



Projektbericht

RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung

**Erstellung der Anwendungsbilanzen
2021 für den Sektor der Privaten
Haushalte und den Verkehrssektor
in Deutschland**

Endbericht - April 2023

Forschungsprojekt im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft
Energiebilanzen e.V.



Impressum

Herausgeber:

RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung
Hohenzollernstraße 1-3 | 45128 Essen, Germany

Postanschrift:

Postfach 10 30 54 | 45030 Essen, Germany

Fon: +49 201-81 49-0 | E-Mail: rwi@rwi-essen.de
www.rwi-essen.de

Vorstand

Prof. Dr. Dr. h. c. Christoph M. Schmidt (Präsident)
Prof. Dr. Thomas K. Bauer (Vizepräsident)
Dr. Stefan Rumpf

© RWI 2023

Der Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des RWI gestattet.

RWI Projektbericht

Schriftleitung: Prof. Dr. Dr. h. c. Christoph M. Schmidt
Gestaltung: Daniela Schwindt, Magdalena Franke, Claudia Lohkamp

Erstellung der Anwendungsbilanzen 2021 für den Sektor der
Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland
Endbericht - April 2023
Forschungsprojekt im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.

Projektteam

Prof. Dr. Manuel Frondel, Ronald Janßen-Timmen und Prof. Dr. Stephan Sommer

RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung

Erstellung der Anwendungsbilanzen 2021 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland

Endbericht - April 2023

Forschungsprojekt im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft
Energiebilanzen e.V.

Inhaltsverzeichnis

1.	Hintergrund und Ziel der Studie.....	5
2.	Endenergieverbrauch.....	6
	Sektor Private Haushalte.....	6
	Sektor Verkehr.....	7
3.	Methodische Vorarbeiten.....	7
	Absatzmengen und Verbrauchsmengen.....	8
	Geographische Interpolation der Heizgradtage.....	9
	Abgrenzung zwischen Kalenderjahr und Abrechnungszeitraum.....	10
	Besonderheiten des Holzverbrauchs.....	11
	Notwendigkeit vollständiger Verbrauchsangaben.....	11
4.	Vom Endenergieverbrauch zur Anwendungsbilanz.....	12
	Energiebedarf für Warmwasser, Beleuchtung und Kochen.....	13
	Dekomposition des Stromverbrauchs nach Geräten und Anwendungszwecken.....	14
5.	Anwendungsbilanz für das Jahr 2021.....	16
	Ergebnisse Private Haushalte.....	16
	Ergebnisse Verkehrssektor.....	18
	Literatur.....	20
	Detaillierte Ergebnisse.....	22

1. Hintergrund und Ziel der Studie

Rund 28% des jährlichen Endenergieverbrauchs in Deutschland entfällt laut der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) auf den Sektor der privaten Haushalte. Weitere 27% der Endenergie werden vom Verkehrssektor verbraucht (AGEB 2023a). Haushalte verwenden Energie insbesondere für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser, aber auch zur Beleuchtung ihrer Wohnungen, zum Kochen und für den Betrieb elektrischer Geräte. Im Verkehrssektor werden die Energieträger fast ausschließlich zur Erzeugung mechanischer Energie genutzt, die dem Fahrzeugantrieb dient.

Ziel dieser Studie ist die Differenzierung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte und des Verkehrssektors nach Anwendungszwecken für das Jahr 2021. Mit dieser Studie wird das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderte und im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. durchgeführte Projekt fortgesetzt, die Anwendungsbilanzen der privaten Haushalte und des Verkehrsbereichs für die Jahre 2021 bis 2023 zu erstellen. Methodisch schließt es an die bereits für die Jahre 2013 bis 2020 erstellten Anwendungsbilanzen an. Damit ist sichergestellt, dass die Ergebnisse dieser Studie mit der bisherigen Reihe von Anwendungsbilanzen vergleichbar sind.

Ausgangspunkt ist das Energieverbrauchspanel, ein umfangreicher Mikrodatensatz, der im Rahmen einer Reihe von Forschungsprojekten gemeinsam vom RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung und forsa (Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH) im Auftrag des BMWK, des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) systematisch aufgebaut worden ist. Dieser Datensatz liefert grundlegende, detaillierte Informationen zum Verbrauch und zur Verwendung der in Haushalten genutzten Energieträger. Aus den daraus abgeleiteten Anteilen für die einzelnen Verwendungszwecke wird die Anwendungsbilanz 2021 für den Haushaltssektor errechnet.

Da das RWI aktuell kein Projekt bearbeitet, bei dem die Erhebung von Heizenergieverbrauchsdaten der privaten Haushalte vorgesehen ist, werden für die Anwendungsbilanz 2021 die Verbräuche der entsprechenden Energieträger auf Basis zuvor erhobener Daten extrapoliert. Lediglich für den Stromverbrauch wurden aktuelle Informationen erhoben. Die Anwendungsbilanzen des Verkehrssektors werden direkt auf Basis der Daten der endgültigen Energiebilanz 2021 der AGEB erstellt. Die

RWI: Anwendungsbilanzen 2021

Anteile der einzelnen Energieträger in den verschiedenen Verwendungsbereichen werden mit Hilfe von Angaben zum Absatz an Kraftstoffen errechnet.

Der folgende Abschnitt 2 beschreibt die Erhebung des Endenergieverbrauchs im Haushalts- und Verkehrssektor. In Abschnitt 3 werden die einzelnen Schritte der Aufarbeitung des Mikrodatensatzes erläutert, mit denen aussagekräftige Daten zum Energieverbrauch der Haushalte gewonnen werden können. Abschnitt 4 stellt weitere relevante Annahmen dar, die für die Erstellung der Anwendungsbilanz getroffen wurden. Die Anwendungsbilanzen des Jahres 2021 befinden sich in Abschnitt 5.

2. Endenergieverbrauch

Zur Erstellung der Energiebilanzen arbeitet die AGEB intensiv mit den beteiligten Verbänden der Energiewirtschaft zusammen. Im Rahmen einer *Top-Down*-Rechnung wird die Menge an Endenergie eines Kalenderjahres auf die einzelnen Verbrauchssektoren aufgeschlüsselt und der Endenergieverbrauch eines Sektors in den Energiebilanzen nach Energieträgern differenziert ausgewiesen.

Sektor Private Haushalte

Während der Endenergieverbrauch des Bergbaus und des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Verkehrs recht gut in amtlichen Daten dokumentiert ist, entfällt der verbleibende Endenergieverbrauch auf die Sektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) und private Haushalte. Die Zurechnung dieser „Residualgröße“ jeweils auf GHD und Haushalte ist in der *Top-Down*-Rechnung der AGEB nicht unproblematisch. Zur Ergänzung der Arbeiten der AGEB hat das BMWK daher jahrelang spezialisierte Erhebungsstudien für diese beiden Verbrauchssektoren in Auftrag gegeben, die im Rahmen von *Bottom-Up*-Rechnungen Aussagen bezüglich des Endenergieverbrauchs in diesen Sektoren treffen können.

Zur Erhebung der Endenergieverbräuche für den Sektor der privaten Haushalte für die Kalenderjahre 2003 bis 2013 war das RWI gemeinsam mit forsa vom BMWK mit der Durchführung von Erhebungsstudien betraut (s. z.B. RWI/forSa, 2011, 2013, 2015). Haushalte eines für Deutschland repräsentativen Panels wurden vollumfänglich sowohl zum Verbrauch der jeweils von ihnen genutzten Energieträger als auch zu Verwendungszwecken, Wohnverhältnissen und Charakteristika des bewohnten Gebäudes befragt. Zudem wurde in den Jahren 2010 und 2014 für einen Teil der im Datensatz enthaltenen Haushalte äußerst detailliert die Ausstattung mit stromverbrauchenden Geräten und das Verbrauchsverhalten (Art und Intensität der Nutzung) erhoben.

In der Vergangenheit kam es zwischen den von der AGEB und den von RWI und forsa ausgewiesenen Werten des Endenergieverbrauchs regelmäßig zu Abweichungen. Die Ursache der Abweichungen ist in erster Linie durch unterschiedliche Hochrechnungsverfahren begründet (z.B. RWI/forSa, 2015). Damit in der Öffentlichkeit nicht parallel mehrere Kennziffern zum Endenergieverbrauch kursieren, wird der durch die Erhebungsstudien festgestellte Energieverbrauch der privaten Haushalte anhand der in den Energiebilanzen der AGEB ausgewiesenen Werte kalibriert.

Sektor Verkehr

Der Energieeinsatz im Verkehrssektor dient nahezu vollständig der Bereitstellung von mechanischer Energie für den Fahrzeugantrieb. Lediglich geringe Anteile entfallen auf andere Anwendungszwecke. So wird z.B. mit der Motorwärme der Fahrzeuginnenraum beheizt oder es wird über Klimaanlage der Kühlbedarf der Fahrzeuginsassen bzw. der Kühlgüter im Güterverkehr gedeckt. Hinzu kommen geringe Verbrauchsanteile für die Beleuchtung sowohl des Außen-, aber auch des Innenbereichs der Fahrzeuge, oder der Stromeinsatz für Informations- und Kommunikationseinrichtungen (z.B. Radio und Navigationsgeräte).

Eine Detailuntersuchung der auf die einzelnen Anwendungsbereiche entfallenden Energieverbrauchsmengen für den gesamten Verkehrsbereich, also neben dem Straßenverkehr auch des Schienen-, Binnenschiffahrts- und Luftverkehrs, kann im Rahmen dieser Studie nicht vorgenommen werden. Angesichts der überragenden Bedeutung des Anwendungsbereichs „mechanische Energie“ erscheint dies vorerst auch nicht zwingend notwendig.

Auch vor dem Hintergrund eines wachsenden Umsatzes von elektrisch oder hybrid betriebenen Fahrzeugen ist eine weitere Aufteilung nicht notwendig. Zwar liegt bei Personenkraftwagen der Anteil an Neuzulassungen mit Elektro- oder Hybridantrieben inzwischen bei rund 31% (KBA 2023a), doch der Anteil am Bestand bei Personenkraftwagen ist mit 3,9% weiterhin gering (KBA 2023b). Aus diesen Gründen wurden für die Anwendungsbilanzen des Verkehrssektors im Wesentlichen die Strukturen der Vorjahre fortgeschrieben.

3. Methodische Vorarbeiten

Für die Erstellung der Anwendungsbilanzen im Haushaltssektor werden die Ergebnisse aus den Erhebungsstudien zum Energieverbrauch der privaten Haushalte herangezogen, die gemeinsam von RWI und forsa im Auftrag des BMWK erstellt wurden (z.B. RWI/forSa, 2011, 2013, 2015). Zusätzlich werden Haushaltserhebungen verwendet, die im Rahmen von Forschungsprojekten im Auftrag des BMBF und des BDEW

RWI: Anwendungsbilanzen 2021

gefördert wurden. Der Grund hierfür ist, dass im Rahmen der Haushaltsbefragungen für mehrere tausend Haushalte sehr detaillierte Informationen vorliegen, insbesondere

- zu sozio-ökonomischen und gebäudespezifischen Charakteristika;
- zur Nutzung unterschiedlicher Energieträger, wie Strom, Erdgas, Heizöl, Holz, usw.;
- zur Verwendung der genutzten Energieträger, also z.B. zur Raumwärme- und Warmwassererzeugung;
- zur Ausstattung mit und zur Nutzung von Elektrogeräten;
- und schließlich zum Verbrauch und zu den Kosten der jeweiligen Energieträger.

Insgesamt dürften die von RWI und forsa gesammelten Informationen die vermutlich umfangreichste Datenbasis zum Energieverbrauch der privaten Haushalte in Deutschland darstellen.

Um über eine Befragung valide Daten zum Energieverbrauch eines Haushalts erheben zu können, bedarf es eines Erhebungsdesigns, welches den Teilnehmern eine einfache Beantwortung der Fragen ermöglicht. In den von RWI und forsa durchgeführten Erhebungen wurden grundsätzlich Rechnungsdaten erhoben, beispielsweise zum Stromverbrauch oder Daten aus der jährlichen Heizkostenabrechnung der Haushalte. Die erhobenen Daten entsprechen nicht unmittelbar den für die weitere Untersuchung notwendigen Größen und müssen in einem weiteren Schritt nach objektiven Kriterien aufbereitet werden. Nachgelagerte Bearbeitungsschritte sind notwendig zur Berücksichtigung von Bestandsänderungen bei lagerfähigen Energieträgern, bei der kalenderjahresscharfen Abgrenzung der Erhebungsdaten, bei der Umrechnung von Holz mengen in Energieäquivalente und bei der Aufteilung des Stromverbrauchs auf Anwendungszwecke.

Absatzmengen und Verbrauchsmengen

Typischerweise ist den Haushalten bei lagerfähigen Energieträgern wie Heizöl bestenfalls die Kauf- bzw. Liefermenge bekannt, nicht jedoch die jährliche Verbrauchsmenge. Es wäre reiner Zufall, wenn die Liefermenge exakt dem Jahresverbrauch entspräche. Um den jährlichen Verbrauch eines lagerfähigen Energieträgers zu ermitteln, wurden die Liefermengen des Energieträgers für einen längeren Zeitraum erfasst.

Aus der Summe der Liefermengen kann unter Berücksichtigung der Witterungsbedingungen der einzelnen Jahre in Form von Heizgradtagen ein Jahresverbrauch für den Haushalt errechnet werden. Im hier gewählten Beispiel für das Jahr 2013 ergibt sich der Verbrauch wie folgt:

RWI: Anwendungsbilanzen 2021

$$(1) \text{ Verbrauch}_{2013,i} = HDD_{2013,i} * \frac{\sum_{t=2005}^{2014} \text{Liefermenge}_{t,i}}{\sum_{t=2005}^{2014} HDD_{t,i}}$$

Dabei bezeichnet $HDD_{t,i}$ die haushaltsspezifischen Heizgradtage im Jahr t am Wohnort von Haushalt i , die sich als Summe über alle haushaltsspezifischen Gradtage innerhalb des betrachteten Zeitraums t ergeben:

$$(2) \text{ HDD}_{t,i} = \sum_{d \in t} G_{d,i}$$

Ein Gradtag ($G_{d,i}$) wird nach DIN 3807 als Differenz zwischen einer unterstellten mittleren Raumtemperatur von 20° Celsius und dem Tagesmittel der Außentemperatur am Wohnort des Haushalts i berechnet. Dabei werden lediglich Tage mit einem Tagesmittel ($A_{d,i}$) von weniger als 15° Celsius berücksichtigt:

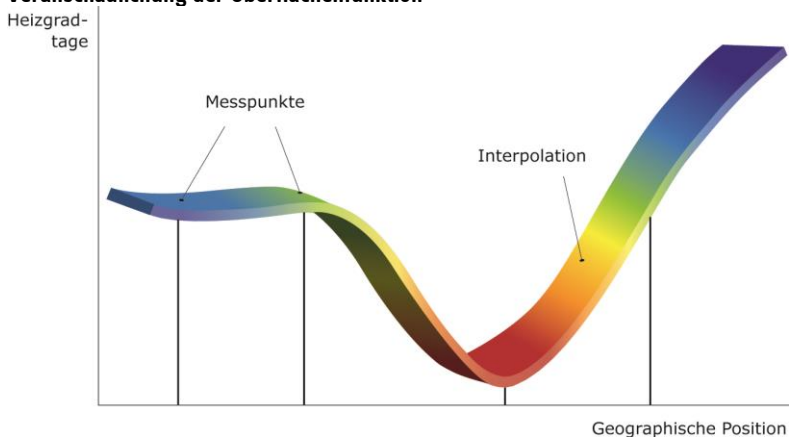
$$(3) G_{d,i} = \begin{cases} 20^{\circ}\text{C} - A_{d,i} & \text{für } A_{d,i} < 15^{\circ}\text{C} \\ 0 & \text{für } A_{d,i} \geq 15^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

In Definition (1) wird die kumulierte Liefermenge der Jahre 2005 bis 2014 gewichtet mit dem Anteil der haushaltsspezifischen Heizgradtage des Kalenderjahres 2013 an sämtlichen im Zeitraum 2005 bis 2014 gemessenen Heizgradtagen.

Geographische Interpolation der Heizgradtage

Die Ermittlung haushaltsspezifischer Gradtagszahlen ($G_{d,i}$) erfolgt in zwei Schritten. Zunächst werden unter Zugrundelegung meteorologischer Messwerte eines vom Deutschen Wetterdienst (DWD) betriebenen Netzes von etwa 500 Klimastationen jeweils für die Monate Januar bis Dezember interpolierte Heizgradtage für das Gebiet der Bundesrepublik errechnet. Die Interpolation basiert auf einer geo-mathematischen Oberflächenfunktion (Childs 2004). Anschaulich kann man sich die Interpolation wie das „Einhüllen“ der Klimastationen mit einem Tuch vorstellen. An jedem Messpunkt – in Abbildung 1 durch eine vertikale Linie gekennzeichnet – entspricht das Tuch dem erhobenen Messwert. Gebiete ohne Messstation werden durch die Oberflächenfunktion interpoliert.

Abbildung 1:
Veranschaulichung der Oberflächenfunktion



Quelle: Eigene Darstellung.

Nach der Interpolation liegen die Gradtagszahlen für jede der rund 11 000 Gemeinden der Bundesrepublik monatsgenau vor. Jedem beobachteten Haushalt können somit die Heizgradtage am Wohnort zugewiesen werden. Die so gewonnenen haushaltsspezifischen Heizgradtage dienen als Grundlage zur Bereinigung von Lagerhaltungseffekten und zur witterungsgerechten Zurechnung des Energieverbrauchs bei kalenderjahr-übergreifenden Abrechnungen.

Abgrenzung zwischen Kalenderjahr und Abrechnungszeitraum

Üblicherweise stimmt der abgerechnete Zeitraum nicht mit dem Kalenderjahr überein, sondern bezieht sich auch teilweise auf das vorhergehende oder nachfolgende Kalenderjahr. In den Erhebungen von RWI und forsa wurden daher von den befragten Haushalten alle Energierechnungen ausgelesen, die sich zumindest teilweise auf die vorangegangenen Kalenderjahre beziehen. Die auf der jeweiligen Rechnung ausgewiesene Energieverbrauchsmenge wurde danach auf die betroffenen Kalenderjahre verteilt. Bei allen zur Wärmeerzeugung genutzten Energieträgern (einschließlich Strom bei Nachtspeicherheizungen) wurde der Energieverbrauch je Heizgradtag errechnet. Der auf das Kalenderjahr entfallende Energieverbrauch ergibt sich durch Multiplikation mit der Anzahl an Heizgradtagen im entsprechenden Kalenderjahr. Auf diese Weise kann der Einfluss einer milden Witterung auf den Wärme- und damit Brennstoffbedarf kontrolliert werden.

Durch dieses Verfahren wurden Verbrauchswerte für das Jahr 2021 extrapoliert, indem eine Skalierung des Verhältnisses der Heizgradtage erfolgte. Dies stellt eine

plausible Vorgehensweise dar, da der Verbrauch von primär zu Heizzwecken verwendeten Energieträgern wie etwa Heizöl sehr stark temperaturabhängig ist.

Besonderheiten des Holzverbrauchs

Die über eine Befragung durchgeführte Erfassung des Holzverbrauchs ist mit besonderen konzeptionellen Schwierigkeiten behaftet. So ist die Verbrauchsmenge für einen Haushalt – insbesondere, wenn er Holz nur selten nutzt – äußerst schwierig abzuschätzen. Beispielsweise variiert der für die Lagerung des Holzes benötigte Platz allein schon durch die Art der Lagerung. Schätzt ein Haushalt die von ihm verbrauchte Menge an Holz durch eine Betrachtung des Lagerortes, ist die erfasste Verbrauchsmenge mit einer hohen Ungenauigkeit behaftet.

Zusätzlich wird das Ergebnis maßgeblich von den Annahmen hinsichtlich der Holzsorte und des Wassergehaltes sowie der entsprechend verwendeten Umrechnungsfaktoren von Gewichts- bzw. Raummaßen in Energieeinheiten bestimmt (z.B. RWI/forsa, 2015). In der Haushaltserhebung wird die Menge an verbrauchtem Holz in der Gewichtseinheit kg oder in einem der drei Raummaße Raum-, Fest- oder Schüttraummeter erfasst. Der Raummeter – häufig auch als Ster bezeichnet – entspricht einem Kubikmeter gestapelter Holzmasse, beispielsweise in Form von Stückholz. Für die Umrechnung der Raummaße in Raumgewichte wurde ein Wassergehalt von 20% angenommen, der üblicherweise bei luftgetrocknetem Holz zu erwarten ist (FNR 2007:58). Das Raumgewicht variiert zudem mit der betrachteten Holzart. Für Stückholz und Hackschnitzel wird ein durchschnittlicher Heizwert von 18,5 MJ/kg (5,14 kWh/kg) verwendet, bezogen auf die wasserfreie Masse (FNR 2007:58). Unter Berücksichtigung eines Wasseranteils von 20% ergibt sich daraus ein mittlerer Heizwert von 3,976 kWh/kg für Stückholz und Hackschnitzel. Bei Holzbriketts und Holzpellets ähneln sich sowohl die Ausgangsstoffe als auch das Produktionsverfahren. Für beide Energieträger wird daher ein Heizwert von 4,9 kWh/kg angenommen, der der Mindestanforderung für Pellets nach DIN 51731 entspricht.

Notwendigkeit vollständiger Verbrauchsangaben

Nahezu jeder Haushalt nutzt mehr als einen Energieträger. So wird Raumwärme und ggf. Warmwasser meist mit einem Brennstoff wie Erdgas oder Heizöl erzeugt. Für die Anwendungszwecke Beleuchtung und Information und Kommunikation (IuK) kommt dagegen ausschließlich Strom zu Einsatz. Daneben ist es aber durchaus üblich, dass Haushalte auch für die Raumwärmeerzeugung mehr als einen Energieträger verwenden. Ein typisches Beispiel ist die Verwendung von Holz in einem Kamin oder Kaminofen gerade zu Beginn und Ende der Heizperiode. Insbesondere in Zeiten hoher Preise für die konventionellen Energieträger Erdgas und Heizöl ist die Verfeuerung von Holz eine finanziell attraktive Option, da es mitunter sehr günstig direkt über die Forstverwaltung bezogen werden kann.

Um den gesamten Energieverbrauch für einen bestimmten Anwendungszweck auf alle genutzten Energieträger sachgerecht aufteilen zu können, müssen daher verwertbare Angaben der Haushalte für jeden der von ihnen verwendeten Energieträger vorliegen. Beispielsweise helfen Informationen über die Nutzung von Erdgas und Holz zur Raumwärmeerzeugung wenig, wenn die jeweiligen Verbrauchsmengen nicht bekannt sind.

Für die Erstellung der Anwendungsbilanzen werden daher nur Informationen von Haushalten herangezogen, für die sowohl vollständige Angaben hinsichtlich der Energieträgernutzung als auch der jeweils verbrauchten Energiemenge vorliegen. Um aussagekräftige Verbrauchskennziffern für die Grundgesamtheit aller Haushalte in Deutschland ableiten zu können, erfolgt eine Gewichtung der Haushalte anhand der Haushaltsgröße und des Gebäudetyps, sodass die Verteilung der Stichprobenhaushalte mit der Verteilung in der Grundgesamtheit übereinstimmt. Im Gegensatz zu vorigen Studien (z.B. RWI, 2016) wurde aufgrund ähnlicher Verbrauchsstrukturen auf die Unterscheidung zwischen Ein- und Zweifamilienhäusern verzichtet.

4. Vom Endenergieverbrauch zur Anwendungsbilanz

Die Anwendungsbilanz gliedert sich in die folgenden Anwendungszwecke:

- Raumwärme;
- Warmwasser;
- Prozesswärme;
- Prozesskälte;
- Klimakälte;
- Mechanische Energie;
- Beleuchtung;
- Information und Kommunikation (IuK).

Energie für die Anwendungen Prozesskälte, Klimakälte, mechanische Energie, Beleuchtung und IuK wird im Haushaltsbereich lediglich durch Strom bereitgestellt. Prozesskälte wird etwa zum Kühlen durch Gefriergeräte benötigt, während Klimakälte insbesondere den Betrieb von Klimaanlage betrifft. Diese Anwendung wurde in der Anwendungsbilanz für die Jahre 2014 und 2015 (RWI 2016) erstmals separat ausgewiesen und ist in Deutschland lediglich für einen kleinen Teil des Stromverbrauchs verantwortlich, während der Anteil in anderen Ländern deutlich höher ist. Beispielsweise sind Klimaanlage in den USA für etwa 9% des Stromverbrauchs von Haushalten verantwortlich (EIA 2017). Auch in Deutschland ist wegen steigender

Temperaturen mit einem Anstieg des Stromverbrauchs für Klimakälte zu rechnen (Wenz et al., 2017).

Mechanische Energie wird für den Antrieb von Elektromotoren in einer Reihe von Haushaltsgeräten verwendet (z.B. Waschmaschine, Trockner, etc.). Die Anwendung Prozesswärme umfasst verschiedene Prozesse, bei denen direkt Wärme (z.B. beim Kochen) oder Warmwasser erzeugt wird (z.B. in Waschmaschinen oder Geschirrspülern).

Energiebedarf für Warmwasser, Beleuchtung und Kochen

Zur Ermittlung des Energiebedarfs für die Warmwassererzeugung werden, wie in den Vorgängerstudien, die in Tabelle 1 dargestellten fixen Bedarfskennziffern zugrunde gelegt. Der Warmwasserbedarf, und damit auch der Energiebedarf für die Warmwassererzeugung, steigt mit der Haushaltsgröße. Falls die Warmwassererzeugung dezentral und per Strom erfolgt, wird für jede im Haushalt lebende Person ein Energieverbrauch von 400 kWh im Jahr angenommen. Bei zentraler Warmwasserversorgung, etwa durch eine mit Erdgas betriebene Zentralheizung, ergibt sich ein höherer Energieaufwand für die Warmwasserbereitung, vor allem infolge von Wärmeverlusten im Warmwasserleitungssystem. Der erhöhte Energiebedarf wurde durch entsprechende Zuschlagfaktoren berücksichtigt.

Tabelle 1:

Jährlicher Energiebedarf nach Anwendungszweck und Haushaltsgröße

	Personen im Haushalt			
	1	2	3	>4
Kochen	198 kWh	396 kWh	440 kWh	595 kWh
Warmwasser	400 kWh pro Person			

Quellen: Warmwasser: Stadtwerke Ahlen (2019), Kochen: nach Informationen des BDEW.

Entgegen der Vorgehensweise der Vorgängerstudien, die Stromverbräuche zur Beleuchtung und zum Kochen noch deterministisch angenommen haben, werden diese seit der Anwendungsbilanz 2014 nun explizit berücksichtigt. Wird mit einem anderen Energieträger als Strom gekocht, unterstellen wir die in Tabelle 1 fixen Kennziffern. Es wird davon ausgegangen, dass der Energiebedarf mit der Haushaltsgröße steigt, allerdings nicht linear. So weist etwa ein Dreipersonenhaushalt nicht den dreifachen Energiebedarf eines Singlehaushalts auf, weil z.B. Mahlzeiten häufig gemeinsam eingenommen werden. Für die Anwendungsbilanz wird der Energieverbrauch für Kochen mit Strom in „Prozesswärme“ und „LuK“ aufgedgliedert. Der auf LuK entfal-

RWI: Anwendungsbilanzen 2021

lende Anteil ergibt sich beispielsweise durch die in Herden eingebauten Digitalanzeigen, auf denen die Uhrzeit angezeigt wird. Dieser Verwendungszweck entfällt, falls mit Erdgas gekocht wird.

Dekomposition des Stromverbrauchs nach Geräten und Anwendungszwecken

Strom ist der Energieträger, der am vielseitigsten verwendbar ist. Er wird zur Beleuchtung und Warmwassererzeugung eingesetzt, aber auch der Betrieb elektrischer Geräte benötigt Strom. Dabei hängt der Stromverbrauch eines Haushaltes sowohl von seiner Ausstattung mit Elektrogeräten als auch von ihrer Nutzungshäufigkeit ab.

Die Ausstattung der Haushalte mit Elektrogeräten wurde im Jahr 2014 im Rahmen eines vom BDEW geförderten Projektes erhoben.¹ Tabelle 2 gibt die Geräteausstattung wieder und vergleicht sie mit dem Bestand, der aus einer Erhebung aus dem Jahr 2010 resultiert (RWI/forsa 2011) und bis einschließlich 2012 für die Erstellung der Anwendungsbilanzen zugrunde gelegt wurde. Es zeigt sich, dass die Ausstattung mit Elektrogeräten im Zeitverlauf gestiegen ist. Beispielsweise waren im Jahr 2014 in 100 Dreipersonenhaushalten 89 Gefriergeräte vorhanden, während es im Jahr 2010 noch 70 waren. Die Ausstattung mit Computern bzw. Laptops ist ebenfalls gestiegen. Andererseits ist die Ausstattung mit DVD-Spielern rückläufig. Zusätzlich verschiebt sich die Ausstattung mit Elektrogeräten zu neuen Gerätetypen. Beispielsweise wurde in der aktuellen Erhebung der Bestand an Tablets und Mobiltelefonen abgefragt.

Tabelle 2 zeigt zusätzlich, dass für jedes der betrachteten Geräte die Ausstattung mit der Haushaltsgröße steigt: Im Durchschnitt besitzen selbst Singlehaushalte mehr als ein Kühlgerät. Dasselbe gilt für Fernseher, DVD-Spieler, Computer und Mobiltelefon. In 100 Singlehaushalten sind durchschnittlich 133 Fernseher, in 100 Zweipersonenhaushalten rund 180 Fernseher vorhanden.

Neben der Ausstattung der Haushalte ist für viele Geräte die Intensität der Nutzung für den Stromverbrauch von Relevanz. Tabelle 3 zeigt die durchschnittliche Nutzung dreier Elektrogeräte mit hohem Stromverbrauch in Haushalten, die ein entsprechendes Gerät besitzen (Spülmaschine, Waschmaschine, Trockner) sowie die Anzahl der zubereiteten Mahlzeiten, für die ein elektrischer Herd oder Backofen verwendet wurde. Die Nutzungshäufigkeit ist umso größer, je mehr Mitglieder ein Haushalt umfasst. Allerdings benutzt ein Zweipersonenhaushalt den Wäschetrockner nicht doppelt so häufig wie ein Singlehaushalt, was durch Skaleneffekte erklärt werden kann.

¹ Weitere Informationen zu dem vom BDEW geförderten Projekt „Quantitative Panelbefragung zum Stromverbrauch in privaten Haushalten“ sind auf <http://www.rwi-essen.de/forschung-und-beurteilung/umwelt-und-ressourcen/projekte/314/> zu finden.

RWI: Anwendungsbilanzen 2021

Es zeigt sich, dass im Durchschnitt ein Zweipersonenhaushalt den Geschirrspüler etwa jeden zweiten Tag verwendet, aber beinahe jeden Tag im Jahr eine Mahlzeit mithilfe des Herdes oder des Backofens zubereitet.

Tabelle 2:
Ausstattung mit Elektrogeräten je 100 Haushalte

	Personen im Haushalt							
	2014				2010			
	1	2	3	>4	1	2	3	>4
Kühlgeräte	118	141	148	147	110	141	135	163
Gefriergeräte	41	76	89	85	30	67	70	79
Spülmaschinen	62	91	98	97	58	83	88	97
Waschmaschinen	93	99	107	106	88	95	100	99
Trockner	34	58	70	73	27	48	61	79
Fernseher	133	183	218	212	129	170	197	215
DVD-Spieler	111	136	158	149	132	126	168	171
Computer	143	181	246	280	141	166	208	266
Tablets	22	40	60	86	-	-	-	-
Mobiltelefone	117	185	252	317	-	-	-	-

Quellen: RWI/forsa (2011), Frondel, Ritter, Sommer (2015a), eigene Berechnungen.

Über einen ökonomischen Ansatz wird der Stromverbrauch eines Haushaltes für verschiedene Geräte in Abhängigkeit von der Nutzungshäufigkeit und dem Gerätebestand bestimmt. Sofern Nutzungshäufigkeiten verfügbar sind, fließen diese in das Modell ein. Für Geräte, die entweder permanent mit dem Stromnetz verbunden sind (z.B. Kühl- und Gefriergeräte) oder deren Nutzung nur sehr unpräzise angegeben werden kann (z.B. Fernseher und Computer), greifen wir auf die Ausstattung zurück. Andere Geräte (z.B. Klimaanlage) kommen in relativ wenigen Haushalten und nur einmal vor, sodass das Vorhandensein dieser Geräte als binärer Regressor in den Schätzungen verwendet wird. Details zu dem ökonomischen Modell können Frondel, Ritter und Sommer (2015a, b) entnommen werden.

Der für jede Kategorie an Elektrogeräten ermittelte Stromverbrauch wird in einem nächsten Schritt in die Gliederung der Anwendungszwecke der Anwendungsbilanzen überführt. So wird z.B. der Stromverbrauch einer Waschmaschine aufgeteilt in „Prozesswärme“ (für die Erzeugung des Warmwassers) und „mechanische Energie“ (für

RWI: Anwendungsbilanzen 2021

den Antrieb des Elektromotors). Für die Aufteilung wird auf ein Schema zurückgegriffen, welches vom Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der Technischen Universität München erarbeitet (IfE 2010) und auch bisher für die Erstellung der Anwendungsbilanzen verwendet wurde.

Tabelle 3:

Jährliche Nutzungshäufigkeit (Anzahl) ausgewählter Haushaltsgeräte

	Personen im Haushalt			
	1	2	3	>4
Spülmaschine	108	175	223	269
Waschmaschine	105	179	243	284
Trockner	56	88	122	129
Elektroherd / -Backofen	270	341	351	379

Quelle: Eigene Berechnungen.

5. Anwendungsbilanz für das Jahr 2021

Zur Erstellung der Anwendungsbilanz wird in einem ersten Schritt der prozentuale Anteil des Endenergieverbrauchs eines jeden Energieträgers errechnet, der auf die verschiedenen Anwendungszwecke entfällt. In einem zweiten Schritt werden die Anteile auf den von der AGEB in ihrer Energiebilanz und Satellitenbilanz für den Haushaltssektor ausgewiesenen Endenergieverbrauch des jeweiligen Energieträgers bezogen. Damit ist sichergestellt, dass sich der Energieverbrauch über alle Anwendungszwecke und Energieträger wieder zu den Werten der AGEB addiert. Für die Anwendungsbilanz 2021 wird auf die endgültigen Energie- und Satellitenbilanzen (AGEB 2023a, b) zurückgegriffen.

Ergebnisse Private Haushalte

Etwa 30% des Stromverbrauchs der privaten Haushalte entfiel 2021 auf die Erzeugung von Prozesswärme (Tabelle 4), die insbesondere für den Betrieb elektrischer Geräte anfällt, bei denen Wärme entsteht.² Mehr als ein Fünftel des Stromverbrauchs wurde zur Erzeugung von Prozesskälte genutzt, also u.a. zum Betrieb von Kühl- und

²Ergebnistabellen für die unterschiedlichen Gebäudetypen befinden sich für das Jahr 2021 im Anhang.

RWI: Anwendungsbilanzen 2021

Gefriergeräten. Rund 11% des Stromverbrauchs der Haushalte wird für die Warmwassererzeugung verwendet, während die Raumwärmeerzeugung in Nachtspeicherheizungen etwa 6% ausmachte. Der Beitrag von Klimakälte zum Stromverbrauch ist verschwindend gering, da Klimaanlageanlagen in Deutschland wenig verbreitet sind: Lediglich 4% der Haushalte verfügen über eine Klimaanlage.

Die Verbrauchsanteile für Raumwärme liegen bei den Gasen (Erd- und Flüssiggas), Heizöl und Fernwärme mit rund 80-90% deutlich höher als bei Strom. Der Anteil des Endenergieverbrauchs, der auf die Warmwassererzeugung entfällt, liegt zwischen 5% bei Holz und etwa 20% bei den Gasen. Bei Solarkollektoren dominiert mit 87% die Warmwassererzeugung, da Solarwärme nur in Ausnahmefällen zur Heizungsunterstützung verwendet wird. Umgekehrt verhält es sich bei Wärmepumpen.

Tabelle 4:

Anteile der Anwendungszwecke am Endenergieverbrauch 2021 der privaten Haushalte

	Raum- wärme	Warm- wasser	Prozess- wärme	Prozess- kälte	Klima- kälte	Mech. Energie	Beleuch- tung	IuK
Strom	5,9	11,4	30,6	22,7	1,0	3,6	7,9	17,0
Gase	78,3	21,2	0,5	-	-	-	-	-
Heizöl	84,5	15,5	-	-	-	-	-	-
Fernwärme	90,5	9,5	-	-	-	-	-	-
Holz	94,9	5,1	-	-	-	-	-	-
Kohle	100,0	0,0	-	-	-	-	-	-
Solar	13,0	87,0	-	-	-	-	-	-
Wärmepumpe	94,4	5,6	-	-	-	-	-	-

Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle 5 weist den absoluten Energieverbrauch des Jahres 2021 nach der endgültigen Energiebilanz aus. Verglichen mit der Energiebilanz 2020 (RWI 2022) fällt der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte um rund 77 PJ (Petajoule) bzw. 3,2% höher aus. Die in der Tabelle dargestellte Anwendungsbilanz ergibt sich, indem man den Endenergieverbrauch der Energieträger nach Angaben der AGEB für 2021 zugrunde legt und diesen entsprechend den Anteilen aus Tabelle 4 aufteilt.

RWI: Anwendungsbilanzen 2021

Tabelle 5:

Anwendungsbilanz 2021 für den Haushaltssektor in PJ

	Raum- wärme	Warm- wasser	Prozess- wärme	Prozess- kälte	Klima- kälte	Mech. Energie	Beleuch- tung	luK	Insges- amt
Strom	29,4	56,7	152,4	113,0	5,0	17,9	39,6	84,5	498,5
Gase	841,3	228,0	5,0	-	-	-	-	-	1 074,3
Heizöl	245,5	45,0	-	-	-	-	-	-	290,5
Fern- wärme	193,4	20,3	-	-	-	-	-	-	213,7
Holz	268,4	14,4	-	-	-	-	-	-	282,8
Kohle	14,6	0,0	-	-	-	-	-	-	14,6
Solar	3,8	25,6	-	-	-	-	-	-	29,4
Wärme- pumpe	55,2	3,3	-	-	-	-	-	-	58,5
Insges- amt	1 651,6	393,3	157,4	113,0	5,0	17,9	39,6	84,5	2 462,3
Sonst. ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	16,8
Verbrauch lt. Energiebilanz									2 479,1

Quelle: AGEB (2023a, b), eigene Berechnungen. - ¹ Zuordnung der Energieträger Ottokraftstoffe, flüssige Biomasse, Klärgas/Biogas und Geothermie zu einzelnen Anwendungen nach den Ergebnissen der Haushaltsbefragung nicht möglich. - Abweichungen in den Summen durch Rundung von Nachkommastellen.

Ergebnisse Verkehrssektor

Die Anwendungsbilanz des Verkehrssektors wird direkt auf Basis der Daten der Energiebilanz der AGEB erstellt. Dabei werden die Strukturen der Vorjahre fortgeschrieben, da der Energieeinsatz im gesamten Verkehrssektor – also dem Straßen-, Schienen-, Binnenschiffahrts- und Luftverkehr – nahezu vollständig der Bereitstellung von mechanischer Energie für den Fahrzeugantrieb dient und somit zumindest in der kurzen Frist keine Variation zu erwarten ist.

Die vor diesem Hintergrund ermittelten Ergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Demnach werden jeweils etwa 5% des Stromverbrauchs zur Raumwärmeerzeugung, zur Beleuchtung und für Information und Kommunikation verwendet. Diese Anteile fallen für die weiteren Energieträger, die im Verkehrssektor eingesetzt werden, deutlich niedriger aus. Mit knapp 99% der eingesetzten Brennstoffe wird mechanische Energie generiert, die für den Antrieb des Fahrzeugs verwendet wird.

RWI: Anwendungsbilanzen 2021

Tabelle 6:

Anteile der Anwendungszwecke am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors

	Raum- wärme	Klimakälte	Mech. Energie	Beleuchtung	IuK
Strom	5,1	0,1	84,7	5,1	5,0
Gase	0,4	0,1	98,8	0,4	0,3
Mineralöl	0,4	0,1	98,8	0,4	0,3
Erneuerbare	0,4	0,1	98,8	0,4	0,3

Quelle: Eigene Berechnungen.

Im Jahr 2021 lag der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors bei rund 2 354 PJ und damit 2,9% bzw. rund 66 PJ über dem Wert des Jahres 2020 (Tabelle 7 und RWI 2022). Mehr als 2 100 PJ bzw. knapp 93% des gesamten Energieverbrauchs im Verkehrssektor gehen auf das Konto von Mineralölen. Strom sowie Gase und erneuerbare Energieträger in Form von Biokraftstoffen spielen lediglich eine geringe Rolle für den Endenergieverbrauch im Verkehrssektor.

Tabelle 7:

Anwendungsbilanz 2021 für den Verkehrssektor in PJ

	Raum- wärme	Klimakälte	Mech. Energie	Beleuchtung	IuK	Insgesamt
Strom	2,4	0,1	39,2	2,4	2,3	46,3
Gase	0,0	0,0	6,6	0,0	0,0	6,7
Mineralöl	8,7	2,2	2 150,8	8,7	6,5	2 176,9
Erneuerbare	0,5	0,1	122,6	0,5	0,4	124,1
Insgesamt	11,6	2,4	2 319,2	11,6	9,2	2 354,0

Quelle: AGEB (2023a, b), eigene Berechnungen. – Abweichungen in den Summen durch Rundung von Nachkommastellen.

RWI: Anwendungsbilanzen 2021

Literatur

- AGEB (2023a), Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2021 (Stand: Januar 2023). Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Berlin.
- AGEB (2023b), Satellitenbilanz „Erneuerbare Energieträger“ zur Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2021 (Stand: Januar 2023). Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Berlin.
- Childs, C. (2004), Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst, ArcUser, July-September: 32-35.
- EIA (2017), Annual Energy Outlook 2017. Residential Sector Key Indicators and Consumption. U.S. Energy Information Administration, Washington.
- FNR (2007), Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen, 2. Auflage, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow.
- Frondel, Manuel, Nolan Ritter und Stephan Sommer (2015a), Stromverbrauch privater Haushalte in Deutschland - Eine ökonomische Analyse. *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 39 (3): 221-232.
- Frondel, Manuel, Nolan Ritter und Stephan Sommer (2015b), Heterogeneity in Residential Electricity Consumption: A Quantile Regression Approach. *Energy Policy* 131: 370-379.
- IfE (2010), Erstellen von Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland (2007 - 2010) - Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland für 2008 Berichtsteil: GHD-Sektor, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (IfE), Technische Universität München.
- KBA (2023a), Jahresbilanz der Neuzulassungen 2022. Kraftfahrtbundesamt, Flensburg. https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Jahresbilanz_Neuzulassungen/jahresbilanz_node.html. Zuletzt aufgerufen am 24. April 2023.
- KBA (2023b), Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2023. Kraftfahrtbundesamt, Flensburg. https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz_Bestand/fz_b_jahresbilanz_node.html. Zuletzt aufgerufen am 24. April 2023.
- RWI/forsa (2011), Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2008, Teilbericht für das Projekt Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2013 im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung und forsa Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH, Essen, Berlin.
- RWI/forsa (2013), Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2009 und 2010, Teilbericht für das Projekt Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2013 im Auftrag des Bundes-

RWI: Anwendungsbilanzen 2021

ministeriums für Wirtschaft und Technologie, RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung und forsa Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH, Essen, Berlin

RWI/forSa (2015) Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2011-2013, Teilbericht für das Projekt Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2013 im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung und forSa Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH, Essen, Berlin.

RWI (2016), Erstellung der Anwendungsbilanzen 2014 bis 2015 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland. Endbericht für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Essen.

RWI (2022), Erstellung der Anwendungsbilanz 2020 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland. Forschungsprojekt im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. Essen: RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung.

Stadtwerke Ahlen (2019), Energie zu Hause. Stromverbrauch im Haushalt. <https://www.stadtwerke-ahlen.de/energie-umwelt/umwelt/energie-zu-hause/stromverbrauch>. Zuletzt aufgerufen am 09. August 2019.

Wenz, Leonie, Anders Levermann und Maximilian Auffhammer (2017) North-south polarization of European electricity consumption under future warming. *Proceedings of the National Academy of Science* 114 (38): E7910-E7918.

RWI: Anwendungsbilanzen 2021

Detaillierte Ergebnisse

Anteile der Anwendungszwecke am Endenergieverbrauch 2021 nach Gebäudetypen

Tabelle 8:

Anteile der Anwendungszwecke am Endenergieverbrauch 2021 in Ein-/Zweifamilienhäusern

	Raum- wärme	Warm- wasser	Prozess- wärme	Prozess- kälte	Klima- kälte	Mech. Energie	Beleuch- tung	luK
Strom	4,7	8,9	32,9	23,3	1,1	4,0	6,8	18,3
Gase	79,2	20,5	0,3	--	--	--	--	--
Heizöl	84,1	15,9	--	--	--	--	--	--
Fernwärme	91,5	8,5	--	--	--	--	--	--
Holz	94,3	5,7	--	--	--	--	--	--
Kohle	100,0	0,0	--	--	--	--	--	--
Solar	13,0	87,0	--	--	--	--	--	--
Wärme- pumpe	94,4	5,6	--	--	--	--	--	--

Quelle: Eigene Berechnungen.

Tabelle 9:

Anteile der Anwendungszwecke am Endenergieverbrauch 2021 in Mehrfamilienhäusern

	Raum- wärme	Warm- wasser	Prozess- wärme	Prozess- kälte	Klima- kälte	Mech. Energie	Beleuch- tung	luK
Strom	7,6	15,0	27,3	21,6	0,9	3,0	9,5	15,1
Gase	75,9	23,0	1,1	--	--	--	--	--
Heizöl	87,6	12,4	--	--	--	--	--	--
Fernwärme	90,4	9,6	--	--	--	--	--	--
Holz	100,0	0,0	--	--	--	--	--	--
Kohle	100,0	0,0	--	--	--	--	--	--
Solar	--	--	--	--	--	--	--	--
Wärme- pumpe	--	--	--	--	--	--	--	--

Quelle: Eigene Berechnungen.



Das RWI wird vom Bund und vom Land
Nordrhein-Westfalen gefördert.