, Warmwasser)	13.234	15.407	15.184	14.067	17.096	17.910
nachrichtlich: Anteile Verbrauch / Ertrag	63,2 %	54,1 %	54,9 %	53,9 %	54,7 %	53,0 %
Prozesswärme	17	22	22	23	30	34
Klimakälte	0	1	1	1	1	1
Summe	13.251	15.430	15.206	14.091	17.127	17.944

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA/ZSW.

Abschließend ist in Schaubild 34 der ermittelte Verbrauch von solarthermischer Energie in Privaten Haushalten grafisch für die Jahre von 2010 bis 2015 dargestellt. Zur besseren Einordung der Ergebnisse wird die gewonnene Zeitreihe den Ergebnissen gegenübergestellt, die die Energiebilanz Deutschland bislang veröffentlicht hat. Bei der Interpretation der Resultate ist sind zwei einschränkende Aspekte zu berücksichtigen: Zum einen weist die Energiebilanzzeitreihe gegenwärtig den gesamten, technisch verfügbaren (und im Vergleich zu den Verbräuchen, die mit dem beschriebenen Modellverfahren ermittelt wurden, deutlich höheren) Kollektorertrag aus. Zum anderen ist der in der Energiebilanzzeitreihe zu beobachtende, sprunghafte Anstieg im Jahr 2012 auf eine Änderung der Methodik zurückzuführen, so dass die Entwicklungen nicht mehr uneingeschränkt mit den Vorjahren vergleichbar ist.[73]

Schaubild 32: Verbrauch solarthermischer Energie der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnung EEFA/ZSW. *2015: vorläufig

[73] Das Verfahren zur Aufteilung des solarthermischen Energieverbrauchs auf die Sektoren Privaten Haushalte und GHD wurde geändert, vgl. dazu AG Energiebilanzen (2014).

3.5. Ermittlung des Verbrauchs von Umweltwärme in Privaten Haushalten

Die Nutzung oberflächennaher Geo-, Hydro- oder Aerothermie, bzw. Umweltwärme durch den Einsatz von Wärmepumpen zur Raumbeheizung und Trinkwassererwärmung in Privaten Haushalten, spielt im gesamten Endenergieverbrauch der Privaten Haushalte eine eher untergeordnete Rolle. Der Anteil beträgt im Jahr 2014 lediglich 1,5 %. Nach den Konventionen der Energiebilanz wird als Endenergieverbrauch Umweltwärme die Differenz zwischen gesamter Heizwärmemenge und Stromverbrauch verbucht.

Wie bereits in der Konzeptstudie beschrieben, stehen Informationen seitens der amtlichen Statistik zum Einsatz von Wärmepumpen oder deren Wärmeoutput nicht zur Verfügung.[74] Daher wird der Energieverbrauch, der auf den Einsatz von Wärmepumpen in Privaten Haushalten (sowie im Sektor GHD) zurückgeht, über einen einfachen Zusammenhang berechnet:

$$Q_{UW,ee} = Q_{WP,ges} - I_{WP,ges} \quad (1)$$

$$= Q_{WP,ges} - Q_{WP,ges} * JAZ_{WP} \quad (2)$$

$$= B_{WP} * p_{WP} * t_{WP,jahr} * (1 - JAZ_{WP}) \quad (3)$$

mit

$Q_{UW,ee}$ nutzbare, erneuerbare Wärme aus Wärmepumpen nach Technologie

$Q_{WP,ges}$ gesamte Nutzwärme aus Wärmepumpen nach Technologie

$I_{WP,ges}$ Stromverbrauch von Wärmepumpen nach Technologie

JAZ_{WP} durchschnittliche Jahresarbeitszahl des jeweiligen Wärmepumpen-Jahrgangs[75]

B_{WP} gesamter Wärmepumpenbestand berechnet auf Basis eines „Vintage"-Modells, das Zu- und Abgänge nach Technologie (elektrisch betriebene

[74] Vgl. EEFA, et al. (2015), Kapitel 6.1.2.4 und 6.2.1.6.

[75] Nach einem Beschluss der EU-Kommission aus dem Jahr 2013 ist festgelegt, dass ausschließlich Wärmepumpen mit einer Jahresarbeitszahl von mindestens 2,5 zur Berechnung der erneuerbaren Wärme berücksichtigt werden dürfen. Vgl. Europäische Kommission (2013).

Kompressions- oder gasmotorische Wärmepumpe) und Wärmeträgermedium (Luft, Abluft, Wasser, Sole/Erdreich) berücksichtigt

p_{WP} durchschnittliche Heizleistung des Wärmepumpen-Jahrgangs

$t_{WP,jahr}$ mittlere Vollbenutzungsstunden nach Technologien und Jahren

Die Aufteilung des Zubaus nach Wirtschaftszweigen zur isolierten Betrachtung des Energieverbrauchs in Privaten Haushalten (sowie im Sektor GHD, darunter Landwirtschaft) stützt sich auf die Auswertung von Statistiken, die im Rahmen des Marktanreizprogramms für Erneuerbare Energien (MAP) erhoben werden.[76]

In diesen Daten sind seit dem Jahr 2007 rund 94 000 geförderte, elektrisch betriebene Kompressions- sowie gasmotorische Wärmepumpen erfasst und nach Wirtschaftszweigen[77] eingeordnet. Darüber hinaus erfolgt auch eine Abgrenzung nach den oben genannten Wärmeträgermedien. Im Rahmen der Genauigkeit der Modellannahmen kann davon ausgegangen werden, dass die Abgrenzung zum GHD-Sektor als unproblematisch einzustufen ist.[78] Aus den skizzierten Angaben lässt sich der Wärmepumpenbestand in Privaten Haushalten in Deutschland ermitteln (vgl. Tabelle 13).

Die technischen Kennwerte der Wärmepumpen bzw. der einzelnen Investitionsjahrgänge, wie die durchschnittliche Heizleistung oder die spezifische Jahresarbeitszahl sowie die mittlere Vollbenutzungsstunden nach Jahren stellt die Studie „Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes, Bestandsaufnahme und Trends“, die das Internationale Geothermiezentrum Bochum in den Jahren 2010 und 2014 durchgeführt hat, für die analysierten Technologien bereit.[79]

In Verbindung mit dem disaggregierten Bestandsmodell errechnet sich für das Jahr 2015 ein Verbrauch von Umweltwärme in Privaten Haushalten in Höhe von 36,0 PJ (vgl. Tabelle 14).

[76] Abrufbar unter www.wärmepumpenatlas.de

[77] Ausschlaggebend ist die Einordnung nach dem Kriterium „Wirtschaftszweig“, darunter „Private Haushalte“, die direkt aus den Daten ablesbar ist. Wärmepumpen, die den Kategorien „Gewerbe / Handel / Freiberufler“, „Kontraktor“, „Landwirtschaft“, „Öffentlichrechtlicher“ sowie „Sonstige“ zugeordnet sind, werden bei der Berechnung des Energieverbrauchs im Sektor GHD berücksichtigt (vgl. Kapitel 5.1.2).

[78] Der Energieverbrauch des Sektors GHD (darunter Landwirtschaft) errechnet sich im Modell analog dem Energieverbrauch der Privaten Haushalte. Ein Restrechnungsansatz kommt beim Energieträger Umweltwärme nicht in Frage, da das „Aufkommen“ nicht empirisch bestimmt werden kann, sondern aus dem Energieverbrauch berechnet wird.

[79] Vgl. GZB (2010), GZB (2014).

In Schaubild 33 sind die ermittelten Endenergieverbräuche an Umweltwärme grafisch für die Jahre von 2010 bis 2015 dargestellt. Zur besseren Einordung werden die Zeitreihen den jeweiligen Ergebnissen der Energiebilanz Deutschland (Satellitenbilanz erneuerbare Energien) gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass vor allem am aktuellen Rand nur marginale Unterschiede zur bisherigen Zeitreihe bestehen, die insbesondere auf die bessere Datenbasis bei der Abgrenzung zwischen den Sektoren Private Haushalte und GHD zurückzuführen sind.

Tabelle 13: Installierte Wärmepumpen in privaten Haushalten nach Technologie in Deutschland

2010 bis 2015, in 1 000 Stück

Wärmepumpentyp	elektrisch				gasmotorisch
Wärmeträgermedium	Luft	Abluft	Wasser	Sole	
2010	149,1	220,4	36,7	187,4	0,6
2011	180.6	220,8	39,0	207,4	1,5
2012	216,8	223,8	41,3	225,6	2,3
2013	254,7	228,1	43,7	242,4	3,2
2014	292,9	234,4	45,5	256,7	4,3
2015	330,4	239,5	47,1	269,7	5,6

Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach GZB (2010), GZB (2014), BWP (2016).

Tabelle 14: Verbrauch von Umweltwärme in Privaten Haushalten

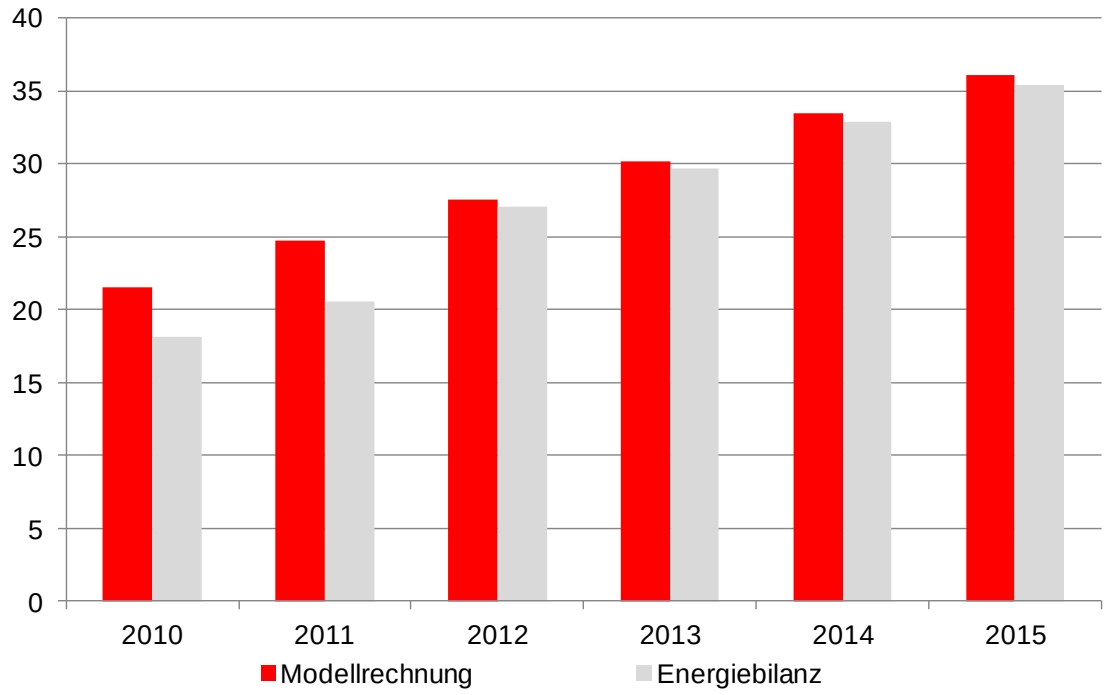
2010-2015, in PJ

Wärmepumpentyp	Gesamt	darunter elektrisch betrieben				darunter gasmotorisch
Wärmeträgermedium	Gesamt	Luft	Abluft	Wasser	Sole	
2010	21,5	7,9	0,9	2,7	10,0	0,0
2011	24,7	9,7	0,9	2,9	11,2	0,1
2012	27,5	11,5	0,9	3,0	12,0	0,1
2013	30,2	13,4	0,9	3,1	12,6	0,2
2014	33,5	15,5	0,9	3,3	13,5	0,2
2015	36,0	17,6	0,9	3,3	13,9	0,3

Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach GZB (2010), GZB (2014), BWP (2016).

Schaubild 33: Verbrauch von Umweltwärme der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen ZSW. *2015: vorläufig.

3.6. Ermittlung des Verbrauchs von flüssiger und gasförmiger Biomasse in Privaten Haushalten

Der Einsatz flüssiger[80] und gasförmiger Biomasse (Biogas, Biomethan) in Privaten Haushalten beschränkt sich fast ausschließlich auf die Erzeugung von Strom und Wärme in KWK-Anlagen. Erzeugen Private Haushalte (oder gewerbliche Betriebe) ihren Wärmebedarf selbst durch den Einsatz flüssiger und gasförmiger Biomasse in (kleinen) KWK-Anlagen, wird dieser Einsatz zur Wärmeerzeugung nach den Gepflogenheiten der Energiebilanz Deutschland als Endenergieverbrauch betrachtet (der Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung in diesen Anlagen wird im Umwandlungsbereich erfasst).

[80] Unter dem Begriff flüssige Biomasse werden hauptsächlich Pflanzenöle wie Raps- oder Palmöl, sonstige flüssige biogene Abfall- oder Reststoffe sowie Biodiesel und Bioethanol zusammengefasst.

Darüber hinaus müssen im Segment der flüssigen Biomasse die Beimischungen zu Ottokraftstoffen (Bioethanol), vor allem zum Betrieb motorisierter Gartengeräte (Rasenmäher, Motorsägen, Freischneider usw.) ebenfalls im Endenergieverbrauch der Privaten Haushalte berücksichtigt werden (letztere werden im Kontext der Ottokraftstoffe im nachfolgenden Kapitel 3.7 ermittelt).

Im Rahmen des Erhebungsprogramms der amtlichen Statistik stehen bezogen auf KWK-Anlagen, die in Privaten Haushalten und im GHD-Sektor eingesetzt werden, prinzipiell keine empirischen Daten zur Verfügung.[81] Somit ist eine konsistente, lückenlose Darstellung des gesamten Endenergieverbrauchs an flüssiger und gasförmiger Biomasse in Privaten Haushalten nur analytisch unter Verwendung zusätzlicher Daten als Ergänzung zu den Informationen der amtlichen Statistik möglich.

Konkret stehen folgende Analyseschritte und Datengrundlagen bei der Ermittlung der Brennstoffeinsätze flüssiger und gasförmiger Biomasse der Privaten Haushalte in (kleinen) KWK-Anlagen im Mittelpunkt:

- Im ersten Schritt werden die Abrechnungsdaten nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zur Ermittlung der Stromerzeugung aus flüssiger und gasförmiger Biomasse ausgewertet.

- Der zweite Schritt umfasst die sektorale Gliederung der Anlagen zur Nutzung flüssiger und gasförmiger Biomasse, um die Stromerzeugung in den einzelnen Sektoren Haushalte und GHD (darunter Landwirtschaft) identifizieren zu können. Hierzu wird das Gemeindeverzeichnis-Informationssystem des Statistischen Bundesamtes verwendet.

- Im dritten Schritt erfolgt die Ableitung sektorspezifischer Kennziffern, die zur anschließenden Berechnung der Wärmeerzeugung („Stromkennziffer“) und entsprechender Brennstoffeinsätze („Stromnutzungsgrad“) – aufbauend auf der im ersten und zweiten Schritt ermittelten Stromerzeugung nach Sektoren – notwendig sind. Hierzu werden die BHKW-Kenndaten der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch (ASUE) ausgewertet.

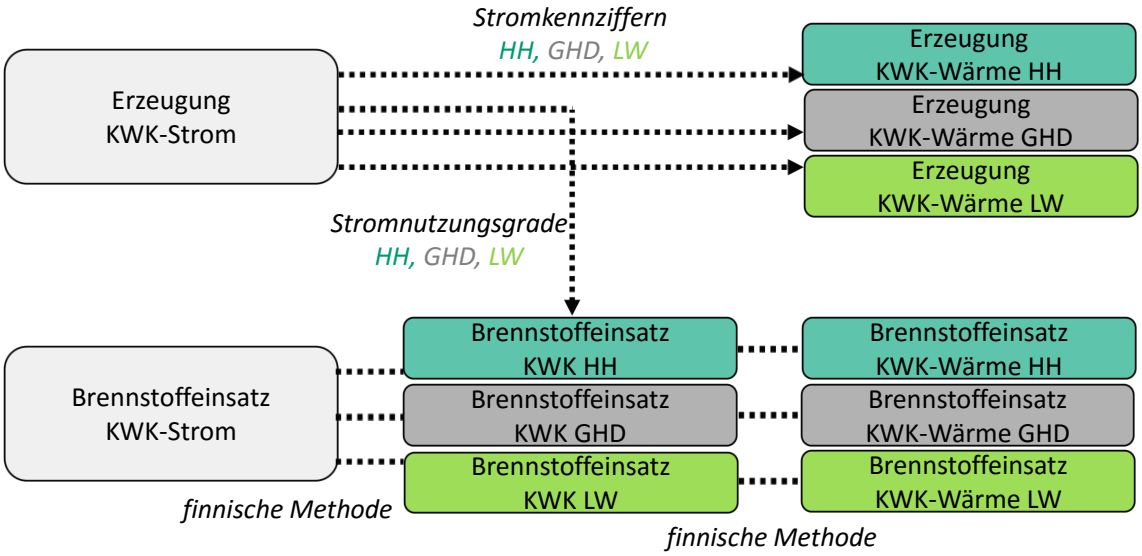
- Im letzten Schritt schließlich lassen sich anhand der gewonnenen Daten die energiebilanzkompatiblen Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung für die Pri-

[81] Lediglich die Betreiber von Anlagen mit einer installierten, elektrischen Leistung ab 1 MW werden regelmäßig (im Rahmen des Monatsberichts über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Stromerzeugungsanlagen für die allgemeine Versorgung sowie der Erhebung über Stromerzeugungsanlagen der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden) nach der Strom- und Wärmeerzeugung sowie den eingesetzten Brennstoffen befragt. Speziell der Bereich der biogenen flüssigen und gasförmigen Brennstoffe ist jedoch durch eine große Zahl BHKWs sowie Mikro-KWK-Anlagen (<1MWel) die überwiegend in Privaten Haushalten und Gewerbebetrieben betrieben werden, gekennzeichnet, die somit nicht von der amtlichen Statistik erfasst werden.

vaten Haushalte berechnen; darüber hinaus werden natürlich auch die entsprechenden Brennstoffeinsätze zur Stromerzeugung sowie die Brennstoffeinsätze im GHD-Sektor, darunter im Sektor Landwirtschaft separat ermittelt.[82]

Die konkrete Vorgehensweise ist in Schaubild 34 dargestellt.

Schaubild 34: Berechnung des Einsatzes von flüssiger und gasförmiger Biomasse zur Wärmeerzeugung in Privaten Haushalten



Quelle: Eigene Darstellung ZSW

<u>Schritt 1: Auswertung von Abrechnungsdaten nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz und Ermittlung der Stromeinspeisung aus flüssiger und gasförmiger Biomasse</u>

In den publizierten Auswertungen der AG Energiebilanzen (Energiebilanz Deutschland sowie Stromerzeugungstabelle) ist die KWK-Stromerzeugung für flüssige und gasförmige Biomasse nicht explizit ausgewiesen, sondern als Aggregat in der gesamten Stromerzeugung aus Biomasse subsummiert. Zur Identifizierung der KWK-Strommengen, die an dieser Stelle zu berücksichtigen sind, können die Abrechnungsdaten nach dem EEG herangezogen werden.

[82] Der Energieverbrauch in der Landwirtschaft ist im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) klassifiziert, wird jedoch aufgrund seiner besonderen Bedeutung im Rahmen dieser Studie gesondert ausgewiesen.

Betreiber von BHKW und kleinen KWK-Anlagen, die biogene Brennstoffe einsetzen, können nach dem EEG eine Vergütung für die Einspeisung von Elektrizität in Anspruch nehmen. Von diesen EEG-Anlagen liegen einmal jährlich detaillierte Abrechnungsdaten (Stamm- und Bewegungsdaten) vor, die nach den Kriterien

- installierte, elektrische Leistung,
- Anlagenstandort,
- Datum der Inbetriebnahme,
- Stromeinspeisung,
- sowie Vergütungskategorie

ausgewertet werden. Anhand der Vergütungskategorie, dem Datum der Inbetriebnahme sowie der installierten Leistung lässt sich grundsätzlich für alle Biomasseanlagen ableiten, welcher Energieträger zur Stromerzeugung eingesetzt wurde und ob es sich um gekoppelte oder nicht gekoppelte Erzeugung handelt.[83] Infolgedessen sind für die Berichtsjahre 2009 bis 2014[84] konsistente, geschlossene Zeitreihen für die nach dem EEG vergütete Stromeinspeisung der KWK-Anlagen, differenziert nach flüssiger Biomasse, Biogas und Biomethan, verfügbar.[85]

Gleichwohl ist zu berücksichtigen, dass die gewonnenen Zeitreihen noch nicht kompatibel zu den Abgrenzungen und Konventionen der Energiebilanz Deutschland sind, da zunächst weder Daten zur korrespondierenden KWK-Wärmeerzeugung noch zur Menge der eingesetzten Brennstoffe vorliegen. Ebenso fehlen Informationen dazu, welchem Wirtschaftszweig die einzelnen Anlagen zuzuordnen sind. Es liegt daher auf der

[83] Im Rahmen der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) wurde jede Biomasseanlage auf ihren Energieträgereinsatz hin analysiert. In einem dreistufigen Verfahren erfolgte zunächst eine automatische Zuordnung anhand der Vergütungskategorie. Anschließend wurden vielfältige Internetrecherchen durchgeführt, um die wenigen verbliebenen Anlagen einem Energieträger zuzuweisen. Falls keine Zusatzinformationen auffindbar waren, erfolgte im letzten Schritt die Zuordnung anhand des Datums der Inbetriebnahme und der installierten Leistung per Algorithmus. Die Vergütungskategorie lässt für Anlagen, die bis zum Jahr 2011 in Betrieb gegangen sind, ebenfalls eine Differenzierung nach gekoppelter und ungekoppelter Stromerzeugung zu. Für Anlagen mit Inbetriebnahme ab dem Jahr 2012 erfolgt hierzu eine Schätzung.

[84] Endgültige Daten für das Berichtsjahr 2015 sind voraussichtlich zum Jahresende 2016 verfügbar.

[85] Es wird angenommen, dass Betreiber von biogenen BHKW und Mikro-KWK-Anlagen den erzeugten Strom komplett einspeisen und den Eigenbedarf aus dem Stromnetz beziehen, um die volle Vergütung zu erhalten. Daher entspricht die Stromeinspeisung aus flüssiger Biomasse, Biogas und Biomethan betragsmäßig der Bruttostromerzeugung. Darüber hinaus herrscht Einigkeit darüber, dass die in den amtlichen Erhebungen über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Stromerzeugungsanlagen für die Allgemeine Versorgung (066) sowie über Stromerzeugungsanlagen der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden (067) erfassten Daten zu den erneuerbaren Energien lediglich Teilmengen der nach dem EEG vergüteten Strommengen darstellen. Der Energieeinsatz zur Stromerzeugung wird komplett dem Umwandlungssektor zugeordnet. Der Energieeinsatz zur Wärmeerzeugung ist definitorisch nicht Bestandteil des Umwandlungssektors und wird daher in der Energiebilanz Deutschland als Endenergieverbrauch erfasst.

Hand, mittels weiterer Kenngrößen die fehlenden Daten zu berechnen, um die kompatible Einbettung der ermittelten Zeitreihen und Berechnungsergebnisse in die Energiebilanz Deutschland sicherzustellen.

Schritt 2: Sektorale Gliederung von Anlagen zur Nutzung flüssiger und gasförmiger Biomasse unter Verwendung des Gemeindeverzeichnis-Informationssystems

Das Gemeinde-Informationssystem enthält Informationen zu allen politisch selbstständigen Gemeinden in Deutschland, darunter deren Einwohnerzahl sowie die Bevölkerungsdichte nach Postleitzahl.[86] Zusammen mit den Standortdaten (Ort, Postleitzahl) die zu jeder EEG-Anlage in den EEG-Stammdaten hinterlegt sind, ist es anhand des Grades der Besiedlung (dünn, mittelstark oder dicht besiedelt) im Umkreis jeder einzelnen Anlage möglich, eine grobe Zuordnung der Wirtschaftszweige vorzunehmen.[87] Die konkrete Umsetzung des skizzierten Zuordnungsmechanismus erfolgt für drei Anlagen- bzw. Leitungsklassen (elektrische Leistung), die sich ebenfalls aus den EEG-Stammdaten herleiten lassen:

- Biomasse-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 20 kW,
- Biomasse-Anlagen mit einer elektrischen Leistung zwischen 20 und 300 kW sowie
- Biomasse-Anlagen mit einer elektrischen Leistung über 300 kW.

Grundsätzlich wird für jede Leistungsklasse folgender Zusammenhang angenommen: Je niedriger die Bevölkerungsdichte, desto wahrscheinlicher dient die Anlage der Versorgung gewerblicher Flächen mit Wärme, so dass ein Energieverbrauch an flüssiger oder gasförmiger Biomasse im Sektor GHD (bzw. Landwirtschaft) vorliegt. In städtischen oder dicht besiedelten Gebieten (hohe Bevölkerungsdichte) liegt hingegen eher die Nutzung von Wärme aus flüssiger oder gasförmiger Biomasse in Privaten Haushalten nahe, insbesondere in den Fällen, in denen eine Erschließung mit kleineren Wärmenetzen gegeben ist.[88]

---

[86] Das Gemeindeverzeichnis-Informationssystem (GV-ISys) ist abrufbar unter https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/Archiv/Administrativ.html.

[87] In der Stadt- / Landgliederung von Eurostat aus dem Jahr 2011 („The New Degree of Urbanisation") entspricht eine Bevölkerungsdichte von weniger als 300 Einwohnern / km^2 einem ländlichen oder dünn besiedelten Gebiet, eine Bevölkerungsdichte zwischen 300 und 1 500 Einwohnern / km^2 sowie mindestens 5 000 Einwohnern einem halbstädtischen oder mittelstark besiedelten Gebiet und eine Bevölkerungsdichte von mehr als 1 500 Einwohnern / km^2 sowie mindestens 50 000 Einwohnern einem städtischen oder dicht besiedeltem Gebiet. Vgl. Eurostat (2011).

[88] Mischnutzungen von BHKW, also beispielsweise die gleichzeitige oder abwechselnde Beheizung sowohl von Wohnräumen in Privaten Haushalten, als auch von Stallungen im Sektor Landwirtschaft, werden in diesem Ansatz aufgrund der bereits skizzierten Abgrenzungsproblematik nicht berücksichtigt.

Vor diesem Hintergrund stellt Tabelle 15 die getroffenen Annahmen zur Aufgliederung der Biomasseanlagen nach den Wirtschaftszweigen Private Haushalte („HH“), Gewerbe, Handel und Dienstleistungen („GHD“) sowie Landwirtschaft („LW“) zusammenfassend dar. Wie die Tabelle bzw. Übersicht verdeutlicht, wird angenommen, dass Pflanzenöl- oder Biomethan-BHKW im kleinen Leistungssegment vorwiegend in Privaten Haushalten (Ein- und Mehrfamilienhäuser) eingesetzt werden. Eine Verteilung der aus diesen biogenen Energieträgern gewonnenen Wärme über Leitungsnetze ist ebenso wie bei kleinen Biogasanlagen (Bauernhöfe) unwahrscheinlich; die Wärme wird unmittelbar vor Ort genutzt.

Im mittleren und größten Leistungsbereich hingegen werden BHKW auf Basis von Pflanzenöl oder Biomethan in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte tendenziell in allen drei Wirtschaftszweigen (Private Haushalte, Landwirtschaft und GHD) zur Energieversorgung eingesetzt. Insbesondere in städtischen Verdichtungsräumen werden kleinere Wärmenetze gespeist. Biogasanlagen hingegen werden in der Regel insbesondere zur Beheizung von Stallungen in der landwirtschaftlichen Betrieben installiert.[89]

Tabelle 15: Zuordnung von Biomasse-BHKW nach Wirtschaftszweigen anhand der elektrischen Leistung und Bevölkerungsdichte

2010 bis 2015

BHKW-Leistung	< 20 kW			20 bis 300 kW			> 300 kW		
Einwohner pro km²	< 300	300 - 1500	> 1500	< 300	300 - 1500	> 1500	< 300	300 - 1500	> 1500
Flüssige Biomasse	HH	HH	HH	LW	GHD	HH	LW	GHD	HH
(Roh-) Biogas	LW	LW	LW	LW	LW	LW	LW	GHD	HH
Biomethan (aufber.)	HH	HH	HH	LW	GHD	HH	LW	GHD	HH

Quelle: Eigene Annahmen ZSW.

[89] Der Betriebsverbrauch, also der Einsatz von Energie beispielsweise zur Beheizung von Biogasfermentern, wird in der Energiebilanz Deutschland dem Umwandlungssektor zugeordnet und ist daher nicht Teil dieser Analyse.

Als Zwischenergebnis dieses Abschnittes ergibt sich die Stromerzeugung der Privaten Haushalte sowie des GHD-Sektors (inkl. der Landwirtschaft) aus dem Einsatz flüssiger und gasförmiger Biomasse in BHKW (vgl. Tabelle 16).

Tabelle 16: KWK-Stromerzeugung (netto) aus flüssiger und gasförmiger Biomasse nach Sektoren

2010 bis 2015, in GWh

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Flüssige Biomasse						
Haushalte	172	58	24	26	29	31
GHD	876	261	176	205	230	245
darunter Landwirtschaft	229	76	67	82	85	90
Biogas						
Haushalte	345	381	426	452	476	498
GHD	5 812	6 938	9 966	11 430	12 056	12 601
darunter Landwirtschaft	3 152	3 820	5 726	6 654	6 918	7 231
Biomethan						
Haushalte	28	103	258	270	393	532
GHD	70	173	506	702	842	1 140
darunter Landwirtschaft	19	48	88	120	147	199

Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

Schritt 3: Ableitung von Kennziffern mittels BHKW-Kenndaten zur energiebilanzkompatiblen Ermittlung der Wärmeerzeugung und des Energieeinsatzes in Privaten Haushalten

Um aus der dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung der genannten Sektoren den Brennstoffeinsatz zu ermitteln, ist die Ableitung relevanter KWK-Kennziffern wie die Stromkennziffer oder der Stromnutzungsgrad erforderlich.

Dazu führt das ZSW Berechnungen durch, die sich im Wesentlichen auf die Publikation „BHKW-Kenndaten“ der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. stützen. Grundsätzlich halten die BHKW-Kenndaten detaillierte technische Angaben von weit über 1 000 am Markt verfügbaren Blockheizkraftwerken

in verschiedenen Leistungsbereichen bereit. Die Datensätze liegen zur Zeit für die Berichtsjahre 2005, 2011 und 2014 vor[90] und enthalten im einzelnen Angaben

- zur elektrischen und thermischen Leistung,
- zum elektrischen und thermischen Wirkungsgrad sowie
- zu Motorentyp, Hersteller, Schadstoffausstoß, Abmessungen und Gewicht.

Die von der ASUE veröffentlichten Daten decken generell Leistungsbereiche von wenigen Kilowatt bis mehreren Megawatt ab. Hinzu kommt, dass die Angaben separat u.a. nach Erdgas,- Biogas-, Rapsöl- und Heizöl-BHKW aufgegliedert sind.[91] Mit Blick auf die Struktur der elektrischen Leistung bestätigt sich die Vermutung, dass die Anlagen zur Nutzung biogener flüssiger und gasförmiger Energieträger insbesondere für den kleinen Leistungsbereich ausgelegt sind.

Unter den skizzierten Prämissen werden aus den BHKW-Kenndaten für die nach dem EEG abgerechneten Anlagen zur Nutzung von flüssiger und gasförmiger Biomasse durchschnittliche, gewichtete Stromkennziffern und Stromnutzungsgrade für die Privaten Haushalte abgeleitet.[92] In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass sich die für die Privaten Haushalte berechneten Kennziffern von denen des GHD-Sektors unterscheiden. Ursächlich dafür sind in erster Linie unterschiedliche Stromerzeugungsstrukturen und Größenklassen der eingesetzten BHKW-Anlagen. Tabelle 17 gibt einen Überblick über die berechneten, spezifischen Kennziffern der Privaten Haushalte und des GHD-Sektors.

[90] Vgl. ASUE (2015) und Vorjahre.

[91] Beim Energieträger Biomethan handelt es sich um auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas. Aufgrund seiner stofflichen Zusammensetzung wird Biomethan im Regelfall ins Erdgasnetz eingespeist. Dementsprechend erfolgt die Nutzung von Biomethan in Erdgas-BHKW.

[92] Für jedes BHKW kann aus den BHKW-Kenndaten zunächst direkt die Stromkennziffer bestimmt werden, die als Verhältnis der elektrischen Leistung zum Wärmestrom bzw. zur thermischen Leistung definiert ist. Die Angaben zum elektrischen Wirkungsgrad hingegen spiegeln den idealen Laborbetrieb wieder. Es wird daher angenommen, dass der reale Nutzungsgrad durchschnittlich 10 % niedriger als der ideale Wirkungsgrad liegt.

Tabelle 17: Spezifische Stromkennziffern und Stromnutzungsgrade verschiedener Biomasse-Anlagentypen nach Sektoren
2010 bis 2015

	Einheit	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Spezifische Stromkennziffern (Private Haushalte)							
Flüssige Biomasse	[-]	0,952	0,907	0,811	0,833	0,868	0,868
Biogas	[-]	0,944	0,946	0,944	0,942	0,943	0,943
Biomethan	[-]	0,787	0,846	0,880	0,806	0,814	0,814
Spezifische Stromnutzungsgrade (Private Haushalte)							
Flüssige Biomasse	%	37,4	36,3	34,4	34,8	35,7	35,7
Biogas	%	36,4	36,4	36,3	36,3	36,4	36,4
Biomethan	%	33,9	35,1	35,7	34,4	34,8	34,8
Spezifische Stromkennziffern (GHD)							
Flüssige Biomasse	[-]	0,989	0,979	0,979	0,977	0,978	0,978
Biogas	[-]	0,922	0,921	0,918	0,916	0,919	0,919
Biomethan	[-]	0,856	0,852	0,850	0,834	0,841	0,841
Spezifische Stromnutzungsgrade (GHD)							
Flüssige Biomasse	%	38,3	38,2	38,0	38,1	38,2	38,2
Biogas	%	35,9	35,9	35,8	35,8	35,9	35,9
Biomethan	%	35,0	35,0	35,1	34,7	35,1	35,1

* vorläufige Daten.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach ASUE (2016) und Vorjahre.

Schritt 4: Ableitung energiebilanzkompatibler Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung in Privaten Haushalten

Aus der gesamten gekoppelten Stromerzeugung der Privaten Haushalte, differenziert nach flüssiger und gasförmiger Biomasse (Biogas und Biomethan), lässt sich nun mit Hilfe der spezifischen Stromkennziffern die zugehörige Wärmeerzeugung der Privaten Haushalte berechnen. Aus der Wärmeerzeugung wird anhand der energieträgerspezifischen Nutzungsgrade sowie unter Berücksichtigung der finnischen Methode schließlich der gesamte Einsatz flüssiger und gasförmiger Biomasse (differenziert nach Biogas und Biomethan) zur Wärmeerzeugung in Privaten Haushalten errechnet.

Der (bilanzkompatible) vollständige Endenergieverbrauch an flüssiger Biomasse, Biogas und Biomethan der Privaten Haushalte ist in Tabelle 18 für die Jahre 2010 bis 2015 zusammenfassend dargestellt. Dargestellt ist – der Vollständigkeit halber – auch der Verbrauch flüssiger Biomasse in Form von Bioethanol als Beimischung zu Ottokraftstoffen, dessen Ermittlung im folgenden Kapitel 3.7 beschrieben wird.

Es zeigt sich, dass der Verbrauch von flüssiger Biomasse in Privaten Haushalten in der Vergangenheit starken Schwankungen unterworfen war. Als Ursache für die beobachtete Volatilität ist in erster Linie der sprunghafte Anstieg des Pflanzenölpreises ab dem Jahr 2010 und der damit verbundene Verlust der Rentabilität der BHKW zu nennen, die mit Pflanzenöl betrieben wurden. In der Folge wurden zahlreiche BHKW vorübergehend außer Betrieb genommen oder im Rahmen technischer Maßnahmen auf alternative flüssige Energieträger (u.a. leichtes Heizöl) umgerüstet.

Hingegen konnten die Privaten Haushalte die Nutzung von Biogas und Biomethan in den vergangenen Jahren kontinuierlich ausweiten. Die Entwicklung dürfte vor allem auf die stabile Förderung dieser Energieträger im Rahmen des EEG zurückzuführen gewesen sein. Hinzu kommt, dass für viele Anlagenbetreiber die Möglichkeit besteht, sich mit den entsprechenden Substraten kostengünstig selbst zu versorgen.

Tabelle 18: Verbrauch von flüssiger Biomasse, Biogas und Biomethan der Privaten Haushalte in Deutschland

2010 bis 2015, in TJ

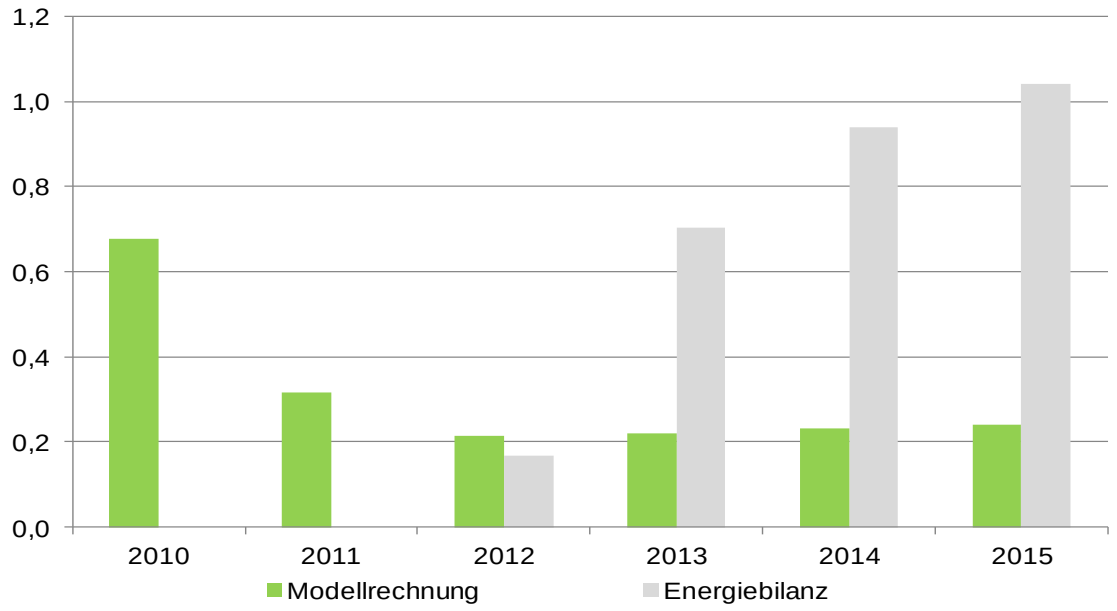
	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Flüssige Biomasse	679	318	215	219	232	241
darunter Beimischungen	109	113	121	119	125	127
Biogas	1 181	1 301	1 463	1 553	1 632	1 706
Biomethan	114	393	943	1 083	1 546	2 093

* Vorläufige Daten.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

In Schaubild 35 und Schaubild 36 werden die ermittelten Endenergieverbräuche an flüssiger und gasförmiger Biomasse grafisch für die Jahre von 2010 bis 2015 dargestellt. Zur besseren Einordung der Resultate werden die Zeitreihen den jeweiligen Ergebnissen der Energiebilanz Deutschland (Satellitenbilanz erneuerbare Energien) gegenübergestellt. Es zeigen sich zum Teil deutliche Abweichungen von den bisherigen Zeitreihen, die im Wesentlichen auf methodische Unterschiede zurückzuführen sind. Speziell bei der gasförmigen Biomasse kommt hinzu, dass der Verbrauch von Biomethan aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Umsetzungsstudie nun über die gesamte Zeitreihe hinweg (2010 bis 2015) dargestellt werden kann.

Schaubild 35: Verbrauch von flüssiger Biomasse der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.*

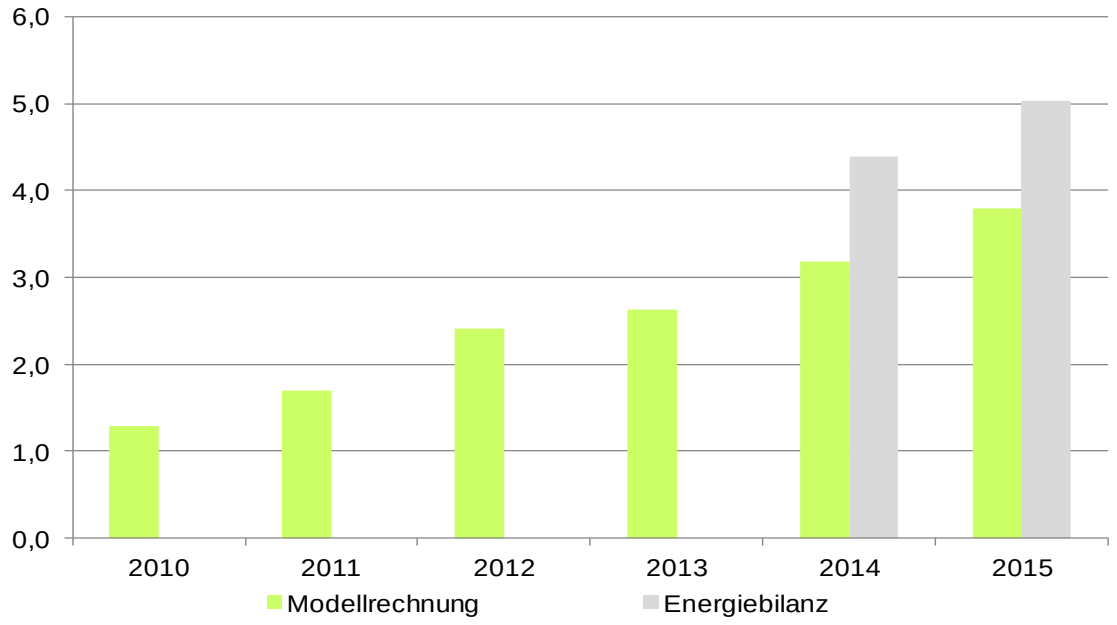


Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen ZSW. *2015: vorläufig.

Schaubild 36: Verbrauch von gasförmiger Biomasse der Privaten Haushalten

2010 bis 2015, in TJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.*

,



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen ZSW. *2015: vorläufig.

3.7. Ermittlung des Ottokraftstoffverbrauchs der Privaten Haushalte

Die Privaten Haushalte verbrauchen Ottokraftstoff vor allem zum Betrieb motorisierter Gartengeräte (Rasenmäher, Motorsägen, Freischneider usw.).[93] Der Absatz von Ottokraftstoff an Haushaltskunden für diesen Einsatzbereich erreichte nach Angaben der AG Energiebilanzen im Jahr 2014 ein Niveau von 3 946 TJ. Diese Menge entspricht – bezogen auf dem gesamten Endenergieverbrauch der Privaten Haushalte – einem Anteil von etwa 0,2 %.

Bis heute liegen zum Benzinverbrauch der Privaten Haushalte praktisch keine belastbaren originären Informationen oder amtlichen Daten vor.[94] Aus diesem Grund stützt sich die Ermittlung des Benzinverbrauchs der Privaten Haushalte allein auf Schätzungen oder Modellansätze, die den Benzinverbrauch aus der Verknüpfung verstreut vorliegender statistischer Informationen (zum Bestand benzinbetriebener Gartengeräte, dem spezifischen Verbrauch und den typischen Nutzungsdauern) der einzelnen Geräteklassen abschätzen.

Ein Modellansatz zur Berechnung des Benzinverbrauchs zum Betrieb von Rasenmähern wurde bereits in der Konzeptstudie genauer beleuchtet.[95] Im Rahmen der vorliegenden Umsetzungsstudie wurde zum einen die Datenbasis dieses Modellansatzes aktualisiert, zum anderen konnte das Modell um den Benzinverbrauch zweier zusätzlicher Kategorien, den Motorsägen sowie den sonstigen benzinbetriebenen Gartengeräten (Freischneider, Rasentrimmer, Heckenscheren, Blasgeräte, Motorsensen, Vertikulierer, Fräsen, Häcksler und Reinigungsgeräte – im Folgenden als Kategorie „sonstige Gartengeräte“ zusammengefasst) erweitert werden.

Die Berechnung der Benzinverbräuche basiert im Wesentlichen auf der Verknüpfung des

- Gerätebestandes (benzinbetriebene Rasenmäher, Motorsägen und sonstige Geräte)
- den jeweiligen Benutzungsstunden sowie
- den spezifischen Verbräuchen der verschiedenen Gerätekategorien.

[93] Benzinbetriebene Stromaggregate werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt – es wird angenommen, dass deren Einsatz in Privaten Haushalten zu vernachlässigen ist. Benzinbetriebene Sportboote sind nach Auffassung der Autoren im Energiebilanzsektor Binnenschifffahrt zu erfassen.

[94] Die Angaben in der Energiebilanz Deutschland stützen sich u.a. auf eigene Schätzungen sowie Ergebnisse der Untersuchungen des ifeu-Instituts (TREMOD), vgl. hierzu ifeu (2009).

[95] Vgl. EEFA et al (2015), S. 107 ff.

Der Bestand an Rasenmähern mit Benzinmotor in Deutschland errechnet sich im Prinzip aus dem Inlandsabsatz dieser Geräte. Eine Zeitreihe zum Absatz benzinbetriebener Rasenmäher in Deutschland Inland lässt sich rechnerisch über die inländische Produktion (Produktionsstatistik), den Außenhandelssaldo (Außenhandelsstatistik) ermitteln.[96]

Nimmt man zusätzlich für benzinbetriebene Rasenmäher eine technische Lebensdauer von maximal zehn Jahren an, errechnet sich aus den jährlichen Zu- und Abgängen an Rasenmähern mit Benzinmotor für das Jahr 2015 ein Gesamtbestand von 6,5 Mio. Geräten, die hierzulande im Einsatz sind.[97]

In einem nächsten Erklärungsschritt muss die Unterteilung des ermittelten Gesamtbestandes benzinbetriebener Rasenmäher hinsichtlich der Nutzung in Privaten Haushalten einerseits und der gewerblichen Nutzung z.B. in Gartenbaubetrieben usw. (die dem GHD-Sektor zuzuordnen sind) erfolgen. Diese Differenzierung ist notwendig, um letztlich den Benzinverbrauch der Privaten Haushalte von dem Verbrauch trennen zu können, der auf gewerbliche Nutzungsarten benzingetriebener Gartengeräte zurückzuführen ist, bzw. in der Energiebilanz Deutschland im GHD-Sektor verbucht werden muss. Nach Angaben von TREMOD werden allerdings etwa 98 % des Gesamtbestandes an Rasenmähern ausschließlich privat genutzt.

Auch die Bestände der Motorsägen mit Benzinmotor lassen sich im Prinzip aus der amtlichen Statistik ableiten. Zu beachten ist allerdings, dass sowohl die Produktions- als auch die Außenhandelsstatistik einige Lücken aufweisen: Beispielsweise ist die Produktion benzinbetriebener Kettensägen hierzulande ab dem Jahr 2009 in den amtlichen Veröffentlichungen aus Geheimhaltungsgründen nicht mehr ausgewiesen. In Anbetracht dieser Schwierigkeiten wurde zunächst der Gesamtbestand motorbetriebener Handsägen bis zum Berichtsjahr 2008 mit Hilfe der vorliegenden statistischen Informationen, sowie unter der Annahme einer durchschnittlichen Lebensdauer von acht Jahren errechnet. Unter diesen Prämissen lässt sich für 2008 insgesamt ein Bestand in Höhe insgesamt 3,9 Mio. Kettensägen „statistisch“ ermitteln.

Der Anteil privat genutzter Geräte beträgt 92 %, so dass für das Jahr 2008 von einem Bestand privat genutzter Kettensägen in der Größenordnung von 3,6 Mio. ausgegangen

[96] Vgl. StBA (2015d) und ältere Jahrgänge, sowie Destatis, Datenbanken, Genesis-online, https://www-genesis.destatis.de/genesis/online.

[97] Die Lebensdauer der Geräte hängt auch von der Art bzw. Intensität der Nutzung ab (privat oder gewerblich). So gehen Schäffeler U., Keller M. (2008) in einer Studie zur Ermittlung von Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des „Non-Road“-Sektors in der Schweiz für das Bundesamt für Umwelt (BAFU) davon aus, dass privat genutzte Rasenmäher eine Lebensdauer von 10 Jahren aufweisen, gewerblich genutzte Rasenmäher werden lediglich 3 Jahre genutzt. Hier wurde als Lebensdauer des gesamten Bestandes jeweils das gewichtete Mittel unterstellt, um die Bestände zu berechnen.

werden kann.[98] Um die Bestandsentwicklung privat genutzter Kettensägen bis zum aktuellen Rand fortzuschreiben nutzt die vorliegende Studie als einfachen Indikator die Anzahl der Einfamilienhäuser, die mit Holz heizen.[99]

Weitere benzinbetriebene Gartengeräte können in der Produktions- und Außenhandelsstatistik nicht identifiziert werden. Um trotzdem einen Bestand der sonstigen Geräte angeben zu können, wird angenommen, dass auf jeden privat genutzten Rasenmäher 0,4 sonstige Geräte zur Grünpflege (ohne Motorsägen) entfallen.[100]

Die auf diese Weise ermittelte Entwicklung privat genutzter benzinbetriebener Gartengeräte ist in Tabelle 19 tabellarisch als Zeitreihe von 2010 bis 2015 dargestellt. Die Bestandsentwicklung bildet den ersten wesentlichen Anknüpfungspunkt zur Berechnung des Verbrauchs an Motorenbenzin zum Betrieb von Gartengeräten.

Tabelle 19: Bestand an Rasenmähern, Motorsägen und sonstige Gartengeräten in Privaten Haushalten

2010 bis 2015, Anzahl in Tsd.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rasenmäher	5 956	5 783	5 793	5 860	6 069	6 392
Motorsägen	3 684	3 687	3 689	3 693	3 696	3 700
Sonstige Gartengeräte	2 382	2 313	2 317	2 344	2 428	2 557

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach Destatis.

Eine wesentlich größere Bedeutung für die Entwicklung des Benzinverbrauchs in Privaten Haushalten geht (im Vergleich zu den Gerätebeständen) selbstverständlich von der tatsächlichen Benutzung (gemessen in Stunden) der vorhandenen Gartengeräte aus. Allerdings weisen Angaben zu den Betriebs- und Benutzungsstunden einzelner Gerätekategorien (die sich auf wenige verfügbare Studien oder empirische Befragungen stützen) naturgemäß große statistische Unsicherheiten auf. Genaue Aussagen über die Anzahl der Benutzungsstunden sind also nicht möglich. Immerhin lassen sich Plausibilitäts-

[98] Kettensägen in privater Hand werden vor allem genutzt, um eigenes Brennholz aus dem Wald zu holen, Brennholz zu zerkleinern oder im Garten zu arbeiten. Der Besitz einer Kettensäge kommt somit am ehesten bei Einfamilienhäusern mit Garten und/oder mit Holzheizung vor. Vergleicht man die errechneten Bestände an Kettensägen (3,6 Mio.) mit der Anzahl von Einfamilienhäusern die mit Holz heizen (3,3 Mio.) scheint der errechnete Bestand nicht unplausibel. Näheres zur Aufteilung siehe Kapitel 5.1.6.

[99] Diese können der Bestandsentwicklung entnommen werden, die auch dem EEFA-Wohnungsmodell zugrundeliegt, siehe hierzu Kapitel 3.1.3 sowie EEFA et al. (2015).

[100] Analog zur Struktur des Gerätebestandes des TREMOD-Modells entfallen auf jeden privat genutzten Rasenmäher 0,3 sonstige Gartengeräte. In der wesentlich detaillierteren Darstellung der Bestände benzinbetriebener Gartengeräte nach Schäffeler U. Keller M. (2008) entfallen in der Schweiz auf jeden privat genutzten Rasenmäher gut 0,5 weitere Geräte (ohne Berücksichtigung von in Deutschland eher untypischen Geräten wie Schneefräsen und Motorschlitten).

überlegungen (zur Überprüfung der vorhandenen Angaben und zum Schließen von Datenlücken) anstellen:

Zunächst sei angenommen, dass private Grünflächen im Durchschnitt alle 14 Tage gemäht werden und der Zeitaufwand hierfür ca. eine Stunde beträgt. Unter diesen Prämissen lassen sich die Betriebsstunden privat genutzter Rasenmäher grob anhand der Dauer der Vegetationsphase in Deutschland berechnen; diese dauert hierzulande etwa 32 Wochen (von März bis Oktober). Aus alledem folgt, das für privat genutzte Rasenmäher eine durchschnittliche Betriebszeit von 16 Stunden pro Jahr als plausible Größe angesetzt werden kann.[101]

Im Gegensatz dazu dürfte die Benutzungsdauer von Motorsägen und sonstigen benzinbetriebenen Gartengeräten im privaten Einsatz – ganz unabhängig von der Länge der Vegetationsphase – von Fall zu Fall erheblich variieren. Hinweise über die Dauer der Benutzung bei Motorsägen und sonstigen Gartengeräten im privaten Bereich enthält die bereits genannte Studie zum Treibstoffverbrauch im „Non-Road"-Sektor in der Schweiz, an der sich die vorliegende Umsetzungsstudie orientiert.[102] Für Motorsägen werden demnach im Durchschnitt 6 Benutzungsstunden pro Jahr, für die Gruppe der sonstigen Gartengeräte hingegen von 6,4 Stunden angesetzt.[103]

Zu einer weiteren wesentlichen Determinante des Benzinverbrauchs Privater Haushalte zählen schließlich die spezifischen Verbräuche der einzelnen Gerätekategorien. Grundsätzlich können Angaben zum spezifischen Verbrauch benzinbetriebener Gartengeräte aus Produktinformationen der Hersteller gewonnen werden. Es mag als wenig überraschend empfunden werden, jedoch besteht eine Schwierigkeit bei der Nutzung von Herstellerinformationen, da die Angaben zum spezifischen Benzinverbrauch je nach Art des Gerätes und Leistungsklasse des Motors (2-Takt vs. 4-Takt) erheblichen Schwankungen unterworfen sind.

So verbrauchen etwa handgeführte Rasenmäher (selbstfahrend oder ohne Antrieb) im Schnitt zwischen 0,6 und ein Liter pro Stunde, der Benzinverbrauch von Aufsitzrasenmähern hingegen kann deutlich über dem Niveau von einem Liter pro Stunde liegen.

---

[101] Schäffeler U., Keller M. (2008) gehen davon aus, dass privat genutzte Rasenmäher (in der Schweiz) eine Betriebsdauer von durchschnittlich 13 Stunden pro Jahr aufweisen. Da jedoch für die Schweiz aufgrund kühlerer Witterungsbedingungen auch kürzere Vegetationsphasen unterstellt werden können, ist die Annahme etwas höherer Betriebsdauern in Deutschland durchaus plausibel (im Durchschnitt der Jahre 1980 bis 2008 lag die Anzahl der Heizgradtage in der Schweiz nach Angaben von Eurostat um 7 % über dem beobachteten Niveau in Deutschland).

[102] Vgl. Schäffeler U., Keller M. (2008).

[103] Die Berechnung durchschnittlicher Betriebsstunden der „sonstigen Gartengeräte" basiert auf einer detaillierten Auflistung der Bestände und Benutzungsstunden sämtlicher privat genutzter Gartengeräte in der Schweiz. Zur Bestimmung der Benutzungsstunden in Deutschland wurden die für die Schweiz ebenfalls aufgeführten Kategorien „Motorschlitten" sowie „Schneefräsen" aus den Berechnungen ausgeschlossen, um Verzerrungen der Ergebnisse zu vermeiden. Vgl. Schäffeler U., Keller M. (2008).

Der spezifische Verbrauch von Motorsägen erreicht nach Herstellerangaben (bei maximaler Motorleistung) einen Bereich zwischen 1,2 bis 2,3 Litern pro Stunde.[104] Für die Privaten Haushalte kann vermutet werden, dass sie ganz überwiegend weniger professionelle und damit verbunden weniger leistungsstarke Geräte einsetzen. Insofern ist davon auszugehen, dass sich die durchschnittlichen Benzinverbräuche privat genutzter Geräte tendenziell eher am unteren Rand der Herstellerangaben bewegen. Empirisch untermauert wird diese Annahme darüber hinaus durch die Angaben nach Schäffeler U., Keller M. (2008): Nach Auswertung der in dieser Studie veröffentlichten Daten verbrauchten privat genutzte Rasenmäher im Durchschnitt 0,72 Liter pro Stunde, privat genutzte Motorsägen 0,69 Liter pro Stunde sowie die sonstigen privat genutzten Gartengeräte 0,49 Liter pro Stunde.[105]

Multipliziert man den Bestand privat genutzter motorisierter Gartengeräte (differenziert nach Geräteklasse) mit den jeweiligen Benutzungsstunden sowie dem zugehörigen spezifischen Verbrauch, ergibt sich der absolute Benzinverbrauch der Privaten Haushalte für Gartenpflege. Demnach wurden im Jahr 2015 rund 3 143 TJ Benzin allein zur Pflege privater Grünflächen eingesetzt (vgl. Tabelle 20). Insgesamt gesehen lassen die Ergebnisse erkennen, dass der Benzinverbrauch zur privaten Grünpflege in der Zeit zwischen 2010 und 2015 leicht angestiegen ist (um 6 %).

Zur energiebilanzkompatiblen Darstellung der Benzinverbräuche müssen abschließend die Beimischungen an biogenen flüssigen Energieträgern vom gesamten Benzinverbrauch der Privaten Haushalte abgezogen werden (diese müssen als Verbrauch flüssiger Biomasse in der Energiebilanz berücksichtigt werden). Im Jahr 2015 lag dieser Anteil bei Ottokraftstoffen (bezogen auf den Energiegehalt) bei 4,0 %.[106] Abzüglich 127 TJ beigemischter Mengen verbleibt also für das Jahr 2015 ein Einsatz (reiner) Ottokraftstoffe in Höhe von 3 016 TJ.

Der neu berechnete Benzineinsatz der Privaten Haushalte liegt - verglichen mit der Energiebilanz Deutschland - um 16 bis 32 % (Durchschnitt 2010 bis 2015: 25 %) unter den Schätzwerten, die die AG Energiebilanzen bislang publiziert hat (vgl. Schaubild 37).

[104] Vgl. hierzu Marktübersicht Motorsägen vom Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF), online abgerufen unter http://www.kwf-online.org/fileadmin/markt/06ms_weitere/ms-weitere.html (Abrufdatum: 09.08.2016).

[105] Eigene Berechnungen nach Schäffeler U., Keller M. (2008).

[106] Eigene Berechnungen nach BAFA (2016).

Tabelle 20: Benzinverbrauch zum Betrieb motorisierter Gartengeräte in Privaten Haushalten

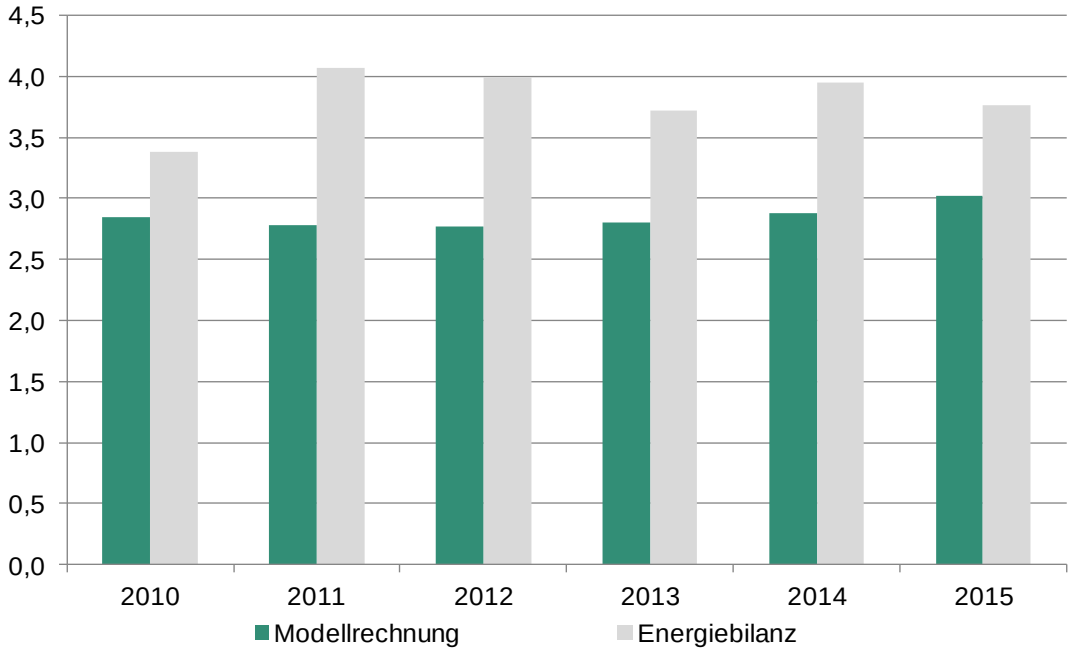
2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rasenmäher	2 218	2 154	2 158	2 183	2 260	2 381
Motorsägen	498	498	499	499	500	500
Sonstige Gartengeräte	244	237	237	240	249	262
Summe	2 961	2 889	2 894	2 922	3 009	3 143
darunter Beimischungen	109	113	121	119	125	127
darunter reine Ottokraft-stoffe	2 852	2 777	2 772	2 803	2 884	3 016

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA.

Schaubild 37: Benzinverbrauch der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen EEFA. *2015: vorläufig.

4. Ermittlung der Bestandsveränderungen lagerfähiger Energieträger

4.1. Bestandsveränderungen bei den Privaten Haushalten

Die Energiebilanz Deutschland erfasst im Endenergieverbrauch der Sektoren Private Haushalte und GHD bei den lagerfähigen Energieträgern (Kohle, Heizöl, Biodiesel) nur die abgesetzten, nicht jedoch die tatsächlich verbrauchten Energiemengen. Vor allem beim leichtem Heizöl sind vor dem Hintergrund erheblicher Tankkapazitäten bei den Verbrauchern – hervorgerufen vor allem durch (unterjährige) Schwankungen des Heizölpreises – spürbare Veränderungen der Lagerbestände in einzelnen Jahren zu beobachten, die mehr oder weniger große Abweichungen zwischen dem tatsächlichen Heizölverbrauch und der abgesetzten Heizölmenge verursachen.[107]

Mit Hilfe der Hochrechnung flächenspezifischer Heizölverbräuche, die den Techem-Studien „Energiekennwerte" entnommen werden, lassen sich grundsätzlich nur Informationen zum absoluten Heizölbedarf der Mehrfamilienhäuser (nicht zum Heizölabsatz an diese Verbrauchergruppe) empirisch ermitteln. Ähnliches gilt für Verbrauchsberechnungen mit dem EEFA-Wohnungsmodell, das im Kern mit Hilfe geeigneter Wärmedurchgangskoeffizienten die Wärmeverluste der Wohngebäude bestimmt, die über die Zufuhr von Heizenergie ausgeglichen werden müssen. Diese Studie errechnet den Heizölverbrauch der Privaten Haushalte anhand hochgerechneter Kennziffern zum Energieverbrauch aus den Techem-Daten (Zwei- und Mehrfamilienhäuser) sowie mit Hilfe des EEFA-Wohnungsmodells (Heizölverbrauch der Einfamilienhäuser). Alle hier berechneten Zeitreihen stellen somit zunächst ausschließlich den Energieverbrauch der Privaten Haushalte, nicht jedoch die Absatzmengen dar.

Eine besondere Schwierigkeit der skizzierten Verbrauchsrechnungen liegt in dem Umstand, dass es zwar grundsätzlich möglich ist anhand von Zeitreihen zur abgesetzten Menge eines lagerfähigen Energieträgers (unter Zuhilfenahme statistisch-mathematischer Verfahren wie z.B. der Heizgradtagemethode oder Verwendung der ökonometrischer Schätzverfahren) den Verbrauch zu approximieren, jedoch nicht umgekehrt von der verbrauchten auf die abgesetzte Menge geschlossen werden kann.

Als Ausweg aus diesem Dilemma bietet sich eine vom Absatz oder Verbrauch isolierte Bestimmung der Tankbestandsveränderungen (Heizöl) bei den Privaten Haushalten an. Ausgangspunkt dafür bilden zwei Informationsquellen:

- Monatliche Tankbestandsentwicklung bei den Privaten Haushalten in %

[107] Hingegen verbucht die Energiebilanz Deutschland bei den leitungsgebundenen Energieträgern (Strom, Erdgas, Fernwärme), sowie den dezentralen erneuerbaren Energien (Holz, Biogas), sowohl im Sektor „Private Haushalte" als auch im GHD-Sektor den Verbrauch.

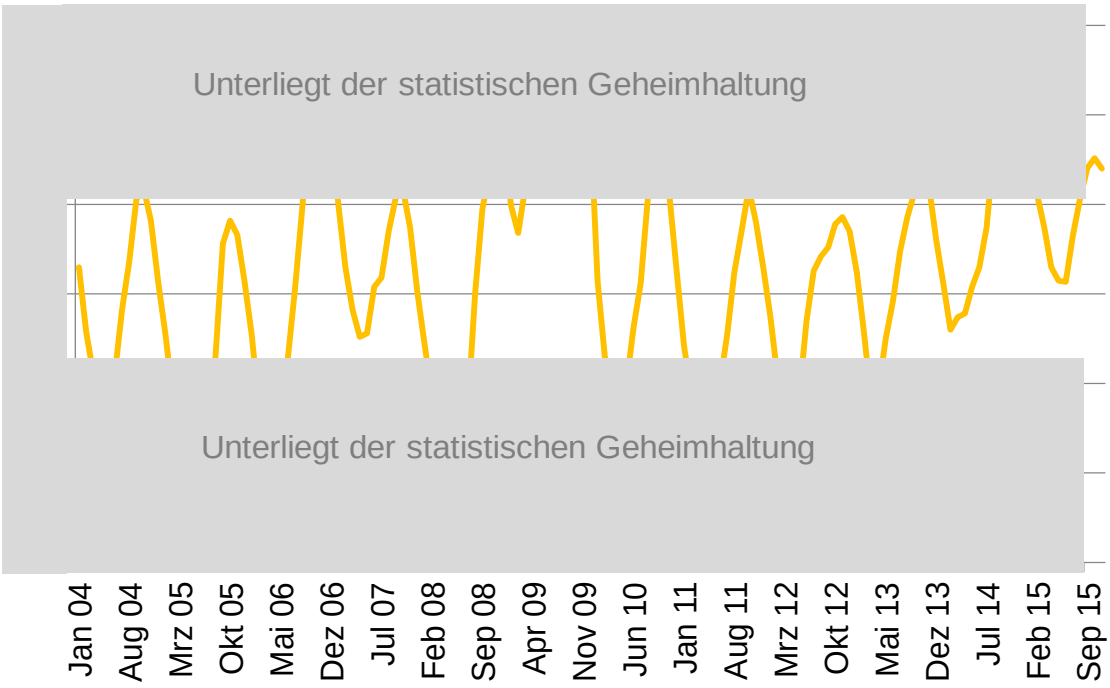
- Tankvolumen bzw. Tankkapazität der Privaten Haushalten, in Mio. Litern.

Empirische Informationen zur monatlichen Veränderung der Heizöl-Tankbestände bei den Privaten Haushalten in Deutschland werden im Rahmen des Mineralölpanels (von der ipsos GmbH im Auftrag der Mineralölwirtschaft) erhoben. Diese Informationen sind allerdings nicht öffentlich zugänglich. Hinzu kommt, dass die Erhebung voraussichtlich Ende 2015 eingestellt wird, die Originaldaten in Zukunft für Berechnungen im Rahmen der Energiebilanz Deutschland also nicht mehr genutzt werden können.

Dennoch liegen im Rahmen des Mineralölpanels für die Vergangenheit belastbare, empirische Angaben zu den monatlichen Tankfüllständen der Privaten Haushalte von Januar 2004 bis November 2015 vor. Nach dieser Erhebung bewegt sich der Befüllungsgrad der Heizöltanks in Privaten Haushalten je nach Berichtsjahr bzw. -monat innerhalb einer Schwankungsbreite zwischen 44 % und 68 % (vgl. Schaubild 38).

Schaubild 38: Tankbestände (HEL) bei Privaten Haushalten

Januar 2004 bis November 2015, in %



Quelle: Eigene Darstellung EEFA nach IPSOS und MWV; zum Teil aus Grafiken abgelesene Werte

Um diese unterjährige Information auch in Zukunft zur Ermittlung der Veränderung der Heizölbestände bei den Privaten Haushalten verwenden zu können, wurde eine ökonometrische Schätzgleichung entwickelt, mit deren Hilfe Prognosen der Tankbestandsentwicklung erstellt werden können. Zu den wichtigsten Determinanten der monatlichen Veränderung der Tankfüllstände ($TFPH_t$-$TFPH_{t-1}$) zählen der Anschaf-

fungspreis Privater Haushalte für leichtes Heizöl (PE08ANPH) sowie die Witterungsbedingen (HGTD). Die angesprochene, einfache Erklärungs-Hypothese konnte im Rahmen der ökonometrischen Analyse bestätigt werden:

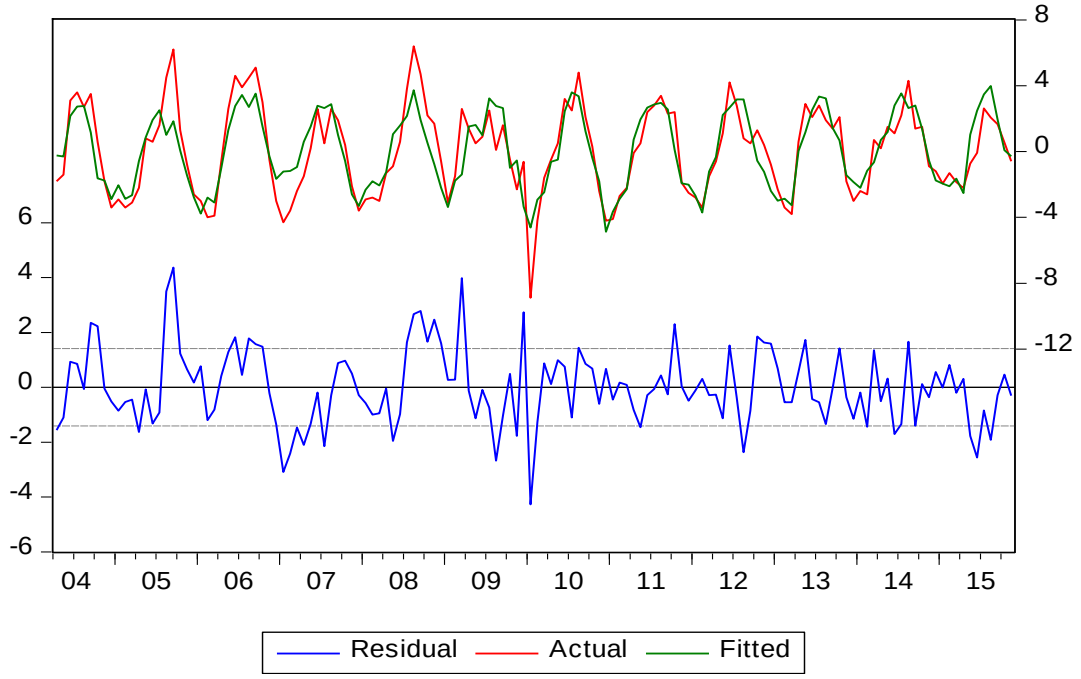
Dependent Variable: TFPH-TFPH(-1)
Method: Least Squares
Date: 08/02/16 Time: 14:18
Sample (adjusted): 2004M04 2015M11
Included observations: 140 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
HGTD	-0.011492	0.000606	-18.95388	0.0000
(PE08ANPH/PE08ANPH(-3))^4	-0.950711	0.237469	-4.003515	0.0001
C	4.475508	0.372352	12.01958	0.0000

R-squared	0.723942	Mean dependent var	0.081429
Adjusted R-squared	0.719912	S.D. dependent var	2.661042
S.E. of regression	1.408312	Akaike info criterion	3.543857
Sum squared resid	271.7181	Schwarz criterion	3.606892
Log likelihood	-245.0700	Hannan-Quinn criter.	3.569473
F-statistic	179.6362	Durbin-Watson stat	1.334159
Prob(F-statistic)	0.000000		

Schaubild 39: Beobachtete und geschätzte Entwicklung der Tankbestände (HEL) bei Privaten Haushalten

Januar 2004 bis November 2015, in %



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach IPSOS, MWV und Destatis

Um aus der prozentualen, monatlichen Veränderung der Tankbestände die absolute jährliche Veränderung der Heizölbestände bei den Privaten Verbrauchern errechnen zu können, ist als Zusatzinformation eine Angabe über die insgesamt verfügbare Tankkapazität bzw. zum Gesamtvolumen aller Heizöltank in Wohngebäuden bzw. bei Privaten Haushalten erforderlich.

Das Tankvolumen der Privaten Haushalte kann im Prinzip aus der Zahl der ölbeheizten Wohnungen (bzw. Gebäude) und der durchschnittlichen Größe der Heizöltanks errechnet werden. Die Mikrozensus-Zusatzerhebung 2010 des Statistischen Bundesamtes zu Bestand und Struktur der Wohneinheiten in Deutschland, stellt für das Jahr 2010 Daten zur Anzahl der ölbeheizten Gebäude bereit.

Danach verfügten 2010 insgesamt 5,9 Mio. Gebäude über eine Ölheizung, wobei der mit Abstand größte Teil dieser Heizungen (nämlich 83,1 %) in Ein- und Zweifamilienhäusern installiert ist. (vgl. Tabelle 21). Eine Fortschreibung der Zahl der ölbeheizten Gebäude ist mit dem EEFA-Wohnungsmodell nicht möglich. Eine Aktualisierung der Anzahl ölbeheizter Gebäude, die hier als Schätzwert für die Zahl der Heizöltanks herangezogen wird, ist deshalb erst mit Erscheinen der neuen Mikrozensus-Zusatzerhebung (Zusatzmodul zur Erhebung der Wohnsituation) möglich, die alle vier Jahre durchgeführt wird und für das Berichtsjahr 2014 voraussichtlich 2016 erscheint.

Tabelle 21: Geschätztes Tankvolumen der Privaten Haushalte in Deutschland
Jahr 2010

Gebäudetyp		Einfamilienhaus	Zweifamilienhaus	Mehrfamilienhaus	Insgesamt
Ölbeheizte Wohnungen	1 000	3 553	2 698	3 599	9 850
Ölbeheizte Gebäude / Heizungen	1 000	3 553	1 349	998	5 900
Volumen je Heizöltank	Liter	5 494	5 494	12 394	
Gesamtes Tankvolumen	Mrd. l	19,52	7,41	12,37	39,30

Quelle: StBA (2012), Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks (2010) und eigene Berechnungen EEFA.

Das mittlere Fassungsvermögen der Heizöltanks in Ein- und Zweifamilienhäusern ist empirisch eine nur schwer festzulegende Größe. Geht man davon aus, dass zur Zeit im Gebäudebestand bei Ein- und Zweifamilienhäusern ein durchschnittliches Fassungsvermögen von rund 5 500 Litern je Behälter, sowie bei Mehrfamilienhäusern von rund

12 400 Litern je Behälter veranschlagt werden kann[108], erhält man die in Tabelle 21 dargestellten Schätzwerte für die gegenwärtigen Tankvolumina. Nach diesen Berechnungen verfügen die Privaten Haushalte, die mit Öl heizen, über ein Tankvolumen in Höhe von ca. 39,3 Mrd. Litern. Es liegt auf der Hand, dass das gesamte Tankvolumen der Privaten Haushalte sensibel auf Veränderungen der Annahmen zum durchschnittlichen Fassungsvolumen der Tankbehälter reagiert.[109]

Ausgehend vom geschätzten Tankvolumen ($TVPH_{max}$, in Mio. Litern) und den Angaben zur monatlichen Tankbestandsentwicklung der Privaten Haushalte ($TFPH_t$), errechnet sich der Heizölbestand bei den Privaten Haushalten ($TBPH_t$, in Mio. Litern) wie folgt:

$$(1) \qquad TBPH_t = TVPH_{max} * TFPH_t * (1 + \frac{TFPH_t - TFPH_{t-1}}{100})$$

Aus Monatsdaten zur Entwicklung des absoluten Heizölbestandes (Gleichung 1) ergibt sich die für Belange der Energiebilanz Deutschland allein relevante jährliche Veränderung der Heizöl-Lagerbestände bei den Privaten Haushalte formal aus:

$$(2) \qquad LBPH_t = TBPH_{Dez(t-1)} - TVPH_{Dez(t)}$$

Die jährlichen Veränderungen der Heizöl-Lagerbestände Privater Haushalte, die sich unter den skizzierten Prämissen errechnen, sind in Schaubild 40 für die Berichtsjahre von 2005 bis 2014 grafisch dargestellt. Die Tankbestände der Privaten Haushalte schwanken i.d.R. zwischen -2,2 und +1,8 Mio. Litern (entspricht 35 748 TJ). Insbesondere in den Jahren 2006 sowie 2008 war ein hoher preisinduzierter Bestandsaufbau zu beobachten (um 1,8 bzw. 1,6 Mio. Litern).

Addiert man die dargestellten Lagerbestandsbewegungen (HEL) zu dem in dieser Studie (Kapitel 3.1) errechneten Heizölverbrauch der Privaten Haushalte, erhält man den Heizölabsatz an die Privaten Verbraucher, der unmittelbar mit den Angaben der Energiebilanz Deutschland verglichen werden kann.[110]

Neben leichtem Heizöl erfasst die Energiebilanz Deutschland im Sektor Private Haushalte als weiteren flüssigen Energieträger den Absatz von Flüssiggas. Um methodisch konsistent zu bleiben muss auch beim Flüssiggas anstelle der abgesetzten Menge der tatsächliche Verbrauch der Privaten Haushalte zur Beheizung von Wohnungen erfasst

[108] Vgl. dazu auch EEFA/IE Leipzig (2008), S. 100, sowie DIW (1995), S. 62.

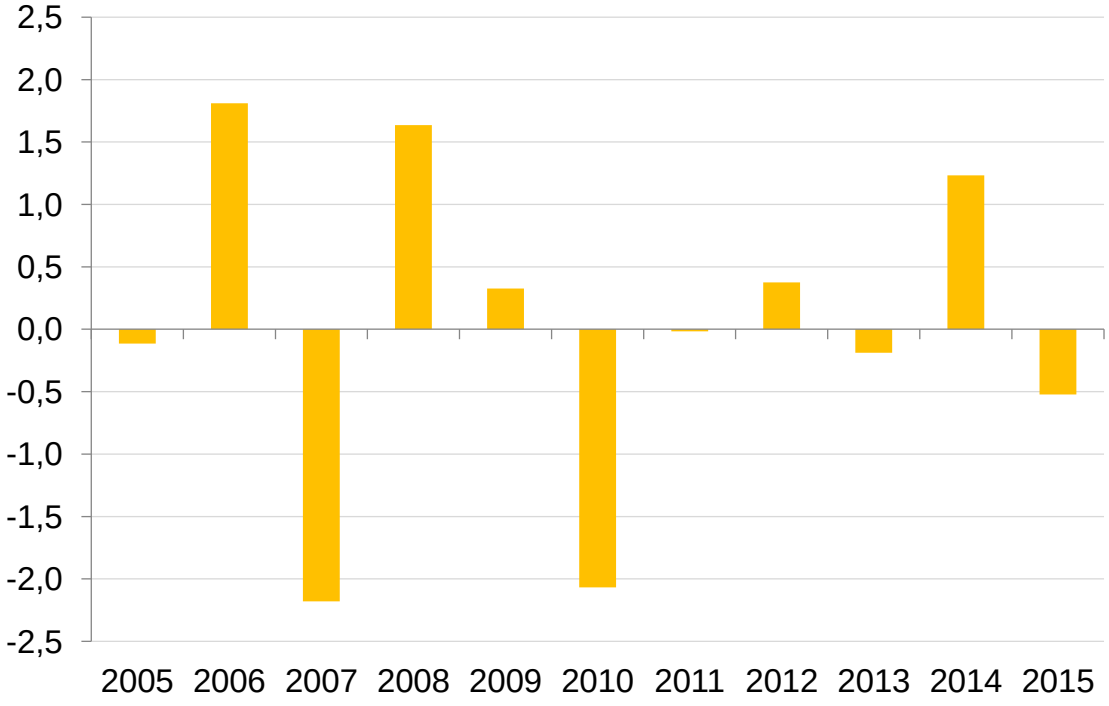
[109] Sollten dazu belastbarere empirische Informationen greifbar sein, können die hier vorgestellten Berechnungsergebnisse ohne großen Aufwand angepasst werden.

[110] Unabhängig davon eröffnet die isolierte Ermittlung der Lagerbestandsbewegungen beim leichten Heizöl im Rahmen der Erstellung der Energiebilanz Deutschland die Möglichkeit, entweder (wie bisher) im Endenergieverbrauch bei den Privaten Haushalten den Absatz zu erfassen, oder die Lagerbestandsbewegungen (im Sinne der Energiebilanzierung korrekt) in der Primärenergiebilanz unter den Bestandsveränderungen zu erfassen.

werden. Leider liegen über die Tanks zur Lagerung von Flüssiggas weder Informationen zum Füllstand, noch zum Fassungsvermögen der Behälter vor. Aus diesem Grund bieten sich zur Bereinigung vorliegenden Zeitreihen zum Flüssiggasabsatz um die Lagerbestandseffekte nur ökonometrische Verfahren oder die einfache Methode der Heizgradtage an. Gemessen am fossilen Energieverbrauch der Privaten Haushalte spielt der Absatz von Flüssiggas mit einem Anteil von weniger als 1,5 % eine eher untergeordnete Rolle (bezogen auf den Heizölabsatz an diesen Sektor beläuft sich der Anteil auf etwa 5 %). Vor diesem Hintergrund wurden die Lagerbestandsbewegungen ausgehend von den in der Energiebilanz Deutschland erfassten Angaben zum Absatz mit der einfachen Methode auf Basis der Heizgradtage ermittelt (vgl. Schaubild 41).

Schaubild 40: Jährliche absolute Veränderung der Tankbestände (HEL) bei Privaten Haushalten

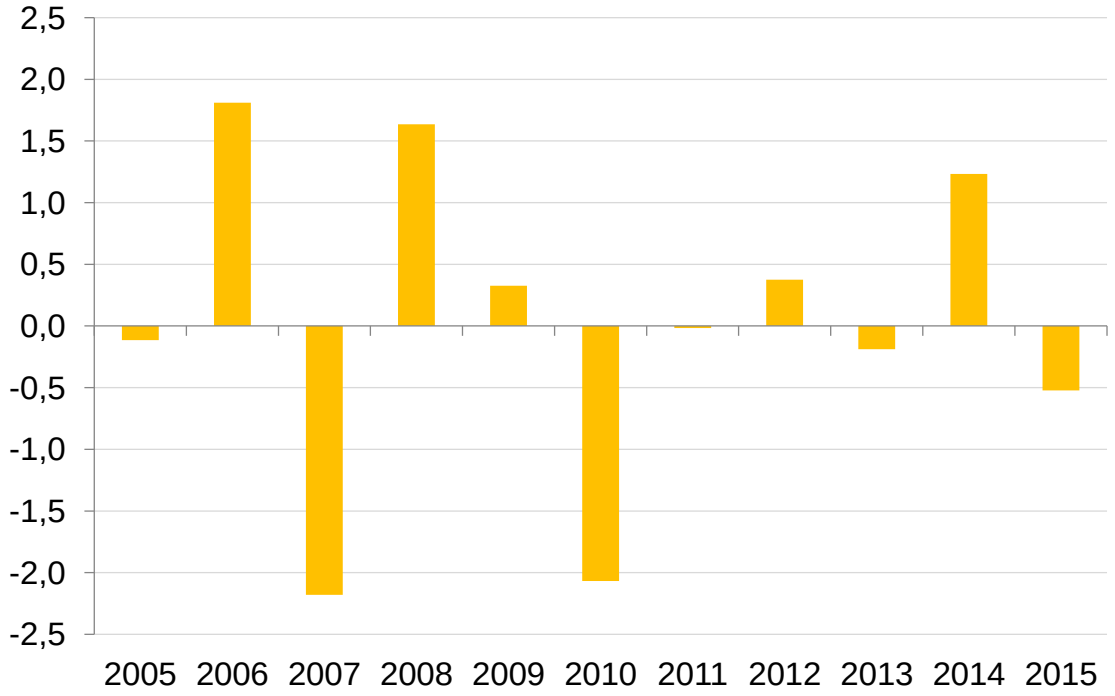
2005 bis 2015, in Mrd. Litern (beobachtet Werte)



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach IPSOS, MWV und Destatis

Schaubild 41: Jährliche absolute Veränderung der Flüssiggas bei Privaten Haushalten

2005 bis 2015, in TJ (auf der Grundlage der AG Energiebilanzen Absatzzahlen)



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA.

Im Unterschied zum Heizöl erfasst die Energiebilanz Deutschland für den lagerfähigen Energieträger Holz in allen Endenergiesektoren den Verbrauch und nicht die abgesetzten Mengen. Die fehlende Erfassung von Bestandsveränderungen ist auch Ausdruck der Tatsache, dass der gesamte Holzverbrauch über die Verwendungsseite auf Basis erhobener Angaben zum Verbrauch in einzelnen Sektoren („bottom-up“) erfasst wird, eine separate Aufkommensrechnung für Energieholz existiert nicht.

Aufgrund dieser Zusammenhänge hätte auch eine theoretische Ermittlung der Lagerbestandsveränderungen bei Holz keine Auswirkungen auf den Primärenergieverbrauch, da die Berücksichtigung nur die „rechnerische“ Energieholzgewinnung im Inland beeinflussen würde.

Ungeachtet dieser Einschränkungen liegen zumindest für einige Teilaggregate der Energieholzverwendung statistische Angaben zu den Bestandsveränderungen des Energieträgers Holz vor. Amtlich erhobene Angaben zu den Lagerbestandsveränderungen lie-

gen zum einen für das Verarbeitende Gewerbe insgesamt, zum anderen aber auch für Teile des Umwandlungssektors (Industriekraftwerke, Kraftwerke der Allgemeinen Versorgung, Fernheizwerke) vor.[111]

Eine erhebliche Datenlücke besteht bei der Erfassung der Bestandsveränderungen (für alle Holzsortimente) in den Sektoren Private Haushalte und GHD.[112] Erschwerend hinzu kommt, dass keine sachgerechte Methode existiert, um von den vorliegenden Berechnungen zum Holzverbrauch auf den Absatz und die damit verbundenen Bestandsveränderungen zu schließen. Die Veränderungen der Lagerbestände an Energieholz für diese Endverbrauchersektoren können folglich nicht ausgewiesen werden (es sei denn Vorräte an Energieholz würden im Rahmen jährlicher Erhebungen empirisch ermittelt). Die aktuelle Entwicklungen beim Holzverbrauch lassen ungeachtet all dieser Schwierigkeiten auf eine nicht unbedeutende Höhe der Holzbestände bei Privaten Haushalten und im GHD-Sektor schließen: Allein der Holzverbrauch der Privaten Haushalte erreichte im Jahr 2013 einen Anteil von rund 48 % am gesamten Primärenergieaufkommen von Holz (dies entspricht 252 PJ).[113]

Damit bleiben drei Möglichkeiten:

- Um die Bestandsveränderungen für den Energieträger Holz auszuweisen, werden lediglich die empirisch vorliegenden Teilaggregate berücksichtigt, wohlwissend, dass der Großteil der Bestandsveränderungen (in den Sektoren GHD und den Privaten Haushalte) unberücksichtigt bleibt.

- Jährliche Erhebungen müssen in den Sektoren durchgeführt werden, um die Bestandsveränderungen ausweisen zu können.

- Entsprechend der bisherigen Vorgehensweise bei der Erstellung der Energiebilanz Deutschland wird vollständig auf die Erfassung von Bestandsveränderungen beim Energieträger Holz verzichtet.

Letztere Option wird bevorzugt, da die Darstellung der Bestandsveränderungen für den Energieträger Holz nicht die gleiche Bedeutung hat, wie dies bei Energieträgern

[111] Für Bestandsveränderungen in kleineren, nicht von der amtlichen Statistik erfassten Biomasseanlagen gibt es hingegen keine Angaben.

[112] Eine Ausnahme bildet das Teilaggregat „Holzpellets“, für das theoretisch eine Bestandsveränderung auch in den Sektoren Private Haushalte und GHD ausgewiesen werden kann. Da für Holzpellets der Absatz insgesamt (vgl. DEPI (2015)) sowie der Verbrauch (der für die jeweiligen Sektoren jeweils als Teilaggregat ausgewiesen werden kann) bekannt ist, lässt sich als Differenz zwischen die Bestandsveränderung berechnen.

[113] Zudem wurde für das Jahr 2010 die Menge an Scheitholz in Lagern der Privaten Haushalte erhoben und hochgerechnet. Der Scheitholzbestand übertrifft danach mit 50,5 Mio. Fm oder rund 450 PJ den Scheitholzverbrauch des Jahres 2010 deutlich um gut das Doppelte, vgl. Mantau, U. (2012a).

der Fall ist, die im Wesentlichen über das Aufkommen erfasst werden (wie Kohle und Mineralölprodukte).

4.2. Bestandsveränderungen im GHD-Sektor

Aus den vorliegenden Zeitreihen zum Heizölverbrauch der Privaten Haushalte (Hochrechnung und Modell) sowie den gewonnenen Informationen zu HEL-Lagerbestandsveränderungen lassen sich Zeitreihen zum Heizölabsatz an den GHD-Sektor im Rahmen der Erstellung der Energiebilanz Deutschland (bzw. aus dem bekannten Heizölabsatz an den Sektor Haushalte und GHD nach der Mineralölstatistik) von 2010 bis 2014 empirisch als Restgröße bestimmen. Zur Bereinigung dieser Restgröße um die Lagerbestandseffekte bieten sich grundsätzlich zwei Methoden an:

- 1) Ein einfaches, rechnerisches Verfahren, das den Heizölabsatz unter Zuhilfenahme der Anwendungsbilanzen in einen witterungsabhängigen und produktionsbezogen Teil aufgliedert, um die Lagerbestandseffekte anschließend mit Hilfe von Indikatoren wie der Anzahl der Heizgradtage oder Produktionsentwicklung zu isolieren (Verfahren 1),

- 2) Ein ökonometrisch gestütztes Verfahren, dass als wesentliche Zusatzinformation die beobachtete Entwicklung des Erdgasverbrauchs im GHD-Sektor (bzw. die für den Erdgasverbrauch im GHD-Sektor geschätzten Preis- und Witterungselastizität) nutzt. Im Gegensatz zum Heizöl ist der Erdgaseinsatz nicht durch Veränderungen der Lagerbestandes verzerrt (Verfahren 2).

- 3) Ein drittes Verfahren, das – unter der Annahme ähnlicher Einsatzbedingungen für leichtes Heizöl in den Sektoren Private Haushalte und GHD – dem GHD-Sektor identische (prozentuale) Lagerbestandsbewegungen unterstellt wie für den Sektor Private Haushalte ermittelt wurden (vgl. Abschnitt 4.1).

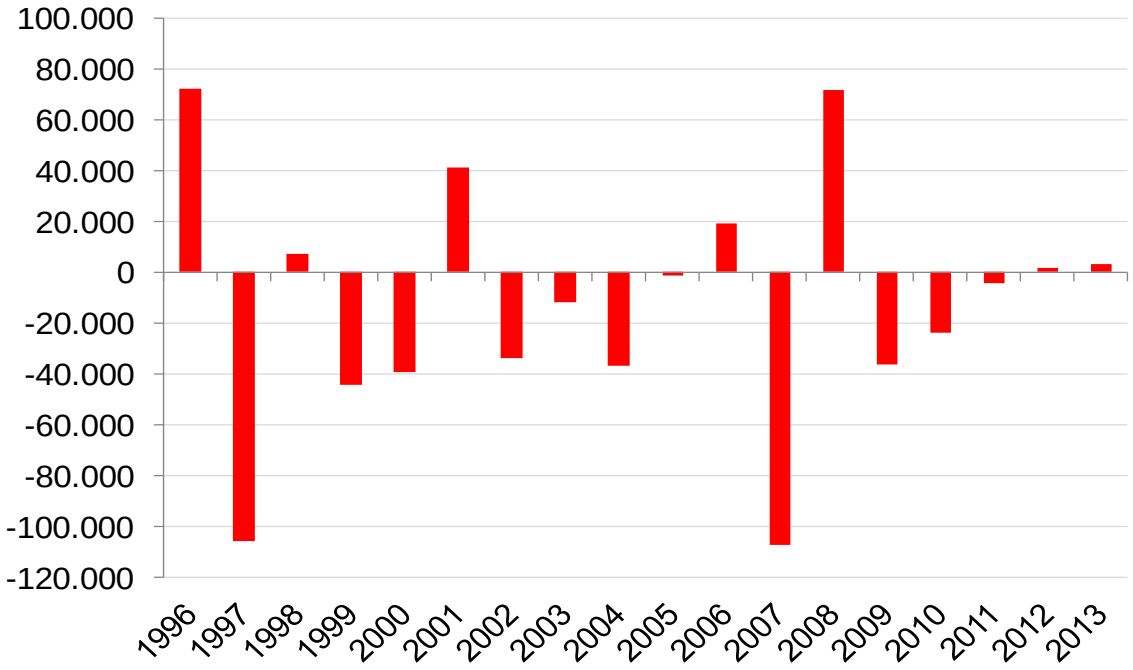
Anknüpfungspunkte für das erste Verfahren bilden die Anwendungsbilanzen. Aus den Anwendungsbilanzen, die die AG Energiebilanzen in jährlichem Abstand publiziert, ist bekannt, dass mehr als die Hälfte des Heizöleinsatzes im Sektor GHD – einmal abgesehen von witterungsbedingten Schwankungen – auf die Beheizung gewerblicher Räume entfällt (zwischen 2003 und 2013 variierte der Raumwärmeanteil nach diesen Angaben zwischen 41 und 55 %).

Aus der Summe der Absatzmengen für Raumwärmezwecke kann unter Zuhilfenahme der Witterungsbedingungen der einzelnen Jahre der Verbrauch errechnet werden, indem die Anzahl der Heizgradtage des Jahres mit der durchschnittlichen Liefermenge je Heizgradtag innerhalb der betrachteten Periode (hier 1996 bis 2013) multipliziert wird. Verwendet man anstelle der Heizgradtage die Produktionsentwicklung des Sektors (bzw. die reale Bruttowertschöpfung), lässt sich eine ähnliche Umrechnung des Absatzes in eine Verbrauchszeitreihe auch für den produktionsbezogenen Teil des Heizölabsatzes durchführen.

Aus der Differenz zwischen dem beobachteten Heizölabsatz (nach Energiebilanz Deutschland bzw. den Daten der Anwendungsbilanzen) und dem errechneten Verbrauch ergibt sich formal die Lagerbestandsveränderung. Allerdings sind die Ergebnisse verzerrt bzw. trendbehaftet. Die Ursache dafür ist, dass die skizzierte Verbrauchsrechnung anhand eines über den gesamten Untersuchungszeitraum konstanten spezifischen Absatzes (Heizölabsatz für Raumwärmezwecke je Heizgradtag oder Heizölabsatz für Produktionszwecke je Einheit Bruttowertschöpfung) erfolgt und deshalb Effizienzgewinne im Umgang mit Heizöl sowie Substitutionsvorgänge außer Acht lässt. Eine weit verbreitete Methode, um Trendeinflüsse (i.e.S. also den Einfluss von Effizienzsteigerungen und Substitutionen) aus Zeitreihen zu eliminieren, ist die Bildung von Differenzen (hier konkret die erste Differenz).

Schaubild 42: Jährliche absolute Veränderung der HEL-Lagerbestände im GHD-Sektor (Verfahren 1)

1996 bis 2013, in TJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach AG Energiebilanzen

Zur Veranschaulichung wurde die beschriebene, mathematische Methode hier auf den Heizölabsatz an den GHD-Sektor angewendet, wie er in der Energiebilanz Deutschland von 1995 bis 2013 erfasst ist.[114] Schaubild 42 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnungen.

Den wichtigsten Ansatzpunkt für das zweite Verfahren zur Bereinigung des Heizölabsatzes an den GHD-Sektor um Lagerbestandseffekte, bildet die ökonometrische Analyse des Erdgasverbrauchs in diesem Verbrauchssegment. Im Gegensatz zu Heizöl zählt Erdgas (zumindest für Endverbraucher) zu den nicht lagerfähigen Energieträgern. Der beobachtete Erdgasverbrauch im GHD-Sektor ist folglich nicht durch Bestandsveränderungen verzerrt. Hinzu kommt, dass sich die Anwendungsbereiche für Erdgas nicht wesentlich von Einsatzgebieten für Heizöl im Sektor GHD unterscheiden (Erdgas wird nach Berechnungen der Anwendungsbilanzen allerdings in höherem Maße als Heizöl zur Beheizung von Gewerberäumen eingesetzt).

Die Kernidee des Verfahrens ist wie folgt:

- Im ersten Schritt wird der beobachtete Erdgasverbrauch des GHD-Sektors (EBZ67S22) im Rahmen einer ökonometrischen Analyse in Abhängigkeit von z.B. dem Erdgaspreis (PE11DG), den Heizgradtagen (HGTD) und einer Trendvariablen zur Erfassung des allgemeinen technischen Fortschritts im Zeitraum von 1995 bis 2015 geschätzt. Es liegt auf der Hand, dass die geschätzten Parameter bzw. Koeffizienten der Regressionsgleichung (vor allem also die Preiselastizität sowie die Witterungssensitivität der Erdgasnachfrage) frei sind von jeglichen Verzerrungen durch Lagerbestandsbewegungen.[115]

- Im zweiten Schritt wird für den Heizölabsatz an den GHD-Sektor eine „modifizierte“ Schätzgleichung aufgestellt, in der die Preiselastizität und Witterungsabhängigkeit der in Schritt I spezifizierten Erdgasnachfragefunktion des Sektors GHD in die ökonometrische Gleichung zur Schätzung des Heizölabsatzes übernommen werden (Formal wird dieser Schritt über die Spezifikation einer transformierten Regressionsgleichung umgesetzt, indem auf der linken Seite der Gleichung von der zu erklärenden Variablen, der aus der Erdgasgleichung bekannte „unverzerrte“ Preis- und Witterungseinfluss abgezogen wird). Das Residuum dieser „modifizierten“ Regressionsgleichung lässt sich als die Veränderung der Heizöllagerbestände im GHD-Sektor interpretieren.

[114] Eine endgültige Lagerbestandsbereinigung des Heizölabsatzes an den GHD-Sektor im Sinne dieser Studie kann erst erfolgen, sobald die Restrechnung für den GHD-Sektor durchgeführt ist, bzw. endgültigen Daten zum Energieverbrauch der Privaten Haushalte vorliegen.

[115] Schätzt man die skizzierte Nachfragefunktion über den identischen Stützzeitraum für den Heizölabsatz an den Sektor GHD (ebenfalls in Abhängigkeit von Heizölpreis, Heizgradtagen und Trend) ergeben sich andere, im Wesentlichen durch Lagerbestandsbewegungen verzerrte Koeffizienten.

Die konkrete Umsetzung des ökonometrischen Verfahrens funktioniert nach folgendem Muster. Die Gleichung zur Schätzung der Erdgasnachfrage des GHD-Sektors hat z.B. die folgende Form:

Dependent Variable: EBZ67S22
Method: Least Squares
Date: 08/04/16 Time: 11:49
Sample (adjusted): 1997 2015
Included observations: 19 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PE11DG(-2)	-78.60302	111.4791	-0.705092	0.4916
HGTD	6.286809	42.03622	0.149557	0.8831
@TREND	-1463.875	5732.079	-0.255383	0.8019
C	468685.4	147686.9	3.173507	0.0063

R-squared	0.442180	Mean dependent var	423107.4
Adjusted R-squared	0.330616	S.D. dependent var	46222.76
S.E. of regression	37817.56	Akaike info criterion	24.10360
Sum squared resid	2.15E+10	Schwarz criterion	24.30243
Log likelihood	-224.9842	Hannan-Quinn criter.	24.13725
F-statistic	3.963468	Durbin-Watson stat	1.874515
Prob(F-statistic)	0.028951		

Eine ähnliche Gleichung ergibt sich, wenn der Heizölabsatz an den GHD-Sektor (EBZ67S14) im Stützzeitraum zwischen 1997 und 2015 geschätzt wird. Allerdings sind die geschätzten Regressionskoeffizienten bei dieser Gleichung verzerrt, da die zu erklärende Variable Veränderungen der Lagerbestände beim leichten Heizöl einschließt.

Dependent Variable: EBZ67S14
Method: Least Squares
Date: 08/04/16 Time: 12:05
Sample: 1995 2015
Included observations: 21

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PE08IN	-2.459053	73.16993	-0.033607	0.9736
HGTD	91.89700	26.80936	3.427795	0.0032
@TREND	-11618.25	2469.360	-4.704964	0.0002
C	65006.67	99552.53	0.652989	0.5225

R-squared	0.897902	Mean dependent var	274366.4
Adjusted R-squared	0.879885	S.D. dependent var	88248.88
S.E. of regression	30584.96	Akaike info criterion	23.66405
Sum squared resid	1.59E+10	Schwarz criterion	23.86300
Log likelihood	-244.4725	Hannan-Quinn criter.	23.70723
F-statistic	49.83570	Durbin-Watson stat	2.132547
Prob(F-statistic)	0.000000		

Die „modifizierte“ Schätzgleichung zur Erklärung des Heizölabsatzes an den GHD-Sektor, in die die „wahre“ Preiselastizität (sowie Witterungsabhängigkeit) aus der Erdgasgleichung übernommen wurde, lautet:

Dependent Variable: EBZ67S22-78.6030203289*PE08IN+6.28680864821 *HGTD
Method: Least Squares
Date: 08/04/16 Time: 12:43
Sample: 1997 2015
Included observations: 19

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
@TREND	-7788.503	1554.561	-5.010099	0.0001
C	498183.3	19102.76	26.07912	0.0000

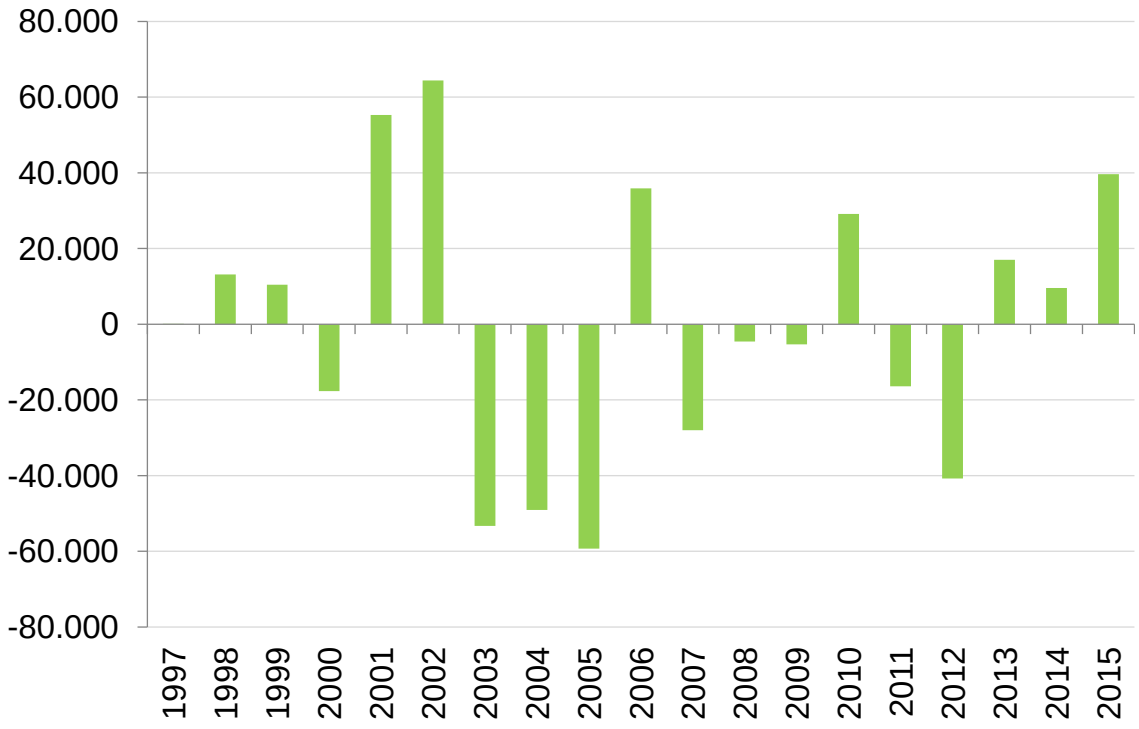
R-squared	0.596210	Mean dependent var	412509.8
Adjusted R-squared	0.572458	S.D. dependent var	56761.72
S.E. of regression	37114.63	Akaike info criterion	23.98071
Sum squared resid	2.34E+10	Schwarz criterion	24.08013
Log likelihood	-225.8168	Hannan-Quinn criter.	23.99754
F-statistic	25.10109	Durbin-Watson stat	1.802144
Prob(F-statistic)	0.000107		

Das Residuum dieser „modifizierten“ und rücktransformierten Gleichung kann als Schätzung der Lagerbestandsveränderungen beim leichten Heizöl im GHD-Sektor interpretiert werden (vgl. Schaubild 43). Es mag als überraschend empfunden werden, dass die Lagerbestandbewegungen beim leichten Heizöl nach Berechnungen mit der „ökonometrischen“ Methode innerhalb einer deutlich engeren Bandbreite (zwischen -70 und + 40 PJ) schwanken, als dies bei Anwendung des vereinfachten Rechenmodells zur Ermittlung der HEL-Lagerbestandsveränderungen (Verfahren 1) der Fall ist. Die Erklärung für dieses Ergebnis liegt in der Tatsache begründet, dass das hier vorgestellte ökonometrisch gestützte Verfahren in der Lage ist, den Einfluss zusätzlicher Parameter (wie z.B. des Energiepreises auf die Verbrauchsentwicklung) genauer zu erfassen. Diese Einflussgrößen können im Rahmen des vereinfachten, mathematischen Verfahrens nicht berücksichtigt werden, so dass hier die Gefahr besteht, dass verhaltensbedingte Einflüsse von Energiepreisveränderungen (sowie Substitutionen) „fälschlicherweise“ den Lagerbestandsbewegungen zugeordnet werden.[116]

[116] Ein weiterer Vorteil der ökonometrisch gestützten Lagerbestandsbereinigung ist, dass dieses Verfahren ohne Zusatzinformationen zur Aufteilung des Energieverbrauchs nach Anwendungszwecken (die ebenfalls mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind) auskommt.

Schaubild 43: Jährliche absolute Veränderung der HEL-Lagerbestände im GHD-Sektor (Verfahren 2)

1997 bis 2015, in TJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach AG Energiebilanzen

Die empirischen Befunde (und hier insbesondere die höhere Plausibilität der Ergebnisse) sprechen also dafür, zur Bereinigung des Heizölabsatzes[117] um Lagerbestandseffekte auf die ökonometrische Methode zurückzugreifen.

So plausibel die hier vorgestellten Ansätze zur rechnerischen Bestimmung der Lagerbestandsveränderungen beim leichten Heizöl im GHD-Sektor im Einzelfall sein mögen, sowohl die flexiblere ökonometrische Methode (unter Berücksichtigung der Energiepreis- und Witterungsentwicklung), als auch das einfache statische Konzept zur Ermittlung der Lagerbestandsveränderungen mit Hilfe der Heizgradtage (bzw. Produktionsentwicklung), weisen einen gemeinsamen Nachteil auf: Jede Aktualisierung der verwendeten Zeitreihen verändert die Schätzgleichung (ökometrisches Verfahren) oder den Koeffizienten der sich aus dem kumulierten Energieverbrauch der betrachten Periode dividiert durch die kumulierte Anzahl der Heizgradtage (Heizgradtagemethode) ergibt.

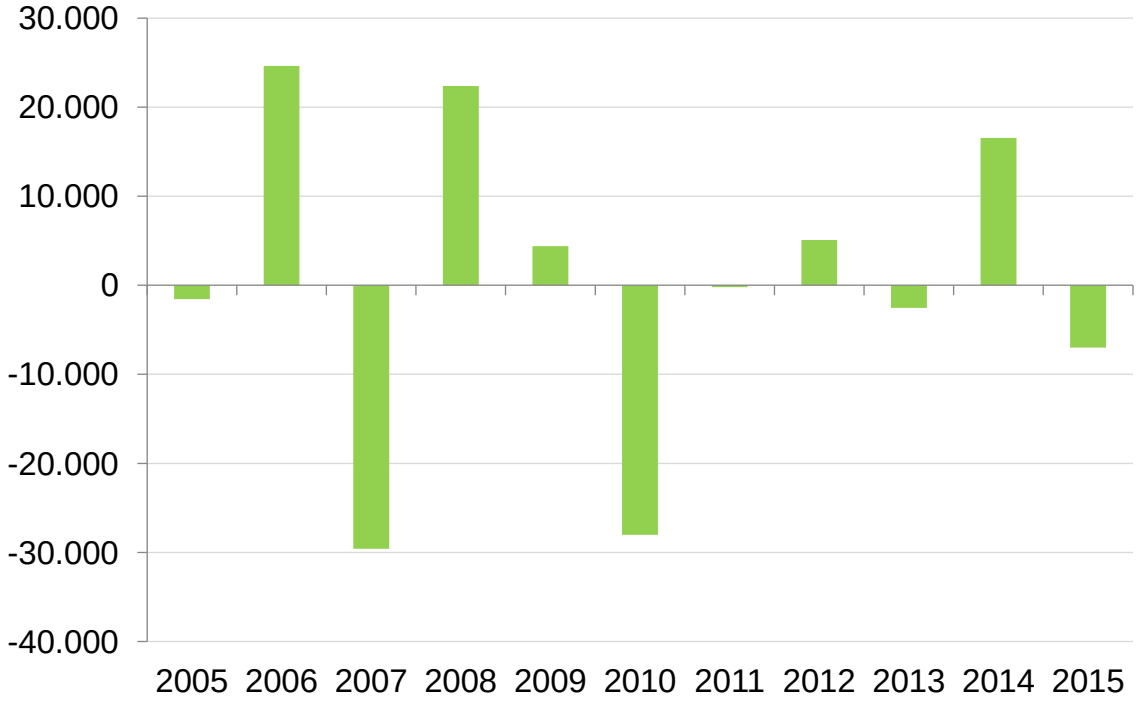
[117] Der Heizölabsatz wird in dieser Studie letztlich im Rahmen der weiter oben skizzierten Restrechnung ermittelt.

Aus alledem folgt, dass die Aktualisierung der Zeitreihen laufend rückwirkende Korrekturen an bereits ermittelten Daten zu den Lagerbestandsveränderungen nach sich ziehen würde.

Die damit verbundenen laufenden Revisionen der Energiebilanz stellen für die AG Energiebilanzen keine akzeptable Vorgehensweise dar. Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen dieser, an der pragmatischen Umsetzung der Methoden orientierten, Studie vorgeschlagen, die für die Privaten Haushalte ermitteltet Lagerbewegzungen beim leichten Heizöl als (prozentualen) Schätzwert für den GHD Sektor zu verwenden (vgl. Schaubild 44).[118]

Schaubild 44: Jährliche absolute Veränderung der HEL-Lagerbestände im GHD-Sektor (Verfahren 3)

2005 bis 2015, in TJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach AG Energiebilanzen

[118] Die in der Schätzgleichung für die der Tankfüllbestände ermittelten Koeffizienten für den Preiseinfluss und die Witterung werden als fixe Werte genommen, da eine Neuschätzung der Gleichung aufgrund fehlender Daten nicht möglich ist.

Die vorstehenden, hypothetischen Rechnungen zur Ermittlung der HEL-Lagerbestandsveränderungen im GHD-Sektor blenden die noch durchzuführende Restrechnung zur Neubestimmung des Heizölabsatzes an den GHD-Sektor noch explizit aus (die hier dargestellten Berechnungen der HEL-Lagerbestandsveränderungen basieren auf den Angaben zum Heizölabsatz wie sie von der AG Energiebilanzen bislang publiziert wurden).

In Kapitel 6 dieser Studie werden die Veränderungen der HEL-Lagerbestände berücksichtigt, wie sie sich aus der Anwendung der o.g. Verfahren auf die im Rahmen der Restrechnung ermittelten Absatzmengen von leichtem Heizöl an den GHD-Sektor ergeben.

5. Ermittlung des Energieverbrauchs für den GHD-Sektor

Nachdem die Zeitreihen für den Endenergieverbrauch sowie die Langerbestandsveränderungen für den Sektor der Privaten Haushalte in den vorangegangenen Kapiteln ermittelt wurden, lassen sich nun energiebilanzkonsistente Zeitreihen zum Energieverbrauch des Sektors GHD im Wege der Restrechnung bestimmen.

Eine Restrechnung für den Sektor GHD ist logischerweise nur möglich, wenn zum einen das Aufkommen des jeweiligen Energieträgers bekannt ist und als Eckgröße für die Restrechnung dienen kann. Zum anderen müssen die Ablieferungen an die bzw. die Verbräuche der anderen Endenergieverbrauchssektoren (Industrie und Verkehr) bekannt sein, um den Sektor GHD als Restgröße bilden zu können.[119]

Bedeutsame Beschränkungen bei der Anwendung des Restrechnungskonzeptes ergeben sich demnach für die folgenden Energieträger:

- Dieselkraftstoffe, die im GHD-Sektor („Non-Road"- Bereiche: Ackerschlepper und Maschinen in der Land- sowie Forstwirtschaft, Baumaschinen usw.) eingesetzt werden. Die Zuordnung des Dieselkraftstoffverbrauchs zum Sektor „Straßenverkehr" erfolgt in der Energiebilanz bereits über eine Restrechnung.

- Ottokraftstoffe, die im GHD-Sektor (Motorsägen, Rasenmäher, etc.) eingesetzt werden. Die Zuordnung des Ottokraftstoffverbrauchs zum Sektor „Straßenverkehr" erfolgt in der Energiebilanz ebenfalls über eine Restrechnung.

- Die Durchführung des Restrechnungskonzeptes wird darüber hinaus bei biogenen flüssigen und gasförmigen[120] Energieträgern sowie sonstigen erneuerbaren Energien verhindert, deren Aufkommen bottom-up aus dem Verbrauch berechnet wird. In diesem Arbeitsschritt werden daher für diese Energieträger ergänzende, modellgestützte Zeitreihen für den Sektor GHD ermittelt.

- Strom lässt sich erst dann als Rest ermitteln, wenn auch die Einsätze im Straßenverkehr (Elektromobilität) bekannt sind, die für private Verkehrszwecke genutzt werden. Diese müssen vom Stromverbrauch der privaten Haushalte abgezogen werden.

Zur Ermittlung des Endenergieverbrauchs des Sektors GHD werden aus diesem Grund im Folgenden zunächst die Zeitreihen für diejenigen Energieträger ermittelt, für die das

[119] Der Verbrauch der Industrie ist statistisch erfasst. Der Verbrauch des Straßenverkehrssektors liegt hingegen nicht flächendeckend vor.

[120] Ausgenommen sind Klärgas und Deponiegas. Aufgrund von empirisch erhobenen Informationen zum Aufkommen ist das Restrechnungskonzept im GHD-Sektor nun anwendbar.

Restrechnungskonzept nicht anwendbar ist. Anschließend wird das Restrechnungskonzept auf die verbleibenden Energieträger angewendet.

5.1. Ermittlung zusätzlicher Zeitreihen für den GHD-Sektor

5.1.1. Ermittlung des Verbrauchs von Solarthermie im GHD-Sektor

Die Ermittlung des Verbrauchs solarthermischer Energie zur Raumheizung und Warmwasserbereitstellung (darunter zur Erwärmung von Beckenwasser in Hallen- und Freibädern), zur Erzeugung von Prozesswärme sowie von Klima- und Prozesskälte im GHD-Sektor erfolgt grundsätzlich unter denselben Prämissen wie für die Privaten Haushalte (vgl. Kapitel 3.4).

Zunächst wird mit dem ZSW-Solarthermiemodell die installierte Kollektorfläche nach Kollektortypen, Sektoren, Anwendungen, Bundesländern und Monaten ermittelt. Tabelle 22 fasst die detaillierten Ergebnisse zusammen.

Im zweiten Schritt wird der Kollektorertrag aus der Kollektorfläche berechnet.[121] Die Ergebnisse sind in Tabelle 23 zusammengefasst.

Das EEFA-Wohnungsmodell dient im Wesentlichen zur Abschätzung von Wärmebedarf und Wärmeverbrauch nach Energieträgern im Sektor der Privaten Haushalte. Bedauerlich ist, dass dieses Modell für den GHD-Sektor keine Ergebnisse bereit stellt. Um den tatsächlichen Wärmeverbrauch im GHD-Sektor dennoch sauber und methodisch konsistent zum Vorgehen im Sektor der Privaten Haushalte abschätzen zu können, wird die Relation von tatsächlichem Wärmeverbrauch zum Kollektorertrag in Privaten Haushalten in der Zeit von 2010 bis 2015, die für die Anwendungen Raumwärme und Warmwasser ermittelt wurde, vereinfachend auf den GHD-Sektor übertragen (vgl. Kapitel 3.4).

Für die Richtigkeit dieser vereinfachten Annahme spricht die Vermutung, dass auch im GHD-Sektor der Wärmebedarf zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung tendenziell antizyklisch zum Kollektorertrag verläuft (explizit ausgenommen davon sind allerdings solarthermische Anwendungen zur Bereitstellung von Prozesswärme, Klima- und Prozesskälte sowie Beheizung des Wassers von Schwimmbädern), so dass auch hier ein großer Teil der Solarstrahlung nicht als Endenergie genutzt werden kann.

---

[121] Die Kollektordurchschnittstemperatur für Schwimmbadabsorber beträgt 30 °C, vgl. ESTIF (2007). Der durchschnittliche Konversionsfaktor beträgt 0,76, die Wärmeverlustfaktoren erster und zweiter Ordnung betragen 17,57 $W/m^{2}*k$ sowie 0,088 $W/m^{2}*K^{2}$. Eigene Berechnungen ZSW nach Solarserver (2016).

Tabelle 22: Netto-Kollektoraperturfläche im GHD-Sektor

2010 bis 2015, in 1 000 m²

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Kollektorfläche insg.	866,6	902,0	939,5	967,5	993,0	1 023,8
Flachkollektoren	281,9	294,6	307,4	312,9	314,9	317,4
Raumwärme	149,4	158,3	167,5	171,8	174,3	179,8
Warmwasser	129,9	133,5	136,9	138,2	137,8	134,7
Prozesswärme	2,6	2,8	3,0	2,9	2,8	2,9
Klima/Prozesskälte	0	0	0	0,0	0,0	0,0
Röhrenkollektoren	27,9	30,5	35,3	37,7	41,2	44,4
Raumwärme	16,4	18,1	21,0	22,5	24,6	27,9
Warmwasser	11,2	12,2	13,8	14,7	16,1	16,1
Prozesswärme	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Klima/Prozesskälte	0	0	0	0	0	0
Luftkollektoren	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3
Raumwärme	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1
Warmwasser	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Prozesswärme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Klima/Prozesskälte	0	0	0	0	0	0
Absorber	555,7	575,7	595,7	615,7	635,7	660,7
Hallenbäder	522,8	541,2	559,7	578,2	596,7	619,8
Freibäder	32,9	34,5	36,0	37,5	39,0	40,9

Abweichungen in den Summen durch Rundungen.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

Tabelle 23: Kollektorertrag im GHD-Sektor nach Anwendungen

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Raumwärme	289	394	381	359	428	469
Warmwasser	1 076	1 302	1 300	1 246	1 319	1 462
darunter Schwimmbäder	787	926	948	922	941	1 070
Prozesswärme	4	6	6	6	6	7
Klima/Prozesskälte	0	0	0	0	0	0
Gesamt	1 369	1 701	1 687	1 610	1 753	1 937
darunter Landwirtschaft	33	43	41	37	44	48

Abweichungen in den Summen durch Rundungen.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

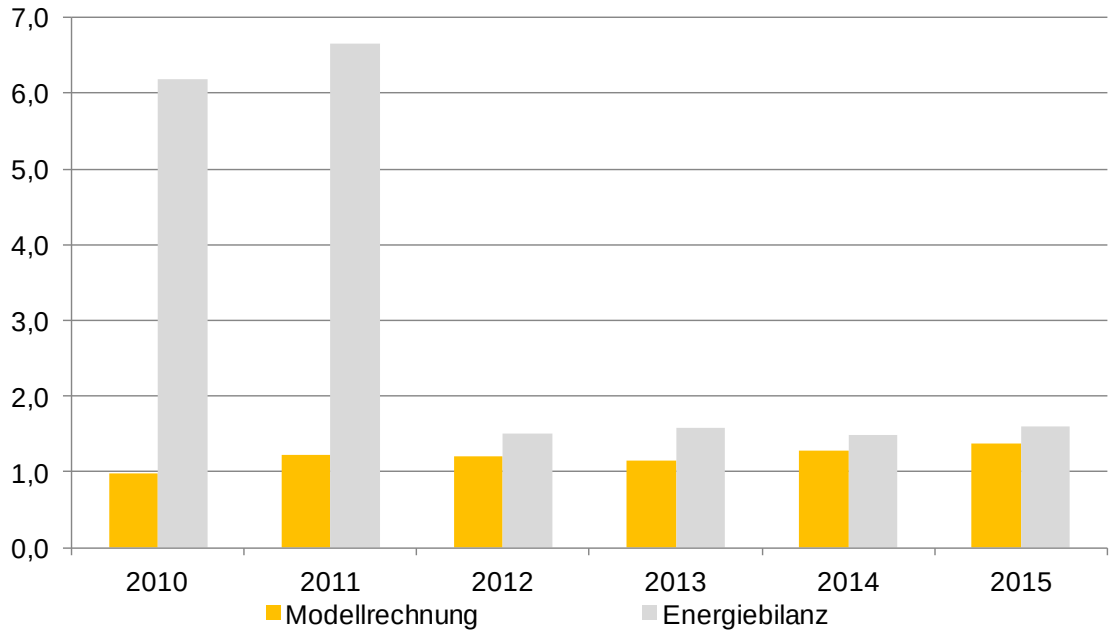
Tabelle 24 stellt die Ergebnisse zum Endenergieverbrauchs an Solarthermie im GHD-Sektor zusammenfassend dar. Zusätzlich ist der ermittelte Verbrauch an solarthermischer Energie im GHD-Sektor in Schaubild 45 grafisch für die Jahre von 2010 bis 2015 aufbereitet. Zur besseren Einordung der empirischen Befunde wird die in dieser Studie ermittelte Zeitreihe den Ergebnissen der Energiebilanz Deutschland gegenübergestellt.

Tabelle 24: Gesamter Verbrauch solarthermischer Energien im GHD-Sektor
2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
tatsächl. Verbrauch (Raumwärme, Warmwasser)	1 344	1 588	1 575	1 504	1 646	1 818
darunter Schwimmbäder	787	926	948	922	941	1 070
Prozesswärme	4	6	6	6	6	7
Klima/Prozesskälte	0	0	0	0	0	0
Summe	1 348	1 594	1 581	1 510	1 653	1 825
darunter Landwirtschaft	30	35	33	30	37	*40*

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA/ZSW.

Schaubild 45: Verbrauch von solarthermischer Energie des GHD-Sektors
2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen ZSW. *2015: vorläufig.

5.1.2. Ermittlung des Verbrauchs von Umweltwärme im GHD-Sektor

Zur energiebilanzkompatiblen Abbildung des gesamten Verbrauchs von Umweltwärme in Deutschland ist es erforderlich, auch die Verbräuche im GHD-Sektor darzustellen. Zu beachten ist gleichwohl, dass das Restrechnungskonzept bei diesem Energieträger ausscheidet, da das Aufkommen an Umweltwärme nicht empirisch bestimmt werden kann. Die Ermittlung des Verbrauchs von Umweltwärme im Sektor GHD erfolgt deshalb unter denselben Prämissen wie für den Sektor der Privaten Haushalte.[122]

Insgesamt ergeben sich für den Sektor GHD, darunter der Sektor Land- und Forstwirtschaft, die in Tabelle 25 dargestellten Verbräuche von Umweltwärme nach Technologien. Es zeigt sich, dass durchschnittlich nur rund 3 % der Energie im Sektor GHD eingesetzt wird.

Tabelle 25: Verbrauch von Umweltwärme im Sektor GHD

2010 bis 2015, in TJ

Wärmepumpen-typ	Gesamt	darunter elektrisch betrieben				darunter gasmo-torisch
Wärmeträger-medium	Gesamt	Luft	Abluft	Wasser	Sole	
2010	769	252	6	149	352	10
2011	905	314	6	161	411	14
2012	975	343	6	165	434	27
2013	1 047	373	7	168	447	53
2014	1 159	417	7	172	486	77
2015	1 298	503	8	175	515	97
darunter im Sektor Land- und Forstwirtschaft						
2010	5	1	0	1	3	0
2011	6	2	0	1	3	0
2012	9	3	0	2	4	0
2013	13	4	0	3	5	0
2014	18	6	0	4	8	0
2015	21	6	0	4	10	0

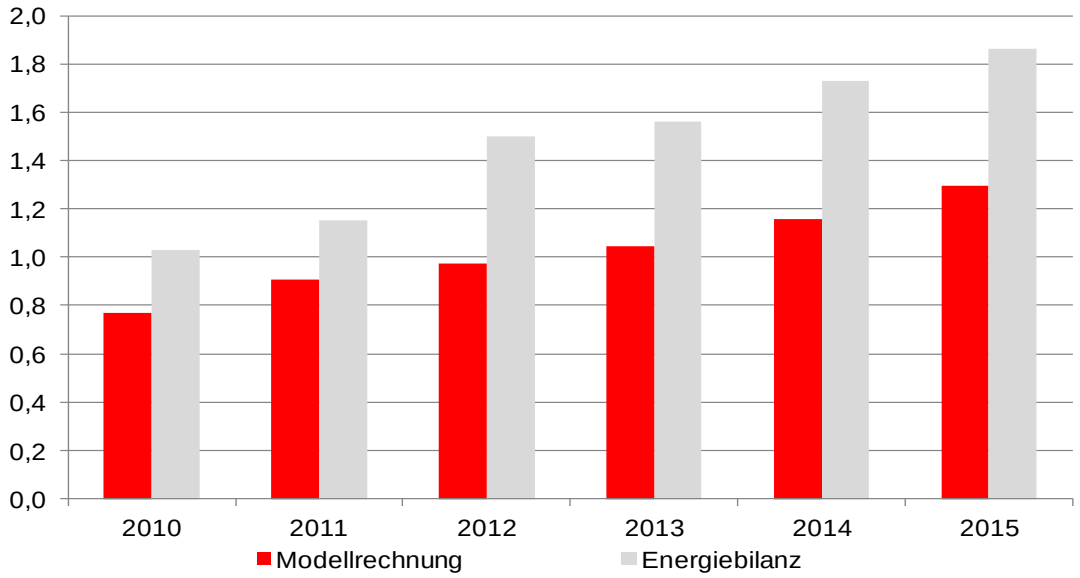
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach GZB (2008), GZB (2014), BWP (2016) und Vorjahre.

[122] Vgl. Kapitel 3.5 sowie EEFA et al. (2015), Kapitel 6.1.2.4 und 6.2.1.6.

In Schaubild 46 ist der Verbrauch von Umweltwärme im GHD-Sektor grafisch für die Jahre von 2010 bis 2015 dargestellt und den jeweiligen Ergebnissen der Energiebilanz Deutschland (Satellitenbilanz erneuerbare Energien) gegenübergestellt. Es zeigen sich, wie auch bei den Privaten Haushalten, nur marginale Unterschiede zur bisherigen Zeitreihe, die insbesondere auf die bessere Datenbasis bei der Abgrenzung zwischen den Sektoren Private Haushalte und GHD zurückzuführen sind.

Schaubild 46: Verbrauch von Umweltwärme des GHD-Sektors

2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen ZSW. *2015: vorläufig.

5.1.3. Ermittlung des Verbrauchs von flüssiger und gasförmiger Biomasse im GHD-Sektor

5.1.3.1. Ermittlung des Verbrauchs von flüssiger und gasförmiger Biomasse insgesamt

Wie bereits in Kapitel 3.6 ausführlich dargelegt, liegen empirisch erhobene Daten zum Einsatz der Energieträger flüssige Biomasse, Biogas und Biomethan generell, speziell jedoch in den Privaten Haushalten und im GHD-Sektor, nur sehr lückenhaft vor. Hinzu kommt, dass das gesamte inländische Aufkommen dieser Energieträger zur energetischen Verwertung nur eine „bottom-up“, aus den vorliegenden Verbrauchsangaben

errechnete, Größe ist.[123] Vor diesem Hintergrund scheitert das Restrechnungskonzept zur Bestimmung des Energieverbrauchs im GHD-Sektor bei diesen Energieträgern. Folglich müssen die Zeitreihen zum Einsatz flüssiger und gasförmiger Biomasse im GHD-Sektor im Wege von Modellrechnungen ermittelt werden.

Aus Konsistenzgründen wird daher in dieser Studie derselbe methodische Ansatz gewählt, der auch zur Berechnung des Energieverbrauchs an flüssiger Biomasse und Biogas bei den Privaten Haushalte zum Zuge gekommen ist (vgl. dazu Kapitel 3.6). Tabelle 26 fasst die Ergebnisse für den Sektor GHD, darunter Landwirtschaft, zusammen. Dargestellt ist darüber hinaus der Verbrauch von flüssiger Biomasse als Beimischung zu Otto- und Dieselkraftstoffen, der ausführlich in den folgenden Kapiteln 5.1.5 und 5.1.6 beschrieben wird.

Tabelle 26: Verbrauch von flüssiger Biomasse, Biogas und Biomethan des GHD-Sektors in Deutschland

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
flüssige Biomasse (inkl. Beimischungen)	10 175	7 517	7 162	6 248	6 526	6 154
darunter Landwirtschaft (inkl. Beimischungen)	6 264	4 924	4 916	3 955	4 057	3 682
Biogas	20 482	24 472	35 344	40 597	42 605	44 533
darunter Landwirtschaft	11 343	13 758	20 724	24 115	24 948	26 077
Biomethan	267	659	1 923	2 727	3 217	4 356
darunter Landwirtschaft	73	185	346	473	574	777

* Vorläufige Daten.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

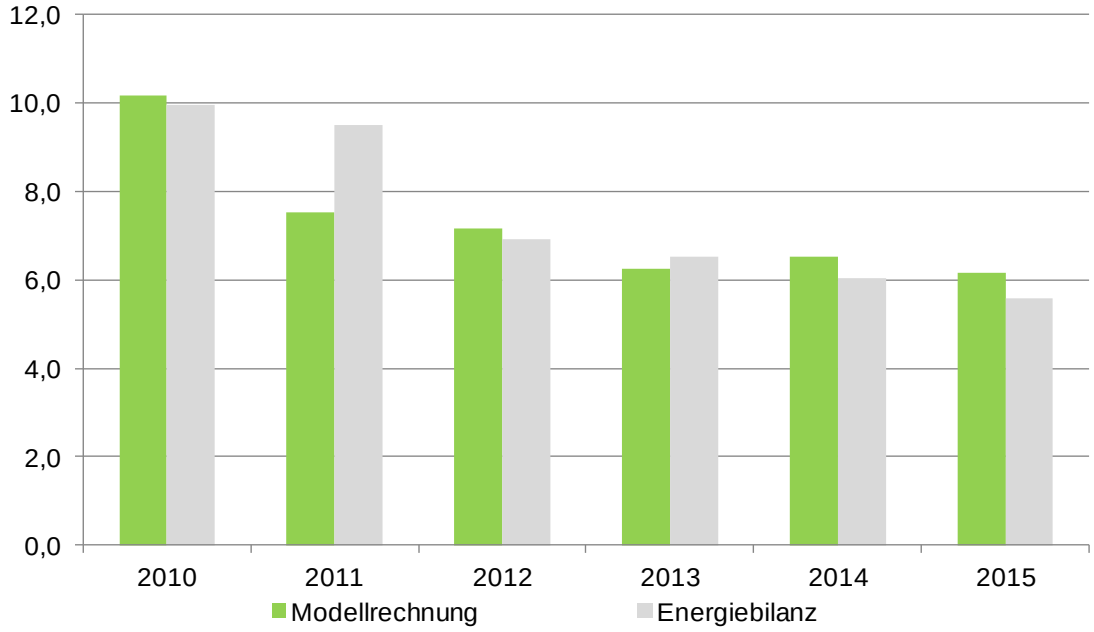
In Schaubild 47 und Schaubild 48 wird der Verbrauch von flüssiger und gasförmiger Biomasse im GHD-Sektor grafisch für die Jahre von 2010 bis 2015 dargestellt und den jeweiligen Ergebnissen der Energiebilanz Deutschland (Satellitenbilanz erneuerbare Energien) gegenübergestellt.[124] Die Abweichungen von den bisherigen Zeitreihen sind im Wesentlichen auf methodische Unterschiede zurückzuführen. Speziell bei der gasförmigen Biomasse kommt hinzu, dass der Verbrauch von Biomethan nun über die gesamte Zeitreihe hinweg dargestellt werden kann.

[123] Das Aufkommen von Biomethan in Deutschland wird im Gegensatz zum Aufkommen von flüssiger Biomasse sowie (Roh-) Biogas einmal jährlich von der Bundesnetzagentur erhoben, diese Angaben werden jedoch in der Energiebilanz derzeit noch nicht berücksichtigt, siehe hierzu Kapitel 5.1.3.2.

[124] In der Grafik wird der Verbrauch von Klärgas jeweils berücksichtigt. Dies ist der gegenwärtigen Darstellung von Energieträgern in der Satellitenbilanz erneuerbare Energien geschuldet, im Rahmen derer Klärgas und Biogas als Summe ausgewiesen werden.

Schaubild 47: Verbrauch von flüssiger Biomasse des GHD-Sektors

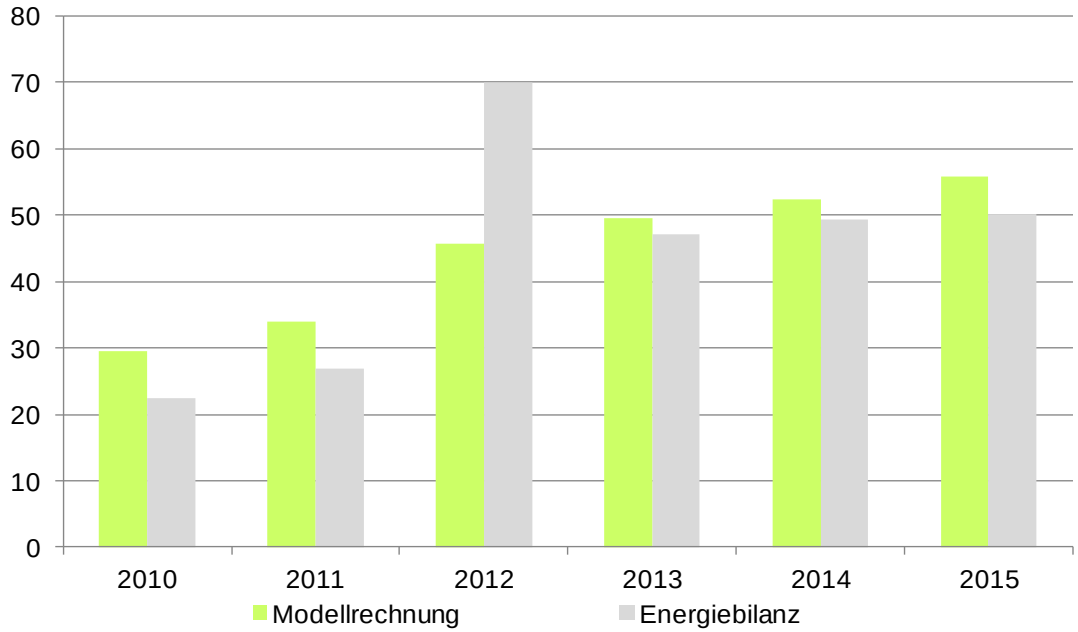
2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen ZSW. *2015: vorläufig.

Schaubild 48: Verbrauch von gasförmiger Biomasse des GHD-Sektors

2010 bis 2015, in PJ, inkl. Verbrauch von Klärgas im GHD-Sektor, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen ZSW. *2015: vorläufig.

5.1.3.2. Exkurs: Energiebilanzkompatible Darstellung von Biomethan

Biomethan ist ein Sekundärenergieträger, der mittels verschiedener Verfahren in speziellen Aufbereitungsanlagen in der Regel aus Biogas, in Einzelfällen auch aus Klärgas, hergestellt wird.[125] Ziel der Aufbereitung auf Erdgasqualität ist die Einspeisung in das Erdgasnetz und damit die Nutzung eines weitverzweigten Transport- und Speichersystems.

In der Energiebilanz Deutschland (bzw. der Satellitenbilanz Erneuerbare Energien) sind das Aufkommen und der Verbrauch von Biomethan nicht direkt sichtbar. Vielmehr wird Biomethan unter dem Energieträger Biogas (in der Bilanz als Teil der Energiebilanzspalte: Biomasse und erneuerbare Abfälle) subsummiert. Im Jahr 2014 betrug der Anteil des Biomethans am gesamten Endenergieverbrauch von Biogas in Privaten Haushalten und im Sektor GHD rund 9,2 %.

Insgesamt liegen nun auf der Grundlage dieser Studie sowohl für den Verbrauch von Biomethan in Privaten Haushalten, als auch im GHD-Sektor vollständige Zeitreihen für die Jahre von 2010 bis 2015 vor. Zugleich eröffnen die neu ermittelten Zeitreihen grundsätzlich die Möglichkeit, den Energieträger Biomethan zur Erhöhung der Transparenz in der Energie- bzw. Satellitenbilanz in einer separaten Spalte darzustellen.

Zur sachgerechten Bilanzierung des Biomethans in einer isolierten, konsistenten Gesamtbilanz bzw. Energiebilanzspalte, die sowohl die Aufbereitung (Umwandlung) von Biogas zu Biomethan, als auch den Einsatz von Biomethan in den einzelnen Verbrauchssektoren erfasst, sind einige methodische Vorüberlegungen notwendig. Die Realisierung einer separaten Ausweisung der Biomethan-Bilanz kann grundsätzlich im Rahmen unterschiedlicher, methodischer Ansätze erfolgen:

- Konzept der „**Biomethan-Marktbilanz“**: Die Energiebilanz Deutschland nutzt seit dem Berichtsjahr 2013 das theoretische Konzept der „Biomethan-Marktbilanz“ zur Aufgliederung des Aufkommens an Biomethans nach Sektoren. Dieses Konzept stützt sich im Wesentlichen auf Daten der Energieversorger und Anlagenbetreiber (darunter im Industriesektor), die Biomethankontingente kaufen und beispielsweise virtuell in Kraftwerken einsetzen oder als Fahrzeug-

[125] Zur Produktion von Biomethan wird zunächst Roh-Biogas von seinen Bestandteilen wie u.a. H_2S und Wasserdampf gereinigt. Anschließend wird der Methangehalt erhöht, indem Inertgasbestandteile wie CO_2 abgeschieden werden. Nach der Feinanpassung von Druck und Brennwert sowie der Beimischung von Geruchsstoffen wird Biomethan schließlich in das Erdgasnetz eingespeist. Aktuell befinden sich in Deutschland fünf verschiedene Verfahren zur CO_2-Abtrennung sowie Methananreicherung im Einsatz: Die Druckwechsel-Adsorption (Pressure Swing Adsorption), die Druckwasserwäsche, die physikalische Absorption mit organischen Lösungsmitteln (Aminwäsche), die chemische Absorption mit organischen Lösungsmitteln (Genosorb-Wäsche) sowie ein Membranverfahren. Kryogene Verfahren werden in Deutschland bislang im Bereich der Biogasaufbereitung noch nicht großtechnisch angewendet. Vgl. FNR (2012) und FNR (2014).

kraftstoff weiterverkaufen.[126] Zur Erfassung der Biomethanmengen, die in Privaten Haushalten zur Strom- und Wärmeerzeugung in Mikro-KWK-Anlagen dienen, kommen zusätzlich ergänzende Modellrechnungen zum Einsatz.[127] Der „fiktive" Biomethan-Verbrauch konzentriert sich nach diesem Konzept somit auf wenige Sektoren. Das gesamte Aufkommen an Biomethan und der Primärenergieverbrauch Biomethan ergeben sich „bottom-up" aus der Summe der Verbräuche in den einzelnen Sektoren.

- Konzept der „**Physischen Biomethan-Bilanz**": Nach diesem Ansatz folgt der Verbrauch von Biomethan in allen Sektoren dem des Erdgases. Biomethan wird überwiegend in das Erdgasnetz eingespeist. Aus der eingespeisten Menge an Biomethan und dem (statistisch bekannten) Aufkommen an Erdgas im Inland entsteht ein „Mischgas". [128] Die Verbraucher des Mischgases aus den Fraktionen Erdgas und Biomethan können das vorgegebene Mischungsverhältnis nicht beeinflussen (selbstverständlich ist auch eine getrennte Entnahme von Erdgas oder Biomethan nicht möglich). Das Konzept der Physischen Biomethan Bilanz weist somit jedem Erdgasverbraucher die „gesamtwirtschaftlich" ermittelte Quote für den Anteil des Biomethans im Erdgasnetz zu. Als wesentlicher Nachteil des Verfahrens der Physischen Biomethan-Bilanz muss angemerkt werden, dass spezifische Entwicklungen, die auf die Fördermechanismen des EEG oder des Biokraftstoff-Quotengesetzes zurückgehen, nicht korrekt abgebildet werden können. Dazu gehören im Wesentlichen der vermehrte Rückgriff auf dezentrale BHKW, die mit Biomethan befeuert werden, ebenso wie der Trend zu Erdgasfahrzeugen, die mit verschieden Biomethan-Quoten betankt werden. Eine Evaluierung besonderer Zielerreichungspfade für den Ausbau erneuerbarer Energien wäre auf dieser empirischen Grundlage nicht möglich.

- Konzept einer **„Biomethan-Hybrid-Bilanz"**: Der Hybrid-Ansatz stellt gewissermaßen eine Erweiterung des bereits skizzierten Konzeptes der „Biomethan-Marktbilanz" (der alle verfügbaren amtlichen Daten aufgreift) um die von der Bundesnetzagentur im Rahmen des Biogas-Monitorings erhobenen Informationen zum Aufkommen von Biomethan in Deutschland dar.[129] Als Folge dieser

[126] In geringem Umfang haben Gasanbieter zudem sog. Ökogas-Tarife im Programm, die es Privatkunden ermöglichen, mit Biomethan (in verschiedenen Beimischungsgraden) zu heizen.

[127] Durch die örtliche Entkopplung von Brennstoff-Erzeuger und -Verbraucher, kann die während des KWK-Prozesses anfallende Wärme nahezu vollständig genutzt werden. Vgl. auch Kapitel 3.6.

[128] Das Inlandsaufkommen von Erdgas errechnet sich aus der Inländischen Produktion, dem Außenhandel sowie den Lagerbestandsveränderungen (Primärenergieverbrauch). Hingegen wird das Inlandsaufkommen von Biomethan jährlich durch die Bundesnetzagentur erhoben. Eine Schwierigkeit besteht darin, den Außenhandel bzw. speziell den Import von Biomethan korrekt abzubilden. Hierzu ist es theoretisch notwendig, die Zusammensetzung des Erdgas/Biomethan-Gemisches im Gasnetz der acht deutschen Nachbarländer isoliert darzustellen. Eine aufgrund der noch geringen Mengen vertretbare Vereinfachung ist an dieser Stelle, den Import und analog dazu auch den Export von Biomethan zu vernachlässigen.

[129] Vgl. BNetzA (2016) sowie BNetzA (2014) und Vorjahre.

Erweiterung bietet der Hybrid-Ansatz ebenfalls die Grundvoraussetzung für die Durchführung einer Restrechnung. Allerdings bildet in diesem Fall nicht der Verbrauch im GHD-Sektor (der konsistent zum Biomethan-Verbrauch der Privaten Haushalten modellgestützt ermittelt wird) die zu errechnende Restgröße, sondern die Ein- und Ausspeicherung von Biomethan (Lagerbestandsveränderung) in Erdgasspeichern. Als zusätzlicher Vorteil des Hybridansatzes ist die vollständige und konsistente Darstellung des gesamten Umwandlungsprozesses vom Roh-Biogas bis hin zum Biomethan zu nennen.

Tabelle 27: Alternative Konzepte zur Darstellung des Energieträger Biomethan in der Energiebilanz Deutschland

2014, in TJ

	Markt-Bilanz (bisheriger Ansatz)	Physische Bilanz (alternativer Ansatz)	Hybrid-Bilanz (neuer Ansatz: Restrechnung)
Gewinnung im Inland	21 640	0	0
Bestandsveränderungen	0	-154	-182
Umwandlungseinsatz	15 107	4 723	15 107
Umwandlungsausstoß	0	21 834	21 834
E.-Verbr. im Umw.-Bereich	19	570	19
Fackel- und Leitungsverluste	0	3	0
Nicht-energetischer Verbrauch	0	955	0
Statistische Differenzen	0	629	0
Endenergieverbrauch Industrie	244	6 400	244
Endenergieverbrauch Verkehr	1 883	61	1 883
Endenergieverbrauch Haushalte	4 387	6 408	1 546 *
Endenergieverbrauch GHD	0	3 189	3 217 *

* Ergebnisse der im Rahmen dieser Studie durchgeführten aktuellen Modellrechnungen in den Sektoren Private Haushalte und GHD sind bereits integriert.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

Vor dem Hintergrund dieser knappen Analyse gibt Tabelle 27 einen Überblick über das Aufkommen und den Verbrauch von Biomethan in der auf Hauptsektoren verkürzten Biomethan-Bilanz nach den hier vorgestellten Konzepten. Auffällig beim direkten Vergleich der Konzepte der Physischen-, der Markt- und der Hybrid-Biomethanbilanz sind vor allem Verschiebungen innerhalb des Energieverbrauchs der Sektoren Industrie, Verkehr und Private Haushalte sowie dem Umwandlungseinsatz. Die wesentliche Ursache hierfür liegt in der Verbrauchsstruktur des Erdgases. Im Gegensatz zu Biomethan

dient Erdgas überwiegend der Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme in den genannten Sektoren. Hingegen wird Erdgas in verhältnismäßig geringerem Umfang für Transportzwecke eingesetzt.

All dies zeigt, dass der Hybridansatz ein geeignetes Konzept zur konsistenten und lückenlosen Darstellung der Einspeisung und des Verbrauchs von Biomethan in der Energiebilanz Deutschland darstellt. Hinzu kommt, dass die modellgestützte Ermittlung von Zeitreihen zum Biomethan-Verbrauch der Privaten Haushalte und des GHD-Sektors in Verbindung mit dem Rückgriff auf verfügbare, quasi-amtlich erhobene Daten zum Aufkommen eine rechnerische Bestimmung der Lagerbestandveränderungen als Restgröße ermöglicht.[130] Insbesondere in den Jahren 2009 bis 2011 überstieg das Angebot an Biomethan die Nachfrage spürbar, was dazu führte, dass erhebliche Mengen an Biomethan eingespeichert wurden.[131]

Die separate Erfassung bzw. Darstellung des Energieträgers Biomethan in der Energiebilanz Deutschland bildet zugleich die notwendige Voraussetzung dafür, in Zukunft ggf. auch den Umwandlungseinsatz von Roh-Biogas zur Erzeugung von Biomethan (sowie die Umwandlungseinätze von Biomasse zur Produktion des Roh-Biogases) darzustellen.

Im Jahr 2014 waren in Deutschland 178 Biomethan-Aufbereitungsanlagen mit einer Aufbereitungskapazität von 200 000 m^3 Roh-Biogas pro Stunde in Betrieb, für das Jahr 2015 wird ein Zuwachs auf insgesamt 196 Anlagen prognostiziert.[132] Nach Angaben der Bundesnetzagentur erzeugten die 178 Aufbereitungsanlagen im Jahr 2014 insgesamt 688 Mio. Nm^3 Biomethan, die in das Erdgasnetz eingespeist wurden. Im Sinne der Energiebilanz Deutschland handelt es sich dabei um einen Umwandlungsausstoß in Höhe von 21,8 PJ, der im Sektor „Sonstige Energieerzeuger“ verbucht werden muss.[133]

---

[130] Die korrekte Bestimmung der Lagerbestandsveränderungen als Restgliedgröße setzt selbstverständlich voraus, dass alle übrigen Energiebilanz-Positionen inkl. der Fackel- und Leitungsverluste bekannt sind bzw. vorliegen. Die Leitungsverluste beim Erdgas (und damit verbunden auch beim Biomethan) sind vernachlässigbar gering. Hinzu kommt, dass bei der Aufbereitung von Biomethan in der Regel keine Fackelverluste auftreten. Allerdings sind bei der Produktion von Roh-Biogas durchaus Fackelverluste üblich: So betragen die Fackellaufzeiten im Volllastbetrieb - nach Angaben des DBFZ - bei Biogasanlagen bis zu 70 kW etwa eine Stunde pro Jahr, bei Biogasanlagen bis 150 kW ca. 4 Stunden pro Jahr, bei Biogasanlagen bis 500 kW ca. 5 Stunden pro Jahr und schließlich bei Biogasanlagen ab 500 kW rund 6 Stunden pro Jahr. Rechnet man diese Informationen auf den Bestand aller Biogaserzeugungsanlagen in Deutschland hoch, ergeben sich daraus Fackelverluste in Höhe von 310 TJ im Jahr 2014. Zusätzlich enthält die Fachserie 19, Reihe 1 primärstatistische Informationen zu Fackelverlusten in biologischen (abzüglich der Position Biogas- und Vergärungsanlagen) sowie mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen in Höhe von 50 TJ im Jahr 2014. Insgesamt ergeben sich also 360 TJ, die für die vollständige Darstellung des Biogas-Aufkommens eigentlich berücksichtigt werden müssen. Vgl. DBFZ (2015), StBA (2016c). Abschließend ist der Hinweis von Bedeutung, dass Fackelverluste bei der Nutzung von Roh-Biogas (ebenso wie der Einsatz biogener Stoffe zur Erzeugung des Roh-Biogases) in der Energiebilanz Deutschland bislang nicht betrachtet werden.

[131] Vgl. DENA (2012).

[132] Vgl. DBFZ (2015)

[133] Die eingespeiste Biomethanmenge wird in Mio. Nm^3 angegeben und muss daher in energetische Einheiten (Heizwertbasis) umgerechnet werden. Derzeit sind insgesamt drei kleinere Aufbereitungsstandorte (Jameln, Bottrop, Danneberg) bekannt, die das gewonnene Biomethan nur teilweise oder gar nicht ins Erdgasnetz einspeisen, sondern direkt als reiner Fahrzeugkraftstoff an

Tabelle 28: Anzahl der Biomethan-Aufbereitungsanlagen nach Technologie
2010 bis 2015, Anzahl

	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Aminwäsche	17	30	39	51	54	57
Druckwasserwäsche	14	25	36	46	51	54
Druckwechsel-Adsorption	16	21	30	34	39	42
Genosorb-Wäsche	4	8	12	17	22	29
Membranverfahren	1	1	3	9	12	14
Gesamt	52	85	120	157	178	196
spezifischer Methan-verlust in %	1,567	1,424	1,518	1,591	1,678	1,730
spezifischer Stromver-brauch in kWh/m³	0,196	0,194	0,198	0,198	0,201	0,204

* Vorläufige Daten.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach FNR (2012), DBFZ (2015). Zum Teil aus Grafiken abgelesene Werte.

Zur Vervollständigung der Biomethan-Bilanz ist vor diesem Hintergrund sowohl der Umwandlungseinsatz zur Erzeugung des Biomethans sowie der Energieverbrauch der Biomethan-Aufbereitungsanlagen im Umwandlungsbereich zu ermitteln.

Bei der Berechnung des Umwandlungseinsatzes ist zu beachten, dass die Umwandlung von Roh-Biogas zu Biomethan keineswegs verlustfrei verläuft. Der spezifische Methanverlust der Aufbereitung, der das Verhältnis von Methan, das nicht in den Produktgasstrom gelangt, zum Methan im eingesetzten Roh-Biogas widerspiegelt, variiert je nach Art der Aufbereitungstechnologie (vgl. Tabelle 28).

Obwohl genaue empirische Informationen zum Umwandlungsverlust bei der Biomethan-Aufbereitung nicht verfügbar sind, ist eine grobe Abschätzung auf Basis der in der Literatur verfügbaren Durchschnittsparameter für die eingesetzten Technologien möglich.[134] Nimmt man eine verhältnismäßig gleichmäßige Auslastung der Biomethan-

Tankstellen verkaufen. Genauere Angaben sind nicht verfügbar, aufgrund der vergleichsweise geringen Anlagenzahl kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Mengen vernachlässigbar sind. Vgl. hierzu http://www.biogastankstelle.de/index.php?option=com_content&view=article&id=101&Itemid=64, http://www.biogas-kanns.de/links/Biogas-Atlas/Dannenberg/447d45/ sowie http://www.bema-biogas.de/index.php/Biomethan.html.

[134] Vgl. FNR (2012). Der durchschnittliche Methaschlupf wird für die Aminwäsche mit 0,1 %, für die Genosorb-Wäsche mit 1-4 %, für die Druckwasserwäsche mit 0,25-2 %, für das Druckwechsel-Adsorptionsverfahren mit 1-5 % sowie für die Membranverfahren mit 2-8 % des Einsatzes angegeben.

Aufbereitungsanlagen an, ergibt sich für das Jahr 2014 ein durchschnittlicher „Methan-Schlupf“ in Höhe von 1,68 % für den gesamten Anlagenpark. Der Biogaseinsatz (Umwandlungseinsatz) zur Aufbereitung beläuft sich damit, wie in Tabelle 30 dargestellt, auf 22,2 PJ im Jahr 2014.

Der Energieverbrauch bei der Umwandlung von Biogas zu Biomethan entfällt im Wesentlichen auf elektrischen Strom. Um für den gesamten Stromeinsatz zur Biomethan-Aufbereitung zu ermitteln, muss die Technologie des eingesetzten Aufbereitungsverfahrens berücksichtigt werden. Der Stromverbrauch schwankt je nach Verfahren zwischen 0,06 kWh/m^3 (Minimum) und 0,33 kWh/m^3 (Maximum).[135] Aus den vorliegenden Informationen zu den technologiespezifischen Stromeinsätzen errechnet sich für 2014 im Durchschnitt über den gesamten Anlagenpark ein spezifischer Stromverbrauch bei 0,20 kWh pro m^3 Roh-Biogas.

Tabelle 29: Substratzusammensetzung des Roh-Biogases bei der Aufbereitung zu Biomethan

2010 bis 2015, in %

	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Gülle/Exkremente	11,0	11,0	13,8	13,0	3,0	3,0
Nachwachsende Rohstoffe	80,0	82,0	81,5	77,0	88,0	88,0
Reststoffe	2,0	1,0	0,6	7,0	2,0	2,0
Bioabfall	7,0	6,0	4,2	3,0	7,0	7,0
nachrichtlich						
Methan-Anteil im Roh-Biogas	54,6	54,4	54,4	54,9	53,7	53,7

* Vorläufige Daten.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach DBFZ (2015) und Vorjahre.

[135] Vgl. FNR (2012). Der durchschnittliche Stromverbrauch beträgt bei der Aminwäsche 0,06-0,15 kWh/m^3, bei der Genosorb-Wäsche 0,23-0,33 kWh/m^3, bei der Druckwasserwäsche 0,20-0,30 kWh/m3, beim Druckwechsel-Adsorptionsverfahren 0,20-0,25 kWh/m^3 sowie bei den Membranverfahren 0,18-0,25 kWh/m^3.

Tabelle 30: Vollständige Darstellung der Biomethan-Bilanz für Deutschland
2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Gewinnung im Inland	0	0	0	0	0	0
Bestandsentnahmen	0	0	0	0	182	0
Bestandsaufstockungen	5 309	7 678	8 985	771	0	1 896
Umwandlungseinsatz Biomethan	0	0	0	9 963	15 107	17 173
Umwandlungsausstoß Biomethan	5 690	8 730	13 118	16 503	21 834	27 500
Energieverbrauch im Umwandlungsbereich	0	0	0	20	19	20
Endenergieverbrauch Industrie	0	0	0	207	244	241
Endenergieverbrauch Verkehr	0	0	1 267	1 732	1 883	1 721
Endenergieverbrauch Private Haushalte	114	393	943	1 083	1 546	2 093
Endenergieverbrauch GHD-Sektor	267	659	1 923	2 727	3 217	4 356
nachrichtlich						
Umwandlungseinsatz Biogas	*5 779*	*8 854*	*13 317*	*16 765*	*22 201*	*27 976*
Energieverbrauch im Umwandlungsbereich Strom	*236*	*359*	*551*	*685*	*943*	*1 203*

* Vorläufige Daten.
** Die vorliegende Studie bezieht sich auf die veröffentlichten Energiebilanzen 2010 bis 2014 sowie die vorläufige Energiebilanz 2015 (Stand Juli 2016). Da in dieser Studie die Analyse des Energieverbrauchs in den Sektoren Private Haushalte und GHD im Fokus steht, sind ggf. aktuellere Daten zum Umwandlungseinsatz sowie zum Sektor Verkehr in der vorliegenden Tabelle für rückwirkende Jahre nicht berücksichtigt.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

Mit Hilfe des spezifischen Stromverbrauchs (kWh/m^3 Roh-Biogas) lässt sich anhand des Einsatzes von Roh-Biogas (in m^3) in der Aufbereitung der absolute Stromverbrauch (in der Energiebilanz als Energieverbrauch im Umwandlungsbereich erfasst) einfach durch Multiplikation errechnen. Der Roh-Biogaseinsatz wurde in dieser Studie bereits ermittelt, liegt allerdings in energetischen Einheiten vor (22,2 PJ, vgl. Tabelle 30). Zur Umrechnung in natürliche Einheiten (m^3) ist ein Heizwert erforderlich. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass der Heizwert eng mit dem Methan-Anteil des Roh-

Biogases korreliert ist, wobei der Methan-Anteil selbst je nach Art des eingesetzten Substrats variiert.[136] Der Methangehalt des Roh-Biogases liegt bei Einsatz nachwachsender Rohstoffe zwischen 50 % und 55 Vol.-%. Werden hingegen biogene Reststoffe wie Abfälle oder Exkremente vergärt, können Methangehalte bis zu 70 Vol.-% erreicht werden.[137] Die durchschnittlichen energiebezogenen Substrateinsätze zur Produktion von Roh-Biogas sind in Tabelle 29 dargestellt.

Vor diesem Hintergrund lässt sich unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Methangehaltes der Umwandlungseinsatz an Roh-Biogas (2014: 22,2 PJ) in physische Einheiten (m³) umrechnen. Insgesamt wurde nach diesen Berechnungen im Jahr 2014 Roh-Biogas in der Größenordnung von 1,3 Mrd. m^3 (inkl. CO_2) zu Erdgasqualität (Biomethan) aufbereitet bzw. zur Umwandlung eingesetzt. Dieser Umwandlungseinsatz war mit einem Stromverbrauch in Höhe von 943 TJ verbunden.

Die Ergebnisse der vollständigen Biomethan Bilanz sind in Tabelle 30 zusammenfassend für die die Berichtsjahre von Jahre 2010 bis 2015 dargestellt.

5.1.4. Ermittlung des Verbrauchs von Holzkohle im GHD-Sektor

Wie bereits in Kapitel 3.3 erläutert, wird Holz- und Grillkohle im Wesentlichen in Privaten Haushalten verwendet. Allerdings findet sich in zunehmendem Maße auch sogenannte Restaurant-Holzkohle in den Sortimenten der Anbieter.[138] Diese spezielle Grillkohle wurde im Hinblick auf die besonderen Anforderungen des Gastgewerbes entwickelt und unterscheidet sich insbesondere durch schnelleres Zündverhalten, die gleichmäßigeren Brenneigenschaften sowie den höheren Produktpreis von der gängigen Holz- und Grillkohle für den privaten Gebrauch.

Nach eigenen Schätzungen beläuft sich der Anteil der hochwertigen Restaurant-Holzkohle am gesamten Verbrauch im Jahr 2015 rund 4 %. Im Ergebnis resultiert daraus ein Endenergieverbrauch an Restaurant- bzw. Holzkohle im GHD-Sektor in Höhe von rund 0,3 PJ im Jahr 2015 (vgl. Tabelle 31).

---

[136] Roh-Biogas ist ein typischerweise ein Gasgemisch, dass neben CH_4 und CO_2 geringe Mengen Spurengase enthält und vollständig Wasserdampf-gesättigt ist.

[137] Vgl. FNR (2014).

[138] Darüber hinaus wird Holzkohle in geringem Umfang als Filterstoff oder Katalysatorträger in der chemischen Industrie stofflich genutzt. Der nicht-energetische Verbrauch beträgt nach Herstellerangaben durchschnittlich rund 1 % des gesamten Verbrauchs von Holzkohle (82 TJ im Jahr 2015).

Tabelle 31: Energieverbrauch an Holzkohle im GHD-Sektor
2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Verbrauch im GHD-Sektor	320	333	359	332	328	338

Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

5.1.5. Ermittlung des Dieselverbrauchs für den GHD-Sektor

Im Wirtschaftszweig Gewerbe, Handel und Dienstleistungen konzentriert sich der Einsatz von Dieselkraftstoff im Wesentlichen auf die Subsektoren „Land- und Forstwirtschaft“ sowie die „Bauwirtschaft“.[139] Darüber hinaus nutzt das Militär in nennenswertem Umfang Dieselkraftoff zum Betrieb von Fahrzeugen und Maschinen.

Zeitreihen zum Absatz von Dieselkraftstoff an einzelne Endverbraucher, die dem GHD-Sektor zuzurechnen sind, stellt die amtliche Mineralölstatistik lediglich für den Sektor „Militär“ zur Verfügung. Lieferungen an die übrigen Wirtschaftszweige des GHD-Sektors wie z.B. die Land- und Forstwirtschaft sowie die Bauwirtschaft müssen über andere Wege ermittelt werden.

Die Energiebilanz Deutschland weist für das Jahr 2014 im GHD-Sektor einen Dieselkraftstoffverbrauch bzw. -absatz in Höhe von 90 044 TJ aus, der statistisch über die amtlichen Mineralöldaten erfasste Absatz an das Militär hat mit 735 TJ daran nur einen sehr geringen Anteil.

<u>Land- und Forstwirtschaft</u>

Dieselkraftstoff dient in der Land- und Forstwirtschaft zum Antrieb land- und forstwirtschaftlicher Maschinen (z.B. Traktoren in der Landwirtschaft oder Harvestern in der Forstwirtschaft), die nicht zum Straßenverkehr (im Sinne der Energiebilanz) gezählt werden, sondern zum sogenannten „Non-Road“-Bereich.

Der Dieselverbrauch land- und forstwirtschaftlicher Maschinen ließe sich grundsätzlich ebenfalls im Rahmen einer modellgestützten Analyse der Altersstruktur des Maschinenparks, der Nutzungsintensität der jeweiligen Maschinenkategorie sowie deren spe-

[139] Darüber hinaus wird Diesel z.B. in der Fischerei (Schiffsantrieb) eingesetzt. Aufgrund der sehr geringen Bedeutung dieses Wirtschaftszweigs in Deutschland wird auf die Ermittlung der Verbräuche jedoch verzichtet und nur diejenigen Verbräuche abgebildet, die eine größere empirische Relevanz für die Erstellung der Energiebilanz aufweisen. Dies trifft in erster Linie auf die oben genannten Bereiche zu.

zifischen Kraftstoffverbrauch „bottom"-up ermitteln. Modellgestützte Verfahren zur Ermittlung von Energiedaten kommen im Rahmen dieser Studie allerdings nur zum Einsatz, sofern keine anderen statistischen Möglichkeiten zur Berechnung des Energie- oder Kraftstoffverbrauchs im betrachteten Wirtschaftszweig bestehen. Für Zwecke der Erstellung vollständiger Energiebilanzen ist die unmittelbare Berechnung erforderlicher Energiedaten aus Statistiken, dem Einsatz von Modellen zur Datengewinnung selbstverständlich vorzuziehen.

Eine „statistische" Möglichkeit den Dieselkraftstoffverbrauch im Wirtschaftszweig Land- und Forstwirtschaft für die Zeit von 2010 bis 2015 herzuleiten, bieten die in jährlichem Abstand durch das Bundesministerium der Finanzen veröffentlichten Subventionsberichte.[140] Der Subventionsbericht listet u.a. sämtliche Steuermindereinnahmen auf, die dem Staat über die sog. Agrardieselvergünstigung für Unternehmen und Betriebe der Land- und Forstwirtschaft entstehen. Er bildet damit eine valide empirische Ausgangsbasis, um den Dieselverbrauch der Land- und Forstwirtschaft zu berechnen:

Betriebe der Land- und Forstwirtschaft erhalten einen ermäßigten Energiesteuersatz für Gasöle (Diesel, inkl. beigemischter Mengen), (reine) Biokraftstoffe und Pflanzenöle.[141] Für den Einsatz dieser Kraftstoffe zum Antrieb von Maschinen können die Betriebe der Land- und Forstwirtschaft einen Antrag auf Steuerentlastung stellen (Agrardieselvergünstigung). Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass sich der Verbrauch von Dieselkraftstoffen in der Land- und Forstwirtschaft im Prinzip rechnerisch über die Division der durch die Agrardieselvergünstigung induzierten Steuermindereinnahmen durch den reduzierten Steuersatz ergibt.[142]

Gegenwärtig beträgt die Vergünstigung für Dieselkraftstoff 21,48 c/l, reiner Biodiesel wird mit 45 c/l begünstigt, Pflanzenöle mit 44,033 c/l. Aus der Verbrauchsstruktur und den jeweiligen Ermäßigungssätzen für Dieselkraftstoff, Biodiesel und Pflanzenöl errechnet sich ein mengengewichteter, durchschnittlicher Ermäßigungs- bzw. Vergünstigungssatz.

Als Approximation für die Verbrauchsstruktur in der Land- und Forstwirtschaft werden die jeweiligen Anteile der Kraftstoffarten (Diesel, reine Biokraftstoffe, Pflanzenöl)

[140] Vgl. Deutscher Bundestag (2015) und ältere Ausgaben.

[141] Ermäßigungen gelten für den Einsatz von Energieerzeugnissen zur Bodenbewirtschaftung. Gesetzlich geregelt ist dies in §57 Energiesteuergesetz (vgl. Deutscher Bundestag (2006)).

[142] Dies ist nicht immer möglich gewesen, da in den Jahren vor 2008 gewisse Einschränkungen eine flächendeckende Rückerstattung verhinderten (eine Obergrenze von 100 000 l je Betrieb, sowie ein Selbstbehalt in Höhe von 350 € pro Betrieb). Diese Einschränkungen wurden zunächst ausgesetzt und im Jahr 2011 aufgehoben, so dass davon auszugehen ist, dass aktuell für die gesamten Dieseleinsätze in der Land- und Forstwirtschaft die Rückerstattungen auch beantragt werden.

am Kraftstoffverbrauch im gesamten deutschen Absatzmarkt herangezogen, die den amtlichen Mineralöldaten entnommen werden können.[143] Aus alledem errechnet sich für 2015 ein gewichteter Ermäßigungssatz in Höhe von 21,483 c/l Kraftstoff, der aufgrund der aktuell sehr geringen mengenmäßigen Bedeutung der Biokraftstoffe nahezu dem regulären Ermäßigungssatz für Dieselkraftstoffe entspricht (vgl. Tabelle 32).

Tabelle 32: Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs (Diesel, Biodiesel und Pflanzenöl) der Land- und Forstwirtschaft

2010 bis 2015

	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Agrardieselvergünstigung[1] Mio. €	460	430	430	400	400	400
Ermäßigung Diesel c/l	21,480	21,480	21,480	21,480	21,480	21,480
Ermäßigung Biodiesel c/l	18,455	18,455	18,455	45,000	45,000	45,000
Ermäßigung Pflanzenöl c/l	18,596	18,596	18,596	45,033	45,033	45,033
Ermäßigung mengengewichtet c/l	21,447	21,469	21,466	21,501	21,487	21,483
Kraftstoffverbrauch in Mio. l	2 145	2 003	2 003	1 860	1 862	1 862

Quelle: Deutscher Bundestag (2006), Deutscher Bundestag (2015), BAFA (2016) und eigene Berechnungen EEFA. [1]Die Agrardieselvergünstigung ist im Subventionsbericht für das jeweilige Kassenjahr veröffentlicht. Es wird angenommen, dass es sich beim betroffenen Kalenderjahr, in dem der Verbrauch stattfand, um das Vorjahr des jeweils angegebenen Kassenjahres handelt. *2015: vorläufig.

Wie bereits erwähnt, lassen sich aus der Verknüpfung des gewichteten Ermäßigungssatzes und der Summe der Steuermindereinnahmen aufgrund der Agrardieselvergünstigungen (im Jahr 2015 erreichte diese Subvention ein Finanzvolumen von 400 Mio. €), der Dieselverbrauch der Land- und Forstwirtschaft insgesamt errechnen. Insgesamt beläuft sich der Verbrauch an Dieselkraftstoffen für das Jahr 2015 auf 1 862 Mio. l Kraftstoffe (als Summe von Dieselkraftstoff, reinem Biokraftstoff und Pflanzenöl), die in der Land- und Forstwirtschaft eingesetzt wurden. Tabelle 32 stellt die Berechnung der

[143] Im Rahmen dieser Studie werden die Anteile des gesamten deutschen Absatzmarktes auch für die Landwirtschaft angenommen. Sicherlich kann auch unterstellt werden, dass sich der Einsatz von reinen Biokraftstoffen und Pflanzenölen hauptsächlich auf den Sektor Landwirtschaft konzentriert. Aufgrund der verschwindend geringen Bedeutung der Biokraftstoffe am aktuellen Rand wird auf eine eingehendere Untersuchung der Bedeutung der reinen Biokraftstoffe in der Landwirtschaft verzichtet (im Jahr 2015 lag der Anteil der reinen Biokraftstoffe bei 0,01 % Volumenprozent, vgl. BAFA (2016)).

Dieselkraftstoffverbräuche für die land- und forstwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland für Zeit von 2010 bis 2015 tabellarisch zusammen.

In der Darstellung der Energiebilanz Deutschland werden reine Biokraftstoffe (und deren Beimischungen) sowie Pflanzenöle nicht zu den Mineralölprodukten, sondern zu den erneuerbaren Energien (flüssige biogene Stoffe) gezählt. Um die ermittelten Zeitreihen zum Kraftstoffverbrauch der Land- und Forstwirtschaft im Rahmen von Berechnungen für die Energiebilanz Deutschland nutzen zu können, ist es zwingend erforderlich den Einsatz

- an reinen Biokraftstoffen und Pflanzenölen sowie
- die Beimischungen zu den Dieselkraftstoffen,

separat auszuweisen, damit diese Mengen in der Bilanz den biogenen Kraftstoffen zugeschlagen werden können.

Die Beimischungen biogener Komponenten zum Dieselkraftstoff beliefen sich im Jahr 2015 nach Angaben des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) auf weniger als 6 % des Gesamtverbrauchs. Die Nutzung reiner Biokraftstoffe spielt in der Landwirtschaft heute praktisch keine Rolle mehr. Insgesamt ergibt sich unter diesen Prämissen für 2015 ein (vorläufiger) Verbrauch an reinem Dieselkraftstoff in Höhe von 1 758 Mio. l, bzw. 63 072 TJ (vgl. Tabelle 33).

Tabelle 33: Ermittelter Dieselverbrauch der Land- und Forstwirtschaft differenziert nach Kraftstoffart

2010 bis 2015, in Mio. l

	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Kraftstoffe, insg.	2 145	2 003	2 003	1 860	1 862	1 862
darunter reine Biokraftstoffe/Pflanzenöl	22	7	9	2	0	0
darunter Beimischungen	141	134	132	111	115	103
darunter reiner Dieselkraftstoff	1 982	1 862	1 862	1 748	1 746	1 758
nachrichtlich: reiner Dieselkraftstoffverbrauch in TJ	71 092	66 786	66 792	62 706	62 635	63 072

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA. * vorläufig

Bauwirtschaft

Der Sektor „Bauwirtschaft“ setzt sich aus den Wirtschaftszweigen 41 (Hochbau), 42 (Tiefbau) und 43 (Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallation und sonstiges Ausbaugewerbe) zusammen. Die Unternehmen der Bauwirtschaft nutzen Dieselkraftstoff vorwiegend zum Betrieb von Baumaschinen, wie z.B. Straßenwalzen, Bagger, Straßenfertiger, Bodenverdichter usw.. Die Ermittlung des Dieseleinsatzes in diesem Wirtschaftszweig konzentriert sich, in Übereinstimmung mit den Konventionen der Energiebilanz Deutschland, auf den Teil des Kraftstoffeinsatzes zum Betrieb von Fahrzeugen und Baumaschinen im „Non-Road“-Bereich. Der Verbrauch von Dieselkraftstoffen auf der Straße (mit für den Straßenverkehr zugelassenen Lkw und Bau-Fahrzeugen) ist in den Fahrleistungen enthalten und wird in der Energiebilanz im Sektor Straßenverkehr verbucht.

Originäre statistische Daten zum Dieselkraftstoffverbrauch der Bauwirtschaft sind nicht verfügbar. Allerdings hält z.B. die Kostenstrukturerhebung des Statistischen Bundesamtes wichtige Informationen zu den Energiekosten der Bauwirtschaft bereit, anhand derer der Kraftstoffeinsatz unter bestimmten Prämissen berechnet werden kann. Als einzige Alternative zur Ableitung des Dieselkraftstoffeinsatzes der Bauwirtschaft (neben einer Befragung der Unternehmen bzw. Erhebung) besteht die Möglichkeit den Energieverbrauch „bottom-up“ im Rahmen einer modellgestützten Analyse zu ermitteln.

In der vorliegenden Studie wurde der Dieselkraftstoffverbrauch der Bauwirtschaft zunächst auf der Grundlage bzw. durch Auswertung der amtlichen Kostenstrukturerhebung ermittelt. Zur Überprüfung und Kontrolle der aus den Energiekosten hergeleiteten Dieselkraftstoffeinsätze in der Bauwirtschaft wurde anschließend der Dieseleinsatz auch im Wege einer „bottom-up“-Modellrechnung zu bestimmt. Die Resultate dieser modellgestützten Analyse dienen in erster Linie der kritischen Überprüfung und Evaluierung der aus den Kostenstrukturdaten hergeleiteten Dieselverbräuche. Auf eine ausführliche Beschreibung des Modellierungsansatzes und seiner Datengrundlagen wird an dieser Stelle verzichtet. [144]

Nach Angaben der vorliegenden, aktuellsten Kostenstrukturerhebung beliefen sich die Kosten für den Energieverbrauch der Bauwirtschaft im Jahr 2014 auf rund

[144] Ähnlich wie bei der Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs von Rasenmähern, konnte Kraftstoffverbrauch des Bausektors aus der Entwicklung des Bestands an Baumaschinen (auf der Basis von Daten der Außenhandelsstatistik sowie amtlichen Angaben zur inländischen Produktion von Baumaschinen, unter der Annahme von maschinentypischer Lebensdauern) rechnerisch ermittelt werden. Daten zu geeigneten spezifischen Kraftstoffverbräuchen der verschiedenen Typen bzw. Kategorien von Baumaschinen sowie Nutzungsdauern konnten der Studie ifeu (2009) sowie Schäffeler U. Keller M. (2008) entnommen werden.

2,3 Mrd. €.[145] Die Kosten für den gesamten Energieeinsatz verteilten sich wie folgt auf die Sektoren, bzw. Subsektoren des Baugewerbes:

- Hochbau (WZ 41): 386,2 Mio. €
  - darunter Erschließung von Grundstücken, Bauträger (WZ 41.1): 12,6 Mio. €
  - darunter Bau von Gebäuden (WZ 41.2): 373,6 Mio. €
- Tiefbau (WZ 42): 877,763 Mio. €
- Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallation und sonstiges Ausbaugewerbe (WZ 43): 1049,0 Mio. €
  - darunter Abbrucharbeiten und vorbereitende Baustellenarbeiten (WZ 43.1): 137,6 Mio. €
  - darunter Ausbauarbeiten (WZ 43.2-43.3): 909,372 Mio. €
  - darunter sonstige spezialisierte Bautätigkeiten (WZ 43.9) 304,6 Mio. €

Um von den Energiekosten auf den zugehörigen Energieverbrauch schließen zu können, müsste grundsätzlich die Struktur des Energieträgereinsatzes in der Bauwirtschaft bekannt sein. Aus den Kosten des Einsatzes jedes einzelnen Energieträgers ließe sich unter diesen Prämissen unter Zuhilfenahme entsprechender Energiepreise der jeweilige Energieverbrauch errechnen. Leider liegen belastbare Informationen zur Energieträgerstruktur in den Sektoren der Bauwirtschaft nicht vor.

Grobe Hinweise auf die Bedeutung einzelner Energieträger lassen sich aus der Art der Bautätigkeiten in den einzelnen Subsektoren der Bauwirtschaft gewinnen:

- Beispielsweise kann davon ausgegangen werden, das im Wirtschaftszweig 41.1, der vor allem Bauträgertätigkeiten sowie die Erschließung von Grundstücken umfasst, Energie fast ausschließlich zur Beheizung von Bürogebäude eingesetzt wird. Hingegen kann der Einsatz von Kraftstoffen zum Betrieb von Baumaschinen nahezu völlig ausgeschlossen werden, da dieser Sektor keine eigenen Bauleistungen erbringt.
- Die Wirtschaftszweige 41.2 (Bau von Gebäuden) sowie 43.2 bis 43.9 (Ausbauarbeiten und sonstige spezialisierte Bautätigkeiten – hierzu zählt zum Beispiel die Dachdeckerei) dürften im Rahmen ihrer Tätigkeit in erster Linie auf strom-

[145] Vgl. StBA (2016b).

betriebe Geräte und weniger auf schwere Baumaschinen zurückgreifen. Dieselbetriebene Geräte (wie beispielsweise Hubarbeitsbühnen), die in diesen Sektoren grundsätzlich zum Einsatz kommen können, spielen eine eher untergeordnete Bedeutung.

- Der Einsatz von Dieselkraftstoff konzentriert sich vor diesem Hintergrund auf die beiden verbleibenden Sektoren bzw. Subsektoren des Bausektors, den Tiefbau (WZ 42, mit den Teilbereichen „Bau von Straßen und Bahnverkehrsstrecken, Brücken- und Tunnelbau, Leitungstiefbau und Kläranlagenbau“ sowie „Sonstiger Tiefbau“) und den Subsektor „Abbrucharbeiten und sonstige vorbereitende Baustellenarbeiten“ (WZ 43.1). Beide Subsektoren nutzen vorwiegend schwere Baumaschinen, die mit Kraftstoffen (vor allem Dieselkraftstoff) betrieben werden. Mit elektrischem Strom betriebene Maschinen spielen in diesem Subsektor keine große Rolle.

Zur Ermittlung des Dieselverbrauchs der Bauwirtschaft kann also vereinfachend davon ausgegangen werden, dass Energiekosten der beiden Sektoren (WZ 42 und WZ 43.1) vollständig auf den Betrieb von Baumaschinen entfallen, die mit Diesel (und in geringen Mengen auch mit Benzin) betrieben werden.[146] Nimmt man an, dass der Anteil des Kraftstoffverbrauchs benzinbetriebener Baumaschinen bei etwa 6,3 % liegt bzw. der Anteil dieselbetriebener Baumaschinen dementsprechend bei 93,7 %, kann mithilfe der jeweiligen Kraftstoffpreise für Diesel und Benzin der Kraftstoffverbrauch des Subsektors ermittelt werden.[147]

Die gesamten Energiekosten der im Straßen-, Tiefbau und sonstigen Abbruch- und vorbereitenden Baustellenarbeiten (WZ 42 und WZ 43.1) erreichten im Jahr 2014 ein Niveau von 1,017 Mrd. €. Der unter Zuhilfenahme des Diesel- und Benzinpreises ermittelte gewichtete Kraftstoffpreis betrug im selben Jahr 30,1 €/GJ (bei einem Benzin- bzw. Dieselpreis in Höhe von 120,21 c/l bzw. 104,43 c/l).[148]

Aus den Energiekosten und dem Preis der eingesetzten Treibstoffe errechnet sich für das Berichtsjahr 2014 ein Kraftstoffverbrauch in Höhe von 33 835 TJ. Von diesem Gesamtverbrauch entfallen (bei einem angenommenen Dieselanteil von 93,7 %) rund

[146] Zweifellos enthalten auch die Energiekosten in diesem Sektor der Bauwirtschaft Anteile von Ausgaben für Strom und andere Energieträger, die etwa für die Beheizung von Bürogebäuden und Arbeitsbereichen eingesetzt werden. Insofern ist wäre der in dieser Studie genutzte Weg zur Ermittlung des Kraftstoffeinsatzes für sich genommen mit einer (wenngleich geringfügigen) Überschätzung des Kraftstoffverbrauchs verbunden. Demgegenüber steht „als verbrauchssenkender Effekt“ die Tatsache, dass die Ausgaben für Kraftstoffe z.B. zum Betrieb von Hubarbeitsbühnen usw. im Subsektor „sonstige Bauwirtschaft“ (WZ 43.2 bis 43.9) aufgrund fehlender empirischer Informationen in den vorliegenden Rechnungen nicht berücksichtigt wurden.

[147] Die Aufteilung auf den Einsatz von Diesel und Benzin erfolgte mit Hilfe der ebenfalls im Rahmen dieser Studie durchgeführten, alternativen „bottom-up“-Modellrechnungen zur Ermittlung des Kraftstoffeinsatzes in der Bauwirtschaft.

[148] Die für die Berechnungen erforderlichen Angaben zu den Diesel- und Benzinpreisen stellt das Statistische Bundesamt bereit, vgl. StBA (2016a).

31 719 TJ auf den Einsatz von Diesel- (inkl. Beimischungen) und 2 116 TJ auf den Einsatz von Ottokraftstoffen (ebenfalls inkl. Beimischungen) (Einzelheiten, vgl. auch Tabelle 34).

Tabelle 34: Berechnung des Kraftstoffeinsatzes in der Bauwirtschaft
2010 bis 2015, in Mio. €, €/GJ und TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Energiekosten WZ 42 und WZ 43.1 in Mio. €	820	999	995	1 055	1 017	960*
gewichteter Energiepreis in €/GJ	27,6	31,8	33,4	31,8	30,1	26,0
Kraftstoffverbrauch insgesamt in TJ	29 761	31 414	29 784	33 145	33 835	36 971
darunter Dieselkraftstoff (inkl. Beimischungen) in TJ	27 900	29 449	27 922	31 073	31 719	34 660
darunter Ottokraftstoff (inkl. Beimischungen) in TJ	1 861	1 964	1 862	2 072	2 116	2 312

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach StBA (2016b und 2016b), *vorläufig.

Zur besseren Einordnung und zum Vergleich der in dieser Studie ermittelten Daten zum Energie- bzw. Kraftstoffverbrauch der Bauwirtschaft sollen an dieser Stelle zusätzlich die empirischen Befunde ausgewählter anderer Untersuchungen vorgestellt werden, die Angaben zum Energieverbrauch der Bauwirtschaft ausweisen:

- Die Erhebungsstudien zum Energieverbrauch im GHD-Sektor weisen den Energieverbrauch des Bausektors (jedoch nur für die Wirtschaftszweige 42 und 43 – Wirtschaftszweig 41 ist nach eigenen Angaben nicht berücksichtigt) relativ grob differenziert nach Energieträgern aus.[149] Nach dieser Untersuchung betrug der Kraftstoffverbrauch des Baugewerbes (eine Unterscheidung zwischen Diesel und Benzin enthält diese Studie nicht) ca. 2,5 TWh – dies entspricht einem sehr geringen Kraftstoffverbrauch in Höhe etwa 9 000 TJ pro Jahr. Auffällig ist, dass der Kraftstoffverbrauch nach dieser Erhebungsstudie im Zeitverlauf keinerlei

[149] Vgl. Fraunhofer ISI et al. (2015).

Schwankungen unterliegt; er verharrt bis 2013 konstant auf dem genannten Wert.

- Das am Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) entwickelte TREMOD-Modell (**Tr**ansport **E**mission **Mod**el) berechnet u.a. den Kraftstoffverbrauch der Bauwirtschaft „bottom-up". Stützt man sich auf die vorliegenden Untersuchungen des ifeu-Instituts, setzt die Bauwirtschaft jährlich rund 1,5 Mio. Tonnen an Kraftstoffen im Bausektor ein, diese Menge entspricht einem Energieäquivalent von mehr als 64 000TJ. [150]

Der Vergleich mit den wenigen vorliegenden anderen Studien zeigt, dass vorliegende Berechnungen zum Kraftstoffverbrauch der Bauwirtschaft (auf der Basis von Auswertungen der vorliegenden statistischen Angaben zu den Energiekosten), in etwa dem Mittelwert der empirischen Befunde entsprechen, die TREMOD und die GHD-Erhebungsstudie ermitteln.

Vor der Übernahme des in dieser Studie ermittelten Kraftstoffverbrauchs der Bauwirtschaft ist zu berücksichtigten, dass die Energiebilanz Deutschland im Mineralölteil nur die reinen, um die Beimischungen von Biokraftstoffe bereinigten Dieselverbräuche erfasst. Von den in der Bauwirtschaft im Jahr 2014 eingesetzten Dieselkraftstoffen in Höhe von 31 719 TJ sind infolge der enthaltenen Beimischungen nur 29 920 TJ für die Mineralölbilanz relevant, die restlichen 1 765 TJ müssen in den Verbrauch an flüssigen biogenen Energieträgern im GHD-Sektors in die Bilanz der erneuerbaren Energien umgebucht werden (vgl. Tabelle 35).

Tabelle 35: Dieselverbrauch in der Bauwirtschaft
2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Dieselkraftstoff (inkl. Beimischungen)	27 900	29 449	27 922	31 073	31 719	34 660
darunter Beimischungen von Biodiesel	1 697	1 819	1 701	1 699	1 799	1 765
darunter Dieselkraftstoff ohne Beimischungen	26 203	27 630	26 220	29 374	29 920	32 895

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA. *vorläufig.

[150] Vgl. ifeu (2009).

Ergebnis

In der Summe ergeben sich für den GHD-Sektor die in Tabelle 36 zusammengefassten Dieselkraftstoffverbräuche für die Jahre 2010 bis 2015. Im Jahr 2014 setzte der GHD-Sektor 93 291 TJ ein. Der größte Verbrauchsanteil mit 62 635 TJ bzw. 67 % entfällt auf den Sektor Land- und Forstwirtschaft, gefolgt von der Bauwirtschaft (29 878 TJ, bzw. 48 %), der Verbrauch des Militärs ist mit 735 TJ[151] (2 %) von untergeordneter Bedeutung.

Insgesamt liegen die eigenen Berechnungen damit im Durchschnitt der Jahre 2010 bis 2015 um 5,5 % über den bisherigen Angaben der Energiebilanz Deutschland (vgl. Schaubild 49).

Tabelle 36: Dieselkraftstoffverbrauch (ohne biogene Anteile) des Sektors GHD 2010 bis 2015, in TJ

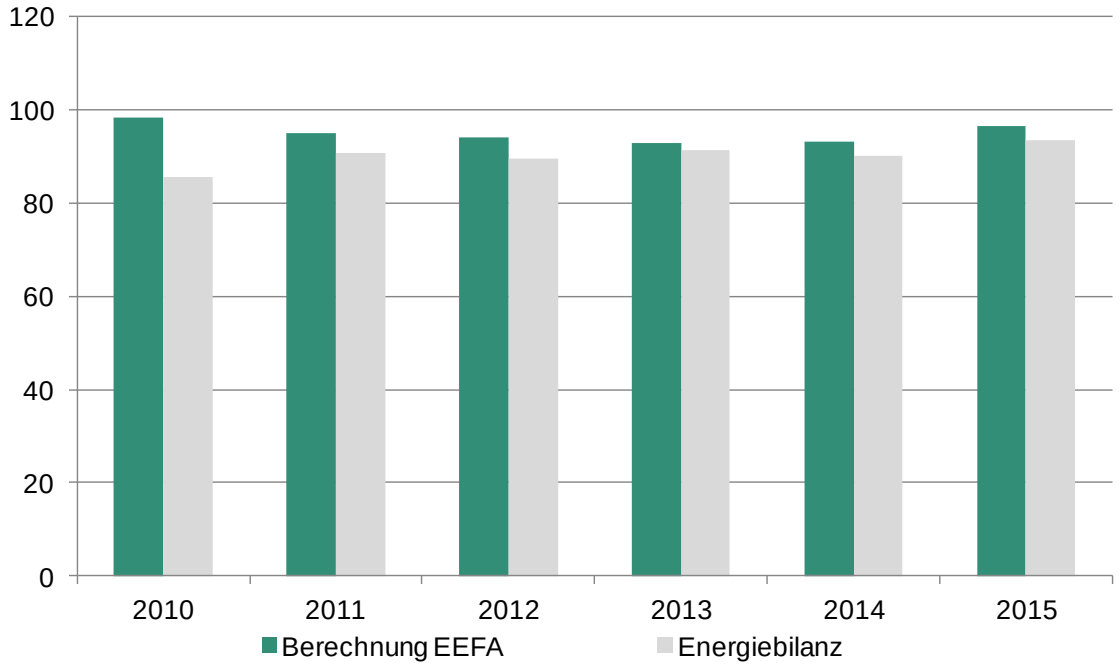
	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Land- und Forstwirtschaft	71 092	66 786	66 792	62 706	62 635	63 072
Bauwirtschaft	26 203	27 630	26 220	29 374	29 920	32 895
Militär	1 062	669	1 044	726	735	619
Summe GHD	98 357	95 085	94 056	92 806	93 291	96 586

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA. *vorläufig.

[151] Eigene Berechnungen nach BAFA (2016). Es wird angenommen, dass das Militär Dieselkraftstoffe ohne Beimischungen verwendet.

Schaubild 49: Dieselverbrauch des GHD-Sektors

2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen EEFA. *2015: vorläufig.

5.1.6. Ermittlung des Ottokraftstoffverbrauchs für den GHD-Sektor

Die Unternehmen und Betriebe im GHD-Sektor setzten nach Angaben der AG Energiebilanzen 2014 Ottokraftstoff mit einem Energieäquivalent von 4 941 TJ ein. Diese Absatzmenge entspricht, bezogen auf den gesamten Endenergieverbrauch des Wirtschaftszweiges einem Anteil von weniger als 0,4 %.

Der Benzinverbrauch konzentriert sich – wie auch der des Dieselkraftstoffes – auf einige wenige Verbrauchsbereiche innerhalb des GHD-Sektors. Den mit Abstand wichtigsten Verbraucher für Ottokraftstoffe innerhalb des GHD-Bereichs bildet das Militär. Die amtliche Mineralölstatistik weist für das Berichtsjahr 2014 Ablieferungen an das Militär in Höhe von 3 855 TJ aus.[152]

[152] Eigene Berechnungen EEFA nach BAFA (2016).

Darüber hinaus werden Ottokraftstoffe in geringerem Umfang zum Betrieb mobiler Geräte mit Verbrennungsmotor (Rasenmäher, Motorsägen und sonstigen Gartengeräte zur Grünpflege) in erster Linie in Garten- und Landschaftsbaubetrieben, der Land- und Forstwirtschaft sowie von kommunalen Betrieben z.B. zur Pflege städtischer Grünanlagen eingesetzt. In geringem Umfang können Ottokraftstoffe auch in Verbrennungsmotoren von Baumaschinen zum Einsatz gelangen.

Für die zuletzt genannten Einsatzbereiche liegen keine statistischen Informationen zum Energie- bzw. Benzinverbrauch vor, so dass deren Benzinverbrauch mit Hilfe von Indikatoren und Modellansätzen empirisch bestimmt werden muss.

Rasenmäher, Kettensägen und sonstige Geräte zur Grünpflege

Zur Erklärung des Ottokraftstoff gewerblich genutzter, benzinbetriebener mobiler Gartengeräte (darunter auch Motorsägen, die in der Land- und Forstwirtschaft genutzt werden) wird die gleiche methodische Vorgehensweise herangezogen, die zuvor für die Ableitung des Benzineinsatzes dieser Geräte bei den Privaten Haushalten ausführlich beschrieben wurde (vgl. Kapitel 3.7): Im Wesentlichen errechnet sich der Verbrauch an Ottokraftstoffen über die Verknüpfung der gewerblich genutzten Bestände dieser Geräte mit der jeweiligen Dauer der Nutzung sowie dem spezifischen Verbrauch der Geräteklasse.

Der Gesamtbestand an Rasenmähern mit Benzinmotor (private und gewerbliche Nutzung) wurde bereits in Kapitel 3.7 als Zeitreihe von 2010 bis 2015 ermittelt. Eingebettet in diesen Abschnitt wurde gleichzeitig die Ausstattung Privater Haushalte mit benzinbetriebenen Rasenmähern in Deutschland berechnet. Ausgehend von diesen Daten ergibt sich die Bestandsentwicklung der Rasenmäher mit Benzinmotor, die ausschließlich gewerblich genutzt werden, als Rest, indem vom ermittelten Gesamtbestand die privat genutzten Rasenmäher abgezogen werden. Nach dieser Rechnung sind derzeit (2015) in Deutschland 134 000 Rasenmäher mit Benzinmotor im Einsatz, die gewerblich genutzt werden.

Der Gesamtbestand der sonstigen, gewerblich genutzten Geräte (Freischneider, etc.) errechnet sich unter der Annahme, dass auf jeden gewerblichen Rasenmäher 1,5 weitere sonstige Geräte zur Grünpflege (ohne Motorsägen) entfallen.[153] Die gesamte Zeitreihe von 2010 bis 2015 ist Tabelle 37 zu entnehmen.

[153] Nach der Struktur des Gerätebestandes des TREMOD-Modells entfallen auf jeden gewerblich genutzten Rasenmäher 0,75 sonstige Gartengeräte. In der detaillierten Darstellung der Bestände benzinbetriebener Gartengeräte nach Schäffeler U. Keller M. (2008) entfallen in der Schweiz auf jeden gewerblich genutzten Rasenmäher gut 2 weitere Geräte (ohne Berücksichtigung von in Deutschland eher untypischen Geräten wie Schneefräsen und Motorschlitten).

Für Deutschland wurde im Rahmen dieser Studie ebenfalls bereits eine Zeitreihe zur Entwicklung des Gesamtbestandes an Motorsägen für die Zeit von 2003 bis 2008 (aufgrund eingeschränkter Datenverfügbarkeit) ermittelt. Insgesamt errechnet sich für das Jahr 2008 ein Gesamtbestand von 3,939 Mio. Motorsägen, wovon 3,703 Mio. Motorsägen (94 %) privat und 237 000 Motorsägen (6 %) gewerblich genutzt werden.[154]

Eine Fortschreibung des ermittelten Bestandes gewerblich genutzter Motorsägen nach 2008 ist aufgrund von Lücken im Datenangebot nur mit Hilfe von Indikatoren möglich. In diesem Zusammenhang ist allerdings zu beachten, dass eine sachgerechte Fortschreibung des Bestandes an Motorsägen in den Betrieben der Land- und Forstwirtschaft sowie dem Gartenbau nicht monokausal, anhand eines einfachen Indikators erfolgen kann. Die Grund hierfür ist, das sich die Bestandsentwicklung speziell bei Motorsägen je nach Einsatzgebiet (Forstwirtschaft, Landwirtschaft oder Gartenbau) aber auch in Abhängigkeit von der Art der Nutzung (Waldbewirtschaftung oder Pflege von Grünanlagen, Gartenbau) stark unterscheiden kann.

Um den skizzierten unterschiedlichen Einflussgrößen besser gerecht zu werden, wurde der Bestand an Motorsägen (zunächst für das Basisjahr 2008) auf die drei Subsektoren „Forstwirtschaft“, „Landwirtschaft“ und „Gartenbau etc.“ weiter aufgliedert. Den empirischen Ausgangspunkt dazu bildet die Waldbewirtschaftungsstruktur in Deutschland.

Gegenwärtig bewirtschaften rund 149 000 (2008: 146 000) landwirtschaftliche Betriebe, die auch über Waldfläche verfügen, rund 1,4 Mio. der insgesamt 10,9 Mio. Hektar Waldfläche. Die übrige Waldfläche (7,4 Mio. Hektar) wird von etwa 29 000 forstwirtschaftliche Betriebe bewirtschaftet.[155]

Geht man vor diesem Hintergrund davon aus, dass sich pro forstwirtschaftlichem Betrieb im Durschnitt 1,5 und pro landwirtschaftlichem Betrieb ca. 1,2 Motorsägen im Einsatz befinden, kann für das Jahr 2008 von einem Bestand in Höhe von 42 000 Motorsägen im Subsektor „Forstwirtschaft“ sowie von 175 000 Motorsägen in landwirtschaftlichen Betrieben ausgegangen werden.[156] Die restlichen 58 000 Motorsägen (Gesamtbestand in Höhe von 237 000 abzüglich der in Land- und Forstwirtschaft eingesetzten Geräte) entfallen auf die übrigen Einsatzgebiete (Gartenbau etc.).[157]

---

[154] Diese ergeben sich durch die in Kapitel 3.7 berechneten gesamten Bestände in Höhe von 3,939 Mio. abzüglich der privat genutzten 3,703 Mio. Motorsägen.

[155] Vgl. StBA (2015a) sowie BMEL (2015).

[156] An dieser Stelle werden lediglich 1,5 Motorsägen pro forstwirtschaftlichem Betrieb angenommen.

[157] Zum Vergleich: die Bestandsdaten für TREMOD fallen wesentlich geringer aus, hier werden 72 500 Motorsägen im Bereich Grünpflege, zuzüglich 35 000 in der Forstwirtschaft ausgewiesen. Für die Landwirtschaft werden keine Angaben zu Motorsägenbeständen gemacht (vgl. ifeu 2009).

Die auf diese Weise ermittelten Motorsägen-Bestände der Land- und Forstwirtschaft sowie des Gartenbaus etc. lassen sich nun mit Hilfe sachgerechter, sektorspezifischer Indikatoren fortschreiben:

- In der Forstwirtschaft hängt der Einsatz von Maschinen (und die damit verbundenen Entwicklung des Gerätebestandes) von der zu bewirtschaftenden Waldfläche bzw. von der Produktionsgröße „Jährlicher Holzeinschlag" ab. Vom Holzeinschlag sind in der jüngeren Vergangenheit keine nennenswerte Impulse auf eine Erweiterung der Kapazitäten zur Gewinnung von Holz ausgegangen. Vielmehr ist der Maschinenpark in der Forstwirtschaft seit Anfang der 1990er Jahre durch einen Substitutionsprozess gekennzeichnet, in dessen Verlauf der Bestand an Kettensägen (Motorenbenzin) durch dieselbetriebene Vollerntemaschine (sog. Harvester) verdrängt wurde. Bis zum Jahr 2007 setzten die Betriebe der Forstwirtschaft in Deutschland bereits etwa 1 400 Vollernter ein, bzw. konnten ihre Produktivität durch den damit verbundenen technischen Fortschritt maßgeblich steigern.[158] Vollerntemachinen lassen sich zur Holzgewinnung nur unter geeigneten Bedingungen (Baumabstand, Topografie usw.) bzw. nicht auf allen Waldflächen einsetzten. Für Deutschland kann davon ausgegangen werden, dass bereits 2007 eine weitgehende Sättigung des Absatzmarktes erreicht wurde bzw. in Zukunft in erster Linie Ersatzbeschaffungen für Altgeräte und nur in sehr geringem Umfang Zuwächse im Gesamtbestand an Harvestern zu erwarten sind. Nimmt man vor diesem Hintergrund an, dass der Bestand an Harvestern hierzulande seit 2007 maximal um 13 Maschinen pro Jahr zugenommen hat, errechnet sich für 2015 ein Gesamtbestand in Höhe von 1 500 Vollerntemaschinen.[159] Ein Harvester substituiert im Durchschnitt 10 Forstarbeiter (mit Motorsägen), so dass die Zunahme des Bestandes an Harvestern pro Jahr schätzungsweise 130 Kettensägen ersetzt hat. Unter diesen Prämissen entwickelt sich der Bestand an Motorsägen in der Forstwirtschaft leicht rückläufig. Er nimmt von 42,7 Mio. Kettensägen im Jahr 2008 auf 41,7 Mio. Motorsägen im Jahr 2015 ab.

- Zur Fortschreibung der in der Landwirtschaft genutzten Bestände an Motorsägen wird als einfacher Indikator die Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe mit Waldfläche verwendet.

- Die Bestandsentwicklung der gewerblich genutzten Motorsägen im Bereich Grünpflege schließlich wird anhand der Entwicklung der Grünflächen in

[158] Siehe hierzu Nick, Lars (2008).

[159] Im Zeitraum von 2008 bis 2015 sind nach Angaben des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik durchschnittlich 103 Maschinen pro Jahr abgesetzt worden, vgl. hierzu KWF (2015). Unter Berücksichtigung der Bestandsabgänge (Maschinen von durchschnittlich mehr als 15 Jahren Lebensalter) ergibt dies Nettozugänge in Höhe von etwa 13 Harvestern pro Jahr.

Deutschland fortgeschrieben.[160] Insgesamt nehmen die Bestände an Motorsägen im Sektor Gartenbau in der Zeit von 2010 bis 2015 nach diesen Schätzungen leicht zu.

Tabelle 37 fasst die gesamte Entwicklung der ermittelten Bestände benzingetriebener, gewerblich genutzter Rasenmäher, Motorsägen und sonstiger Gartengeräte zusammen.

Tabelle 37: Gewerblicher Bestand benzinbetriebenen Geräte

2010 bis 2015, Anzahl in Tsd.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rasenmäher	125	121	121	123	127	134
Motorsägen	280	285	289	293	292	288
darunter Forstwirtschaft	42	42	42	42	42	42
darunter Landwirtschaft	175	178	181	184	182	179
darunter Gartenbau etc.	62	65	66	67	67	67
Sonstige Gartengeräte	187	181	182	184	190	201

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA.

Als durchschnittliche Betriebszeit- bzw. Nutzungsdauer gewerblich genutzter Rasenmäher (handgeführt und Aufsitzmäher) werden 190 Stunden im Jahr angesetzt. Diese Nutzungsdauer entspricht, ausgehend von einer maximalen Vollauslastung in Höhe von 1 280 Stunden (hypothetische Nutzung 8 Stunden am Tag, 5 Tage in der Woche über die Dauer einer vollständigen Vegetationsphase von 32 Wochen), einer Auslastung pro Gerät von 15 %.

Die Nutzungsdauer gewerblicher Motorsägen und sonstiger Gartengeräte orientieren sich an der bereits erwähnten Studie zum Treibstoffverbrauch im „Non-Road"-Sektor in der Schweiz. Folgt man dieser Studie, kann für die sonstigen Gartengeräte eine durchschnittliche Benutzungsdauer von 193 Stunden im Jahr veranschlagt werden. Hingegen werden Motorsägen in der Landwirtschaft im Durchschnitt 20 Stunden pro Jahr betrieben, in der Forstwirtschaft beläuft sich die Nutzungsdauer der Kettensägen auf 150 Stunden pro Jahr.[161] Die genannten Nutzungsdauern der Motorsägen sind als Eck-

[160] Beide Indikatoren werden in jährlichem Abstand vom Statistischen Bundesamt veröffentlicht (vgl. StBA (2015a und 2015b).

[161] Vgl. Schäffeler U., Keller M. (2008).

bzw. Normwerte zu interpretieren, die sich auf einen Holzeinschlag von 54 m³ beziehen (dies entspricht dem Durchschnitt der Jahre 2010 bis 2015).

Es liegt auf der Hand, dass die Nutzungsdauer der einzelnen Gerätekategorien von Jahr zu Jahr auslastungsbedingten Schwankungen unterliegt. Aus diesem Grunde werden die ermittelten Nutzungsdauern mit dem statistisch erfassten jährlich Holzeinschlag in Deutschland variiert.[162]

Gewerblich genutzte Motorsägen und Rasenmäher weisen häufig einen höheren spezifischen Benzinverbrauch auf, als ausschließlich zum privaten Gebrauch entwickelte (typischerweise weniger leistungsfähige) Geräte. So benötigen Profirasenmäher (handgeführt und Aufsitzmäher) im Durchschnitt 1,2 Liter Ottokraftstoff pro Stunde, Motorsägen etwa 2 Liter pro Stunde und sonstige Geräte rund 0,57 Liter pro Stunde.[163]

Aus den beschriebenen Bestandsentwicklungen, Benutzungsstunden sowie spezifischen Verbräuchen lässt sich abschließend der gesamte, absolute Endenergieverbrauch an Ottokraftstoffen für gewerblich genutzte Rasenmäher, Motorsägen und sonstigen Gartengeräten berechnen (vgl. Tabelle 38). Danach wurden insgesamt im Jahr 2015 3 020 TJ Benzin eingesetzt, abzüglich der Beimischungen von Biomethan (122 TJ) ergibt dies einen Verbrauch von reinem Ottokraftstoff in Höhe von 2 898 TJ.

Tabelle 38: Benzinverbrauch gewerblich genutzter Rasenmäher, Motorsägen und sonstiger Gartengeräte

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rasenmäher	916	889	891	901	933	983
Motorsägen	1 243	1 300	1 237	1 270	1 297	1 322
Sonstige Gartengeräte	666	647	648	656	679	715
Benzinverbrauch (inkl. Beimischungen)	2 825	2 837	2 776	2 827	2 910	3 020
darunter Bioethanol	104	111	116	115	121	122
darunter Benzin ohne Beimischungen	2 721	2 726	2 660	2 711	2 789	2 898

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA.

[162] Vgl. StBA (2015c), jährlich aktualisiert.

[163] Eigene Berechnungen nach Schäffeler U., Keller M. (2008) und Marktübersicht Motorsägen vom Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF) online abgerufen unter http://www.kwf-online.org/fileadmin/markt/06ms_weitere/ms-weitere.html (Abrufdatum: 09.08.2016).

Baumaschinen

Der Einsatz von Ottokraftstoffen zum Betrieb von Baumaschinen betrug nach den in Kapitel 5.1.5 durchgeführten Berechnungen 2 312 TJ im Jahr 2015. Dieses Ergebnis beinhaltet noch die biogenen Beimischungen zum Benzin. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Beimischungsquoten[164] in den Jahren von 2010 bis 2015 ergeben sich die in Tabelle 39 dargestellten Ergebnisse. Somit wurden im Jahr 2015 2 312 TJ (reine) Ottokraftstoffe für den Betrieb von Baumaschinen eingesetzt.

Tabelle 39: Benzinverbrauch der Bauwirtschaft
2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ottokraftstoff (inkl. Beimischungen)	1 861	1 964	1 862	2 072	2 116	2 312
darunter biogene Beimischungen (Bioethanol)	68	77	78	85	88	91
darunter Ottokraftstoff ohne Beimischungen	1 792	1 964	1 862	2 072	2 116	2 312

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA.

Ergebnis

Insgesamt belaufen sich die Ottokraftstoffverbräuche des GHD-Sektors auf 8 672 TJ im Jahr 2014 (vgl. Tabelle 40). Davon entfallen 32 % auf den Bereich Grünpflege, Land- und Forstwirtschaft, 23 % auf die Bauwirtschaft sowie 44 % auf das Militär. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den bisherigen Angaben der Energiebilanz so fällt auf, dass in den Jahren 2010 und 2011 das Niveau der Modellergebnisse nur leicht (um 4 % bzw. 10 %) über den Ergebnissen der Energiebilanz lag. Danach verzeichnet der Ottokraftstoffverbrauch nach Energiebilanz einen Rückgang, den die Modellergebnisse nicht bestätigen. Im Durchschnitt der Jahre 2012-2015 liegt somit der berechnete Kraftstoffverbrauch um 74 % über den Ergebnissen der Energiebilanz (vgl. Schaubild 50).

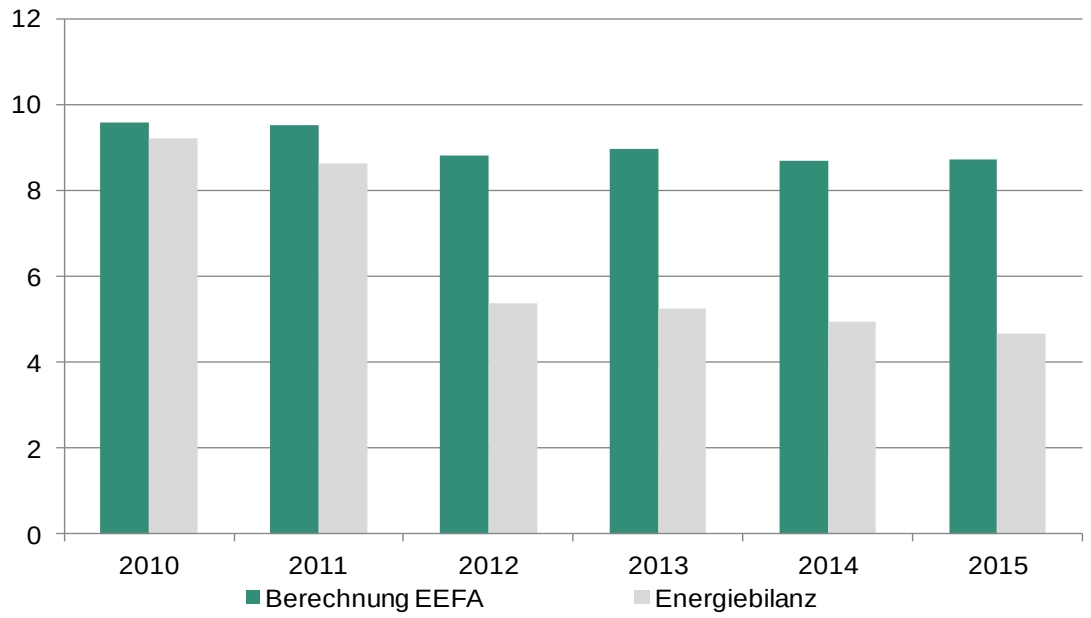
[164] Nach den Angaben der amtlichen Mineralöldaten (vgl. BAFA 2016) betrug die Beimischungsquote im Jahr 2015 bezogen auf das Gewicht 6,4 % – dies entspricht 4,0 % bezogen auf den Energiegehalt.

Tabelle 40: Benzinverbrauch (ohne Beimischungen) des GHD-Sektors
2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Grünpflege, Land- und Forstwirtschaft	2 721	2 726	2 660	2 711	2 789	2 898
Bauwirtschaft	1 792	1 964	1 862	2 072	2 116	2 312
Militär	5 050	4 888	4 360	4 267	3 855	3 587
Summe	9 563	9 502	8 804	8 967	8 672	8 703

Quelle: BAFA (2016) und ältere Ausgaben und eigene Berechnungen EEFA.

Schaubild 50: Benzinverbrauch des GHD-Sektors
2010 bis 2015, in PJ, Vergleich zu den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen EEFA. *2015: vorläufig.

5.2. Umsetzung der Restrechnung für den GHD-Sektor

5.2.1. Restrechnung zur Ermittlung des Einsatzes von Heizöl, Erdgas und Fernwärme im GHD-Sektor

Im Rahmen der vorliegenden Umsetzungsstudie wurden für die Energieträger Heizöl (leicht), Erdgas und Fernwärme vollständige Zeitreihen zum Endenergieverbrauch der Privaten Haushalte in der Zeit zwischen 2010 und 2015 (2015 vorläufig bzw. geschätzt) mit Hilfe von Hochrechnungen und ergänzenden Modellanalysen ermittelt (vgl. dazu Kapitel 3.1 und die zusammengefassten Ergebnis-Zeitreihen in Tabelle 41).

Tabelle 41: Verbrauch an Heizöl, Erdgas und Fernwärme der Privaten Haushalte
2010 bis 2015, in PJ.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Heizöl	712,9	580,3	608,0	622,6	514,8	576,3
Erdgas*	980,2	816,3	852,5	865,3	716,5	802,3
Fernwärme	177,1	152,1	153,7	153,2	130,0	145,2

Quelle: EEFA eigene Berechnungen nach Techem und Destatis. *Erdgas zum unteren Heizwert.

Tabelle 42: Ermittlung des Energieverbrauchs an Heizöl, Erdgas und Fernwärme im GHD-Sektor (Restrechnung)
2010 bis 2015, in PJ.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	Absatz an Private Haushalte und GHD (nach Energiebilanz Deutschland)					
Heizöl	771,4	647,4	700,3	760,5	646,9	629,0
Erdgas	1 442,0	1 235,7	1 280,2	1 377,1	1 169,3	1 240,0
Fernwärme	326,0	250,7	218,5	245,2	208,9	232,1
	Verbrauch Privater Haushalte (nach Umsetzungsstudie)					
Heizöl	712,9	580,3	608,0	622,6	514,8	576,3
Erdgas	980,2	816,3	852,5	865,3	716,5	802,3
Fernwärme	177,1	152,1	153,7	153,2	130,0	145,2
nachrichtlich						
Lagerbe-standsverän-derung HEL, Priv. HH.	-73,9	-0,6	13,4	-6,8	44,1	-18,7
	Absatz an den GHD-Sektor (Restrechnungskonzept)					
Heizöl	132,4	67,6	78,8	144,7	88,0	71,4
Erdgas	461,8	419,4	427,7	511,8	452,8	437,7
Fernwärme	148,9	98,6	64,9	92,0	78,9	87,0

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach AG Energiebilanzen, Techem und Destatis.

Ausgehend von dem ermittelten Energieverbrauch der Privaten Haushalte lässt sich der Endenergieverbrauch des GHD-Sektors für die angesprochenen Energieträger im Rahmen der Energiebilanz Deutschland als Restgröße ermitteln.

Zu beachten sind in diesem Zusammenhang allerdings zwei Aspekte: Einerseits kann eine Ermittlung des Energieverbrauchs als Restgröße nur erfolgen, sofern das Aufkommen des Energieträgers (sowie alle anderen in der Energiebilanz erfassten sektoralen Verbräuche) bei der Erstellung der Bilanz aus originären statistischen Quellen gewonnen wurden (diese Voraussetzung ist nicht bei allen Energieträgern gegeben). Andererseits ist im Rahmen der Restrechnung bei den lagerfähigen Energieträgern (Heiz-

öl, ggf. Flüssiggas) zu berücksichtigen, dass die hochgerechneten Zeitreihen den Energieverbrauch der Privaten Haushalte und nicht wie die Energiebilanz Deutschland es derzeit handhabt, die an Haushaltskunden abgesetzte bzw. gelieferte Energiemenge, darstellen.

Unter Berücksichtigung dieser Prämissen errechnet sich der Energieverbrauch des GHD-Sektors, indem vom gesamten Absatz des Energieträgers an den Sektor Private Haushalte und GHD (in der Abgrenzung der Energiebilanz) der Energieverbrauch der Haushalte (zzgl. der Lagerbestandsveränderungen bei leichtem Heizöl) abgezogen wird (vgl. Tabelle 42).

Zum Abschluss dieses Abschnittes werden die Ergebnisse der Restrechnung zur Ermittlung des Energieverbrauchs im GHD-Sektor mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland verglichen. Für die einzelnen Energieträger ergibt sich daraus folgendes Bild:

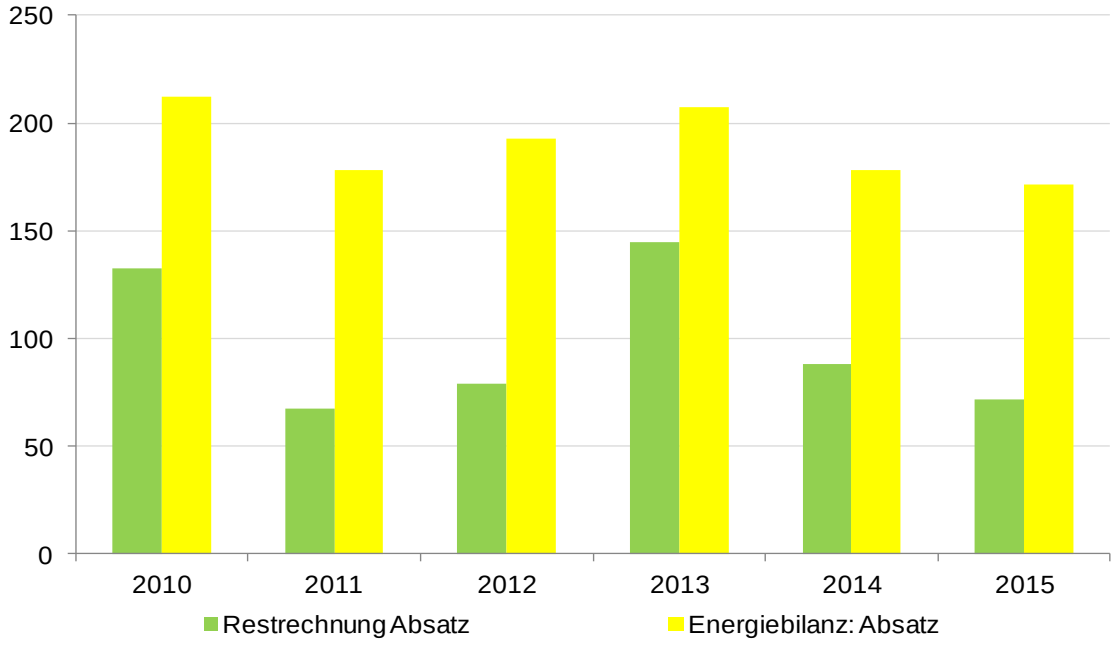
- Der aus der Anwendung des Restrechnungskonzepte resultierende Heizölabsatz an den GHD-Sektor liegt spürbar unter dem Heizölabsatz, den die Energiebilanz Deutschland ausweist. Im Durchschnitt der Periode von 2010 bis 2014 erreicht der Heizölabsatz, der sich im Wege der Restrechnung ergibt, nur ein Niveau von rund 53 % der Heizölmengen, die die Energiebilanz Deutschland bislang in diesem Sektor verbucht. Hinzu kommt, dass sich die Volatilität des als Restgröße ermittelten Heizölabsatzes an den GHD spürbar erhöht: Bezogen auf das Ausgangsjahr 2010 schwanken die Indexwerte der Zeitreihe zwischen ca. 51 % (Minimum 2011) und ca. 109 % (Maximum 2013). Der zeitliche Verlauf der bislang in der Energiebilanz erfassten Absatzmenge ist ähnlich, jedoch schwanken die Indexwerte der Originalreihe lediglich zwischen knapp 84 und 100 % Maximum 2010) (vgl. Schaubild 51).

- Der Erdgasverbrauch im GHD-Sektor (Restrechnung) bewegt sich im Zeitraum von 2010 und 2014 verglichen mit den in der Energiebilanz erfassten Verbrauchsangaben auf einem Niveau zwischen 107 % (Minimum 2011) und ca. 125 % (Maximum 2013) und liegt damit durchgängig über dem Niveau der Energiebilanz (vgl. Schaubild 52).

- Der Fernwärmeverbrauch des GHD-Sektors, der sich nach der Restrechnung ergibt, liegt ebenfalls in gesamten Zeitraum von 2010 und 2014 über dem Verbrauchsniveau, das die Energiebilanz Deutschland in diesem Sektor verbucht. Beide Zeitreihen weisen einen ähnlichen zeitlichen Verlauf auf: Im Jahr 2010 erreicht der Fernwärmeeinsatz im GHD-Sektor sowohl nach Angaben der Energiebilanz Deutschland als auch nach der Restrechnung den höchsten Wert; im Jahr 2012 sind jeweils die niedrigsten Fernwärmeverbräuche zu beobachten (vgl. Schaubild 53).

Schaubild 51: Heizölabsatz an den GHD-Sektor

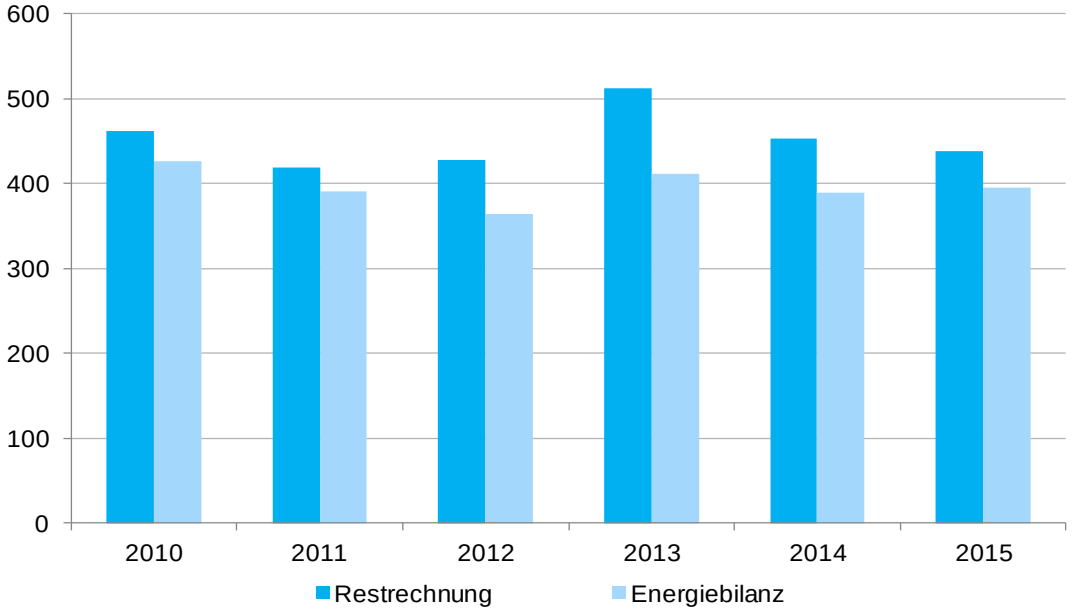
2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen EEFA. *2015: vorläufig.

Schaubild 52: Erdgasverbrauch des GHD-Sektors

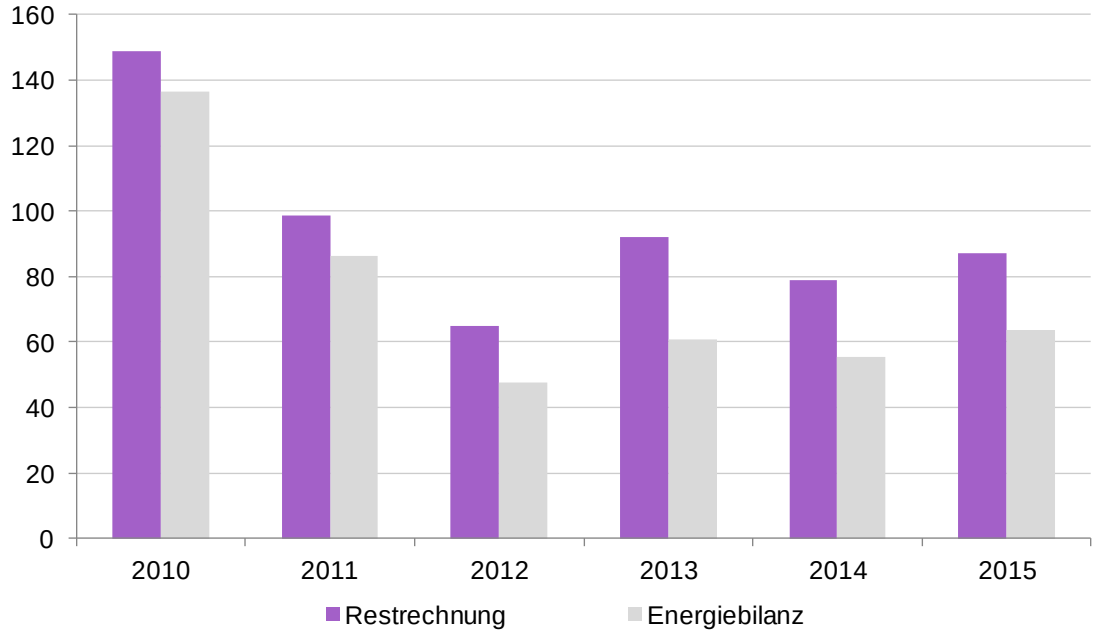
2010 bis 2015, in PJ (Hu), Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen EEFA. *2015: vorläufig.

Schaubild 53: Fernwärmeverbrauch des GHD-Sektors

2010 bis 2015, in PJ, Vergleich mit den empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland.*



Quelle: AG Energiebilanzen und eigene Berechnungen EEFA. *2015: vorläufig.

5.2.2. Restrechnung zur Ermittlung des Einsatzes von Strom im GHD-Sektor

Zum Stromverbrauch der Privaten Haushalte stellt die vorliegende Umsetzungsstudie – wie bereits in der Konzeptstudie angemerkt – aufgrund der guten Qualität der primärstatistischen Datenquellen die in die Energiebilanz Deutschland einfließen, keine „neuen" Zeitreihen zur Verfügung, die auf Hochrechnungen oder Modellierungsansätzen basieren.[165] Obwohl eine Änderung der Restrechnung zur Ermittlung des Stromverbrauchs i.e.S. deshalb nicht erforderlich ist, liefern die Konzept- und Umsetzungsstudie empirische Hinweise, die ggf. eine Umbuchung erforderlich machen.

Die angesprochene Umbuchung betrifft die Behandlung privater Fahrzwecke von Kraftfahrzeugen mit Elektromotor (rein elektrisch betriebene Batteriefahrzeuge bzw. Plug-In-Hybride, darunter im Wesentlichen Pkw und Krafträder), die privat oder gewerblich zugelassen sind. Der Stromverbrauch dieser Kfz ist seit 2013 in der Energiebilanzzeile

[165] Ähnliches gilt für den Einsatz der Energieträger Steinkohle, Braunkohle (sowie deren Produkte) und Flüssiggas in Privaten Haushalten.

62 im Sektor Straßenverkehr subsummiert.[166] Das ZSW-Straßenverkehrsmodell liefert als Zusatzinformation den Stromeinsatz des motorisierten Individualverkehrs differenziert für Fahrten, die auf private Nutzungen und gewerbliche Fahrtzwecke zurückzuführen sind.[167]

A priori kann vermutet werden, dass im Haushaltsstromverbrauch, den die Energiebilanz Deutschland erfasst, auch Strommengen enthalten sind, die dem Antrieb privat genutzter Pkw und Krafträder dienen. Die Ermittlung des Stromverbrauchs im GHD-Sektor (Restrechnung innerhalb der Erstellung der Energiebilanz) führt unter diesen Prämissen zu verzerrten Resultaten, weil der Stromverbrauch der Privaten Haushalte für Mobilitätszwecke zweimal von der Restgröße „Stromeinsatz im GHD-Sektor" abgezogen wird.

Um zu einer korrekten Bestimmung des Stromverbrauchs im GHD-Sektor zu gelangen, muss also der Strom, der Privaten Haushalten für Mobilitätszwecke bzw. zum Betrieb privat genutzter Pkw mit Elektromotor entnommen wird, vor der Durchführung der Restrechnung vom gesamten Haushaltsstromverbrauch abgezogen werden.

Es ist allerdings nicht trivial, den Anteil des Stromverbrauchs zum Betrieb privat genutzter Pkw mit Elektromotor festzulegen, den Haushaltskunden an privaten Ladestationen und nicht an öffentlichen Stromtankstellen oder Ladeeinrichtungen bezogen haben. Gegenwärtig existieren in Deutschland lediglich gut 5 400 öffentlich zugängliche Ladestationen mit rund 15 000 Anschlüssen, wovon etwa 60 % eine Schnellaufladung der Fahrzeugbatterie zulassen.[168] Als weiteres Hemmnis neben der Verfügbarkeit einer öffentlichen Infrastruktur zum Laden von Elektro-Fahrzeugen kommt hinzu, dass sich gegenwärtig weder ein einheitliches Stecker- noch Bezahlsystem etabliert hat.

Ein hoher Anteil des Stromverbrauchs privat genutzter Kfz dürfte vor diesem Hintergrund über private Ladeeinrichtungen konsumiert worden sein. Geht man schätzungsweise davon aus, dass etwa 85 % des Stromeinsatzes zum Betrieb privat genutzter Elektro-Pkw (in Höhe von 80,2 TJ im Jahr 2015) über den Haushaltsstrom gedeckt werden, enthielt der Stromverbrauch der Privaten Haushalte im Jahr 2015 rund 68 TJ (entspricht 18,9 GWh), die bereits im Verkehrssektor erfasst wurden (vgl. Tabelle 43).

[166] Neben dem Stromeinsatz zum Antrieb privat und gewerblich genutzter Pkw und Krafträder umfasst der Sektor Straßenverkehr zusätzlich den Verbrauch an elektrischer Energie im Öffentlichen Straßenpersonennahverkehr (Elektro-, Plug-In-Hybrid- und Oberleitungsbusse) sowie für Nutzfahrzeuge (Lkw, Zugmaschinen, sonstige Kfz).

[167] Vgl. Kapitel 7 sowie EEFA et al. (2015)

[168] Quelle: https://de.chargemap.com, Stand 2016.

Aus alledem folgt, dass sich der in der Energiebilanz verbuchte Stromverbrauch der Privaten Haushalte um den skizzierten Stromverbrauch zum Antrieb privat genutzter Elektro-Pkw vermindert, entsprechend erhöht sich der Stromeinsatz des GHD-Sektors (Restrechnung).

Tabelle 43: Stromverbrauch privat genutzter Kfz
2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Stromverbrauch privat genutzter Kfz	6,3	10,0	12,6	19,2	44,8	80,2
darunter Stromverbrauch in Privaten Haushalte	5,3	8,5	10,7	16,3	38,1	68,2

Quelle: Eigene Berechnungen ZSW, vgl. Kapitel 7

5.2.3. Restrechnung zur Ermittlung des Einsatzes von Klär- und Deponiegas im GHD-Sektor

Klärwerke und Deponien sind kommunale Anlagen zum Zwecke der Reinigung von Abwässern sowie Beseitigung von Abfällen. Per Definition sind sie damit im Sektor GHD angesiedelt. In der Regel direkt auf dem Werksgelände energetisch genutzt werden die durch Faulungsprozesse gewonnenen, flüchtigen methanhaltigen Bestandteile Klärgas und Deponiegas.[169]

Seit 2012 wird der Einsatz von Klär- und Deponiegas zur Wärmeerzeugung im GHD-Sektor in der Energiebilanz im Wesentlichen modellgestützt erfasst.[170] Die beiden Energieträger spielen allerdings eine eher untergeordnete Rolle, ihr Anteil am gesamten Endenergieverbrauch im GHD-Sektor beträgt lediglich 1,2 % im Jahr 2014.

Ergebnisse aus Modellrechnungen sind naturgemäß mit Unsicherheiten verbunden. Insofern liegt es auf der Hand, empirisch erhobene Daten vorzuziehen, wenn diese regelmäßig und zuverlässig verfügbar sind. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass eine Ermittlung des Energieverbrauchs als Restgröße nur erfolgen kann, sofern das Aufkommen des Energieträgers und alle anderen in der Energiebilanz erfassten sektoralen Verbräuche bei der Erstellung der Bilanz aus originären statistischen Quellen

[169] Klärschlamm als fester Rückstand bei der (an)aeroben Fermentation von Abwässern wird in Monoklärschlammverbrennungsanlagen thermisch genutzt oder in Kohlekraftwerken mit verbrannt. Im Rahmen der Energiebilanz Deutschland wird die energetische Nutzung von Klärschlamm separat erfasst und ist daher nicht Bestandteil dieses Kapitels.

[170] Der Einsatz von Klärgas zur ungekoppelten Wärmeerzeugung wird im Rahmen der amtlichen Erhebung 073 jährlich erhoben.

gewonnen werden. Für beide Energieträger liegen amtliche Daten zum gesamten energetischen Aufkommen in Deutschland vor.[171] Damit ist die Grundvoraussetzung für die Durchführung des Restrechnungsansatzes erfüllt.

In der Summe ergeben sich für den Sektor GHD die in Tabelle 44 zusammengefassten Verbräuche für die Jahre 2010 bis 2015.

Tabelle 44: Verbrauch Klär- und Deponiegas im Sektor GHD in Deutschland
2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Klärgas	8 778	8 776	8 472	6 224	6 501	6 875
Deponiegas	1 219	658	985	1 166	883	804
Summe	9 997	9 434	9 457	7 390	7 384	7 679

Quelle: Eigene Berechnungen ZSW. * vorläufige Daten.

[171] Das Aufkommen von Klärgas wird einmal jährlich im Rahmen der amtlichen Erhebung 073 bei Klärwerksbetreibern abgefragt, das Aufkommen von Deponiegas ist alle zwei Jahre Bestandteil der Fachserie 19, Reihe 1. Da die Deponierung unbehandelter Abfälle, d.h. Abfälle mit organischen Bestandteilen, in Deutschland seit dem Jahr 2005 gesetzlich verboten ist, nimmt das Aufkommen von Deponiegas gleichmäßig ab – die Deponien gasen aus. Insofern kann es als unbedenklich angesehen werden, das Aufkommen in den Zwischenjahren zu interpolieren. Zusätzlich zum Aufkommen enthalten beide Erhebungen primärstatistische Informationen zu Fackel- und Leitungsverlusten, die in Energiebilanzzeile 41 verbucht werden.

6. Integration der gewonnenen Zeitreiheninformationen (Verbrauchs- und Absatzrechnungen) in die Energiebilanz Deutschland

Die vorliegende Studie hat unter Zuhilfenahme von Hochrechnungen (aus vorliegenden Daten der Energiekostenabrechner) und Modellanalysen (EEFA u. ZSW) vollständige Zeitreihen zum Endenergieverbrauch Privater Haushalte an

- Ottokraftstoffen,
- Heizöl leicht,
- Erdgas,
- Fernwärme,
- Biomasse u. erneuerbare Abfälle (für die Satellitenbilanz differenziert nach feste Biomasse (Holz und Holzkohle), flüssige biogene Stoffe, Biogas und Biomethan) sowie
- Sonstige erneuerbare Energien (für die Satellitenbilanz differenziert nach Solarthermie und Umweltwärme)

ermittelt.

Neben den erwähnten Datenreihen zum Energieverbrauch der Privaten Haushalte wurden für die Energieträger:

- Ottokraftstoff,
- Dieselkraftstoff
- Biomasse u. erneuerbare Abfälle (für die Satellitenbilanz differenziert nach feste Biomasse (Holz und Holzkohle), flüssige biogene Stoffe, Biogas und Biomethan, Klärgas und Deponiegas) sowie
- Sonstige erneuerbare Energien (für die Satellitenbilanz differenziert nach Solarthermie und Umweltwärme)

zusätzlich (überwiegend modellgestützte) Zeitreihen zum Verbrauch im GHD-Sektor berechnet.

Für die lagerfähigen Energieträger (leichtes Heizöl und Flüssiggas) stellt die vorliegende Umsetzungsstudie darüber hinaus Zeitreihen zu den Bestandsveränderungen (differenziert nach den Sektoren Private Haushalte und GHD) bereit.

6.1.1. Integration der Zeitreihen in das bestehende Energiebilanzkonzept

Ausgehend von den ermittelten Zeitreihen zum Absatz bzw. Verbrauch der skizzierten Energieträger an die Endverbrauchersektoren Private Haushalte und GHD stellt sich nun generell die Frage, welche Auswirkungen die Integration der gewonnenen Daten für die Energiebilanz Deutschland, bzw. für die Berechnung zentraler Größen wie den Primärenergie- oder Endenergieverbrauch nach sich zieht. Wenngleich davon ausgegangen werden kann, dass jede Veränderung der Datenquellen zur Erstellung der Energiebilanz in irgend einer Weise primär- oder endenergieverbrauchsrelevante Wirkungen nach sich zieht, gibt es Bereiche, von denen mehr oder weniger starke Effekte auf die Gesamtbilanz ausgehen.

Vergleichsweise überschaubare Veränderungen ergeben sich durch die Integration der Zeitreihen zum Absatz von leichtem Heizöl, Erdgas und Fernwärme an die Privaten Haushalte. Die zukünftige Übernahme dieser Daten aus der vorliegenden Umsetzungsstudie führt in der Energiebilanz Deutschland „nur“ zu einer Verschiebung der Absatz- bzw. Verbrauchsstruktur zwischen den Sektoren „Private Haushalte“ und „GHD“. Die Summe „Endenergieverbrauch Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (Energiebilanzzeile 68) und infolgedessen auch der Endenergie- sowie Primärenergieverbrauch verändern sich aufgrund des angewandten Verfahrens der Restrechnung nicht.

Demgegenüber wird der Kraftstoffverbrauch sowohl in Privaten Haushalten als auch im GHD-Sektor in dieser Studie „bottom-up“ mit Hilfe von Modellansätzen berechnet. Naturgemäß führt diese Vorgehensweise im Falle der Übernahme der Daten in die Energiebilanz zu einer Veränderung des Endenergieverbrauchs an Kraftstoffen (Motorenbenzin und Dieselkraftstoff) im übergeordneten Gesamtsektor „Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen“ (Energiebilanzzeile 68). Allerdings erfolgt die Bestimmung des Kraftstoffeinsatzes im Straßenverkehr im Rahmen der Energiebilanzerstellung schon heute als Restgröße, so dass sich zwar der Kraftstoffverbrauch im Verkehr (Energiebilanzzeile 65) geringfügig verändert, der Endenergie- und Primärenergieverbrauch gegenüber der ursprünglichen Bilanz aber ebenfalls unverändert bleiben.

Unter dem Aspekt des Einflusses auf die Energiebilanz Deutschland ist die Übernahme neu gewonnener Daten im Bereich erneuerbarer Energien von besonderer Bedeutung. Im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern Öl oder Gas, sind hier stärkere Auswirkungen bis auf die Ebene des Primär- oder Endenergieverbrauchs zu erwarten.

Bei der Interpretation dieses Befundes ist jedoch zweierlei zu berücksichtigen. Zum einen sei daran erinnert, dass für die meisten erneuerbaren Energien im Rahmen der Energiebilanz Deutschland bisher keine empirisch-statistisch belastbare, originäre Auf-

kommensrechnung vorlag (das Energieaufkommen im Inland wurde für diese erneuerbaren Energien in der Vergangenheit über die Verwendung „bottom up“ errechnet). Der Primärenergieverbrauch bzw. das Energieaufkommen dieser Erneuerbaren Energien im Inland ergibt sich in diesen Fällen bisher also rein „rechnerisch“ aus der Addition der Nachfrageentwicklung in den einzelnen Umwandlungs- und Endenergieverbrauchsektoren (keine Restrechnung).

Zum anderen konnten für ausgewählte erneuerbare Energien wie Biomethan, Klär- und Deponiegas (Teil der Energiebilanzspalte: Biomasse und erneuerbare Abfälle) im Rahmen dieser Studie belastbare Daten zum Energieaufkommen im Inland ermittelt werden. Für die genannten Energieträger kann der Endenergieverbrauch des GHD-Sektors (bzw. bei Biomethan die Lagerbestandsveränderungen) folglich in dieser Studie erstmals auch über eine Restrechnung bestimmt werden.

Aus alledem folgt für die Übernahme der in dieser Studie ermittelten Zeitreihen zum Einsatz erneuerbarer Energien in die Energiebilanz Deutschland für:

- Erneuerbare Energien, deren Aufkommen sich „bottom up“ errechnet (Flüssige biogene Stoffe, Biogas, Holzkohle, Solarthermie sowie Umweltwärme): Neben den unmittelbaren Veränderungen im Energieverbrauch erneuerbarer Energien des Sektors „Private Haushalte und GHD“ (Energiebilanzzeile 68), zieht die Verwendung der neuen Datenquellen bei diesen Energieträgern naturgemäß eine entsprechende Veränderung des Endenergie- und Primärenergieverbrauchs nach sich.

- Erneuerbare Energien, deren Aufkommen im Inland bereits vorliegt oder in dieser Studie neu ermittelt werden konnte (Biomethan, Deponiegas und Klärgas sowie feste biogene Stoffe): Bei diesen erneuerbaren Energien ändert sich im Zuge der Integration der Zeitreihen in die Energiebilanz der Primärenergieverbrauch (aufgrund der neuen Aufkommensrechnung). Der Endenergieverbrauch als Ganzes sowie seine Subsektoren „Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe“ (Energiebilanzzeile 60), „Verkehr“ (Energiebilanzzeile 65) und „Private Haushalte und GHD“ (Energiebilanzzeile 68) werden durch die Übernahme der Daten hingegen nicht beeinflusst. Aufgrund der in diesen Fällen angewandten Restrechnung für den GHD-Sektor verschiebt sich lediglich der Endenergieverbrauch zwischen den Sektoren Private Haushalte und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Hinzu kommt, dass teilweise (z.B. beim Deponiegas) als Zusatzinformation die Fackel- und Leitungsverluste ermittelt werden konnten (Energiebilanzzeile 41).

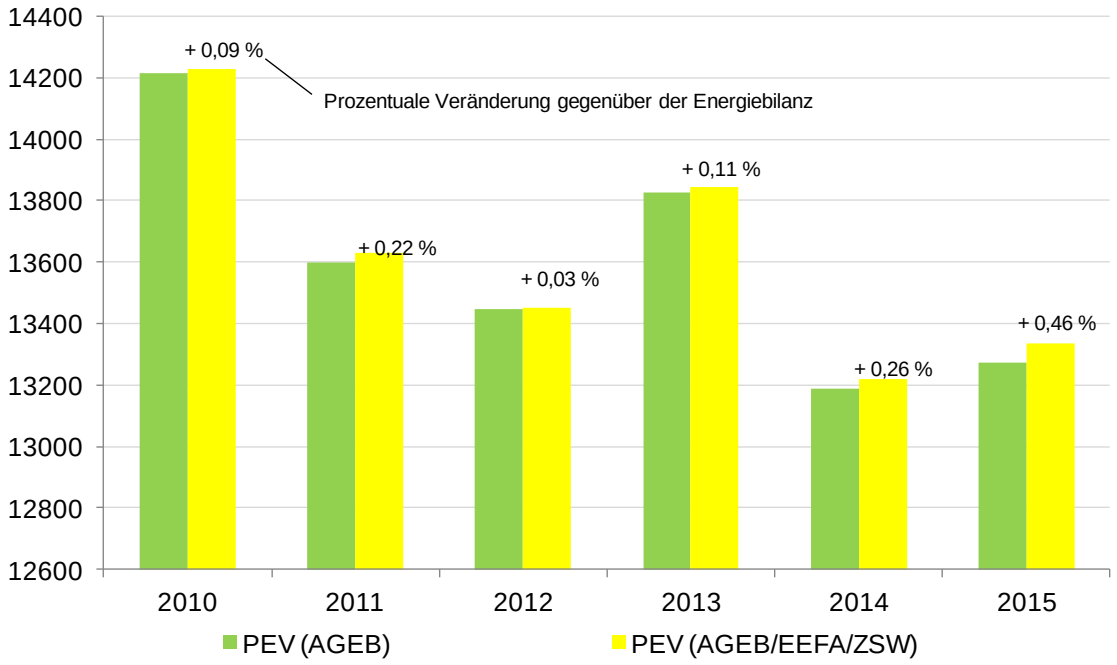
Einen ersten Gesamteindruck der Auswirkungen der neu gewonnenen Zeitreihen auf die Energiebilanz vermittelt ein Vergleich der neu errechneten Spitzenaggregate Primärenergie- und Endenergieverbrauch mit den alten Originalwerten aus der Energiebilanz (vgl. Schaubild 54 und Schaubild 55). Insgesamt zeigt sich auf dieser Ebene, das sich

die Auswirkungen der Datenübernahme auf die Energiebilanz in engen Grenzen halten: Bezogen auf den Primärenergieverbrauch liegen die neu ermittelten Werte in einer Bandbreite zwischen +0,46 % (Maximum 2015) und +0,09 % (Minimum 2010) über dem Niveau der in der Energiebilanz publizierten Originalwerte. Beim Endenergieverbrauch liegen die neu berechneten Werte in der Größenordnung zwischen +0,11 % (2012) und 0,61 % (2015) über dem Niveau der Angaben, die die Energiebilanz Deutschland publiziert hat.

Bei der Interpretation der Effekte, die aus der Übernahme der neu gewonnenen Zeitreihen in die Energiebilanz resultieren, fällt ins Auge, dass die prozentualen Abweichungen zwischen neu berechnetem Primär- und Endenergieverbrauchs und den Originalwerten der Energiebilanz Deutschland im Beobachtungszeitraum (2010 bis 2015) deutlich zunehmen.

Schaubild 54: Auswirkungen auf den Primärenergieverbrauch insgesamt

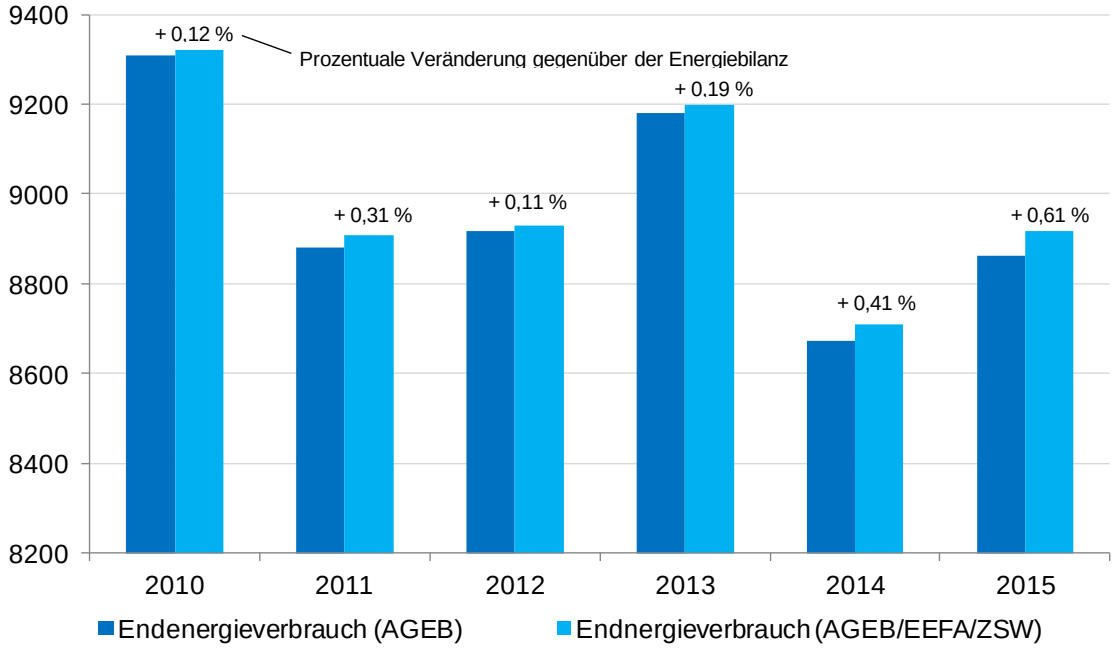
2010 bis 2015, in PJ.



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach AG Energiebilanzen

Schaubild 55: Auswirkungen auf den Endenergieverbrauch insgesamt

2010 bis 2015, in PJ.



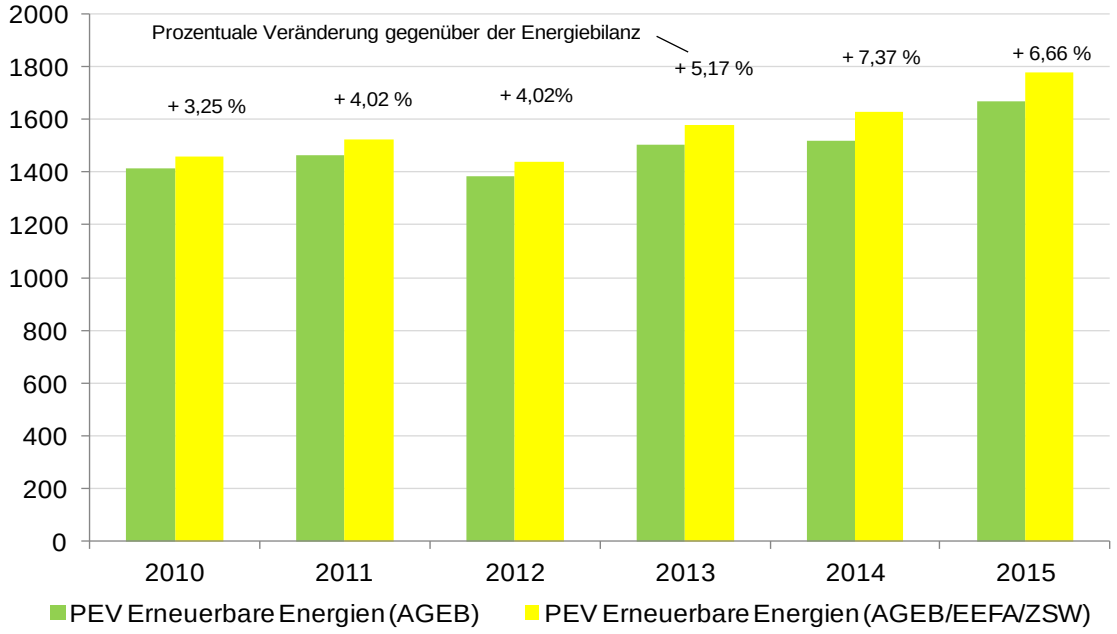
Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach AG Energiebilanzen

Die Erklärung für diese beobachtete Entwicklungstendenz ist einfach. Wie bereits erwähnt sind sämtliche Änderungen, die durch die Übernahme der empirischen Zeitreihen aus der vorliegenden Umsetzungsstudie in Energiebilanz-Aggregaten wie dem Primär- oder Endenergiebrauch entstehen, auf die in den Abschnitten 3.2 bis 3.6 (für die Haushalte) sowie 5.1.1 bis 5.1.4 (für den GHD-Sektor) erläuterten Verbesserungen der Datenbasis bei den erneuerbaren Energien zurückzuführen.[172] Da sowohl der Anteil erneuerbarer Energien am Primär- als auch am Endenergieverbrauch in der Zeit zwischen 2010 und 2015 deutlich zugelegt hat, nimmt das Ausmaß der Impulse durch die Übernahme der neu gewonnenen Zeitreihen am aktuellen Rand zu.[173] Sichtbar wird dieser Zusammenhang auch daran, dass die Veränderungen in der Bilanz (durch Übernahme der Daten) bezogen auf den Primär- bzw. Endenergieverbrauch der erneuerbaren Energien naturgemäß stärker ins Gewicht fallen (vgl. Schaubild 56 und Schaubild 57).

[172] Bei den konventionellen, fossilen Energieträgern ergeben sich lediglich Verschiebungen zwischen den Sektoren Private Haushalte, GHD und Straßenverkehr.

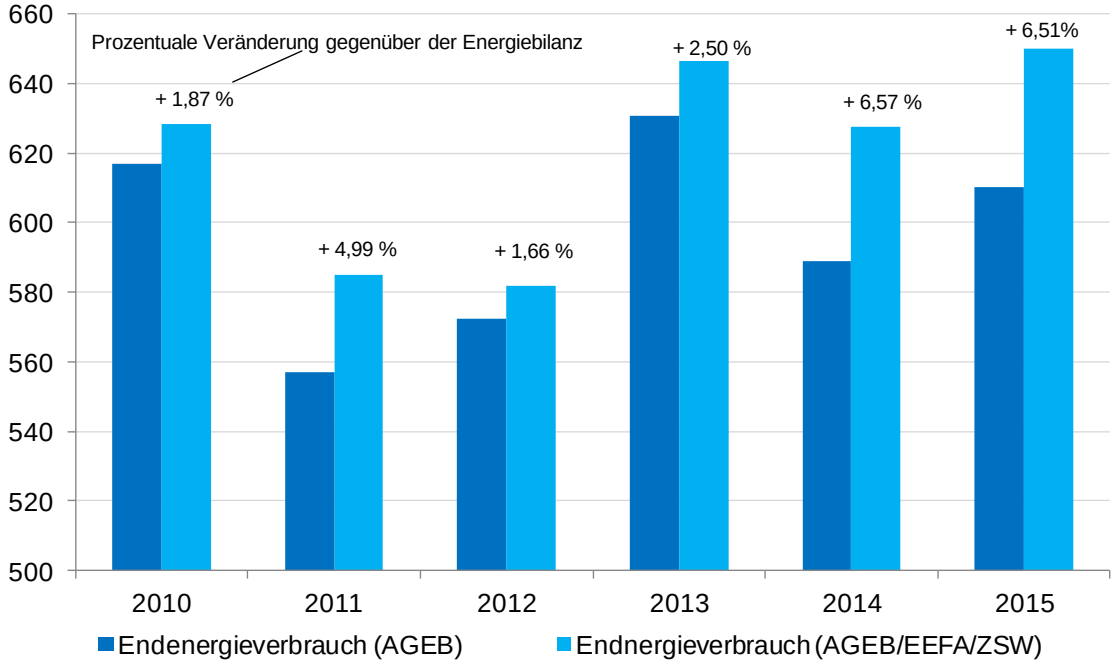
[173] Nach Berechnungen der AG Energiebilanzen ist der Anteil Erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch in der Zeit zwischen 2010 und 2015 von 9,9 % auf 12,5 % angestiegen. Bezogen auf den Endenergieverbrauch hat der Anteil erneuerbarer Quellen im selben Zeitraum um 0,3 %-Punkte auf 6,9 % zugenommen.

Schaubild 56: Auswirkungen auf den Primärenergieverbrauch erneuerbarer Energien 2010 bis 2015, in PJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach AG Energiebilanzen.

Schaubild 57: Auswirkungen auf den Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien 2010 bis 2015, in PJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach AG Energiebilanzen

Der Primärenergieverbrauch erneuerbarer Energien erreicht – unter Berücksichtigung neuer Studienergebnisse – ein Niveau, das in der Größenordnung von +3,3 % (Minimum 2010) und +6,7 % (2015) über den bislang in der Energiebilanz ermittelten Werten liegt. Der Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien erhöht sich nach unseren Berechnungen gegenüber der Energiebilanz im Maximum um 6,5 % (2015), im Minimum um 1,7 % (2012). Im Durchschnitt der endgültigen Energiebilanzjahre von 2010 bis 2015 ist aufgrund der Neuberechnung mit einer Erhöhung des Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien um fast 5 % zu rechnen.

Tabelle 45 fasst den Gesamteinfluss sämtlicher Neuberechnungen auf die (aus Gründen der Darstellung verkürzte) Energiebilanz tabellarisch in Form der prozentualen Abweichung von der Originalbilanz für die Zeit von 2010 bis 2015 zusammen.

Bei der genauen Betrachtung der Tabelle fallen die Abweichungen bei den Statistischen Differenzen zur Energiebilanz ab 2012 besonderes ins Auge. Der Grund für die auffällige Entwicklung der Statistischen Differenzen ist in der Erfassung des Klärgases in der Energiebilanz Deutschland zu finden. Insbesondere das Bilanzjahr 2012 ist von erheblichen Statistischen Differenzen bei der Erfassung des Klärgases gekennzeichnet. Die Nutzung der mit der vorliegenden Umsetzungsstudie für die Zeit von 2010 bis 2015 verfügbar gemachten Datenbasis (hier Ermittlung des inländischen Aufkommens an Klärgas und Restrechnung zur Ermittlung des Klärgaseinsatzes im GHD-Sektor hat zur Folge, dass statistische Differenzen in der Klärgas-Bilanz verschwinden bzw. im GHD-Sektor (mit)erfasst werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Integration der in dieser Studie ermittelten Zeitreihen zum Energieverbrauch der Privaten Haushalte (sowie des GHD-Sektors) ohne weiteres möglich ist. Verschiebungen gegenüber den bisherigen empirischen Befunden der Energiebilanz Deutschland konzentrieren sich vor allem auf die Sektoren Private Haushalte sowie im Rahmen der Restrechnung GHD und Straßenverkehr. Auswirkungen auf den Primär- oder Endenergieverbrauch resultieren ausschließlich der Übernahme verfeinerter Zeitreihen zum Energieeinsatz aus erneuerbaren Quellen.

Tabelle 45: Auswirkungen auf die Energiebilanz (verkürzte Darstellung)

Abweichungen in % bezogen auf den Originalwert der Energiebilanz

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gewinnung im Inland	0,3	0,7	0,1	0,3	0,8	0,9
E.-Aufkommen im Inland	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3
PEV	0,1	0,2	0,0	0,1	0,3	0,3
Umwandlungseinsatz	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Umwandlungsausstoß	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
E.-Verbr. im Umwandl.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fackel- u. Leitungsverluste	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7
Energieangebot	0,1	0,3	0,0	0,2	0,4	0,4
Nichtenerg. Verbr.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stat. Differenzen	0,0	0,0	-30,1	-0,3	4,1	-5,2
Endenergieverbrauch	0,1	0,3	0,1	0,2	0,4	0,4
Verarbeit. Gewerbe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Verkehr	-0,3	-0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,1
Haushalte	1,4	4,1	2,6	-2,3	1,6	2,9
GHD	-1,2	-4,7	-3,6	5,2	0,2	-2,2
HH und GHD	0,5	0,8	0,4	0,4	1,1	1,0

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

6.1.2. Integration der Zeitreihen unter Berücksichtigung der Lagerbestandsbewegungen bei Heizöl und Flüssiggas

Als Alternative zur einfachen Übernahme der ermittelten Zeitreihen in die bestehende Konzeption der Energiebilanz Deutschland bietet die isolierte Ermittlung der Lagerbestandsveränderungen (beim leichten Heizöl sowie Flüssiggas) die Option zur methodisch korrekten Erfassung der Lagerbestandsbewegungen in der Primärenergiebilanz. [174]

Die angesprochene Umbuchung der Bestandsveränderungen lagerfähiger Energieträger fand bei der Erstellung der Energiebilanz in der Vergangenheit allein aus empirischen Gründen (fehlende statistische Daten) nicht statt. Die Bilanzierung eines Teils der La-

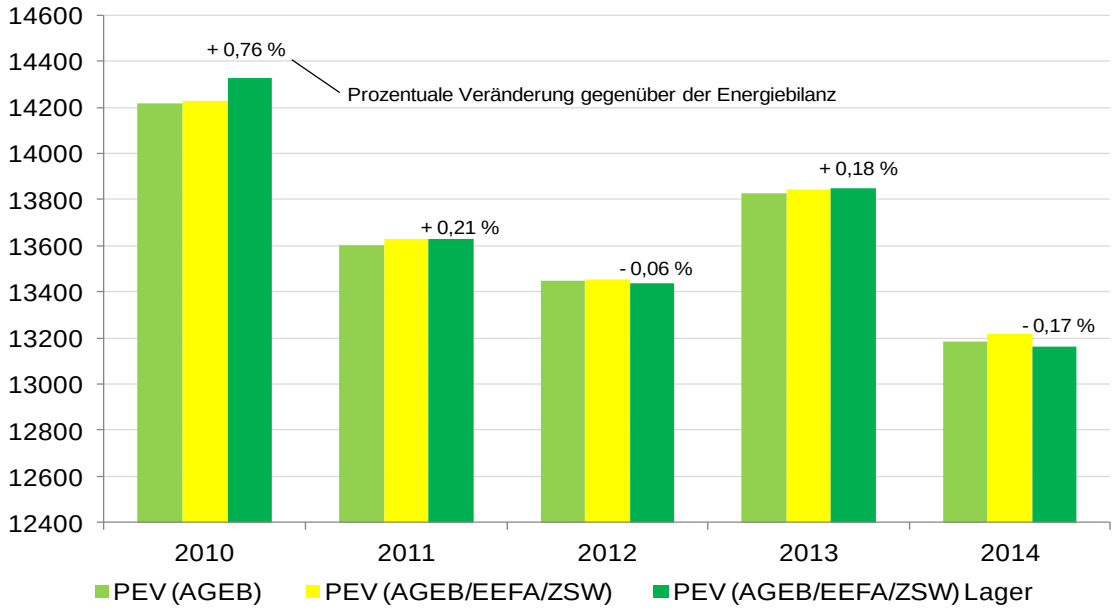
[174] Aufgrund fehlender statistischer Informationen erfasst die Energiebilanz im Endenergieverbrauch der Sektoren Private Haushalte und GHD bei den lagerfähigen Energieträgern grundsätzlich nur abgelieferte Mengen (Absatz) und nicht den Verbrauch, der methodisch korrekt eigentlich dort dargestellt werden müsste.

gerbestandsbewegungen im Sektor „Private Haushalte und GHD“ (durch die Ausweisung des Absatzes anstelle des Verbrauchs an Heizöl oder Flüssiggas) führt zu Verzerrungen des Primär- und Endenergieverbrauchs.

Im Endenergieverbrauch bewirkt die Bilanzierung der Absatz- anstelle der Verbrauchsmenge lagerfähiger Energieträger eine Untererfassung des tatsächlich zu beobachten Verbrauchs, sofern die Verbraucher einen Teil des Bedarfs aus ihren Tankvorräten (Bestandsentnahmen) decken. Umgekehrt überschätzt die aktuelle Methodik der Energiebilanz aufgrund der Darstellung des Absatzes den Endenergieverbrauch in Jahren, in denen die Verbraucher beispielsweise aufgrund der Preisbewegungen ihre Tankbestände aufstocken.

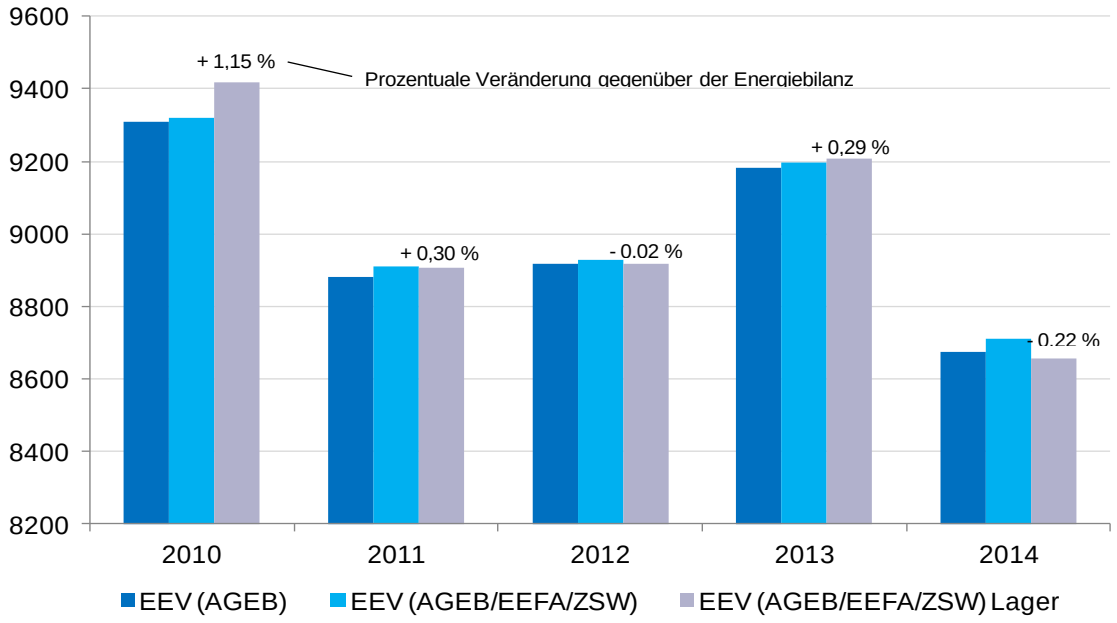
Auf den Primärenergieverbrauch hat die bisherige Vorgehensweise der Energiebilanz (der Verbuchung eines Teils der Lagerbestandsveränderungen im Endenergieverbrauch) einen gleichgerichteten Einfluss: der Primärenergieverbrauch in der bisherigen Darstellung der Energiebilanz wird für Berichtsjahre, die tendenziell durch preisgetriebene Lagerbestandsaufstockungen gekennzeichnet waren, überschätzt, hingegen in Jahren mit Bestandsentnahmen unterschätzt.

Schaubild 58: Auswirkungen auf den Primärenergieverbrauch (inkl. Umbuchung der Lagerbestandseffekte aus den Sektoren Private Haushalte und GHD)
2010 bis 2015, in PJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach AG Energiebilanzen

Schaubild 59: Auswirkungen auf den Endenergieverbrauch (inkl. Umbuchung der Lagerbestandseffekte aus den Sektoren Private Haushalte und GHD)
2010 bis 2015, in PJ



Quelle: Eigene Berechnungen EEFA nach AG Energiebilanzen

Die Berücksichtigung der Lagerbestandsveränderungen aus den Sektoren Private Haushalte und GHD in der Primärenergiebilanz vermeidet die skizzierten Verzerrungen und ermöglicht für alle Endenergieverbraucher die Berechnung unverzerrter Kennziffern zur Entwicklung der Energieeffizienz.

Schaubild 58 und Schaubild 59 fassen die Auswirkungen zusammen, die bei einer Übernahme der Zeitreihen aus dieser Studie unter Berücksichtigung einer methodisch sachgerechten Umbuchung der Lagerbestandsveränderungen auf den Primär- und Endenergieverbrauch zu erwarten sind.

7. Kraftstoffverbrauch im motorisierten Individualverkehr (MIV) von 2010 bis 2015

Der Endenergieverbrauch für Mobilitätszwecke nach Energieträgern wird in der Energiebilanz Deutschland isoliert im Sektor Verkehr erfasst, der sich in die Subsektoren Schienenverkehr, Straßenverkehr, Luftverkehr sowie Binnenschifffahrt untergliedert. Eine „sektorale" Aufteilung des Energieverbrauchs für Mobilität im Straßenverkehr, etwa in private, gewerbliche oder industrielle Zwecke, erfolgt in der Energiebilanz nicht.[175]

Die Energiebilanz unterscheidet im Straßenverkehr folgende Energieträger:

- Ottokraftstoffe (sowie Bioethanol),
- Dieselkraftstoffe (sowie Biodiesel und Pflanzenöl),
- Flüssiggas,
- Erdgas (sowie Biomethan) und
- elektrischen Strom.

Die Ausgaben für die oben genannten Kraftstoffe, die im motorisierten Individualverkehr eingesetzt werden, bilden einen wichtigen Bestandteil der gesamten Energieausgaben der Privaten Haushalte und des Sektors GHD. Um die Energieausgaben der Privaten Haushalte bzw. die Energiekosten im Sektor GHD (inkl. Kraftstoffe) berechnen zu können, sind detaillierte Informationen zum Kraftstoffverbrauch für **private und gewerbliche Fahrzwecke** (differenziert nach Energieträgern) erforderlich. Liegen diese Angaben vor, lassen sich die Ausgaben für Kraftstoffe durch eine einfache Verknüpfung der physischen Verbräuche mit dem jeweiligen Kraftstoffpreis ermitteln.

Vor diesem Hintergrund wird im folgenden Kapitel der Energieverbrauch des motorisierten Individualverkehrs (private und gewerbliche Nutzungs- bzw. Fahrzwecke) mit dem ZSW-Straßenverkehrsmodell analysiert.

[175] Der Kraftstoffabsatz an die Privaten Haushalte sowie den GHD-Sektor (nicht zu Verkehrszwecken), ist nicht Gegenstand der Analysen in diesem Abschnitt.

7.1. Modellrahmen

Eine detaillierte Darstellung des ZSW-Straßenverkehrsmodells erfolgte bereits in der Konzeptstudie.[176] An dieser Stelle wird daher lediglich eine kurze Beschreibung widergegeben, die sich auf die wesentlichen Elemente des gewählten Modellierungsansatzes beschränkt.

Das zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs im motorisierten Individualverkehr verwendete Modell basiert auf dem „Vintage"-Konzept und verbindet drei Komponenten, um den Energieverbrauch, der auf die private und gewerbliche Nutzung privater und gewerblich zugelassener Kraftfahrzeuge zurückgeht, abzubilden:

- den Kapitalstock (Ausstattungskomponente, Fahrzeugbestand nach Antriebsarten, Fahrzeugsegmenten, Halterstruktur und Altersstruktur gemäß Kraftfahrtbundesamt),
- die empirisch erhobenen Fahrleistungen (Nutzungskomponente, nach Bundesanstalt für Straßenwesen) sowie.
- die spezifischen Energieverbräuche der jeweiligen Altersklasse (Technologiekomponente, nach Spritmonitor.de)

Zur Ermittlung des Energieverbrauchs für private und gewerbliche Mobilitätszwecke sind alle Fahrzeugarten sowie Antriebsarten zu berücksichtigen. Der Energieverbrauch des motorisierten Individualverkehrs errechnet sich für private bzw. gewerbliche Halter wie in den folgenden Gleichungen (3) bzw. (4) dargestellt, wobei i jeweils die genutzten Fahrzeugtypen und j die unterschiedenen Kraftstoffarten bezeichnet.

$$(3)\ EEV_{MIV,PN} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} B_{ij,PN} * FL_{ij,PN} * KV_{ij}$$

$$(4)\ EEV_{MIV,GN} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} B_{ij,GN} * FL_{ij,GN} * KV_{ij}$$

mit:

EEV: Endenergieverbrauch motorisierter Individualverkehr (MIV), 1 000 Liter

PN: private Nutzer

[176] Vgl. EEFA et. al (2015), S. 142-157.

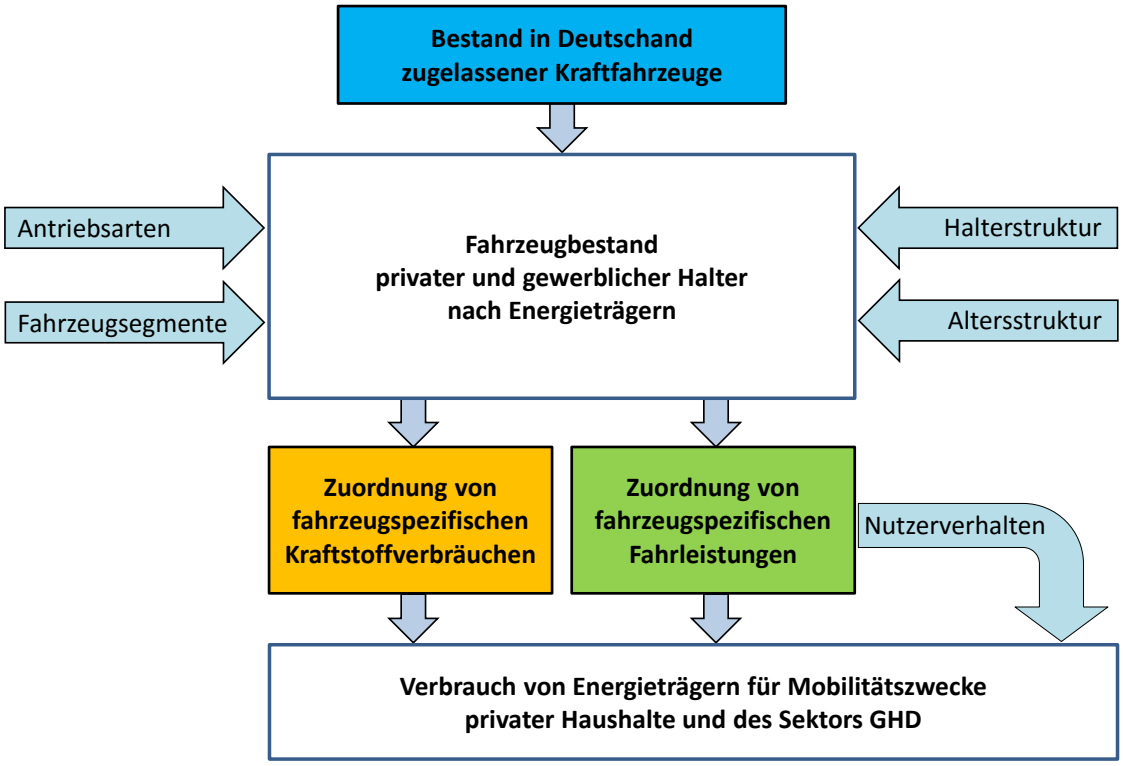
GN: gewerbliche Nutzer

B: Fahrzeugbestand, Anzahl in 1 000

FL: Fahrleistung, km / Jahr

KV: Durchschnittsverbrauch, in l / 100 km

Schaubild 60: Darstellung und Struktur des ZSW-Straßenverkehrsmodells



Quelle: Eigene Darstellung ZSW.

Der Aufbau des Modells ist in Schaubild 60 dargestellt.

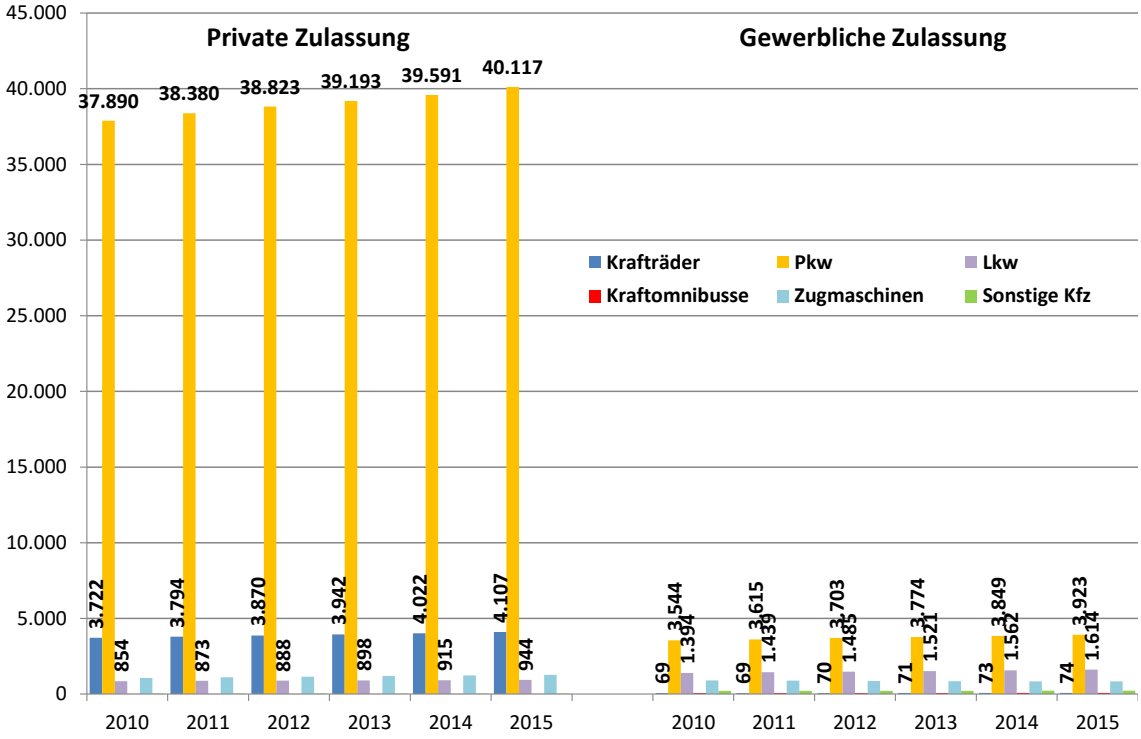
Im Vergleich zur Darstellung in der Konzeptstudie wurden am ZSW-Straßenverkehrsmodell einige Modifikationen bzw. Weiterentwicklungen vorgenommen, mit deren Umsetzung eine höhere Genauigkeit bei der Berechnung des Energieverbrauchs im motorisierten Individualverkehr erreicht wurde. Insbesondere konnten dazu im ersten Schritt die Eingangsdaten des Fahrzeugbestandes nach Segmenten sowie spezifische Kraftstoffverbräuche und Fahrleistungen tiefer disaggregiert werden. Im zweiten Schritt wurde anschließend der Versuch unternommen, das tatsächliche Nutzerverhalten der Kraftfahrzeuge unabhängig von der Zulassung (Haltergruppe) mit in den Erklärungsansatz aufzunehmen.

7.2. Ermittlung des Fahrzeugbestandes privater und gewerblicher Halter in Deutschland

Als Datenbasis bei der Ermittlung des Fahrzeugbestandes privater und gewerblicher Halter in Deutschland dienen die regelmäßigen Publikationen des Kraftfahrtbundesamtes (KBA).[177] Darauf aufbauend wird im Modell im Wesentlichen der Fahrzeugbestand unterteilt in die sechs untergeordneten Gruppen Krafträder, Personenkraftwagen, Kraftomnibusse, Lastkraftwagen, Zugmaschinen und Sonstige Kraftfahrzeuge erfasst (vgl. Schaubild 61). Hinzu kommt die Differenzierung nach den Antriebsarten Otto- und Dieselmotor, Flüssiggas- und Erdgasantrieb, Elektromotor sowie Hybridantriebe (vgl. Schaubild 62).

Schaubild 61: Bestand auf private und gewerbliche Halter zugelassener Kfz in Deutschland nach Fahrzeuggruppen

2010 bis 2015, in 1 000

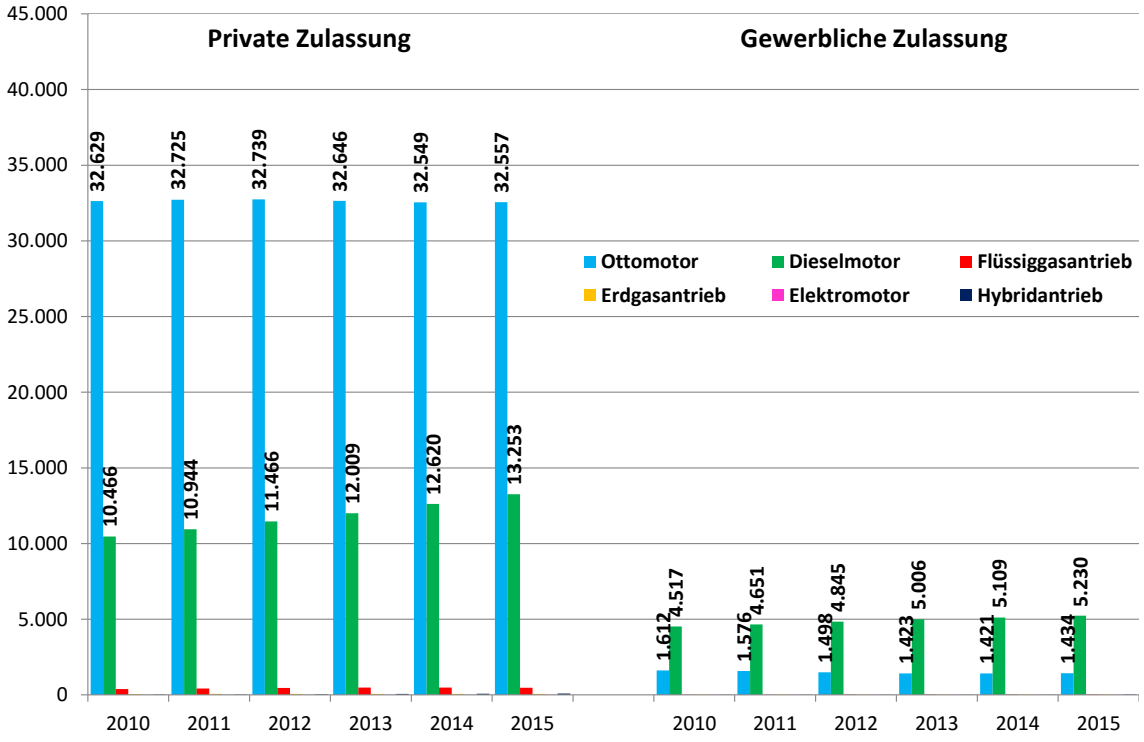


Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach KBA.

[177] Nähere Informationen zu den Publikationen des Kraftfahrtbundesamtes im Bereich Fahrzeugstatistik bietet der Produktkatalog „Produkte der Statistik", im Internet abrufbar unter http://www.kba.de/DE/Statistik/produkte_der_statistik_pdf.

Schaubild 62: Bestand auf private und gewerbliche Halter zugelassener Kfz in Deutschland nach Antriebsarten

2010 bis 2015, in 1 000



Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach KBA.

Diese relativ grobe Zusammenfassung von Kfz führt jedoch bei der Berechnung des Energieverbrauchs für Mobilitätszwecke zu Unschärfen. Um die Belastbarkeit der Ergebnisse des Modells zu steigern, wurde deshalb der Bestand an Fahrzeugen innerhalb der einzelnen Segmente stärker differenziert:

- Krafträder: zweirädrige Leichtkrafträder, zweirädrige Motorräder, sowie dreirädrige und leichte vierrädrige Kfz
- Pkw: Mini, Kleinwagen, Kompaktklasse, Mittelklasse, Obere Mittelklasse, Oberklasse, Mini-Van, Großraum-Van, Utility, SUV, Sportwagen, Geländewagen, Wohnmobile, Sonstige
- Kraftomnibusse: mit weniger und mehr als 40 Sitzplätzen
- Lkw: mit Nutzlast bis 999 kg, bis 1.999 kg, bis 5.999 kg, bis 11.999 kg sowie ab 12.000 kg

- Zugmaschinen: Sattelzugmaschinen, land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen sowie Sonstige

- Sonstige Kfz: Feuerwehr-, Müllabfuhr- und Straßenkehrfahrzeuge, Baumaschinen und Sonstige.

Eine besondere Bedeutung zur Erklärung des Kraftstoffverbrauchs entfällt selbstverständlich auf das Segment der Pkw, die mit einem Gesamtbestand von rund 44,0 Millionen in Deutschland im Jahr 2015 zugelassenen Fahrzeugen für rund 65 % des Energieverbrauchs im Straßenverkehr (bzw. 98 % des Ottokraftstoffverbrauchs im Straßenverkehr) verantwortlich sind. Damit wuchs der Pkw-Bestand gegenüber dem Vorjahr um 1,4 %, gegenüber dem Jahr 2010 sogar um 6,2 %.

Es zeigt sich, dass die Kompaktklasse, die Mittelklasse sowie Kleinwagen im Jahr 2015 weit über 50 % des Gesamtbestandes auf private Halter zugelassener Kfz ausmachen. Die zahlenmäßig kleinste Gruppe bilden die Oberklasse-Pkw (noch hinter den Wohnmobilen) mit einem Anteil bezogen auf alle privaten Halter von lediglich rund 0,6 %.

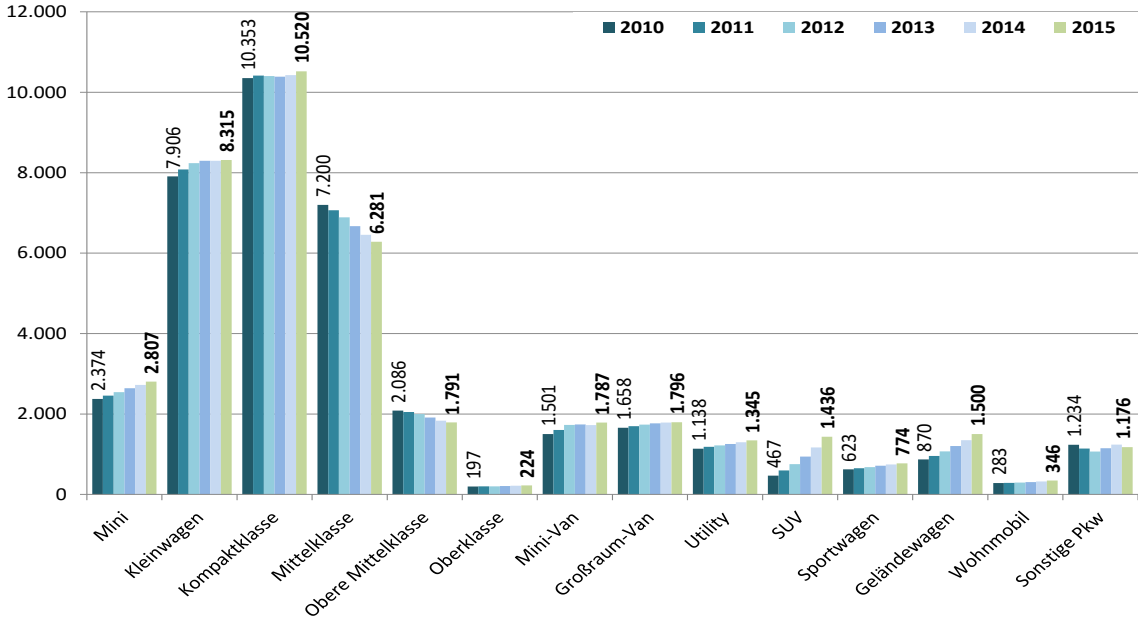
Insgesamt betrachtet sind in der Zeitreihe „Bestand auf private Halter zugelassener Fahrzeuge“ über die Zeit von 2010 bis 2015 nur geringfügige Verschiebungen zwischen den betrachteten einzelnen Fahrzeuggruppen zu beobachten. Relativ betrachtet wuchsen seit 2010, wie in Schaubild 63 dargestellt, die Bestände der SUV (+ 207 %) und Geländewagen (+ 72 %) mit Abstand am stärksten, wohingegen bei den Mittelklasse-Pkw die größte rückläufige Tendenz festzustellen ist (- 13 %).

Der Bestand gewerblich zugelassener Pkw fällt spürbar geringer aus. Insgesamt waren im Jahr 2015 mit rund 3,9 Mio. Fahrzeugen nur knapp 9 % des gesamten Pkw-Bestandes auf deutschen Straßen unterwegs. Auch hier dominiert nach wie vor die Gruppe der Klein- sowie Mittelklassewagen den Gesamtbestand. Größere Zuwächse konnten seit 2010 auch hier insbesondere die Fahrzeuggruppen der SUV und Geländewagen verzeichnen (+ 132 % bzw. + 46 %), wie Schaubild 64 verdeutlicht.

Es liegt auf der Hand, dass die skizzierte Erhöhung der Gliederungstiefe - bezogen auf die Erfassung der Kfz-Bestände im ZSW-Straßenverkehrsmodell - allein nicht zwingend auch die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse positiv beeinflusst. Um dieses Ziel zu erreichen, ist im nächsten Schritt gleichzeitig eine detailliertere Zuordnung der Fahrleistungen sowie der spezifischen Kraftstoffverbräuche auf die einzelnen Fahrzeuggruppen notwendig.

Schaubild 63: Bestand auf private Halter zugelassener Pkw in Deutschland nach Fahrzeuggruppen

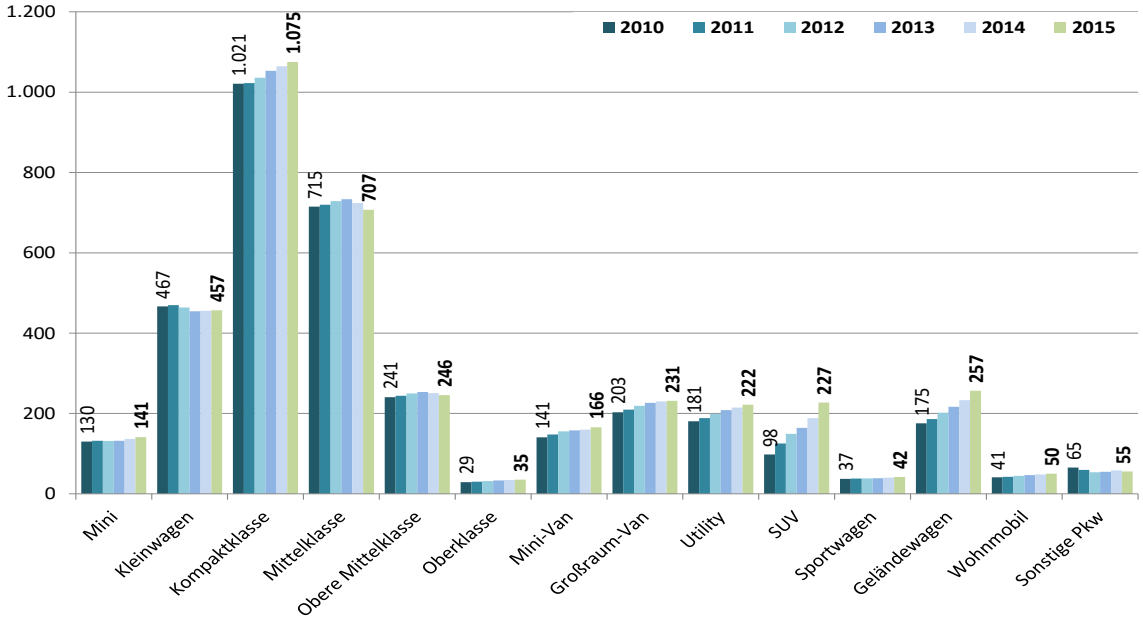
2010 bis 2015, in 1 000



Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach KBA.

Schaubild 64: Bestand auf gewerbliche Halter zugelassener Pkw in Deutschland nach Fahrzeuggruppen

2010 bis 2015, in 1 000



Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach KBA.

7.3. Fahrleistungen zur privaten und gewerblichen Nutzung von Kfz im motorisierten Individualverkehr nach Antriebsarten

Zur Bestimmung des Energieverbrauchs im motorisierten Individualverkehr unterteilt nach privaten und gewerblichen Fahrzwecken ist weniger die Zulassung auf einen bestimmten Haltertyp, sondern letztlich die tatsächliche Nutzung des Fahrzeugs entscheidend. Das Kraftfahrtbundesamt unterscheidet in der Zulassungsstatistik zunächst zwischen privat zugelassenen Fahrzeugen („Arbeitnehmer und Nichterwerbspersonen") sowie gewerblich zugelassenen Kraftfahrzeugen, die den Sektoren GHD und Industrie zugeordnet werden.

Während eine statistische Zuordnung bei den Fahrzeugbeständen noch problemlos möglich ist, bestehen hinsichtlich der exakten Abgrenzung der Fahrleistungen zwischen privater und gewerblicher Nutzung erhebliche Unsicherheiten, denn der Haltertyp sagt - wie bereits erwähnt - zunächst wenig über die tatsächliche Nutzung der Fahrzeuge aus.

Um die skizzierte Zuordnung zu den Fahrzwecken (zunächst für die Pkw) zu vereinfachen, wurden einige Annahmen getroffen. Insbesondere wird dem Energieverbrauch für **Mobilitätszwecke der Privaten Haushalte** sowohl die

- private Nutzung sowie die teilweise private und gewerbliche Nutzung privat zugelassener Pkw, als auch
- die private Nutzung gewerblich zugelassener Pkw

zugerechnet. Zum Kraftstoffverbrauch für **Mobilitätszwecke des Sektors GHD** hingegen zählen sowohl die

- ausschließlich gewerbliche Nutzung privat zugelassener Pkw, als auch
- die teilweise private und gewerbliche sowie ausschließlich gewerbliche Nutzung gewerblich zugelassener Pkw.

Mischnutzungen (private Zulassung – private und gewerbliche Nutzung; gewerbliche Zulassung – private und gewerbliche Nutzung) werden, wie oben beschrieben, dem entsprechenden Pkw-Halter zugeordnet, da eine separate Unterscheidung am empirisch Machbaren scheitert.

Nach einer Erhebung des Mobilitätspanels wurden im Jahr 2015 rund 86 % der privat zugelassenen Pkw ausschließlich privat genutzt, immerhin 14 % wurden zusätzlich für Dienstfahrten eingesetzt (eine ausschließliche gewerbliche Nutzung privat zugelassener Pkw konnte im Jahr 2015 nicht beobachtet werden). Darüber hinaus ist auch die private Nutzung gewerblich zugelassener Pkw zu berücksichtigen, denn mitunter werden

Dienstwagen (sowie Fahrzeuge Selbstständiger) auch ausschließlich für private Fahrzwecke genutzt (3,9 % im Jahr 2015).[178] Zur privaten Nutzung von Dienstfahrzeugen werden u.a. Pendlerfahrten zwischen Wohnung und Arbeitsstätte oder aber Einkäufe/Erledigungen gezählt. Eine eindeutige Trennung der Fahrleistungen in private und gewerbliche Fahrten ist insbesondere bei Arbeitnehmern, die z.B. überwiegend im Außendienst tätig sind, mit erheblichen Schwierigkeiten bzw. Unsicherheiten verbunden.

Tabelle 46: Aufteilung des Bestandes von Fahrzeugen des motorisierten Individualverkehrs (Krafträder, Pkw, Lkw) nach Zulassung und Nutzung

Jahr 2015, in %

	Private Zulassung		Gewerbliche Zulassung	
	Private Nutzung	Gewerbliche Nutzung	Private Nutzung	Gewerbliche Nutzung
Krafträder	98,6	1,4	5,0	95,0
Pkw	100,0	0,0	3,9	96,1
Lkw	70,4	29,6	--	--

Quelle: Eigene Berechnung ZSW nach KIT (2016), IVT (2005).

Ein anderes Bild ergibt sich für Krafträder und Lkw: Im Rahmen der Fahrleistungserhebungen sind lediglich differenzierte Daten zum Nutzerverhalten privat zugelassener Krafträder und Lkw für das Jahr 2002 verfügbar.[179] Danach werden 98,6 % der Krafträder und 70,4 % der Lkw ausschließlich oder überwiegend privat genutzt, wohingegen nur für 1,4 % der Krafträder sowie 29,6 % der Lkw eine gewerbliche Nutzung trotz privater Zulassung angegeben wurde. Mangels zusätzlicher Detailinformationen wird darüber hinaus angenommen, dass 95 % der gewerblich zugelassenen Krafträder ausschließlich oder überwiegend für gewerbliche Zwecke genutzt werden.

Hingegen werden gewerblich zugelassene Lkw sowie Kraftomnibusse, Zugmaschinen und Sonstige Kfz im Modell unabhängig von der Zulassung auf eine bestimmte Haltergruppe als ausschließlich gewerblich genutzte Fahrzeuge eingestuft. Der Kraftstoffverbrauch dieser Fahrzeuge zählt jedoch nicht zum motorisierten Individualverkehr, da diese Fahrzeugtypen entweder unmittelbar Produktionszwecken dienen oder für produktionsnahe oder personenbezogene Transportaufgaben bestimmt sind.[180] Tabelle 46 fasst die empirischen Befunde zusammen.

[178] Vgl. KIT (2016)

[179] Vgl. IVT (2004)

[180] Eine Ausnahme innerhalb dieser Gruppe bilden Fahrzeuge mit Historienkennzeichen. Es kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei diesen Fahrzeugen um Liebhaberstücke handelt, die sich überwiegend in privater Hand befinden und privat genutzt

Empirische Daten zu Fahrleistungen privater sowie gewerblich genutzter Kfz bieten die sog. Fahrleistungserhebungen, die bisher für die Jahre 1990, 1993 und 2002 vom Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und dem Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung (IVT) durchgeführt wurden. Aktuelle Erhebungsergebnisse zur Entwicklung der Fahrleistung im Jahr 2014 werden voraussichtlich Ende 2016 veröffentlicht. Grundsätzlich bieten die Fahrleistungserhebungen detaillierte Informationen zu den Fahrleistungen differenziert nach Fahrzeugen mit Otto- oder Dieselfahrmotor, jedoch lediglich aggregiert für die übrigen alternativen Antriebsarten (Elektromotor, Hybridantrieb usw.).

Tabelle 47: Durchschnittliche Fahrleistung von Kfz

Jahr 2015, in km

	Hubraum-klasse	Durchschnittliche Kfz-Fahrleistung nach Antriebsarten					
		Otto-motor	Diesel-motor	Flüssigg asantr.	Erdgas-antrieb	Elektro mot.	Hybrid-antrieb
Leichtkrafträder	< 750 ccm	2 000	3 100	2 400	3 600	2 000	2 000
Motorräder	> 750 ccm	3 300	5 100	4 000	6 000	3 300	3 300
Dreirädrige Kfz	--	1 500	2 400	1 800	2 800	1 500	1 500
Vierrädrige Kfz	--	2 500	3 800	2 900	4 400	2 400	2 500
Mini, Kleinwagen, Kompaktklasse	< 1200 ccm	9 000	16 800	10 700	16 200	8 800	13 600
Mittelklasse, obere Mittelklasse, Mini-Van, Sonstige Pkw	1200-1700 ccm	10 450	15 900	12 400	18 800	10 200	15 700
Oberklasse, Groß-raum-Van, Utility	1700-2000 ccm	11 600	22 600	13 800	20 800	11 300	17 400
SUV, Sportwagen, Geländewagen, Wohnmobil	> 2000 ccm	12 910	21 700	15 400	23 200	12 700	19 400
Lkw bis 2 Tonnen	--	12 400	19 900	14 700	22 300	12 100	22 800
Lkw bis 6 Tonnen	--	9 200	19 100	10 900	16 600	9 000	21 400
Lkw ab 6 Tonnen	--	14 200	39 300	16 900	25 500	13 900	59 000

Vorläufige Daten, teilweise geschätzt.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach IVT (2004), KBA (2016) und Vorjahre.

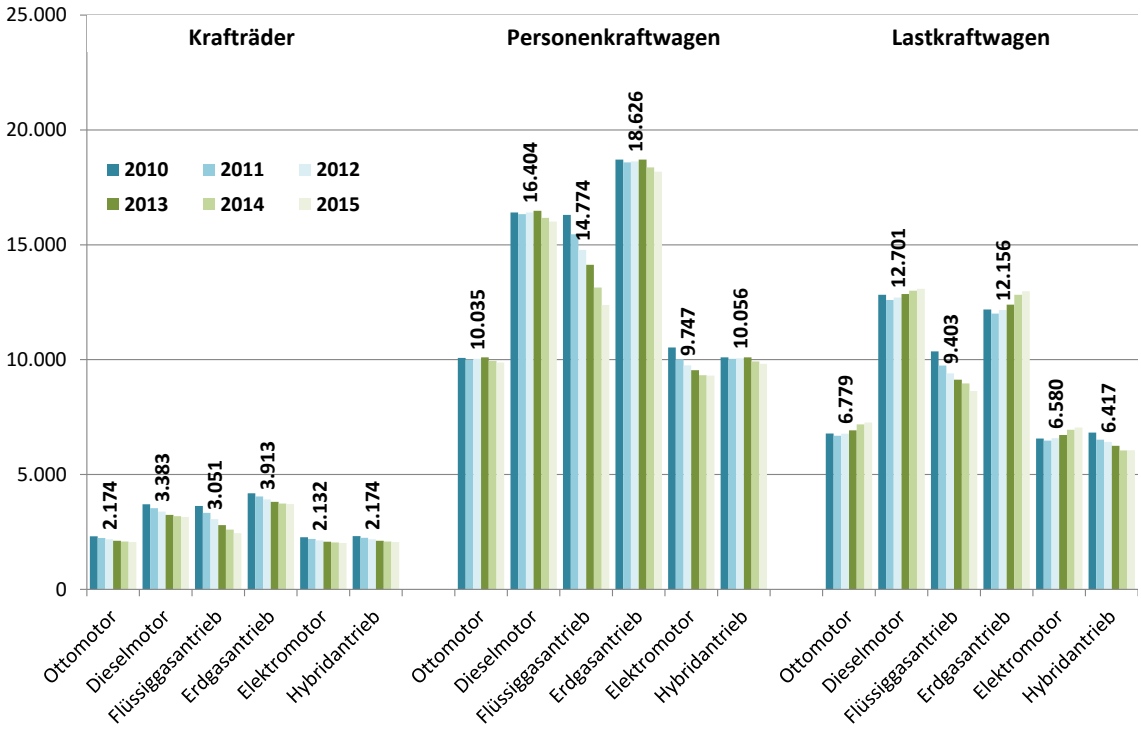
werden. Typischerweise liegen die Fahrleistungen bei „Oldtimern“ jedoch weit unterhalb des Durchschnitts und werden für die weiteren Berechnungen mit 5 % der Fahrleistung regulärer Kraftomnibusse, Zugmaschinen und Sonstiger Kfz veranschlagt.

Für die Jahre 2013 bis 2015 steht zudem seit kurzem die Publikation „Verkehr in Kilometern“ des Kraftfahrtbundesamtes zur Verfügung, wonach erstmals verbindlich Daten der zur Hauptuntersuchung vorgeführten Kfz von den Technischen Prüfstellen und Überwachungsorganisationen (TÜV) erhoben werden konnten.[181]

Um aus den vorhandenen Daten zum Fahrzeugbestand und den spezifischen Kraftstoffverbräuchen den Energieverbrauch im motorisierten Individualverkehr für private und gewerbliche Nutzungszwecke abzuleiten, ist es erforderlich, allen Fahrzeuggruppen entsprechende Fahrleistungen in der erforderlichen Detailtiefe zuzuordnen. Empirisch erhobene Informationen halten die o.g. Erhebungen bereit. Es muss jedoch betont werden, dass die zu Grunde gelegten Annahmen z.T. deutliche Unschärfen mit sich bringen können. Tabelle 47 fasst die angenommenen durchschnittlichen Fahrleistungen von Krafträdern, Pkw und Lkw nach Antriebsarten zusammen.

Schaubild 65: Spezifische Fahrleistungen von privat genutzten Kfz nach Fahrzeuggruppen und Antriebsarten

2010 bis 2015, in 1 000 km



Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach BASt.

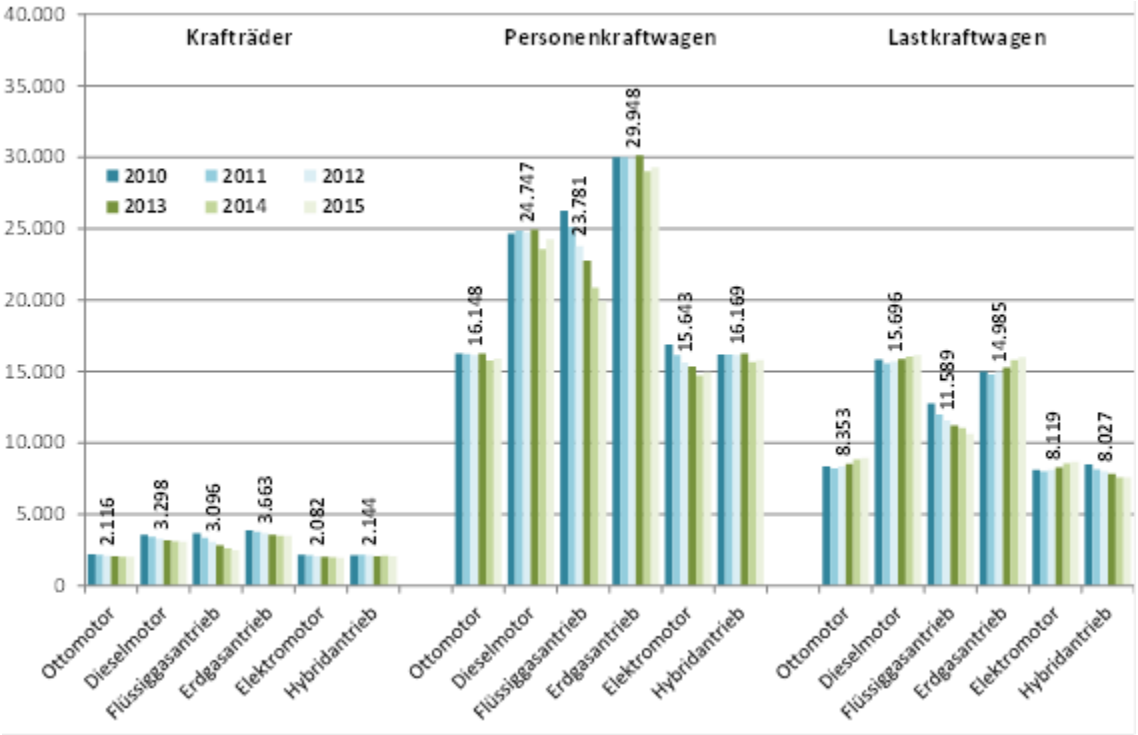
[181] Vgl. KBA (2016) und Vorjahre.

Unter den skizzierten Prämissen ergeben sich für Kfz, die privat genutzt werden, die in Schaubild 65 dargestellten spezifischen Fahrleistungen nach Antriebsarten für die Jahre von 2010 bis 2015, wobei in jedem Jahr der gesamte Fahrzeugbestand und dessen Altersstruktur berücksichtigt wurde. Es zeigt sich, dass sich das Nutzungsverhalten privat genutzter Fahrzeuge je nach betrachteter Antriebsart erheblich unterscheidet. Beispielsweise weisen Pkw mit Ottomotor Fahrleistungen für private Nutzungszwecke von durchschnittlich 10 000 km auf, während Diesel-Pkw im Durchschnitt 16 400 km gefahren wurden.

Grundsätzlich höhere Fahrleistungen weisen Fahrzeuge auf, die für gewerbliche Zwecke genutzt werden. Während beispielsweise gewerblich genutzte Pkw mit Ottomotor rund 16 100 km im Jahr gefahren werden, liegt die durchschnittliche Fahrleistung bei Pkw mit Dieselmotor sogar bei etwa 24 700 km/Jahr, wie Schaubild 66 zeigt.

Schaubild 66: Spezifische Fahrleistungen von gewerblich genutzten Kfz nach Fahrzeuggruppen und Antriebsarten

2010 bis 2015, in 1 000 km



Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach BASt.

7.4. Spezifische Kraftstoffverbräuche von Fahrzeugen im motorisierten Individualverkehr

Um aus den Informationen zum Fahrzeugbestand und den Fahrleistungen schließlich den Energieverbrauch im motorisierten Individualverkehr unterteilt nach privaten und gewerblichen Nutzungszwecken abzuleiten, ist es erforderlich, allen Fahrzeuggruppen entsprechende Kraftstoffverbräuche in der erforderlichen Detailtiefe zuzuordnen. Empirisch erhobene Informationen differenziert nach der Art des Fahrzeuges (Krafträder, Pkw, Nutzfahrzeuge), der Kraftstoffart (Benzin, Diesel, Autogas/LPG, Erdgas/CNG, Strom), dem Baujahr und der Leistung (in PS bzw. KW) der Kfz hält die Internetplattform „Spritmonitor.de“ bereit. Hierbei handelt es sich um ein Portal, das grundsätzlich zur Verwaltung von Fahrzeugkosten konzipiert ist und Fahrzeughaltern die Möglichkeit eröffnet, Betankungsmengen und den Tachometerstand zum Zeitpunkt der Betankung online zu registrieren.

Nach Auswertungen der Internet-Plattform „Spritmonitor.de“ ergibt sich für Mittelklassewagen mit Baujahr 2015 ein durchschnittlicher Ottokraftstoffverbrauch von 6,07 Liter / 100 km, wohingegen in der gleichen Fahrzeuggruppe 5,25 Liter Dieselkraftstoff auf 100 km verbraucht wird. In Tabelle 48 sind die durchschnittlichen Kraftstoffverbräuche von Kfz dargestellt.

Im Rahmen der Auswertung fällt auf, dass die spezifischen Kraftstoffverbräuche über den gewählten Beobachtungszeitraum (2010 bis 2015) nahezu stagnieren bzw. sich zum aktuellen Rand hin leicht verringern. Ursächlich für diese Entwicklung ist der langsame aber stetige Austausch älterer, weniger effizienter Fahrzeuge durch Neufahrzeuge, die sich durch einem geringeren Kraftstoffverbrauch auszeichnen. Allerdings sind die Reaktionszeiten im Fahrzeugpark (aufgrund der typischerweise hohen Lebensdauer von Fahrzeugen[182]) bzw. die mit dem Ersatz von Fahrzeugen damit verbundenen Auswirkungen auf eine Verringerung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs auf kurze und mittlere Sicht eher begrenzt.

Die ermittelten technologie- und jahresspezifischen Verbrauchsdaten bilden die Grundlage zur Modellierung des Energieverbrauchs (differenziert nach einzelnen Kraftstoffarten bzw. Energieträgern) im motorisierten Individualverkehr. Dazu werden die Fahrzeugbestände der Jahre 2010 bis 2015 mit den Fahrleistungen und den realen Kraftstoffverbräuchen der einzelnen Erstzulassungsjahrgänge verknüpft.

[182] Bei Pkw beträgt die mittlere Lebensdauer ca. 12 Jahre, Lkw haben eine mittlere Nutzungszeit von etwa 24 Jahren und Wohnwagen oder Motorräder weisen sogar Lebenszeiten zwischen 28 und 33 Jahren auf.

Schaubild 67 fasst die auf diese Weise ermittelten spezifischen Kraftstoffverbräuche nach Fahrzeuggruppen (Krafträder, Pkw, Lkw) im motorisierten Individualverkehr zu privaten und gewerblichen Fahrzwecken und Antriebsarten zusammen. Zu Grunde gelegt wurde der gesamte Fahrzeugbestand, d.h. die Altersstruktur der Fahrzeuge wurde berücksichtigt.

Tabelle 48: Durchschnittliche Kraftstoffverbräuche von Kfz mit Baujahr 2015

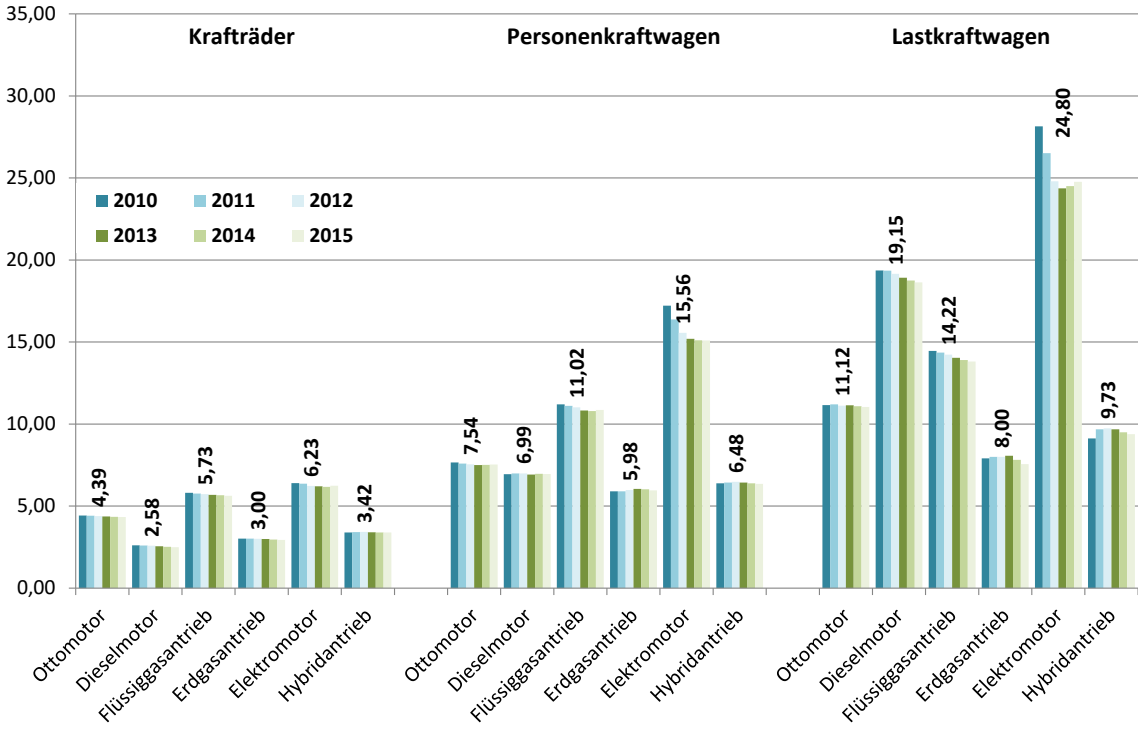
in Liter / 100 km

	Leistungs-klasse	Durchschnittliche Kfz-Kraftstoffverbräuche nach Antriebsarten					
		Otto-motor	Diesel-motor	Flüssigg asantr.	Erdgas-antrieb	Elektro mot.	Hybrid-antrieb
Leichtkrafträder	< 10 PS	2,93	1,35	3,81	1,68	5,45	2,42
Motorräder	> 10 PS	4,70	2,16	6,12	2,69	8,73	4,03
Dreirädrige Kraft-räder	--	4,59	2,11	5,97	2,63	8,53	2,63
Vierrädrige Kraft-räder (u.a. Quads)	--	9,19	4,22	11,96	5,26	17,08	10,23
Mini, Kleinwagen, Kompaktklasse	< 50 PS	6,72	5,57	9,24	4,27	16,92	5,54
Mittelklasse, Obere Mittelklasse, Mini-Van, Sonstige Pkw	50-100 PS	6,07	5,25	8,23	3,87	15,71	5,21
Oberklasse, Groß-raum-Van, Utility	100-300 PS	7,44	6,58	9,32	4,38	15,58	4,27
SUV, Sportwagen, Geländewagen, Wohnmobil	> 300 PS	11,09	8,86	20,83	6,35	21,10	12,35
Lkw bis 2 Tonnen	--	10,91	16,83	14,19	6,24	26,00	6,63
Lkw bis 6 Tonnen	--	16,62	25,65	21,63	9,52	39,62	10,10
Lkw ab 6 Tonnen	--	26,15	40,35	34,02	14,97	62,33	15,89

Vorläufige Daten, teilweise geschätzt.
Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach Spritmonitor.de.

Schaubild 67: Spezifische Kraftstoffverbräuche von Kfz nach Fahrzeuggruppen und Antriebsarten

2010 bis 2015, in Liter / 100 km, Elektromotor (inkl. Plug-in-Hybride) in kWh / 100 km



Quelle: Eigene Berechnungen ZSW nach Spritmonitor.de.

7.5. Energieverbrauch des motorisierten Individualverkehrs für private und gewerbliche Nutzungszwecke

Aus den skizzierten spezifischen Kraftstoffverbräuchen, den spezifischen Fahrleistungen und den Fahrzeugbeständen sowie den Annahmen zum Nutzerverhalten lässt sich der Energieverbrauch für Mobilitätszwecke der Privaten Haushalte und des Sektors GHD berechnen. Tabelle 49 fasst die Ergebnisse der Modellrechnungen zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs zunächst für Kraftahrzeuge mit privatem Fahrzweck für die Zeit von 2010 bis 2015 zusammen.

Die Berechnungen lassen erkennen, dass privat genutzte Kfz im Jahr 2015 Kraftstoffe mit einem Energieäquivalent von rund 1 267 PJ verbrauchten, darunter allein 697 PJ Ottokraftstoff und 518 PJ Dieselkraftstoff. Erwartungsgemäß entfällt der Großteil des Kraftstoffverbrauchs, nämlich 1 169 PJ, auf die Nutzung von Pkw.

Tabelle 49: Energieverbrauch im motorisierten Individualverkehr für private Fahrzwecke

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gesamt	1 178 682	1 183 389	1 190 360	1 207 704	1 233 433	1 236 635
Ottokraftstoff	731 377	718 292	712 556	710 633	700 695	697 278
Dieselkraftstoff	424 523	441 379	453 416	472 985	509 951	518 104
Flüssiggas	19 941	20 785	21 422	21 007	19 561	18 137
Erdgas	2 834	2 920	2 950	3 055	3 176	3 029
Strom	8	12	16	23	50	87
Krafträder	12 531	12 322	12 147	11 943	11 906	11 986
Ottokraftstoff	12 516	12 307	12 131	11 927	11 889	11 969
Dieselkraftstoff	14	14	14	13	13	13
Flüssiggas	1	1	1	1	1	0
Erdgas	0	0	0	0	0	0
Strom	1	1	2	2	3	3
Pkw	1 115 409	1 120 091	1 126 308	1 143 189	1 167 612	1 168 831
Ottokraftstoff	717 849	705 024	699 501	697 832	687 966	684 479
Dieselkraftstoff	375 063	391 650	402 734	421 587	457 165	463 399
Flüssiggas	19 855	20 691	21 320	20 903	19 456	18 028
Erdgas	2 637	2 717	2 744	2 851	2 984	2 848
Strom	5	9	11	17	42	77
Lkw	50 741	50 976	51 905	52 572	53 915	55 819
Ottokraftstoff	1 012	962	925	875	840	830
Dieselkraftstoff	49 446	49 715	50 668	51 386	52 774	54 693
Flüssiggas	85	94	102	104	105	109
Erdgas	197	203	207	203	191	181
Strom	2	2	3	4	5	7

Quelle: Eigene Berechnung ZSW.

Analog zum Vorgehen für die Privaten Haushalte werden abschließend die Bestände der gewerblich zugelassenen Fahrzeuge mit Fahrleistungen und spezifischen Verbräuchen verknüpft. Auf diese Weise kann der Kraftstoffverbrauch von Fahrzeugen ermittelt werden, die ausschließlich zu gewerblichen Zwecken eingesetzt werden. Grob gesprochen fallen nach dieser Definition ausschließlich Fahrzeuge (überwiegend Pkw) in das Segment „motorisierter Individualverkehr“ die in den Wirtschaftszweigen des GHD-Sektors zu Dienst- und Geschäftsreisezwecken genutzt werden.

Auf Basis dieser Annahmen ergibt sich, wie in Tabelle 50 dargestellt, für das Jahr 2015 ein Energieverbrauch des motorisierten Individualverkehrs für gewerbliche Nutzungszwecke in Höhe von 56 PJ für Kfz mit Ottomotor, 213 PJ für Pkw mit Dieselmotor sowie 3 PJ für Pkw mit anderen Antrieben.

Tabelle 50: Energieverbrauch im motorisierten Individualverkehr für gewerbliche Fahrzwecke

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gesamt	218 957	233 532	261 468	270 104	240 727	271 558
Ottokraftstoff	59 961	62 215	60 951	58 279	52 983	55 995
Dieselkraftstoff	156 267	168 326	197 154	208 371	184 768	212 524
Flüssiggas	1 362	1 527	1 658	1 647	1 348	1 219
Erdgas	1 354	1 443	1 668	1 745	1 548	1 699
Strom	12	20	38	63	80	122
Krafträder	437	427	424	421	421	424
Ottokraftstoff	436	426	423	421	420	424
Dieselkraftstoff	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	0	0	0	0	0
Erdgas	0	0	0	0	0	0
Strom	0	0	0	0	0	0
Pkw	192 062	206 533	233 996	242 295	212 231	242 074
Ottokraftstoff	59 000	61 290	60 048	57 404	52 127	55 140
Dieselkraftstoff	130 482	142 408	170 746	181 598	157 284	184 048
Flüssiggas	1 318	1 478	1 605	1 593	1 294	1 163
Erdgas	1 252	1 338	1 560	1 640	1 448	1 605
Strom	12	19	36	61	77	119
Lkw	26 457	26 572	27 049	27 388	28 076	29 060
Ottokraftstoff	525	499	480	454	436	431
Dieselkraftstoff	25 785	25 918	26 407	26 772	27 483	28 476
Flüssiggas	44	49	53	54	55	56
Erdgas	102	105	107	106	99	94
Strom	1	1	2	2	3	3

Quelle: Eigene Berechnung ZSW.

8. Fazit und Handlungsempfehlung

Im Mittelpunkt der vorliegenden Studie steht die konkrete Ermittlung ausgewählter empirischer Zeitreihen zum Endenergieverbrauch der Privaten Haushalte und des GHD-Sektors für die Jahre von 2010 bis 2015. Methodisch stützt sich die Studie auf Ergebnisse eines zuvor ebenfalls vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) in Auftrag gegebenen Forschungsvorhabens (BMWi-Projektnummer: IC4 - 18/14), in dem genau untersucht wurde, inwieweit eine belastbare Ermittlung der fehlenden Daten zum Endenergieverbrauch (der Privaten Haushalte und des GHD-Sektors) ohne den kostenintensiven Rückgriff auf eigens dafür konzipierte Erhebungsinstrumente machbar ist.

Die Konzeptstudie kam damals zu dem Ergebnis, dass sich ein Großteil der identifizierten Datenlücken unter Rückgriff auf alternative Verfahren zur Gewinnung von Energieverbrauchsdaten für die Privaten Haushalte und den GHD-Sektor schließen lässt. Diese Verfahren sind:

- Nutzung verstreut vorliegender, nicht-amtlicher statistischer Quellen,
- Hochrechnung des Energieverbrauchs aus vorhandenen, empirischen Stichproben (z.B. aus den Datenbeständern der Energiekostenabrechner), sowie
- „bottom-up"-Modellierungen des Energieverbrauchs (typischerweise unter Zuhilfenahme von Informationen zum Bestand langlebiger energieverbrauchender Kapitalgüter, spezifischen Verbräuchen sowie Informationen zum Nutzungsverhalten).

Einen Schwerpunkt des empirischen Teils der vorliegenden Studie bildet vor diesem Hintergrund die Auswertung vorhandener Datenbestände der Energiekostenabrechner zur **Ermittlung des Endenergieverbrauchs der Privaten Haushalte**. Insbesondere wurden vollständige Zeitreihen zum Verbrauch von

- Erdgas (Heizung, Warmwasser und Kochen),
- Heizöl (Heizung und Warmwasser) und
- Fernwärme (Heizung und Warmwasser)

mit Hilfe von Hochrechnungen aus den umfangreichen Datenbeständen des Energiekostenabrechnungsunternehmens „Techem" ermittelt. Allerdings erfassen die Datensätze der Energiekostenabrechner i.d.R. nur Energieverbräuche in Mehrfamilienhäusern. Um den gesamten Energieverbrauch der Privaten Haushalte für Heizung, Warmwasser (und Kochen) zu ermitteln, mussten die Hochrechnungen des Energiever-

brauchs der Mehrfamilienhäuser um den der Einfamilienhäuser ergänzt werden, der mit dem EEFA-Wohnungsmodell errechnet wird. Insgesamt konnte der Energieverbrauch der mit Abstand wichtigsten Energieträger zur Beheizung von Wohnräumen und zur Bereitstellung von Warmwasser in Privaten Haushalten damit vollständig für die Zeit von 2010 bis 2015 bereitgestellt werden.

Zur Ermittlung des Energieverbrauchs von Ottokraftstoffen (zum Betrieb mobiler Geräte mit Verbrennungsmotor), Biomasse und erneuerbaren Abfällen sowie sonstigen erneuerbaren Energien wurden mit Hilfe detaillierter Modellierungsansätze ebenfalls Zeitreihen für die Jahre von 2010 bis 2015 bereit gestellt. Im Bereich der erneuerbaren Energien konnten insbesondere Zeitreihen zum Holzverbrauch in Privaten Haushalten ermittelt werden. Vertiefende Auswertungen erfolgten zudem im Bereich der Nutzung erneuerbarer Energieträger wie Solarthermie, Wärmepumpen, flüssige und gasförmige Biomasse sowie (erstmals in dieser Studie) auch Holz- bzw. Grillkohle.

Für die übrigen Energieträger (Kohle, Flüssiggas sowie elektrischer Strom), die in Privaten Haushalten eingesetzt werden, wurden hingegen keine alternativen Zeitreihen ermittelt. Zum einen sind insbesondere die Energieträger Kohle und Flüssiggas (ihr Anteil 2014 am gesamten Endenergieverbrauch der Privaten Haushalte beträgt lediglich 1,0 bzw. 1,1 %) von untergeordneter Bedeutung. Zum anderen wird bei diesen Energieträgern - wie bereits in der Konzeptstudie angedeutet wurde - keine Möglichkeit gesehen, die vorliegenden bzw. in der Energiebilanz Deutschland veröffentlichten Zeitreihen durch den Einsatz von Modellierungsverfahren oder den Rückgriff auf andere Quellen signifikant zu verbessern.

Der **Endenergieverbrauch im GHD-Sektor** lässt sich im Rahmen der Erstellung der Energiebilanz Deutschland grundsätzlich als Restgröße ermitteln, sofern belastbare Daten zur Entwicklung des Energieverbrauchs der Privaten Haushalte gewonnen werden konnten. Dieses Grundkonzept verfolgt auch die vorliegende Umsetzungsstudie. Allerdings setzt das Restrechnungs-Verfahren zur Ermittlung des Energieverbrauchs im GHD-Sektor voraus, dass drei zusätzliche Kriterien erfüllt sein müssen: Erstens muss das Aufkommen des Energieträgers im Inland, das die Energiebilanz Deutschland in Zeile eins ausweist, aus originären statistischen Quellen stammen (bzw. darf nicht im Rahmen einer „bottom-up"-Rechnung ermittelt worden sein). Zweitens darf die Restrechnung bei der Bilanzerstellung für den betrachteten Energieträger nicht bereits in einem anderen Sektor (z.B. im Straßenverkehr bei den Diesel- oder Ottokraftstoffen) durchgeführt worden sein. Drittens schließlich müssen für die lagerfähigen Energieträger (leichtes Heizöl und ggf. Flüssiggas) die Bestandsveränderungen bei Privaten Haushalten bekannt sein bzw. rechnerisch ermittelt worden sein.

Bedauerlich ist gleichwohl, dass die skizzierten Voraussetzungen, die eine problemlose Umsetzung des Restrechnungskonzeptes zur Ermittlung des Energieverbrauchs im GHD-Sektor ermöglichen, nicht bei allen Energieträgern, die die Energiebilanz

Deutschland erfasst, gleichermaßen gegeben sind. Insbesondere liegen für ausgewählte Energieträger (u.a. flüssige und gasförmige Biomasse, Solarthermie, Umweltwärme) keine originären, statistischen Informationen zum Aufkommen im Inland vor. Hinzu kommt, dass die Energiebilanz Deutschland den Kraftstoffverbrauch (Motorenbenzin und Diesel) bereits als Restgröße im Rahmen der Erstellung der Bilanz errechnet. Für die genannten Energieträger ist es deshalb erforderlich, den Energieverbrauch im GHD-Sektor im Wesentlichen über Modellierungsansätze zu bestimmen. Konkret stellt die vorliegende Studie für folgende Energieträger zusätzlich zum Energieverbrauch der Privaten Haushalte detaillierte Informationen zum Energieverbrauch im GHD-Sektor zur Verfügung, die mit Modellanalysen sowie der Auswertung verstreut vorliegender Statistikdaten ermittelt wurden:

- Ottokraftstoffe,
- Dieselkraftstoffe,
- Biomasse und erneuerbare Abfälle (differenziert Holzkohle, flüssige biogene Stoffe, Biogas, Biomethan, Klär- und Deponiegas), sowie
- Sonstige erneuerbare Energien (differenziert nach Solarthermie und Umweltwärme).

Zusätzlich enthält der vorliegende Bericht vollständige Zeitreihen zum Kraftstoffverbrauch im motorisierten Individualverkehr (von 2010 bis 2015), der auf die private und gewerbliche Nutzung von Kfz zurückzuführen ist (Kapitel 7 der Studie).

Mit der vorliegenden Studie unternehmen die Institute gleichzeitig den Versuch, die Veränderung der Lagerbestände an leichtem Heizöl sowie Flüssiggas in den Sektoren Private Haushalte und GHD rechnerisch zu bestimmen. Anlass für diese Arbeiten war nicht nur die empirische Notwendigkeit zur Umsetzung des Restrechnungskonzeptes im Rahmen der Ermittlung von Zeitreihen zum Energieverbrauchs im GHD-Sektor. Vielmehr eröffnet die Ermittlung isolierter Daten zu den Veränderungen der Lagerbestände der AG Energiebilanzen grundsätzlich die Möglichkeit im Endenergieverbrauch dieser Sektoren in Zukunft entweder den Energieverbrauch oder (wie dies bislang in der Energiebilanz der Fall gewesen ist) weiterhin den Absatz bilanzieren zu können. Methodisch korrekter wäre zweifellos die Umbuchung der Lagerbestandsveränderungen in die dafür vorgesehenen Zeilen der Primärenergiebilanz (Energiebilanzzeilen 3 und 7) und damit verbunden die konsequente bzw. durchgängige Erfassung von Verbrauchs- anstelle von Absatzangaben in allen Sektoren und Bereichen der Endenergiebilanz.

Unabhängig von der Beantwortung der Frage, wie Bestandsveränderungen lagerfähiger Energieträger in den Sektoren Private Haushalte und GHD in der Energiebilanz zukünftig bilanziert werden sollen, liegen der AG Energiebilanzen mit dieser Studie die Ver-

änderungen der Lagerbestände differenziert für die einzelnen Sektoren (Kraftwerke, Industrie, Private Haushalte und GHD) vor. Damit besteht für die Nutzer und der Energiebilanz Deutschland jederzeit die Möglichkeit von ggf. in Zukunft ausgewiesenen Verbrauchsangaben wieder auf den Absatz zu schließen oder vice versa.

Fasst man die bisher erarbeiteten Informationen zusammen, so sind die in Schaubild 68 dargestellten Zeitreihen zum Verbrauch ausgewählter Energieträger in den Sektoren Private Haushalte und GHD für die Zeit von 2010 bis 2015 mit Hilfe von Hochrechnungen, Modellanalysen und zusätzlichen nicht-amtlichen statistischen Daten ermittelt worden. Eine Übernahme der neu ermittelten Zeitreihen (Ampel im Schaubild „grün“) in die Energiebilanz Deutschland erscheint nach Würdigung aller in der Studie untersuchten Aspekte vor allem für die Mineralöle (Kraftstoffe und Heizöl, leicht) in Zukunft als sinnvolle Option. Hingegen bestätigen die empirischen Befunde zum Erdgas- und Fernwärmeverbrauch der Privaten Haushalte (und damit verbunden des GHD-Sektors) tendenziell die von der amtlichen Statistik zur Verfügung gestellten Daten, die auch die Grundlage der Energiebilanz bilden (Ampel im Schaubild „gelb“).

Schaubild 68: Zusammenfassung der Ergebnisse: Ermittelte Zeitreihen zum Energieverbrauch der Privaten Haushalte sowie des GHD-Sektors

Energieträger/ Energiebilanz	Empfehlung: Übernahme in die Energiebilanz	Private Haushalte	GHD	Untergliederung
Ottokraftstoffe		Modellierung	Modellierung nach Subsektoren Forstwirtschaft, Landwirtschaft Gartenbau	Rasenmäher, Motorsägen, sonstige motorbetriebene Gartengeräte
Dieselkraftstoffe		-	Modellierung nach Land- u. Fortwirtschaft, Bausektor (Tiefbau)	Baumaschinen
Heizöl, leicht		Hochrechnung/ Modell	Restrechnung	Raumwärme, Warmwasser
Erdgas		Hochrechnung/ Modell	Restrechnung	Raumwärme, Warmwasser, Kochen
Fernwärme		Hochrechnung/ Modell	Restrechnung	Raumwärme, Warmwasser
Biomasse u. erneuerbare Abfälle		Modellierung/ Statistik	Modellierung/ Statistik	feste Biomasse, flüssige biogene Stoffe, Biogas, Biomethan, Klär- und Deponiegas
Sonstige erneuerbare Energien		Modellierung/ Statistik	Modellierung/ Statistik	Solarthermie, Umweltwärme

Quelle: Eigene Darstellung EEFA, ZSW.

Zur Evaluierung der Resultate wurden sämtliche gewonnenen Zeitreihen sowie die ermittelten Zusatzinformationen (wie z.B. den Bestandsveränderungen lagerfähiger Energieträger bei den Privaten Haushalten sowie dem GHD-Sektor) – zunächst unter Beibehaltung der methodischen Konzeptionen der Energiebilanz – in die vorliegenden Bilanzen für Deutschland (2010 bis 2015) eingepflegt. Vergleicht man die auf diese Weise neu berechneten Spitzenaggregate der Energiebilanz – also den Primär- sowie den Endenergieverbrauch – mit den alten Originalwerten, ergeben sich Abweichungen, die sich allerdings in Grenzen halten.

Dieser empirische Befund ist wenig überraschend, da die Übernahme der ermittelten Zeitreihen zum Energieverbrauch der Privaten Haushalte und des GHD-Sektors nur dann Änderungen im Primär- oder Endenergieverbrauch nach sich zieht, sofern keine Restrechnung im GHD-Sektor, sondern eine „bottom-up"-Neuberechnung des Energieverbrauchs und seiner Aggregate erfolgt ist. Effekte auf den Primär- oder Endenergieverbrauch lassen sich in diesem Szenario folglich ausschließlich auf die erneuerbaren Energien zurückführen, die allerdings von vergleichsweise geringer Bedeutung sind (der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch bzw. Endenergieverbrauch im Jahr 2014 beträgt 11,5 % bzw. 6,8 %).

Hingegen sind bei der („methodisch korrekten") Umbuchung der Lagerbestandsveränderungen von der Endenergie- in die Primärenergiebilanz zumindest in einzelnen Berichtsjahren größere Auswirkungen zu erwarten. Ein dauerhafter oder nachhaltiger Effekt auf den Primär- oder Endenergieverbrauch geht allerdings auch von der Umbuchung der Lagerbestandseffekte nicht aus.

Demgegenüber beeinflusst die modellgestützte bzw. alternative Ermittlung der in dieser Studie beleuchteten erneuerbaren Energien grundsätzlich auch das Niveau des Primär- oder Endenergieverbrauchs. Der Hauptgrund dafür ist, dass im Segment der erneuerbaren Energien – einmal abgesehen von den Energieträgern Klär- und Deponiegas – keine Restrechnung zur Ermittlung des Energieverbrauchs im GHD-Sektor durchgeführt wird. Die Übernahme neu ermittelter Daten zum Verbrauch erneuerbarer Energien in den Sektoren Private Haushalte und GHD schlägt sich deshalb unmittelbar in den Aggregaten der Energiebilanz nieder.

Allerdings stellt weder die Übernahme der Lagerbestandsveränderungen Privater Haushalte und des GHD-Sektors bei Heizöl und Flüssiggas, noch die skizzierten Neuberechnungen im Bereich der erneuerbaren Energien in die Energiebilanz Deutschland, ein methodisches oder empirisches Problem dar. Trotz vielfältiger zu berücksichtigender Wirkungszusammenhänge lassen sich die ermittelten Daten ab dem Berichtsjahr 2010 (alternativ auch erst ab dem Berichtsjahr 2015) ohne weiteres in die Energiebilanz einfügen. Größere Strukturbrüche in den Eckgrößen Endenergieverbrauch und Primärenergieverbrauch sind hierdurch nicht zu erwarten. Hinzu kommt, dass die bis-

herigen Zeitreihen zu den erneuerbaren Energien bereits in der Vergangenheit durch die Anwendung neuer Berechnungsverfahren Strukturbrüche aufweisen.

Kritischer ist die Übernahme des aus der Anwendung des Restrechnungskonzeptes ermittelten Heizölabsatzes an den GHD-Sektor in die Energiebilanz zu beurteilen. Verglichen mit dem bislang in der Energiebilanz verbuchten Heizölabsatz erreichen die neu ermittelten Absatzmengen im Durchschnitt der Jahre von 2010 bis 2015 – nach unseren Berechnungen – lediglich ein Niveau von rund 50 %. Hinzu kommt, dass die Volatilität des als Restgröße errechneten Heizölabsatzes tendenziell zunimmt. Insgesamt schwankt der Anteil der an den GHD-Sektor abgelieferten Heizölmenge – bezogen auf die insgesamt an „Haushalte und GHD" abgesetzte Menge – in der Zeit von 2010 bis 2015 in der Größenordnung von +/- 3,4-Prozentpunkten um einen Mittelwert von 13 %. Zum Vergleich: Die Energiebilanz Deutschland geht seit dem Berichtsjahr 2003 bezogen auf den gesamten Heizölabsatz an den Sektor „Haushalte und GHD" von einem nahezu fixen Anteil des GHD-Sektors in Höhe von ca. 27,5 % aus.

<u>Handlungsempfehlung:</u>

Die kritische Würdigung all dessen führt zu der Empfehlung, statt einfacher Konzepte und Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Energieverbrauchs in nicht von der amtlichen Statistik erfassten Bereichen zur Erstellung der Energiebilanz Deutschland in Zukunft verstärkt auf Daten und Methoden zurückzugreifen, die im Rahmen der vorliegenden Studie erarbeitet wurden. Hieraus könnte die Befürchtung abgeleitet werden, dass in Zukunft sämtliche Datenreihen und methodischen Vorschläge uneingeschränkt in die Energiebilanz Deutschland übernommen werden müssen. Zur Vermeidung von Strukturbrüchen und zur Wahrung der hohen Datenqualität der Energiebilanz Deutschland wird deshalb als optimale Strategie empfohlen, vornehmlich jene Zeitreihen zum Energieverbrauch in die Bilanz zu übernehmen, für die keine alternativen bzw. belastbaren amtlichen Statistikinformationen vorliegen.

Konkret folgt daraus, dass die AG Energiebilanzen insbesondere prüfen sollte, die Modellrechnungen zum Kraftstoffverbrauch zum Betrieb mobiler Geräte mit Verbrennungsmotor bei den Privaten Haushalte und im GHD-Sektor („Non Road-Bereich"), die Hochrechnungen zum Verbrauch bzw. Absatz von leichtem Heizöl, sowie die Modellrechnungen und Verbesserungsvorschläge zum Einsatz erneuerbarer Energien, in Zukunft in die Erstellung der Energiebilanz einfließen zu lassen.

Darüber hinaus stellt die Studie Zeitreihen bzw. Hochrechnungen zum Energieverbrauch an Erdgas und Fernwärme der Sektoren „Private Haushalte" und GHD bereit (ebenfalls von 2010 bis 2015). Wie bereits in der Konzeptstudie (BMWi- Projekt IC4 - 18/14) festgestellt wurde, liegen zum Verbrauch dieser Energieträger bereits belastbare, amtliche Daten vor, die zur Erstellung der Energiebilanz Deutschland genutzt werden. Vor diesem Hintergrund dienen die Hochrechnungen zum Energieverbrauch an

Erdgas und Fernwärme in Privaten Haushalten (sowie die damit verbundenen Resultate der Restrechnung für den GHD-Sektor) eher der laufenden kritischen Überprüfung der Entwicklungen, die die amtlichen Erhebungen in diesem Bereich ausweisen.

9. Statistischer Anhang

Tabelle A 1: Ermittelte Zeitreihen zum Energieverbrauch der Privaten Haushalte (Absatz)

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ottokraft-stoffe	2 852	2 777	2 772	2 803	2 884	3 016
Heizöl, l.	639 013	579 744	621 423	615 808	558 835	557 613
Erdgas[1]	980 156	816 318	852 507	865 298	716 529	802 301
Biomasse u. ern. Abfälle	289 601	263 890	270 870	272 731	251 684	269 275
Sonst. ern. Energien	34 727	40 171	42 713	44 282	50 578	53 982
Fernwärme	177 101	152 076	153 650	153 244	130 038	145 151
Insgesamt	2 123 932	1 855 525	1 944 696	1 954 958	1 711 275	1 832 146

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW. [1] Erdgas zum unteren Heizwert.

Tabelle A 2: Veränderung der Lagerbestände der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Heizöl, leicht	-73 901	-589	13 386	-6 758	44 052	-18 691
Flüssiggas	-4 239	4 096	-2 646	284	1 885	-1 150
Insgesamt	-78 140	3 507	10 740	-6 474	45 937	-19 841

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 3: Verbrauch Ottokraftstoffe der Privaten Haushalte[1]

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rasenmäher	2 218	2 154	2 158	2 183	2 260	2 381
Motorsägen	498	498	499	499	500	500
Freischneider usw.	244	237	237	240	249	262
Insgesamt	2 961	2 889	2 894	2 992	3 009	3 143
darunter						
Beimischungen	*109*	*113*	*121*	*119*	*125*	*127*
reiner Ottokraftstoff	*2 852*	*2 777*	*2 772*	*2 803*	*2 884*	*3 016*

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW. [1] Ohne Ottokraftstoffe für Verkehrszwecke.

Tabelle A 4: Verbrauch Heizöl (leicht) der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Efh (Raumwärme)	375 419	293 240	316 360	329 479	261 748	296 725
Efh (Warmwasser)	22 007	22 087	22 064	22 061	22 071	22 037
Zfh u. Mfh[1]	315 489	265 006	269 612	271 026	230 964	257 543
Insgesamt	712 914	580 333	608 037	622 566	514 783	576 304

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW. Heizung u. Warmwasser.

Tabelle A 5: Verbrauch Erdgas[1] der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Efh (Raumwärme)	501 398	396 245	429 883	450 253	361 783	411 675
Efh (Warmwasser)	30 103	30 215	30 211	30 208	30 223	30 182
Zfh u. Mfh[2]	552 110	475 640	482 095	475 889	399 461	444 625
Erdgas f. Kochen	2 577	2 527	2 541	2 556	2 575	2 611
Insgesamt	1 086 189	904 626	944 730	958 906	794 043	889 093

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW. [1] Erdgas zum oberen Heizwert. [2] Heizung u. Warmwasser.

Tabelle A 6: Verbrauch Fernwärme der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Efh (Raumwärme)	24 059	19 241	21 017	22 184	18 085	20 706
Efh (Warmwasser)	1 235	1 240	1 242	1 242	1 244	1 243
Zfh u. Mfh[1]	151 807	131 595	131 392	129 818	110 709	123 202
Insgesamt	177 101	152 076	153 650	153 244	130 038	145 151

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW. [1] Heizung u. Warmwasser.

Tabelle A 7: Verbrauch Erneuerbarer Energien der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Holz	279 948	253 853	259 659	261 931	240 437	257 157
Holzkohle	7 679	8 025	8 590	7 945	7 837	8 078
Flüssige Biomasse	679	318	215	219	232	241
Biogas	1 181	1 301	1 463	1 553	1 632	1 706
Biomethan	114	393	943	1 083	1 546	2 093
Solarthermie	13 251	15 430	15 206	14 091	17 127	17 944
Umweltwärme	21 476	24 741	27 507	30 192	33 451	36 038
Insgesamt	324 328	304 060	313 548	317 014	302 262	323 257

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 8: Verbrauch Holz der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Holz (Insgesamt)	279 948	253 853	259 659	261 931	240 437	257 157
darunter für						
Raumwärme	274 741	248 623	254 423	256 693	235 190	251 916
Warmwasser	5 207	5 230	5 236	5 238	5 247	5 241

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 9: Bilanz Holz- und Grillkohle (inkl. Verbrauch der Privaten Haushalte)

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Umwandlungsein-satz Holz	1 416	1 565	1 414	1 368	1 359	1 499
Umwandlungsaus-stoß Holzkohle	1 115	1 233	1 113	1 077	1 070	1 181
Einfuhr	7 387	7 762	8 655	7 696	7 640	7 813
Ausfuhr	422	552	731	414	465	496
NEV	81	85	88	82	80	82
Private Haushalte	7 679	8 025	8 590	7 945	7 837	8 078
GHD-Sektor	320	333	359	332	328	338

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 10: Verbrauch flüssige Biomasse der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Flüssige Biomasse (Insgesamt)	679	318	215	219	232	241
darunter						
Beimischungen	109	113	121	119	125	127
KWK	679	318	215	219	232	241

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 11: Verbrauch Solarthermie der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Solarthermie (Insgesamt)	13 251	15 430	15 206	14 091	17 127	17 944
darunter für						
Raumwärme	7 088	9 157	8 588	8 320	10 388	11 532
Warmwasser	6 147	6 250	6 596	5 747	6 708	6 378
Prozesswärme	17	22	22	23	30	34
Klimakälte	0	1	1	1	1	1

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 12: Verbrauch Umweltwärme der Privaten Haushalte

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Umweltwärme (Insgesamt)	21 476	24 741	27 507	30 192	33 451	36 038
darunter für						
Raumwärme	20 595	23 861	26 623	29 299	32 547	35 120
Warmwasser	881	880	884	892	905	918

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 13: Ermittelte Zeitreihen zum Energieverbrauch im GHD-Sektor (Absatz)

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ottokraftstoffe	9 563	9 502	8 804	8 967	8 672	8 703
Dieselkraftstoffe	98 357	95 085	94 056	92 806	93 291	96 586
Heizöl, l.	132 364	67 623	78 835	144 682	88 023	71 359
Erdgas[1]	461 808	419 392	427 730	511 769	452 807	437 704
Biomasse u. erneuerbare Abfälle	41 241	42 415	59 517	119 129	88 532	97 095
Sonstige erneuerbare Energien	2 117	2 499	5 249	4 538	5 437	5 591
Fernwärme	148 946	98 618	64 861	92 004	78 852	86 995
Insgesamt	894 397	735 133	731 087	910 078	784 517	767 648

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW. [1] Erdgas zum unteren Heizwert.

Tabelle A 14: Veränderung der Lagerbestände im GHD-Sektor

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Heizöl, leicht	-28 012	-224	5 079	-2 530	16 557	-7 001
Flüssiggas	723	-1 892	-874	-829	1 454	-1 211
Insgesamt	-27 289	-2 116	4 205	-3 359	18 011	-8 212

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 15: Verbrauch Ottokraftstoff im GHD-Sektor[1]

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rasenmäher	916	889	891	901	933	983
Kettensägen	1 243	1 300	1 237	1 270	1 297	1 322
Sonstige Gartengeräte	666	647	648	656	679	715
Bauwirtschaft	1 861	1 964	1 862	2 072	2 116	2 312
Militär	5 050	4 888	4 360	4 267	3 855	3 587
Insgesamt	9 736	9 689	8 999	9 167	8 881	8 918
darunter						
Beimischungen	*172*	*187*	*194*	*200*	*208*	*215*
reine Ottokraftstoffe	*9 563*	*9 502*	*8 804*	*8 967*	*8 672*	*8 703*

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW. [1] Ohne Ottokraftstoffe für Verkehrszwecke.

Tabelle A 16: Verbrauch Dieselkraftstoff GHD-Sektor[1]

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Landwirtschaft	75 697	71 182	71 126	66 333	66 401	66 456
Baumaschinen	27 900	29 449	27 922	31 073	31 719	34 660
Militär	1 062	669	1 044	726	735	619
Insgesamt	104 659	101 301	100 091	98 132	98 856	101 735
darunter						
Beimischungen	*6 302*	*6 216*	*6 035*	*5 326*	*5 565*	*5 150*
reine Dieselkraftstoffe	*98 357*	*95 085*	*94 056*	*92 806*	*93 291*	*96 586*
nachrichtlich: reine Pflanzenöle	*934*	*283*	*369*	*67*	*21*	*11*

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW. [1] Ohne Dieselkraftstoffe für Verkehrszwecke.

Tabelle A 17: Verbrauch erneuerbarer Energien im GHD-Sektor

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Holzkohle	320	333	359	332	328	338
Flüssige Biomasse	10 175	7 517	7 162	6 248	6 526	6 154
Biogas	20 482	24 472	35 344	40 597	42 605	44 533
Biomethan	267	659	1 923	2 727	3 217	4 356
Klärgas	8 778	8 776	8 472	6 224	6 501	6 993
Deponiegas	1 219	658	985	1 166	883	804
Solarthermie	1 348	1 594	1 581	1 510	1 653	1 825
Umweltwärme	769	905	975	1 047	1 159	1 298
Insgesamt	43 358	44 913	56 800	59 851	62 872	66 301

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 18: Verbrauch flüssige Biomasse im GHD-Sektor

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Flüssige Biomasse (Insgesamt)	10 175	7 517	7 162	6 248	6 526	6 154
darunter						
KWK	2 766	831	564	655	732	779
Bioethanol (Beimischungen)	172	187	194	200	208	215
Biodiesel (Beimischungen)	6 302	6 216	6 035	5 326	5 565	5 150
Reine Pflanzenöle	934	283	369	67	21	11

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 19: Verbrauch Solarthermie im GHD-Sektor

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Solarthermie (Insgesamt)	1 348	1 594	1 581	1 510	1 653	1 825
darunter für						
Raumwärme	364	416	402	368	441	456
Warmwasser	981	1 172	1 173	1 137	1 205	1 362
darunter						
Hallenbäder	*63*	*82*	*76*	*69*	*83*	*90*
Freibäder	*725*	*844*	*872*	*852*	*858*	*979*
Prozesswärme	4	6	6	6	6	7
Klima- und Prozesskälte	0	0	0	0	0	0

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 20: Verbrauch Umweltwärme im GHD-Sektor

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Umweltwärme (Insgesamt)	769	905	975	1 047	1 159	1 298
darunter für						
Raumwärme	763	899	968	1 040	1 152	1 290
Warmwasser	6	6	6	7	7	8

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 21: Ermittelte Zeitreihen zum Energieverbrauch im Sektor Landwirtschaft

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ottokraftstoffe						
Dieselkraftstoffe (exkl. Beimischung)	71 092	66 786	66 792	62 706	62 635	63 072
Strom						
Biomasse u. erneuerbare Abfälle	17 680	18 867	25 986	28 543	29 579	30 536
darunter						
Fl. Biomasse	6 264	4 924	4 916	3 955	4 057	3 682
Biogas	11 343	13 758	20 724	24 115	24 948	26 077
Biomethan	73	185	346	473	574	777
Sonstige erneuerbare Energien	35	41	42	43	55	61
darunter						
Solarthermie	30	35	33	30	37	40
Umweltwärme	5	6	9	13	18	21
Fernwärme						
Insgesamt						

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW.

Tabelle A 22: Energieverbrauch im Motorisierten Individualverkehr

2010 bis 2015, in TJ

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
			Insgesamt			
Ottokr.	791 338	780 506	773 500	768 899	753 636	753 133
Diesel.	580 797	609 713	650 577	681 364	694 728	730 638
Flüssigg.	21 302	22 312	23 080	22 654	20 910	19 357
Erdgas	4 188	4 363	4 618	4 800	4 723	4 727
Strom	20	32	54	86	130	209
Insges.	1 397 645	1 416 926	1 451 829	1 477 804	1 474 127	1 508 064
			Private Nutzung			
Ottokr.	731 377	718 291	712 551	710 622	700 658	697 159
Diesel	424 529	441 386	453 423	472 994	509 960	518 114
Flüssigg.	19 941	20 785	21 422	21 007	19 561	18 137
Erdgas	2 834	2 920	2 950	3 055	3 176	3 029
Strom	8	12	16	23	50	87
Insges.	1 178 689	1 183 395	1 190 362	1 207 701	1 233 406	1 236 526
			Gewerbliche Nutzung			
Ottokr.	59 961	62 215	60 950	58 277	52 977	55 973
Diesel	156 267	168 326	197 154	208 371	184 768	212 524
Flüssigg.	1 362	1 527	1 658	1 647	1 348	1 219
Erdgas	1 354	1 443	1 668	1 745	1 548	1 699
Strom	12	20	38	63	80	122
Insges.	218 957	233 531	261 467	270 102	240 721	271 537

Quelle: Eigene Berechnungen ZSW.

Literaturverzeichnis

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., Internet: http://www.ag-energiebilanzen.de.

AG Energiebilanzen (2014), Methodische Änderungen in der Energiebilanz 2012, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., Berlin.

ASUE (2016) und Vorjahre, BHKW-Kenndaten – Module, Kosten, Anbieter, Veröffentlichungen für die Jahre 2005, 2011 und 2014/2015, Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., Berlin.

BAFA (2016), Amtliche Mineralöldaten der Bundesrepublick Deutschland, Monat: Dezember 2015, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Eschborn.

Baten, T., Buttermann, H.G., Nieder, T. (2014), Gesamtbilanz der Kraft-Wärme-Kopplung 2003 bis 2012, in Energiewirtschaftliche Tagesfragen 64. Jg. (2014) Heft 5, S. 37 bis 44.

BMEL (2015), Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2015, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Münster-Hiltrup.

BNetzA (2014) und Vorjahre, Bericht der Bundesnetzagentur über die Auswirkungen der Sonderregelungen für die Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz (Biogas-Monitoringberichte 2011-2014), Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, Bonn.

BNetzA (2016), Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB, Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, Bundeskartellamt, Bonn.

BSW (2016) und Vorjahre, Statistische Zahlen der deutschen Solarwärmebranche (Solarthermie). Bundesverband Solarwirtschaft (BSW-Solar), Berlin.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2007), Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand (vom 26. Juli 2007).

Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks (2010), Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks für 2010. Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks - Zentralinnungsverband (ZIV).

Bunbury, H.M. et al. (1925), Die trockene Destillation des Holzes, Verlag von Julius Springer 1925.

BWP (2016), Übersicht über die Absatzzahlen von Wärmepumpen in Deutschland, unterschieden nach erdgekoppelten und Luft/Wasser-Wärmepumpen sowie für Warmwasserwärmepumpen, für die Jahre 2009 bis 2015, Bundesverband Wärmepumpe, Berlin.

C.A.R.M.E.N. (2016), Heizwert in Abhängigkeit von Holzart und Wassergehalt, Internet: https://www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe/brennstoffe/scheitholz.

CM SAF (2016), Climate Data Records, Surface incoming shortwave radiation, The Satellite Application Facility on Climate Monitoring, Deutscher Wetterdienst, Dep. KU22, Offenbach

DBFZ (2015), Stromerzeugung aus Biomasse (Vorhaben IIa Biomasse), Zwischenbericht Mai 2015, DBFZ Deutsches BiomasseForschungszentrum gGmbH, Leipzig.

DENA (2012), Branchenbarometer Biomethan, Daten, Fakten und Trends zur Biogaseinspeisung, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin.

DEPI (2016), Pelletfeuerungen in Deutschland, Internet: http://www.depi.de/media/filebase/files/infothek/images/Pelletfeuerungen_in_Deutschland.jpg, Deutsches Pellet-Institut (DEPI), Berlin.

Deutscher Bundestag (2006), Energiesteuergesetz vom 15. Juli 2006 (BGBl. I S. 1534; 2008 I S. 660, 1007), das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 3. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2178) geändert worden ist, Berlin.

Deutscher Bundestag (2015), Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Finanzhilfen des Bundes und der Steuervergünstigungen für die Jahre 2013 bis 2016 (25. Subventionsbericht), Bundestagsdrucksache 18/5940, Berlin.

DIW (2015), Verkehr in Zahlen 2015/2016, 44. Jahrgang. Herausgegeben durch Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin.

DIW (1995), Effizienz von Maßnahmen zur Verbrauchseinschränkung bei Mineralölversorgungsstörungen, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin.

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

DWD Climate Data Center (2016), Aktuelle stündliche Stationsmessung der Lufttemperatur und Luftfeuchte, Qualitätskontrolle noch nicht vollständig durchlaufen sowie Historische stündliche Stationsmessung der Lufttemperatur und Luftfeuchte. Deutscher Wetterdienst, Offenbach.

EEFA (2012), Stromverbrauch nach Anwendungszwecken der privaten Haushalte: Auswertung und Analyse des STROM.chek der EnergieAgentur.NRW, Studie im Auftrag der HEA-Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V., Energy Environment Forecast Analysis (EEFA), Münster.

EEFA et al. (2015): Verfahren zur regelmäßigen und aktuellen Ermittlung des Energieverbrauchs in nicht von der amtlichen Statistik erfassten Bereichen. Studie im Auftrag des Bundesministeriumgs für Wirtschaft und Energie, Energy Environment Forecast Analysis (EEFA), Münster, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart, DBI Gas und Umwelttechnik GmbH (DBI GUT), Leipzig.

EEFA/IE Leipzig (2008), Effizienz von Maßnahmen zur Verbrauchseinschrünkung bei Mineralölstörungen, Studie im Auftrag des Wirtschaft und Technologie, Energy Environment Forecast Analysis (EEFA), Münster und Leipziger Institut für Energie (IE Leipzig), Leipzig.

ESTIF (2007). Objective methodology for simple calculation of the energy delivery of (small) Solar Thermal systems, European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF), Brüssel.

ESTIF (2011), Converting Installed Solar Collector Area & Power Capacity into Estimated Annual Solar Collector Energy Output, European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF), Brüssel.

Europäische Kommission (2013), Beschluss der Kommission vom 1. März 2013 zur Festlegung von Leitlinien für die Mitgliedstaaten zur Berechnung der durch verschiedene Wärmepumpen-Technologien aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energie gemäß Artikel 5 der Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, Aktenzeichen C(2013) 1082, 2013/114/EU.

Eurostat (2011), "The New Degree of Urbanisation", Luxembourg.

Fichtner et al. (2012), Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014, Evaluierung des Förderjahres 2013. Zwischenbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Fichtner, Stuttgart, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR), Stuttgart, Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing, Institut für dezentrale Energietechnologie (IdE), Kassel, Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH), Hamburg, DBI Gas und Umwelttechnik GmbH (DBI GUT), Leipzig, ECOFYS, Berlin.

FNR (2012), Biomethan, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow-Prüzen.

FNR (2013), Handbuch, Bioenergie-Kleinanlagen, Fachangentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow-Prüzen.

FNR (2014), Leitfaden Biogasaufbereitung und –einspeisung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow-Prüzen.

Fraunhofer ISI et al. (2015), Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe, GfK Retail and Technology GmbH, Nürnberg, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik an der Technischen Universität München (IfE), München, Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IRRES GmbH) Karlsruhe.

GZB (2010), Studie „Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes - Bestandsaufnahme und Trends". Geothermiezentrum Bochum. Bochum.

GZB (2014), Aktualisierung der Studie „Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes - Bestandsaufnahme und Trends". Internationales Geothermiezentrum. Bochum.

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

HKI (2015), Presseinformation „Der HKI informiert: Absatzzahlen für häusliche Einzelraumfeuerstätten". Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V.. Frankfurt am Main.

ifeu (2009), Aktualisierung des Modells TREMOD - Mobile Machiniers (TREMOD-MM), ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg.

IVD (2008), Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Universität Stuttgart, Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen (IVD), Stuttgart.

IVT (2004), Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung. Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung (IVT), Mannheim, herausgegeben durch Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach.

IWU (2011), Deutsche Gebäudetypologie, Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt.

IWU (2016), Klimadaten deutscher Stationen, Internet: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/Gradtagszahlen_Deutschland.xls (Abrufdatum: 20.01.2016), Institut für Wohnen und Umwelt Darmstadt.

KBA (2016) und Vorjahre, Verkehr in Kilometern der deutschen Kraftfahrzeuge im Jahr 2015 (sowie 2013 und 2014), Kraftfahrtbundesamt, Flensburg.

KIT (2016), Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen. Bericht 2014/2015: Alltagsmobilität und Fahrleistung, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

KNMI (2016), MSG Cloud Physical Properties (CPP) algorithm, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Utrecht De Bilt.

KWF (2015), Forstmaschinenstatistk 2014 in Deutschland, Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF) Internet: http://www.kwf-tagung.org/fr/aktuelles/news-detailanzeige/eintrag/53.html.

Länderarbeitskreis Energiebilanzen (LAK), Internet: http://www.lak-energiebilanzen.de.

Mantau, U. (2013), Umsatzentwicklung energetischer Holzverwendung in Deutschland 2000 bis 2012, Studie im Auftrag des Zentrums für Sonnenenergie und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg, Celle.

Mantau, U. (2012a), Standorte der Holzwirtschaft – Holzrohstoffmonitoring, Energieholzverwendung in Privaten Haushalten, Marktvolumen und verwendete Holzsortimente, Hamburg.

Mantau, U. (2012b), Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2015, Hamburg.

Mantau, U., Sörgel, C. (2006), Energieholzverwendung in privaten Haushalten. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente - Abschlußbericht. Hamburg.

Nick, Lars (2008), Forstmaschinenstatistk 2007 – noch einmal ein Erfolgsjahr, in Forttechnische Informationen, Fachzeitung für Waldarbeit und Forsttechnik, 60. Jahrgang, Mainz.

Oberhundemer Dorfzeitung (2009), „Nigges iut diam Duarepe“ - Sonderausgabe 024 / Kohlenmeiler August 2009.

RWI (2014), Erstellung der Anwendungsbilanzen 2011 und 2012 für den Sektor Privaten Haushalte, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Essen.

Solarserver (2016), „Sonnenkollektoren: Typen und Einsatz“, im Internet abrufbar unter http://www.solarserver.de/wissen/basiswissen/kollektoren.html.

Schäffeler U., Keller M. (2008): Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors. Studie für die Jahre 1980–2020. Umwelt-Wissen Nr. 0828. Bundesamt für Umwelt, Bern.

StBA (2012), Bauen und Wohnen (Fachserie 5, Heft 1), Mikrozensus-Zusatzerhebung 2010, Bestand und Struktur der Wohneinheiten Wohnsituation der Haushalte, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

StBA (2014), Einkommens- und Verbrauchsstichprobe, Ausstattung privater Haushalte mit ausgewählten Gebrauchsgütern (EVS) 2013, Fachserie 15 Heft 1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

StBA (2015a), Land-, Forstwirtschaft, Fischerei, Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung, Fachserie 3 Reihe 5.1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

StBA (2015b), Land-, Forstwirtschaft, Fischerei, Bodennutzung der Betriebe (Struktur der Bodennutzung), Fachserie 3 Reihe 2.1.2, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

StBA (2015c), Land-, Forstwirtschaft, Fischerei, Forstwirtschaftliche Bodennutzung – Holzeinschlagsstatistk, Fachserie 3 Reihe 3.3.1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

StBA (2015d), Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus udn der Gewinnung von Steinen und Erden, Fachserie 4 Reihe 3.1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

StBA (2016a), Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (Inlandsabsatz), Preise für leichtes Heizöl, schweres Heizöl, Motorenbenzin und Dieselkraftstoff – Lange Reihen ab 1976 bis August 2016, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

StBA (2016b), Kostenstruktur der Unternehmen im Baugewerbe, Fachserie 4 Reihe 5.3, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

StBA (2016c), Abfallentsorgung, Fachserie 19 Reihe 1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik (2012), Prof. Dr. Ursula Eicker: Solarthermische Anlagen für Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung, Oldenbourg Industrieverlag GmbH.

Techem (2015), Energiekennwerte 2015: Hilfen für den Wohnungswirt, Ausgabe 2015, Techem AG, Eschborn.