

Global Energy Perspectives

gefördert aus Kapitel 2302, Titel 687 01

BMZ-Abschlussreport / Basisdokument

Global Energy Solutions e.V.

Teil 2: Wesentliche treibhausgasverursachende
Branchen

Kapitel 3-4

Stand 30.Juni 2023

Autorenteam:	
Siddhant Bane	Joern Becker
Ulrich Begemann	Leon Berks
Simon Göss	Prof. Dr. Estelle Herlyn
Dr. Wilfried Lyhs	Dr. Ludolf Plass
Dr. Jens Wagner	Dr. Hans Jürgen Wernicke

Erklärung zum Urheberrecht

Das nachfolgende Dokument ist grundsätzlich ausschließlich für den Empfänger bestimmt. Eine Weitergabe an Dritte oder die Nutzung für Dritte ist – auch auszugsweise – nicht gestattet.

Dem Empfänger des Dokuments wird eine einfache, nicht übertragbare, nicht unterlizenzierbare, eingeschränkte Lizenz gewährt, das Dokument für persönliche, nicht kommerzielle, private Zwecke zu nutzen.

Ulm, im Juni 2023

Global Energy Solutions e.V.

Lise-Meitnerstr. 9

89081 Ulm

Vorsitzender: Christof v. Branconi (Christof.Branconi@Global-Energy-Solutions.org)

3.4 Wohnungswirtschaft & Gebäude

Glossar

Energiebedarf	„Der Bedarfsausweis basiert auf einem technischen Gutachten, wie hoch der theoretische Energiebedarf eines Gebäudes aufgrund seiner Bauweise sein sollte. In die Beurteilung fließen alleine bauliche Aspekte ein, wie die Beschaffenheit der Gebäudehülle, die Art der Heizungsanlage oder die Qualität der Fenster.“ ²³¹
Energieverbrauch	„Der Verbrauchsausweis hingegen basiert auf dem tatsächlichen Energieverbrauch der Bewohner eines Hauses. Hierbei wird der gemessene Verbrauch aller Wohnungen des Gebäudes von mindestens drei Abrechnungsperioden herangezogen. Es gibt also nur einen Energieausweis für das ganze Haus, nicht für einzelne Wohnungen.“ ²³²
NDC	Nationally Determined Contributions: im Pariser Abkommen 2015 definierte nationale Ziele und Beiträge zur Erreichung der globalen Klimaziele, die jeder Staat freiwillig festlegen konnte.
Unterer Heizwert	jetzt „Heizwert“ bezeichnet die bei einer Verbrennung maximal nutzbare thermische Energie, bei der es nicht zu einer Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes kommt, d.h. das Abgas wird gedanklich bis auf 100°C abgekühlt und ohne Wasserdampf weiter auf 20°C abgekühlt. Die hierbei gewonnene Energie bezogen auf die Menge des eingesetzten Brennstoffs ist der untere Heizwert.
Oberer Heizwert	jetzt „Brennwert“. Der obere Heizwert ist um den Energiebetrag, der durch Abkühlen des Abgases auf 20°C und der damit verbundenen Kondensation des Wasserdampfes gewonnen werden kann, gegenüber dem unteren Heizwert erhöht.
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad η_F	beschreibt den Energieverlust durch Abgase bei der Verbrennung von Brennstoffen im Verhältnis zur eingesetzten Energie.

²³¹ Vgl. Immowelt, o. J.

²³² Vgl. Immowelt, o. J.

3.4.1 Energieverbrauch und CO₂-Emissionen von Gebäuden

3.4.1.1 Einleitung

Weltweit sind Wohn- und Nichtwohngebäude für 21 % aller Treibhausgasemissionen verantwortlich. Diese Emissionen setzen sich im Einzelnen aus 57 % indirekten Emissionen aus der externen Strom- und Wärmeerzeugung, 24 % direkten Emissionen am Standort und 18 % sog. grauer Emissionen aus der Verwendung von Zement und Stahl zusammen. Wenn nur die CO₂-Emissionen berücksichtigt werden, steigt der Anteil der CO₂-Emissionen von Gebäuden an den weltweiten CO₂-Emissionen auf 31 %.

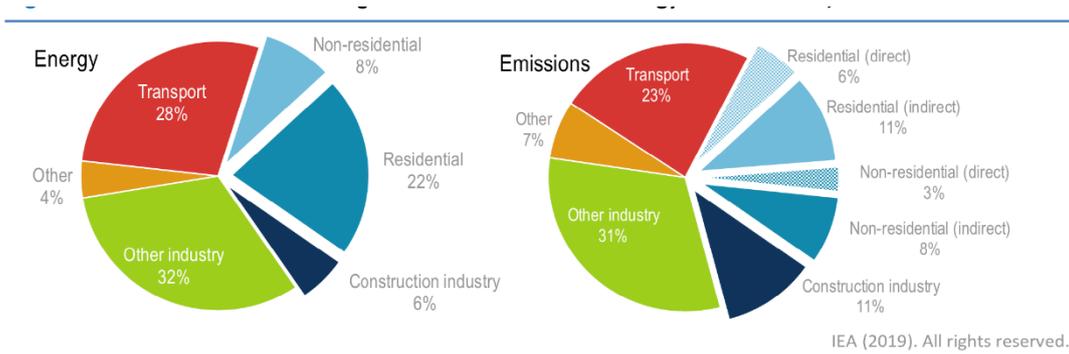
Weltweit betrachtet ist die zunehmende Nutzung von Klima- und Lüftungsanlagen für einen Großteil der Zunahme der Energieverbräuche in Wohngebäuden verantwortlich. Die Ursachen dafür sind das Wirtschaftswachstum (mehr Menschen können sich diese Anlagen leisten) sowie die absolut gestiegenen Temperaturen infolge des Klimawandels.

Als weitere Herausforderung kommt hinzu, dass immer mehr Menschen weltweit in Ballungsräumen leben. So leben in Nord- und Südamerika schon jetzt über 80 % der Bevölkerung in Städten. Nicht nur 75 % der Emissionen werden in Städten produziert, sondern Städte konsumieren auch zwischen 60 bis 80 % der Energie. Hiervon fallen 40 % der Emissionen und 36 % des Energieverbrauchs in Gebäuden an.

Nach einer kleinen Reduktion dieser Werte im Jahr 2020, bedingt wahrscheinlich durch die COVID-Pandemie, werden Emissionen und Energieverbrauch global wahrscheinlich weiter anwachsen.²³³ In Europa haben einige Städte entschieden, dass sie schon im Jahr 2030 klimaneutral sein wollen. So ambitioniert das Ziel ist: wenn es gelingt, es zu erreichen, wird der geringe europäische Anteil an den CO₂-Emissionen wenig die globalen Zahlen beeinflussen. Allerdings ist der Hebel, der mit dem Anteil der in Gebäuden produzierten Emissionen und der verbrauchten Energie mit 40 % resp. 36 % sehr hoch und verspricht größere Reduktionen, wenn weltweit an der Reduktion gearbeitet wird. Um die Emissionen von dem in Abbildung 69 durch Extrapolation der Vergangenheitswerte ermittelten Anstieg abzubringen und auf den erforderlichen Trend zu Net Zero (grüne Kurve in Abbildung 70) einzuschwenken, bedarf es weltweiter, effektiver Aktivitäten.

In diesem Dokument wurden internationale Quellen und die mit besserer Auflösung vorliegenden deutsche Zahlen zusammengestellt sowie gemessene und in Modellrechnungen ermittelte Verbrauchszahlen und ihre Entwicklung bis zum Jahr 2050 dargestellt.

²³³ Vgl. Präsentation Bane, GES intern.

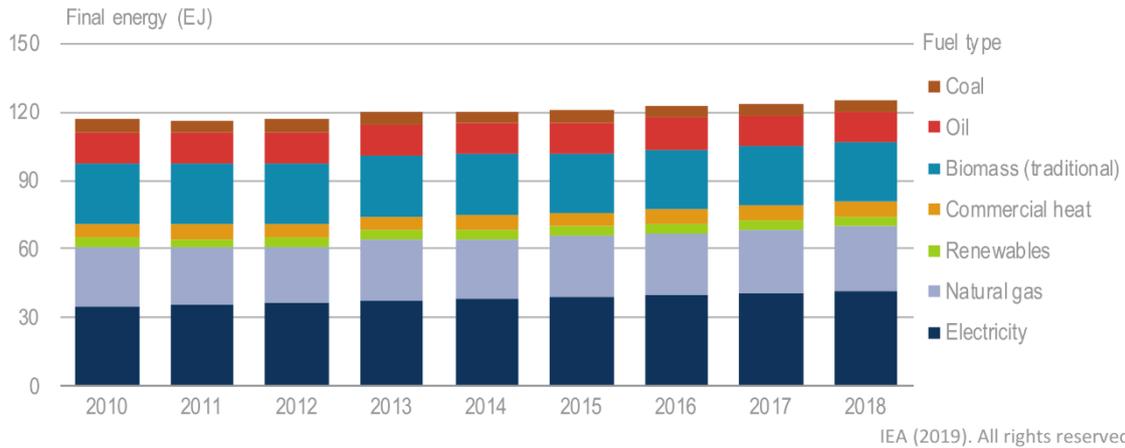


Notes: *Construction industry* is the portion (estimated) of overall industry devoted to manufacturing building construction materials such as steel, cement and glass. Indirect emissions are emissions from power generation for electricity and commercial heat.
 Sources: Adapted from IEA (2019a), *World Energy Statistics and Balances* (database), www.iea.org/statistics and IEA (2019b), *Energy Technology Perspectives*, buildings model, www.iea.org/buildings.

Abbildung 71: Anteil von Gebäuden und Bauwirtschaft am globalen Energieverbrauch (linkes Diagramm) und an den CO₂-Emissionen (rechtes Diagramm).

Quelle: IEA, 2019

Die zeitliche Entwicklung des Energieverbrauchs und seine Aufteilung nach genutztem Energieträger ist aus Abbildung 72 zu ersehen. Das Anwachsen des Energieverbrauchs zwischen den Jahren 2010 und 2018 um 7 % konzentriert sich auf den Mehrverbrauch von Elektrizität, Erdgas und Biomasse. Eigentlich wäre in dem Zeitraum ab 2010 eine Reduktion des Energieverbrauchs um 8 % notwendig gewesen, um die Klimaziele zu erreichen.



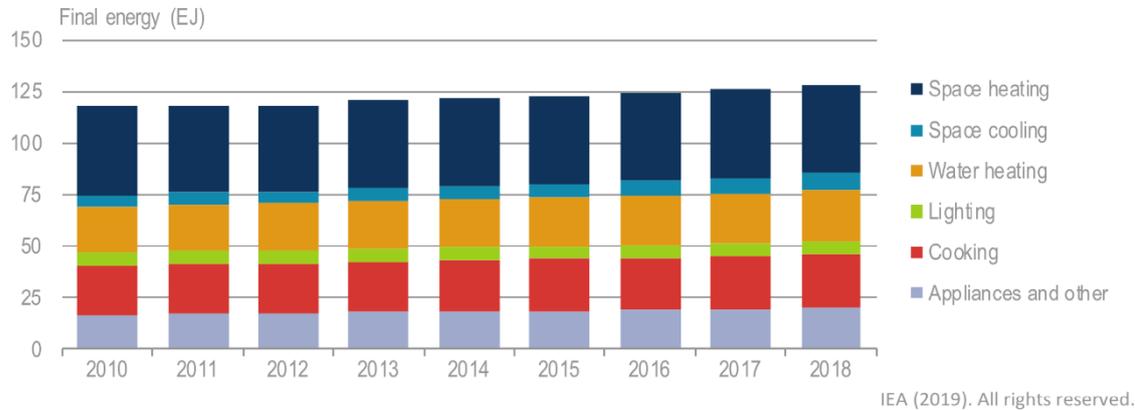
Notes: Energy data are not normalised for weather, so yearly energy changes may be due to climatic differences. Biomass (traditional) refers to conventional solid biomass (e.g. charcoal and forest or agricultural resources) used in inefficient heating and cooking equipment. Renewables includes solar thermal technologies as well as modern biomass resources (e.g. pellets and biogas).
 Sources: Adapted from IEA (2019a), *World Energy Statistics and Balances* (database), www.iea.org/statistics and IEA (2019b), *Energy Technology Perspectives*, buildings model, www.iea.org/buildings.

Abbildung 72: Globaler Energieverbrauch in den Jahren 2010 bis 2018 für Gebäude mit Aufteilung nach Energieträger.

Quelle: IEA, 2019.

Abbildung 73 stellt dar, wozu die Energie in den Gebäuden benutzt wird. Heizen und Kühlen der Gebäude sind größten Senken für Energie, gefolgt von Warmwasseraufbereitung und Kochen. Das stärkste Wachstum der Energieverbräuche beobachtet IEA ab dem Jahr 2014 im Bereich der Kühlung (siehe Abbildung 74). Genau betrachtet ist die Kühlung das einzige Segment mit Wachstumsraten um 7 % seit dem Jahr 2010. Der Energieverbrauch pro Fläche, hier Energieintensität genannt,

hat bei der Beheizung und Beleuchtung der Gebäude besonders stark um 20 % bzw. 17 % abgenommen.

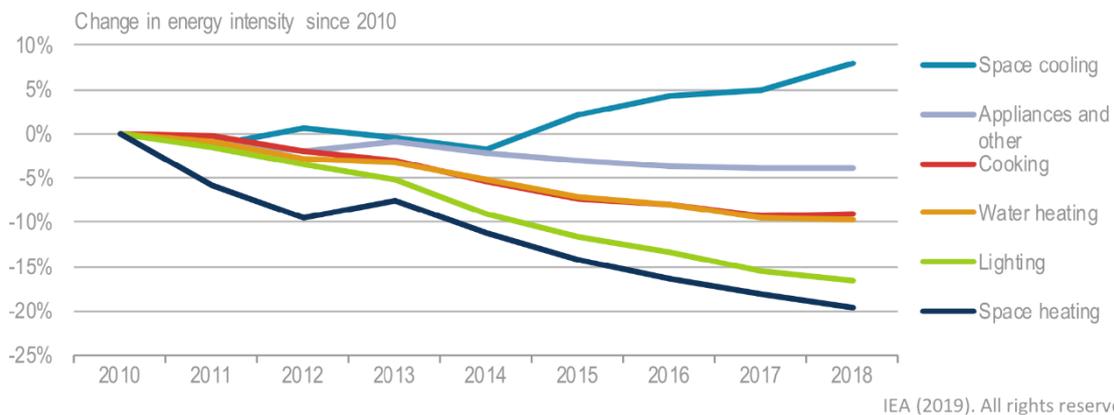


Sources: Adapted from IEA (2019a), *World Energy Statistics and Balances* (database), www.iea.org/statistics and IEA (2019b), *Energy Technology Perspectives*, buildings model, www.iea.org/buildings.

Abbildung 73: Aufteilung des Energieverbrauchs von Gebäuden (aufgeteilt nach Nutzung der Energie)

Quelle: IEA (2019)

Die Zahlen zur Energieintensität in Abbildung 74 sind nicht vergleichbar mit den Energieverbräuchen, da berücksichtigt werden muss, dass sich in den Jahren 2010 bis 2018 sowohl die Anzahl der Menschen und die von ihnen genutzten Wohn- bzw. Büroflächen geändert haben wie auch die Technik zur Gebäudeeinhüllung und die Wirkungsgrade der Heizungen und Warmwasseraufbereitungen verbessert haben. Parallel hat ein Preisverfall bei Klimaanlage ihre Nutzung in allen Ländern „angeheizt“ und das Anwachsen des Energieanteils für die Kühlung bewirkt.²³⁵



Notes: *Energy intensity* is final energy used per unit of floor area. *Appliances and other* includes household appliances (e.g. refrigerators, washers and televisions), smaller plug loads (e.g. laptops, phones and other electronic devices) and other service equipment.

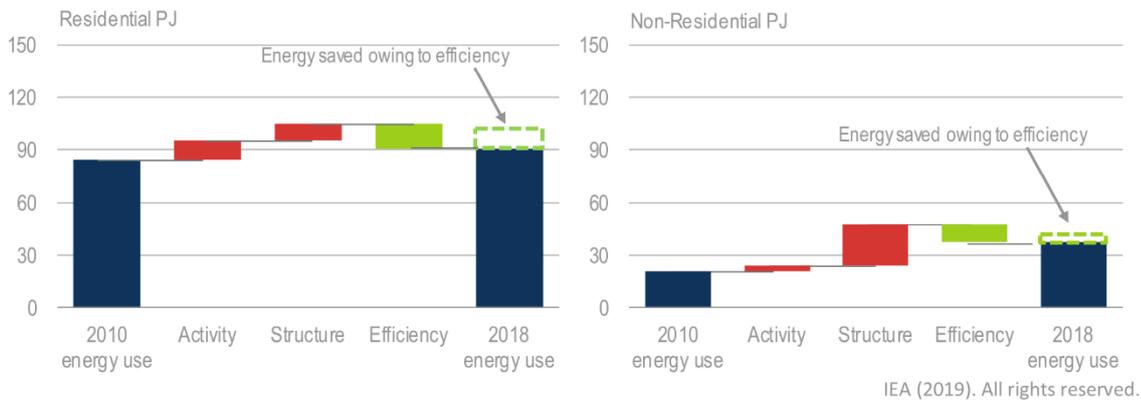
Sources: Adapted from IEA (2019a), *World Energy Statistics and Balances* (database), www.iea.org/statistics and IEA (2019b), *Energy Technology Perspectives*, buildings model, www.iea.org/buildings.

Abbildung 74: Änderung der Energieintensität (Energieverbrauch pro Fläche)

Quelle: IEA, 2019.

²³⁵ Einer Recherche bei Statista folgend hat sich der Umsatz mit Klimaanlage in Brasilien in den Jahren 2011 bis 2017 um mehr als 60 % erhöht, in China etwa verdreifacht.

Im IEA Report wird das Anwachsen des Energieverbrauchs bei Wohnhäusern und Nicht-Wohnhäusern noch weiter aufgeschlüsselt: im ersten roten Kästchen „Activity“ der Abbildung 75 wird der energetische Mehrverbrauch durch Änderung der Population, des Klimas, des Zuwachses an Gebäuden und der Nutzung von Geräten summiert. Diese Änderungen fallen für Wohngebäude größer aus als für Nicht-Wohngebäude (aka Geschäftsgebäude).



Notes: *Activity* includes changes in population, climate and the use of buildings and appliances. *Structure* includes changes in floor area, occupancy and access to services.

Sources: Adapted from IEA (2019a), *World Energy Statistics and Balances* (database), www.iea.org/statistics and IEA (2019b), *Energy Technology Perspectives*, buildings model, <https://www.iea.org/etp/etpmodel/buildings/>.

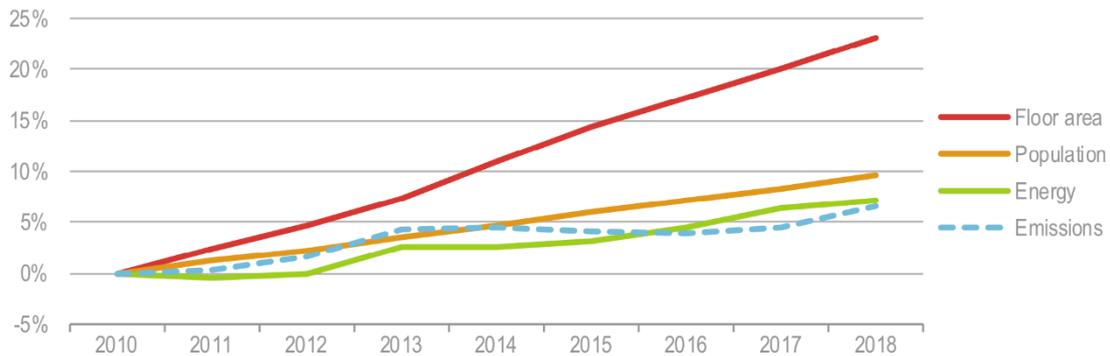
Abbildung 75: Verschiedene Faktoren, die das Anwachsen des Energieverbrauchs, in PJ dargestellt, limitieren können.

Quelle: IEA, 2019.

Der zweite rot markierte Mehrverbrauch fasst den Energiemehraufwand zusammen bedingt durch größere Flächen, veränderte Nutzungsart und verstärkte Nachfrage nach Energiedienstleistungen (z.B. mehr Geräte, mehr Kühlung).

Der Anstieg des Energieverbrauchs wird durch Verbesserungen in der Isolation der Gebäude und Verbesserung der Wirkungsgrade bei Heizung, Kühlung und Lüftung gebremst (grüne Kästchen). Offensichtlich waren die Verbesserungen nicht groß genug, um im Jahr 2018 einen Anstieg des Energieverbrauchs über den des Jahres 2010 hinaus zu verhindern.

Abbildung 76 zeigt, dass der Zuwachs an Gebäudefläche und Bevölkerung die größten Zuwachsraten im Zeitraum zwischen den Jahren 2010 und 2018 aufweist und daher das Anwachsen des Energieverbrauchs und des Ausstoßes von CO₂ verursacht hat.



IEA (2019). All rights reserved.

Sources: Derived from IEA (2019a), *World Energy Statistics and Balances* (database), www.iea.org/statistics and IEA (2019b), *Energy Technology Perspectives*, buildings model, www.iea.org/buildings.

Abbildung 76: Änderungen der Gebäudefläche, der Bevölkerungszahl, des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen.

Quelle: IEA (2019).

3.4.1.3 Klassifizierung der Gebäude

In vielen Studien zu den Energieverbräuchen von Gebäuden werden diese nach unterschiedlichen Nutzungsprofilen klassifiziert:

- Flughäfen: sind kleine Städte, die wie Städte auch Energieverbrauch und Emissionen generieren
- Universitäten: Haben i.d.R. nur Aktivitäten am Tag und nicht am Wochenende. Hierzu gibt es wenige Studien. Universitäten nutzen überwiegend Erdgas und Elektrizität.
- Hotels: Sie bieten ihren Kunden vielfältige Services und verbrauchen pro Fläche mehr Energie als Wohnhäuser. Sparpotentiale ergeben sich durch den Austausch der Fenster, Ersatz der Leuchtmittel LED-Lampen, Wandisolation, Wärmetauscher zwischen Zu- und Abluft sowie Wasserboiler mit Brennwertheizung
- Öffentliche Gebäude: die größten Emissionen können bei Bürogebäuden gemessen werden, die geringsten bei Schulen.
- Wohngebäude: Die Untersuchungen im Bereich der Wohngebäude deuten auf ein fortgesetztes Wachstum der Emissionen um 2 % pro Jahr hin.²³⁶ Die weltweiten Untersuchungen zeigen zudem, dass eine feinere Unterteilung der Gebäudearten sinnvoll ist, da sich die Energieverbräuche dieser Gruppen deutlich unterscheiden:
 - Ländliche Umgebung: die wenigen in China angestellten Untersuchungen ergeben, dass dort vorwiegend mit Holz, Kohle und Biomasse geheizt wird. Der größte Anteil der Emissionen ist auf den Lebensunterhalt der Familien zurückzuführen; die Emissionen

²³⁶ Vgl. Zarco-Periñan, 2002, S. 6635.

nehmen mit steigendem Einkommen zu, und die Familiengröße steht in umgekehrtem Verhältnis zu den Emissionen pro Kopf.

- Städtische Umgebung: in allen Studien, die bei Zarco-Periñan²³⁸ gelistet werden, zeigt sich der Zusammenhang: je höher das Einkommen ist, desto höher sind auch die Emissionen.
- Direkte und indirekte Emissionen: Direkte Emissionen entstehen durch Energienutzung, indirekte Emissionen durch den Kauf von Produkten und Dienstleistungen. Einige Studien zeigen, dass die Emissionen höher in kalten Regionen sind und niedriger in großen Städten, da dort auch die mittleren Temperaturen höher sind. Werden Städte entvölkert, dann vergrößert sich auch der Energiebedarf. In Städten wiederum nehmen die indirekten Emissionen zu, da dort die Möglichkeiten, auf Produkte und Dienstleistungen zuzugreifen, größer sind. Die Emissionen wachsen mit dem Einkommen, werden aber pro Person geringer, wenn die Anzahl Personen im Haushalt zunimmt.
- Bauwirtschaft: Die Studien weisen darauf hin, dass für die effizientere Nutzung von Energie, die Anwendung von Bautechniken mit reduzierten Emissionen und das Design energiesparender Gebäude der Druck der Baubehörden zu Verbesserungen des Designs bereits bei der Freigabe der Baumaßnahmen notwendig wäre.
- Life-Cycle der Gebäude: Im Lebenszyklus der Gebäude von der Herstellung der Materialien, über ihren Transport, dem Betrieb der Gebäude, deren Renovierung und dem Abriss mit Abfallmanagement entstehen 11 % der gesamten Emissionen durch den verbauten Kohlenstoff. Die Emissionen des Gebäudes könnten daher dadurch reduziert werden, dass der Kohlenstoffanteil in den Materialien verringert wird.

3.4.1.4 Spezialfall GdW

Der GdW (Gemeinschaft der Wohnungseigentümer, Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V) vertritt über seine 14 Landesverbände rund 3.000 Wohnungs- und Immobilienunternehmen in Deutschland, darunter zu großen Teilen öffentliche oder genossenschaftliche Wohnungsgesellschaften. Sie repräsentieren zusammen einen Bestand von ca. 6 Mio. Wohnungen, das entspricht rund 17 % des gesamten bzw. 30 % des Mietwohnungsbestandes in Deutschland.

Tabelle 16 stellt dar, aus welchen Wärmequellen die Wohnungen der Mitgliedsunternehmen des GdW versorgt werden.

	2002	2007	2012	2018
Ofenheizung (Einzel)	9,9 %	5 %	2,6 %	2,0 %
Etagenheizung bzw. Gasterme	12,5 %	11,9 %	12,6 %	11,4 %
Gaskessel zentral	24,4 %	26,6 %	29,8 %	30,8 %
Ölkessel zentral	4,3 %	3,5 %	2,2 %	1,6 %
BHKW ²³⁷	1,5 %	1,4 %	1,2 %	1,7 %
Elektroheizung (Fußboden, Speicherheizung)	2,3 %	2 %	1,8 %	1 %
Fern-/Nahwärme	45 %	49,2 %	47,6 %	49,3 %
Wärmepumpen	0,1 %	0,1 %	0,2 %	0,6 %
Zentrale Biomasseheizung	/	0,4 %	0,5 %	0,7 %
Sonstige	/	/	1,6 %	0,9 %

Tabelle 16: Beheizungsstruktur der GdW-Unternehmen.

Quelle: GdW-Jahresstatistik, 2019.

Die Beheizungsstruktur der Mitgliedsunternehmen unterscheidet sich insgesamt deutlich von der des gesamten Wohnungsbestandes in Deutschland (siehe Tabelle 16 und Abbildung 72). Während der gesamte deutsche Wohngebäudebestand zu knapp 50 % mit Gas beheizt wird, beträgt dieser Anteil bei den Mitgliedsunternehmen des GdW nur etwa 42 %. Der größte Unterschied zum gesamten Wohnungsbestand besteht hinsichtlich der Nutzung der Fernwärme: 49,3 % der Bestände des GdW werden mittels Fernwärme versorgt, demgegenüber stehen 13,9 % deutschlandweit.

Andere Energieträger und Technologien wie BHKW, Öl, Pellets u.a. sind bei den Mitgliedsunternehmen des GdW nur im unteren einstelligen Bereich vertreten und spielen praktisch keine Rolle. So haben Einzelofenheizungen zu Beginn der 90er-Jahre noch mit 21,4 % eine beträchtliche Rolle gespielt, deren Anzahl betrug zuletzt nur noch etwa 2 %. Die Herausforderung zur Dekarbonisierung ist also bei den Mitgliedsunternehmen des GdW etwas anders gelagert als im Übrigen deutschen Wohngebäudebestand: Ein großer Teil der Bestände wird mittels Fernwärme versorgt, die Aufgabe zur Dekarbonisierung der Fernwärmeerzeugung liegt wiederum bei Energieversorgern und Stadtwerken. Der GdW kann hierbei mit Effizienzmaßnahmen zur Zielerreichung beitragen. Betrachtet man den Energieverbrauch und die deutschlandweiten Raumwärmeverbräuche, so fällt auf, dass seit 2010 bzw. spätestens seit 2013 eine Phase der Stagnation eingetreten ist. Konnte der Raumwärmeverbrauch zwischen 1990 und 2010 von 193 kWh/m² auf 132 kWh/m² gesenkt werden, stagniert dieser seitdem auf diesem Niveau (siehe Abbildung 77).

²³⁷ BHKW: Blockheizkraftwerk

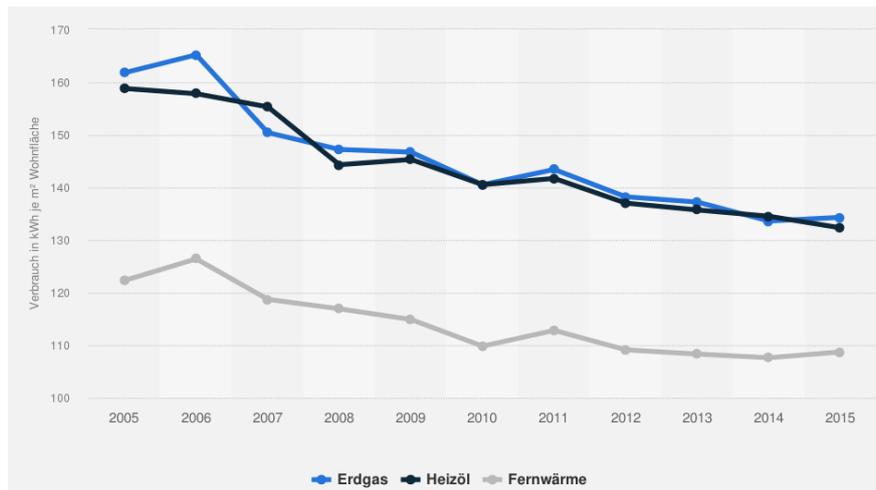


Abbildung 77: Energieverbrauch für die Raumheizung in Mehrfamilienhäusern in Deutschland nach Energieträgern in den Jahren 2005 bis 2015 in kWh/m².²³⁸

Was den Stand der energetischen Sanierung anbelangt, steht der GdW im Vergleich zum gesamten deutschen Wohngebäudebestand gut da. Der vollmodernisierte Anteil (Niedrigenergiehaus und Standard) machen zusammen 40,2 % der Bestände des GdW aus. Hinzu kommen 5,5 % Neubauten und 31,3 % teilsanierte Bestände. Demgegenüber stehen 4,3 % vollmodernisierte, 8,4 % Neubauten und 51,4 % teilsanierte Bestände in ganz Deutschland.

Die Wohnungswirtschaft steht vor vielfältigen Aufgaben, die insbesondere unter dem Eindruck der umweltpolitischen Herausforderungen an Bedeutung gewinnen.



Abbildung 78: Magisches Dreieck der Wohnungswirtschaft, in Analogie zum magischen Viereck der staatlichen Wirtschaftspolitik – das gleichzeitige Erreichen der Ziele ist nur mit magischen Kräften zu schaffen.

Mit den wirtschaftlichen und energiepolitischen Verwerfungen im Zuge des russischen Angriffskrieges in der Ukraine sind neue Unwägbarkeiten dazu gekommen, die die Parameter der Wohnungswirtschaft zusätzlich beeinflussen. Vormalige Gewissheiten, d.h. sicher geglaubte Grundsätze wie niedrige Energiepreise oder der Einsatz von Erdgas als Brückentechnologie sind spätestens seit dem 24.02.2022 Makulatur. Angesichts steigender Energiepreise und der notwendigen Maßnahmen

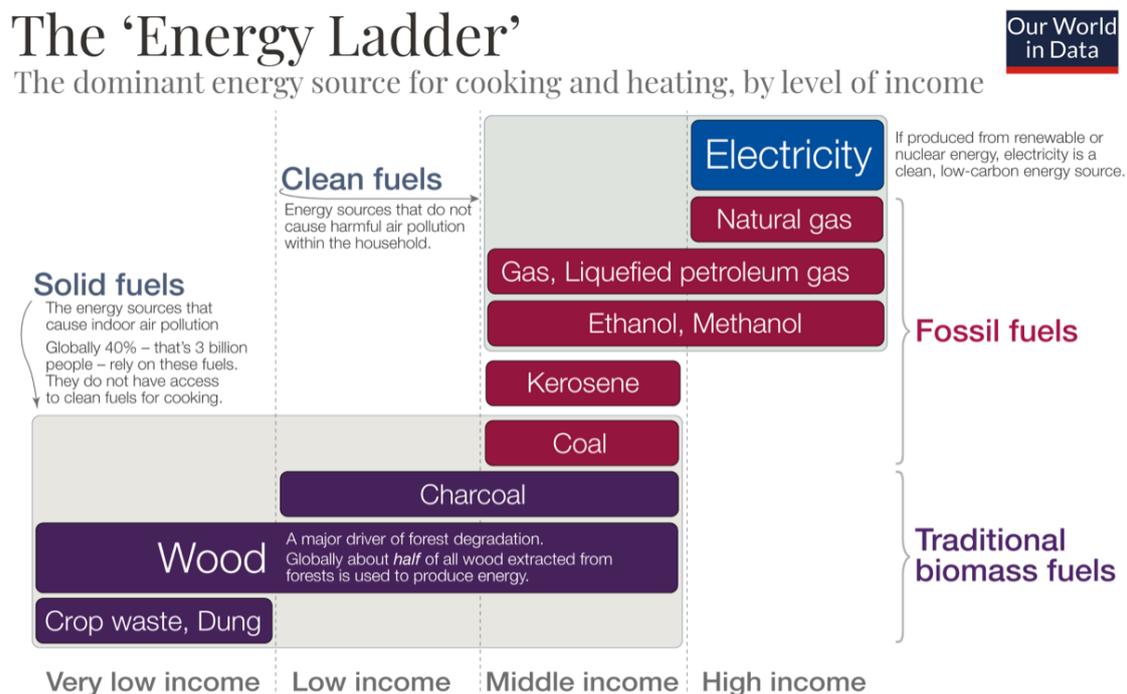
²³⁸ Quelle: Statista (2023) <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/585256/umfrage/energieverbrauch-fuer-die-raumheizung-nach-energietraeger-in-deutschland/?locale=de>

zur Erreichung der Klimaschutz-Ziele wird die soziale Frage immer bedeutsamer. Würden alleine die umweltpolitischen Ziele in den Vordergrund gerückt und die sozialen Ziele hinten angestellt werden, würde zwangsläufig eine Gefährdung des sozialen Friedens in Kauf genommen werden. Es handelt sich um konkurrierende Zielsetzungen, die gleichzeitig und dauerhaft in eine möglichst gute Balance zu bringen sind. Dieser angestrebte Balancezustand ist Grundlage für die kosteneffiziente Allokation der zur Verfügung stehenden Finanzmittel.

3.4.2 CO₂-Emissionsquellen

3.4.2.1 CO₂-Emissionen von Privatgebäuden

Wohngebäude emittieren im Wesentlichen CO₂ aus der Verbrennung von Energieträgern zur Beheizung der Wohnräume und zur Erwärmung von Wasser. In industrialisierten Ländern sind dies überwiegend Kohlenwasserstoffgase oder Alkohole. Schaut man jedoch auch auf Länder mit niedrigem und sehr niedrigem Familieneinkommen, dann werden dort feste Brennstoff wie Kohle, Holz oder Dung zum Heizen oder Kochen verwendet (siehe Abbildung 79).



Based on: WHO – Fuel for life: household energy and health.
OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the author Max Roser
Version from 2022

Abbildung 79: „Energieleiter“ zeigt die Verwendung von verschiedenen Energieträgern in Abhängigkeit von der Höhe des Haushaltseinkommens.

Quelle: ourworldindata (2022)

Mit der Armut einher geht die Energiearmut, die die Verwendung von sauberen Energieträgern oder gar lokal emissionsfreier Elektrizität unmöglich macht. Etwa 40 % der Weltbevölkerung haben keinen Zugang zu sauberen Energiequellen und verfügen auch nicht über Vorrichtungen wie z.B. einen gut funktionierenden Kamin, die sie vor den gesundheitsschädlichen Abgasen des Heizens und Kochens schützen könnten. Die chronische Luftverschmutzung, denen in der Regel Frauen und Kinder daheim ausgesetzt sind, führt zu Lungenentzündungen, COPD (chronisch obstruktive Lungenerkrankung) oder gar Lungenkrebs. Das Risiko für Verbrennungen oder grauem Star wird deutlich erhöht, die Gesundheit von Babys wird beeinträchtigt und die Rate von Totgeburten erhöht sich.²³⁹

Schätzungen darüber, wie viele Menschen der Luftverschmutzung in Innenräumen ausgesetzt sind und daran sterben, schwanken zwar, stimmen aber darin überein, dass die Anzahl der Betroffenen sehr hoch ist. IHME schätzt, dass jedes Jahr 2,3 Mio. Menschen an den Folgen der Luftverschmutzung in ihren Wohnräumen sterben.²⁴⁰ Die WHO schätzt deren Zahl wesentlich höher auf 3,8 Mio. jährliche Todesfälle.²⁴¹ Damit die direkte Bedrohung durch Energiearmut deutlich größer als zum Beispiel durch HIV/AIDS (ca. 1 Mio. Opfer/a) oder als durch Tötungskriminalität (0,4 Mio./a). Untersuchungen an Mumien belegen, dass die Menschen bereits im Altertum an der Luftverschmutzung in Innenräumen gelitten haben und daran auch vorzeitig verstorben sein müssen.

Abbildung 80 verdeutlicht, dass die Sterberaten aufgrund von Luftverschmutzung in den Wohnräumen stark an das GDP, das Bruttoinlandsprodukt, gekoppelt ist und damit auf Energiearmut zurückzuführen ist.

In Europa wird der größte Energieanteil (ca. 63 % nach Eurostat, in DE sind es nach Statistischem Bundesamt 70 %) für das Heizen der Wohnung verwendet. Etwa 15 % werden für das Erwärmen von Wasser genutzt und nur 6 % für das Kochen (siehe Abbildung 81). Im nicht-europäischen Ausland könnten die Anteile klima- und kulturbedingt etwas anders ausfallen.

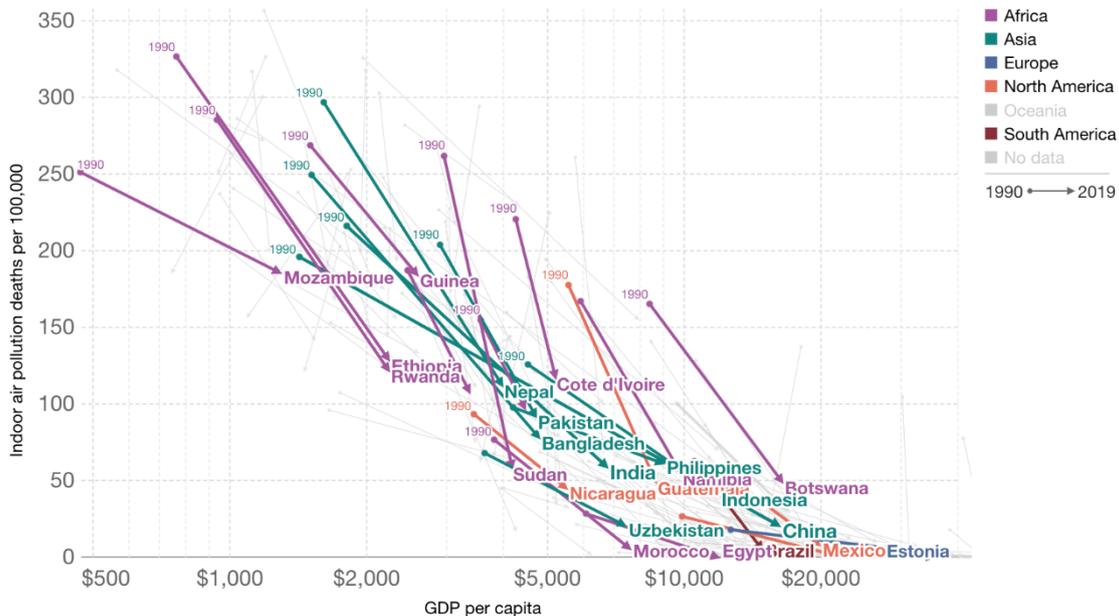
²³⁹ Vgl. Ritchie & Roser, 2014.

²⁴⁰ IHME: Institute for Health Metrics and Evaluation based on Univ Washington School of Medicine

²⁴¹ WHO: World Health Organization

Death rate from indoor air pollution vs. GDP per capita, 1990 to 2019

Age-standardized death rates from air pollution attributed to the use of indoor solid fuels for cooking & heating, measured per 100,000 individuals.

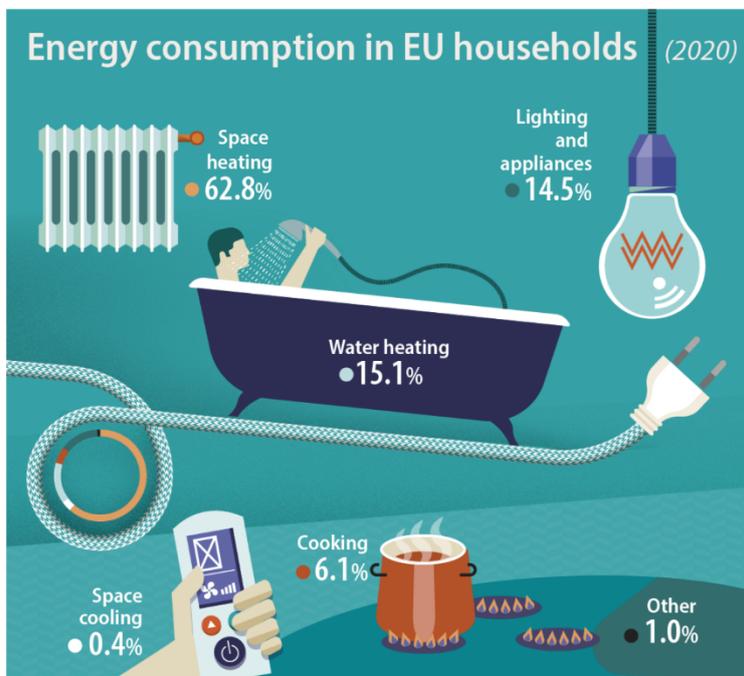


Source: IHME, Global Burden of Disease (2019); World Bank

OurWorldInData.org/indoor-air-pollution/ • CC BY

Abbildung 80: Sterberaten durch Luftverschmutzung in Innenräumen in Abhängigkeit vom GDP (Gross Domestic Product).

Quelle: Our World in Data, 2019.



ec.europa.eu/eurostat

Abbildung 81: Aufteilung des Energieverbrauchs in europäischen Haushalten.

Quelle: AA Energy (2017)

Hinsichtlich des Einsatzes der Energieträger liefert Tabelle 17 aus der Quelle DeStatis folgende Aussagen:

Der Gesamtenergieverbrauch in privaten Haushalten hat in den Jahren 2010 bis 2019 um 7,3 % zugenommen, nachdem zwischen 2003 und 2013 leichte Einsparungen beobachtet werden konnten. Ursache hier könnte sein, dass die Anzahl der Haushalte, insbesondere der Singlehaushalte in diesen Jahren zugenommen hat.

Der Einsatz von Kohle (-64 %) und Öl (-12 %) als Energieträger hat in den Jahren 2010 bis 2019 deutlich abgenommen zugunsten von mehr Erdgas (+16 %) und mehr erneuerbare Energien (+43 %). Die Nutzung von Fernwärme hat ebenfalls um 30 % zugenommen, wobei die Statistik nicht verrät, mit welchen Energieträgern diese Zunahme erreicht worden ist. Hauptenergieträger beim Heizen ist seit 2003 mit nahezu konstant 40 % Erdgas.

Energieverbrauch der privaten Haushalte für Wohnen (temperaturbereinigt)¹

Energieträger und Anwendungsbereiche	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2019 zu 2018	2019 zu 2010
	Milliarden Kilowattstunden						Veränderung in %	
Energieträger								
Mineröl	142	136	134	132	125	125	-0,4	-12,1
Gas	256	265	278	269	298	297	-0,2	16,0
Strom	140	130	129	129	128	127	-0,9	-9,3
Fernwärme	46	51	55	55	57	60	5,4	30,2
Kohle	13	9	6	6	7	5	-30,2	-64,5
Erneuerbare Energien	76	88	94	91	100	109	9,1	42,9
Biomasse	┆	69	75	72	77	85	10,7	┆
Umweltwärme und Solarenergie	┆	18	19	20	23	24	3,5	┆
Insgesamt	673	679	696	683	714	722	1,1	7,3
Anwendungsbereiche								
Raumwärme	476	481	499	480	508	511	0,6	7,4
Warmwasser	85	93	93	98	102	106	3,6	24,5
Kochen, Trocknen, Bügeln	40	38	38	38	38	39	3,3	-1,4
Haushaltsgeräte ²	60	56	56	56	56	56	1,0	-5,5
Beleuchtung	13	11	10	10	10	10	-3,2	-23,0
Insgesamt	673	679	696	683	714	722	1,1	7,3
nachrichtlich:								
nicht temperaturbereinigt ³	732	631	652	642	636	665	4,6	-9,1
Energieverbrauch je Haushalt in Kilowattstunden⁴	16 706	16 871	17 249	16 782	17 520	17 678	0,9	5,8

1: Eigene Berechnungen nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen und des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung (RWI - Leibnitz-Institut) eingetragener Verein. Die Angaben aus der Energiebilanz wurden temperaturbereinigt, bei leichtem Heizöl wurden Lagerbestandsveränderungen herausgerechnet.

2: Einschließlich Kommunikation.

3: Wie Energiebilanz, aber ohne den Energieverbrauch für Gewerbeflächen in Selbstständigenhaushalten.



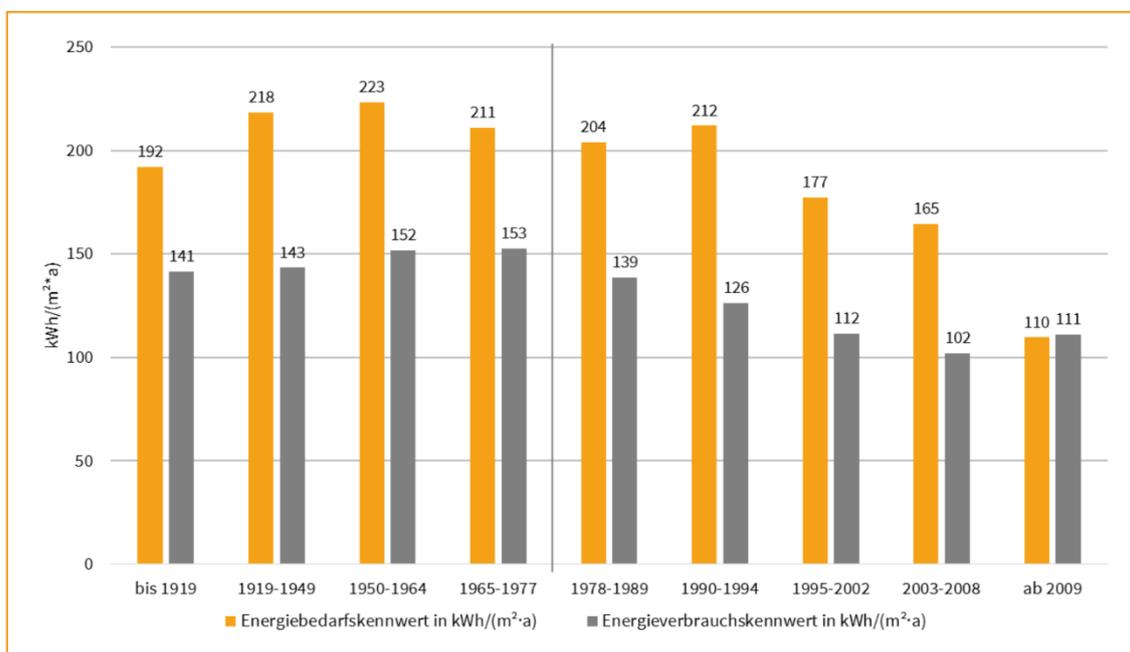
Tabelle 17: Energieverbrauch privater Haushalte nach Energieträger und Anwendungsbereichen.

Quelle: Sewald et al., 2021.

Der durchschnittliche Raumwärmebedarf von Wohngebäuden konnte in den Jahren zwischen 1990 und 2010 von 193 kWh/(m²a) auf 132 kWh/(m²a) gesenkt werden und stagniert seitdem auf diesem Niveau.²⁴² Neue Wohnhäuser (üblicherweise Bauart KfW 55 oder besser) schaffen es, den Raumwärmebedarf auf 20-25 kWh/(m²a) zu senken (Energiebedarf ca. 40 kWh/(m²a) einschl. Warmwasser und Haushaltsstrom).²⁴³ Zudem wird bei klimaneutraler Bauweise von Quartieren mit eigenen erneuerbaren Erzeugern und Stromspeichern der Energiebedarf weitestgehend reduziert.²⁴⁴

3.4.2.2 CO₂-Emissionen von Bürogebäuden

Bei Bürogebäuden liegen die Energieverbrauchskennwerte wie in Abbildung 82 nach Baualter aufgeteilt und dargestellt nochmals höher als bei den privaten Wohngebäuden.



Datenquelle: ImmobilienScout24; Auswertung: IW Köln

Abbildung 82: Energiebedarf von Bürogebäuden.

Quelle: Dena, 2017.

Die Höhe des Energiebedarfs wird nicht nur durch den Wärmeschutzstandard des Gebäudes, sondern in hohem Masse auch vom Zustand dessen Anlagen zur Wärmeversorgung beeinflusst.

Gerade bei Regierungs- und Gerichtsgebäuden, die mit 82 % des Bestandes vor 1975 gebaut worden sind, ist der Energieverbrauch sehr hoch (vgl. Abbildung 83) und, da diese überwiegend mit Anlagen für fossile Brennstoff ohne Nutzung der Abgaswärme (Brennwertheizungen) beheizt

²⁴² Siehe gemeinsames Papier von GdW und GES

²⁴³ Messungen des Autors am eigenen Haus Baujahr 2014

²⁴⁴ Vgl. naturstrom, o. J.

werden, sind der Wirkungsgrad schlecht und der Ausstoß von CO₂ recht hoch (siehe Abbildung 83 und Tabelle 18).

Ein Bürogebäude hat einen durchschnittlichen Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser von 136 kWh/(m²·a). Bei Bürogebäuden, die seit dem Jahr 2009 errichtet worden sind, liegen die Kennwerte für Bedarf und Verbrauch mit 110 bzw. 111 kWh/(m²·a) gleich auf und deutlich niedriger als bei den Gebäuden, die vor 2009 errichtet worden sind, die aber den größten Teil des Bestandes ausmachen.

„Bei den eingesetzten Energieträgern befinden sich die konventionellen fossilen Energieträger Gas und Öl auf dem Rückzug und werden nur noch in jedem zweiten Gebäude eingesetzt. Erneuerbare Energien sind dagegen auch bei Büro- und Verwaltungsgebäuden auf dem Vormarsch und wurden im Jahr 2015 in jedem vierten Bürogebäude eingesetzt, obwohl sie noch vor zehn Jahren fast gar nicht eingesetzt wurden. Aus den ausgewerteten Energiekennziffern für Heizung und Warmwasser resultiert ein Gesamtenergieverbrauch für Büro- und Verwaltungsgebäude in Höhe von 51,9 TWh/a. Der theoretische Bedarf ist mit 73,4 TWh/a deutlich höher. Insgesamt liegt der Energieverbrauch aller Büro- und Verwaltungsgebäude für Heizung, Warmwasser, Beleuchtung und Kühlung bei rund 65 TWh/a. Das entspricht rund 20 % aller Nichtwohngebäude und rund 6 % des gesamten Gebäudesektors“.²⁴⁵

Nutzungsklasse: Büro und Verwaltung	Geschätzte Energieanteile von Raumwärme/Lüftung/Klima					
	Raumwärme				Lüftung ohne Klima	Teil- und Vollklima
	Heizöl/ Erdgas	Fernwärme	Strom	Sonstige		
Regierungs- und Gerichtsgebäude	85 %				10 %	5 %
	75 %	20 %	0 %	5 %		
Verwaltungs-, Polizei u. Feuerwehrgebäude	95 %				5 %	0 %
	80 %	10 %	5 %	5 %		
Allgemeine Bürogebäude	70 %				20 %	10 %
	70 %	15 %	5 %	10 %		

Datenquelle: BMVBS, 2013, S. 52; Anmerkung: Die Anteile beziehen sich einmal auf die Gesamtenergie (bestehend aus Raumwärme (in dieser Studie ohne Warmwasser), Lüftung und Klima) für die technische Gebäudeausrüstung und einmal auf die Raumwärme.

Abbildung 83: Energieanteile bei der Wärmeversorgung von Bürogebäuden.

Quelle: BMVBS, 2013²⁴⁶

Die Dena-Studie zum energetischen Zustand von Bürogebäuden hat gezeigt, „dass weiterhin ein insgesamt erheblicher Mangel an grundlegenden statistischen Daten zur Beschreibung des

²⁴⁵ DENA, 2017.

²⁴⁶ BMVBS: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Bürogebäudebestands und seiner energetischen Qualität besteht, sodass eine permanente Überprüfung der Umsetzung der Energiewende im Bereich der Büro- und Verwaltungsimmobilien nicht fortlaufend stattfinden kann.“²⁴⁷

3.4.3 Möglichkeiten zur technischen Minderung der Emissionen

3.4.3.1 Technische Lösungen zur Wärmeerzeugung

Wärme für die Heizung und Warmwasserbereitung kann aus unterschiedlichen Quellen und mithilfe verschiedener Heizsysteme gewonnen werden.

Heizungen, die im Umfeld der Privathaushalte Holz in verschiedenen Verarbeitungsformen als Scheite oder Pellets verfeuern, haben einerseits einen geringen CO₂-Ausstoß, erzeugen aber ohne entsprechende Partikelfilter viel Feinstaub. Fraglich ist allerdings, ob langfristig Holz zum Verfeuern in ausreichenden Mengen und zu moderaten Preisen zur Verfügung stehen wird.

Waldbrände und Schädlingsbefall reduzierten im Jahr 2021 die einheimische Verfügbarkeit von Bauholz in den USA, wo es bedingt durch Waldbrände und Hurricanes andererseits einen Bauboom gab, der auch europäische Sägeunternehmen dazu veranlasst, ihr Holz dorthin zu exportieren, da dort um 55 % bessere Preise zu erzielen waren.²⁴⁸ Gleichzeitig hat Russland einen Exportstopp für Rundholz erlassen, um selbst mehr Wertschöpfung durch Weiterverarbeitung zu erlangen. Die Folge ist eine Verknappung und Verteuerung von Brennholz in Deutschland, sodass das Verfeuern von Holz für die breite Bevölkerung keine sinnvolle Alternative zum Verfeuern anderer fossiler Brennstoffe darstellt. In Modellrechnungen zur Energieversorgung wird daher davon ausgegangen, dass der Energieanteil durch Pellets, Hackschnitzel, Scheitholz in Höhe von etwa 80 TWh im Jahr 2020 auf 31 TWh bis 2045 absinken wird.²⁴⁹

Art der Heizung	Wirkungsgrad ²⁵⁰ in %	CO ₂ -Ausstoß in g CO ₂ -Äquiva- lent/ kWh ²⁵¹	Staubemis- sion mg/kWh ²⁵²
Heizkessel mit Scheitholz	80 - 95	29	144 – 382 (Kamin)
Pelletkessel	85 - 103	53	116

²⁴⁷ DENA, 2017, S. 48.

²⁴⁸ Vgl. HBZ, o. J.

²⁴⁹ Vgl. Mellwig, 2022, S. 14.

²⁵⁰ Der Wirkungsgrad ist hier auf den Heizwert (früher unterer Heizwert) des Energieträgers bezogen, der die Energie der entstehenden Verbrennungsgase nicht berücksichtigt. Wird diese z.B. bei den Brennwertheizungen durch zusätzliche Wärmetauscher im Abgas genutzt, können Wirkungsgrade >100 % entstehen. Würde der Wirkungsgrad auf den Brennwert (früher ‚oberer Heizwert‘) des Energieträgers bezogen, dann blieben die Wirkungsgrade <100 %; vgl. Thermondo, o. J.

²⁵¹ Vgl. Statista, (2023a).

²⁵² Vgl. Effizienzhaus Online, o. J., Staubwerte aus Deutsches Pelletinstitut GmbH, 2018.

Ölbrennwertheizung	102 - 106	349	22
Gasbrennwertheizung	100 – 111	299 (Erdgas)	6
herkömmliche Ölheizung	70 – 90	349	
herkömmliche Gasheizung	85 - 93	299	
Braunkohle		866	
Luft-Wärmepumpe		201 (mit „fossilem Strom“)	20
Fernwärme		311	73

Tabelle 18: Wirkungsgrad, CO₂- und Staubemissionen von verschiedenen Heizungsanlagen; verschiedene Quellen

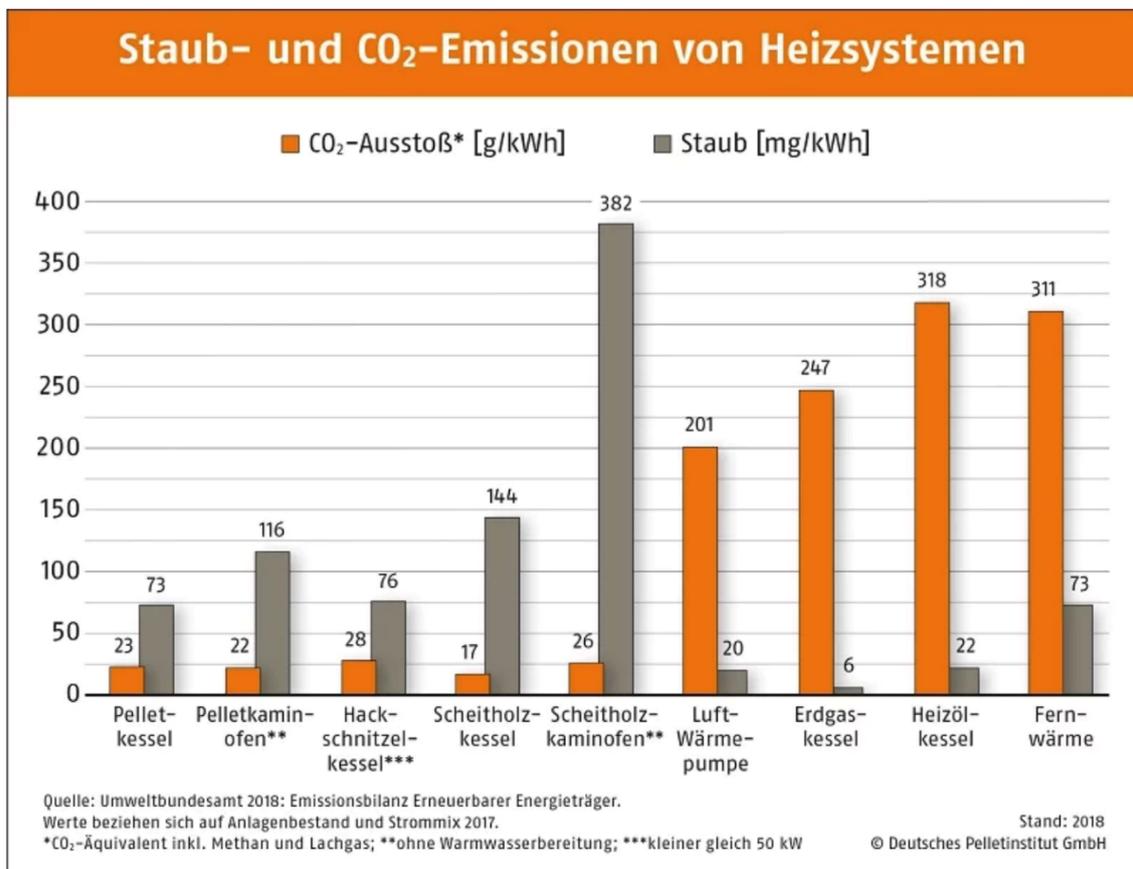


Abbildung 84: Wirkungsgrad, CO₂- und Staubemissionen von verschiedenen Heizungsanlagen.

Quelle: UBA (2017)

In Tabelle 18 sind verschiedene Typen von Heizungsanlagen mit ihren Wirkungsgraden und spezifischen Emissionen von CO₂ und Feinstaub zusammengestellt.

Durch die Brennwerttechnik bei Heizungsanlagen, bei der ein Teil der Wärme im Abgas zur Vorwärmung der Verbrennungsluft genutzt wird und so die Wärmeverluste wie z.B. die hohe Kondensationswärme der Wasserdampfanteile zurückgewonnen werden können, wird der feuerungstechnische

Wirkungsgrad der Anlagen zwar verbessert, der hohe CO₂-Ausstoß dieser Systeme bleibt hiervon allerdings unberührt.

Wärmepumpen jedweder Bauart (Wärmeentzug aus der Luft oder dem Boden) heben die thermische Energie der Wärmequelle (z.B. Luft, Sole, Wasser, Fließgewässer oder Abwärme) auf ein verwertbares, höheres Temperaturniveau. Hierbei benötigen sie zwar Energie (in der Regel elektrische Energie), produzieren aber bei sinnvollen Einsatzbedingungen mehr als dreimal mehr thermische Energie als sie an elektrischer Energie verbrauchen. Da die Leistungszahl einer solchen Heizungsanlage geringer wird je höher die Temperatur der abgegebenen Wärme ist, eignet sich diese Art der Wärmeerzeugung besonders für Heizungen mit niedriger Vorlauftemperatur wie Flächenheizungen in der Wand oder dem Fußboden.

Dem technischen Fortschritt ist es zu verdanken, dass Wärmepumpen bereits heute auch mit „klassischen“ Heizkörpern und in Bestandsgebäuden zum Einsatz kommen können. Umfangreiche Feldtests des Fraunhofer ISE im Projekt „LowEx im Bestand“ haben gezeigt, dass in Mehrfamilienbestandsgebäuden bereits geringe Austauschraten der Heizkörper ausreichen, um eine zufriedenstellende Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen zu erreichen.²⁵³

Das Prinzip der **Fernwärmeheizungen** ist schon aus der Antike bekannt, wo Wasser aus Thermalquellen nicht nur für Badezwecke vor Ort verwendet wurde, sondern auch an entfernt liegende Häuser geleitet wurde, um diese zu beheizen. Heute erzeugen meist fossile Heizkraftwerke sowie Müllverbrennungsanlagen, die in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden, Heißwasser bzw. Dampf, die durch ein Netz aus isolierten Leitungen gepumpt werden und mittels Übergabestationen an die Wohngebäude verteilt wird. Bisher ungenutzte Abwärmequellen wie Industrieanlagen, Abwässer, Fließgewässer oder Tiefengeothermie werden jetzt und in Zukunft eine zunehmend größere Rolle spielen, um die Fernwärmeversorgung in der Fläche zu dekarbonisieren. Zunehmend werden in Fernheizungsnetzen auch Wärmespeicher eingesetzt, in denen z.B. kurzzeitige Überschüsse an Ökostrom dazu genutzt werden, um mittels elektrischer Elektroden oder Wärmepumpen den Speicher zu erwärmen.

In Abbildung 85 wird dargestellt, wie die gesamte in Gebäuden genutzte Energie in den Jahren 2020 bis 2045 mit verschiedenen erneuerbaren und CO₂-armen Technologien dargestellt werden kann. Der Anteil der im Jahr 2020 noch dominierenden Gas- und Ölkessel wird zunehmend von Wärmepumpen (alleine oder auch in hybriden Systemen) sowie Fernwärmelieferungen übernommen werden. Die Zahlen in Abbildung 85 sind Modellrechnungen entnommen, in denen angenommen wird, dass bis zum Jahr 2030 deutschlandweit 5,2 Mio. und bis zum Jahr 2045 10 Mio. Wärmepumpen verbaut werden. Das Problem, dass derzeit wegen verpasster einheimischer Produktion und gestörter Logistik benötigter Halbleiter und Bauteile nicht genügend Wärmepumpen verfügbar sind, um den Bedarf nach diesen Geräten zu decken und dass nicht genügend Fachkräfte verfügbar sind, sie

²⁵³ Vgl. Fraunhofer ISE, 2022.

zu installieren, wird als kurzfristig lösbar angenommen. Der Niedergang der Gasheizkessel wird ab dem Jahr 2030 dadurch gestoppt werden, dass mehr Gas aus PtG-Anlagen für diesen Sektor verfügbar sein wird.

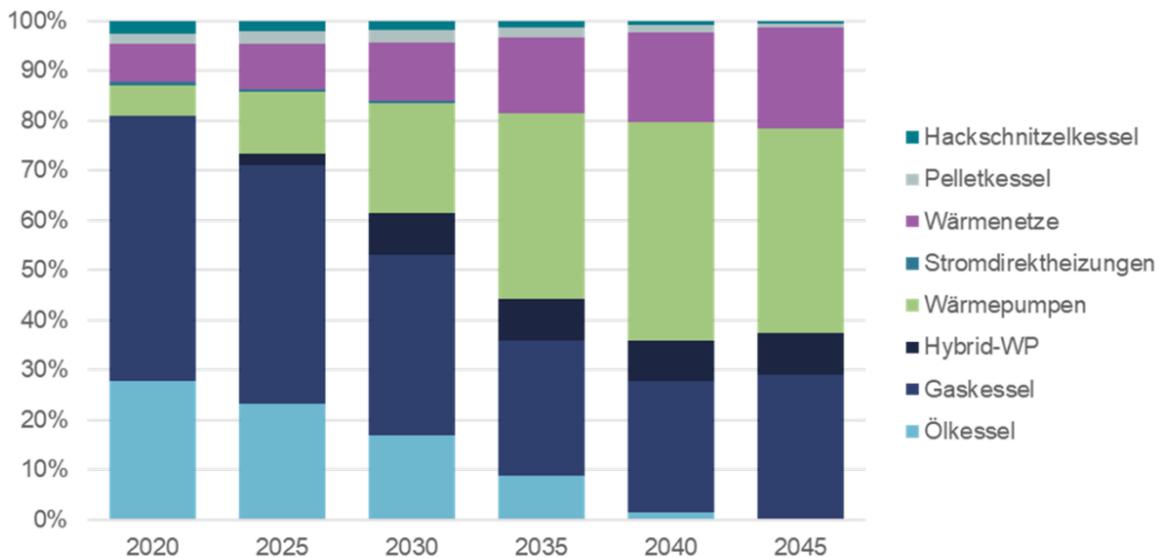


Abbildung 85: Bestand der Wärmeerzeuger in Deutschland.

Quelle: Mellwig, 2022.

3.4.3.2 Solarthermie

Bei der Solarthermie wird die Sonnenenergie in sog. Sonnenkollektoren, die z.B. auf dem Dach des Gebäudes montiert sind, dazu genutzt, einen Wärmeträger zu erwärmen, der wiederum im Gebäude seine Wärme über Wärmetauscher an den Brauchwasserspeicher oder den Heizungskessel übergibt und auf diese Weise i.d.R. eine Heizungsanlage bei der Produktion von Wärme tagsüber unterstützt.

3.4.3.3 Pyrolyse

Bei der Pyrolyse von organischen Abfallstoffen, wie z.B. Holzhackschnitzel, wird das organische Material anaerob auf etwa 750° erhitzt und die flüchtigen Bestandteile werden ausgetrieben und können nachfolgend, z.B. in Fernwärmeheizkraftwerken, zur Wärmeerzeugung genutzt werden, aber natürlich auch, um den Pyrolysevorgang in Gang zu halten. Der Kohlenstoff im Material verbrennt nicht sondern kann z.B. als Biokohle in der Landwirtschaft bzw. als Rohstoff in der Industrie verwendet werden.

Pyrolyse-Anlagen sind sehr kompakt zu bauen und eignen sich daher zur dezentralen Wärme- und Stromerzeugung in Wohnquartieren. Bisher gibt es nur einige wenige Anlagen, die noch nicht über den Demonstrations- und Projektstatus hinaus sind.

Verarbeitung Holzhack-schnitzel	2.200 t/a à 11 GWh/a bei Brennwert 5 kWh/kg
Produktion Biokohle	600 t/a
Kohlenstoffspeicher	1.605 t/a so viel wie 123 ha Wald an Kohlenstoff speichern
Energie für Fernwärme	5,35 GWh/a ausreichend für 210 Haushalte
Abmaße	19 m=L x 3 m=B x 9,8 m=H Benötigte Arbeitsfläche 200 m ²

Tabelle 19: Einige Kenngrößen einer Holzchnitzel-Pyrolyse-Anlage.

Quelle: Green Innovations GmbH, o. J.

Die Kenngrößen einer Pyrolyse-Anlage in Tabelle 19 zeigen, dass es möglich ist, eine Nutzenergie von etwa 50 % des Heizwertes von Holz zu gewinnen mit dem zusätzlichen Vorteil, dass die Wärme ohne die bei Feuerstellen üblichen Feinstäube erzeugt wird und deutlich weniger CO₂ entsteht, da der feste Kohlenstoff nicht verbrannt wird.

Abbildung 86 zeigt das Prozessbild einer Pyrolyseanlage.

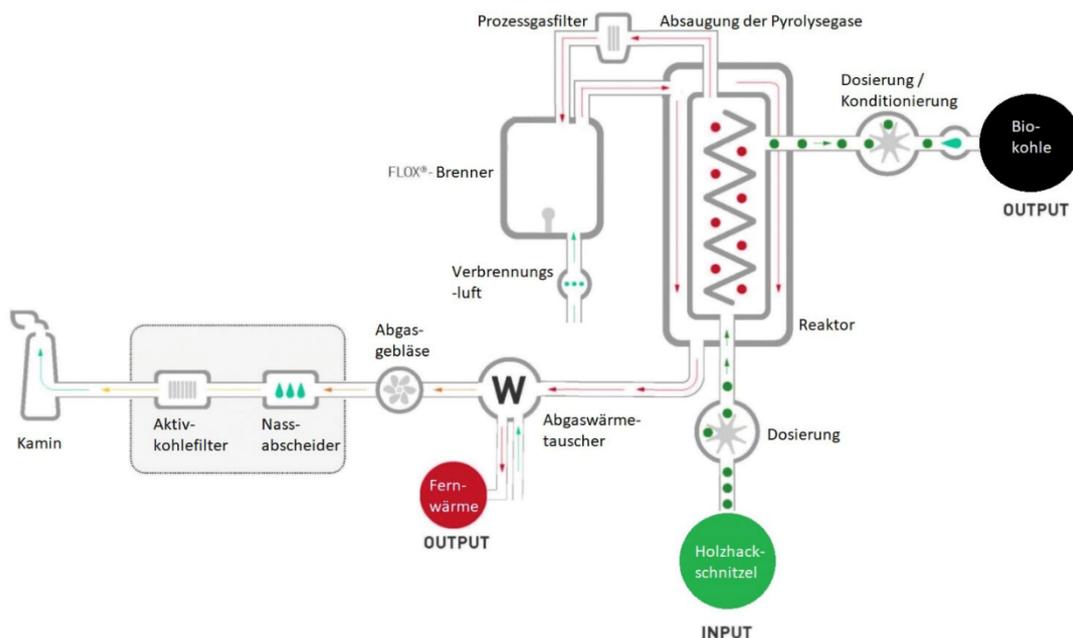


Abbildung 86: Prozessdiagramm der Pyrolyse.

Quelle: Green Innovations GmbH, o. J.

Die für die Pyrolyse notwendige Hitze kann auch durch einen elektrischen Lichtbogen, d.h. ein Plasma bereitgestellt werden. Die Firma graforce bietet verschiedene Einsatzmöglichkeiten ihres

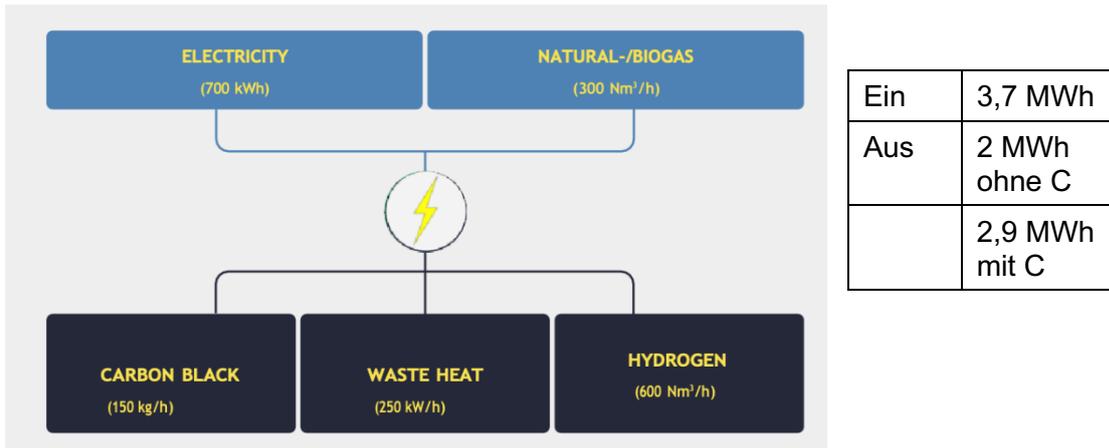


Abbildung 87: Eingangs- und Ausgangsgrößen einer Plasmalyse-Anlage von Graforce.

Quelle: Graforce, o. J. a.

Plasmalyzers an: mit grünem Strom können Methan, Biomasse oder Plastikabfälle und sogar Schmutzwasser zur Produktion von Wasserstoff, Syngas und Carbon Black (fester Kohlenstoff) herangezogen werden (siehe Abbildung 88: Layout einer 0,5 MW Plasmalyse-Anlage).

Quelle: Graforce).²⁵⁴ Der entstehende Wasserstoff kann in Blockheizkraftwerken CO₂-frei verbrannt werden oder mit hoher Reinheit von 99,9999 Vol.% zu anderen Zwecken verwendet werden. Carbon Black (98 % rein mit Partikelgrößen zwischen 10 und 150 µm) ist ein industriell vielseitig einsetzbarer Zusatzstoff (z.B. Herstellung von Farben, Asphalt, Beton, Batterien, Bodenaufbereitung, Schwärzung von Reifen).

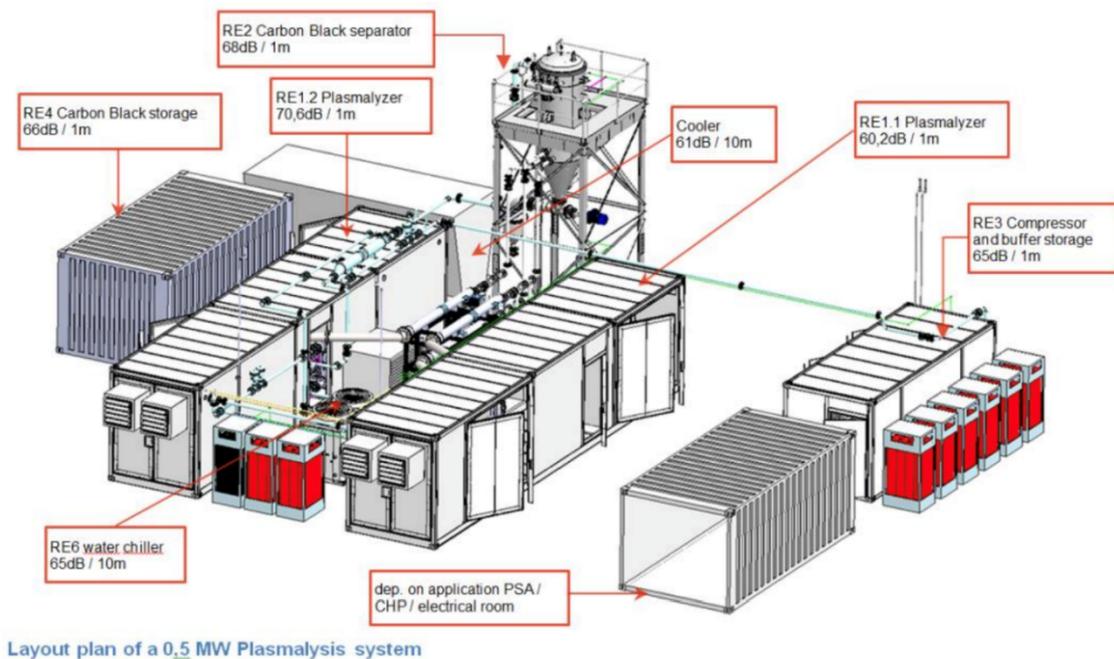


Abbildung 88: Layout einer 0,5 MW Plasmalyse-Anlage.

Quelle: Graforce, o. J. a.

²⁵⁴ Vgl. Graforce, o. J. b.

3.4.3.4 Fernwärme

Der GdW berichtet, dass bei den zu diesem Verband gehörenden Wohnungen und Quartieren ein hoher Anteil von etwa 50 % (siehe Tabelle 16) bereits durch Fernwärme versorgt wird.²⁵⁵ In den Ländern des ehemaligen Ostblocks wurden häufiger als in westlichen Europa Fernwärmesysteme gebaut, die auch häufiger mit Kernkraftwerken als Wärmelieferant betrieben werden.

Im internationalen Ausland sind die Verhältnisse beim Heizen sehr unterschiedlich.²⁵⁶

In Russland sorgen Fernheizungen oft für eine Überhitzung, da es ja an billigem Gas für die Heizung nie mangelte. Der Temperaturunterschied von der Wohnung nach draußen kann vielerorts im Winter 60 Kelvin betragen. Wer genügend Geld hat, der leistet sich eine Schuba, einen Pelzmantel.

In China hatte dereinst Mao entschieden, dass nur oberhalb einer Linie, die zwischen dem 32. und 34. nördlichen Breitengrad verläuft, Heizungsanlagen gebaut werden dürfen. Die Menschen tragen daher im Winter vier bis fünf Schichten an Kleidung und schlafen im Schlafsack. Wer es sich leisten kann, der heizt mit seiner Klimaanlage. Pläne zur Reform dieser Verordnung gibt es noch nicht.

3.4.3.5 Technische Lösungen zur Wärmedämmung und Kühlung

Um Energieverbrauch und CO₂-Emissionen der Wohngebäude effizient zu vermeiden, gibt es mehrere Ansatzpunkte: Ein vernünftig gedämmtes Wohnhaus kann die einmal darin enthaltene Wärme nicht nur länger im Haus halten, sondern ist auch in der Lage, sie im Sommer nicht ins Haus zu lassen. In Gebieten mit starker Sonneneinstrahlung helfen mehrfach verglaste und ggf. auch speziell beschichtete Gläser, die Strahlungswärme zu reflektieren. Pflanzen an und auf Bauwerken können das Wohnklima und die Luftqualität in Quartieren und Städten verbessern. Begrünte Außenwände, Bäume und Grünflächen verringern die direkte Sonneneinstrahlung auf das Gebäude, nutzen die Sonnenenergie und verhindern so die übermäßige Aufheizung der Innenräume. Auf diese Weise reduziert sich die Nutzung energieintensiver Klimaanlagen in den Gebäuden, denn sie können im Hochsommer viel später als normal in Betrieb genommen werden. Die Fassadenbegrünung schafft zudem ein angenehmes Raumklima durch die Erzeugung von Verdunstungskälte. Neubauten in Europa werden häufig mit extensiven Gründächern versehen – vertikale Grünflächen hingegen sind noch selten.

Fenster sollte durch Jalousien oder Rolläden verdunkelbar sein. Häuser unter Bäumen oder sog. begrünte Häuser beschatten das Gebäude ebenfalls und schaffen ein angenehmeres Wohnklima durch die Verdunstung von Wasser.

²⁵⁵ Kommunikation zwischen GdW und GES

²⁵⁶ Vgl. SZ, 2021.

Bei der klassischen Bauweise in arabischen Ländern wurden Windtürme genutzt, den kühlen Wind in der Nacht durch die Gebäude zu leiten und ggf. auch durch das Ausschütten von Wasser in der Zuleitung anzufeuchten.²⁵⁷

In Bürogebäuden ist es heutzutage weit verbreitet, wasserführende Rohre unterhalb der Raumdecke zu installieren, die die im Raum aufsteigende Wärme aufnehmen und ableiten. Diese Kühldecke arbeitet mit Vorlauftemperaturen von etwa 16°C, um die Bildung von Tauwasser zu vermeiden. Das Fraunhofer-Institut hat ein Patent angemeldet, bei dem auch Vorlauftemperaturen von 8 – 10°C eingestellt werden können,²⁵⁸ da eine Ummantelung der Rohre verhindert, dass Feuchtigkeit das Rohr erreicht und dort kondensiert. Das erwärmte Wasser kann durch einen Wärmetauscher in der Erde wieder abgekühlt werden.

Mit der Verbreitung von elektrischen Leitungen und der Entwicklung der Wärmepumpe, die wie beim Kühlschrank in umgedrehter Richtung laufend auch Wärme aufnehmen und nach außen abgeben kann, werden zunehmend Klimaanlage dazu genutzt, Gebäude zu kühlen. Der zunehmende Preisverfall der Klimaanlage hat dazu geführt, dass wie in Abbildung 74 dargestellt, der Energieverbrauch für die Kühlung der Gebäude zugenommen hat.

Grundsätzlich ist es effektiver, die Erwärmung des Gebäudes zu verhindern, als später die Wärme wieder aus dem Gebäude zu transportieren. Viele Menschen in Büros mit Klimaanlage klagen auch darüber, dass die mit der Kühlung verbundenen Luftbewegungen zu muskulären Verspannungen oder Irritationen an den Augen oder den Atemwegen führen können.

3.4.3.6 Technische Möglichkeiten zur Minderung der Emissionen

Aus Tabelle 18 ist abzulesen, dass die technische Entwicklung der vergangenen Jahre dazu geführt hat, dass die Wirkungsgrade von Wärme- und Kälteanlagen verbessert werden konnten.

Bauliche Maßnahmen

Im GEG (Gebäude-Energie-Gesetz in Deutschland) werden die Standards zum 1.1.2025 weiter angehoben: Basis ist der KfW-Effizienzstandard 40 (z.B. zusätzliche Dämmschichten, dreifach verglaste Energiesparfenster, Frischluftzufuhr über Wärmetauscher, Wärmeerzeuger auf Basis von mind. 65 % erneuerbarer Energien schon ab 1.1.2024 erforderlich).²⁵⁹ Modernisierungen müssen ab dem 1.1.2024 dem Effizienzhaus 70 entsprechen.²⁶⁰

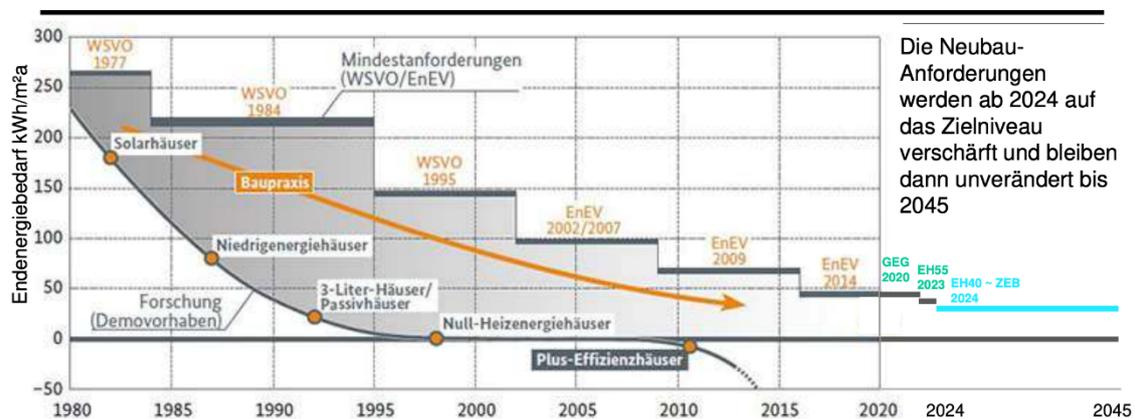
²⁵⁷ Vgl. Besuche Dubai, o. J.

²⁵⁸ Vgl. Mayer & Conrad, 1995.

²⁵⁹ Vgl. Verbraucherzentrale, 2022.

²⁶⁰ Vgl. Mellwig, 2022.

Bauliche Maßnahmen wie verbesserte Dämmung der Gebäude und dicht schließende Fenster, die konvektive Wärmeverluste vermeiden und Strahlungsaustausch verringern, sind sinnvolle Investitionen, die sich bei steigenden Energiepreisen schnell amortisieren können.



Seite 11 Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von Fraunhofer IBP

Fraunhofer ISI consentec ifeu TU Energy and Resources

Abbildung 89: Entwicklung der Gebäudeeffizienz, Neubau-Anforderungen.

Quelle: Mellwig, 2022.

Abbildung 89 stellt die durch das GEG und Verordnungen verschärften baulichen Anforderungen für Neubauten in Deutschland dar, die den jährlichen Energiebedarf pro Fläche auf unter 50 kWh/(m² a) verringern sollen. Bei den sog. Plus-Effizienzhäusern (kein Energiebedarf fürs Heizen, mit Solarenergie wird mehr Energie produziert als für Warmwasser und Kochen benötigt wird) ist sogar eine Netto-Energieproduktion möglich.

Der Bezug von Fernwärme ist ebenfalls umweltfreundlich, da eine Vielzahl von CO₂-neutralen oder geringemittierenden Quellen eingebunden werden kann oder z.B. mit einer CCS-Anlage ausgerüstet, den CO₂-Ausstoß reduzieren kann (siehe Kapitel 3.1).

In den Modellrechnungen der Dena und IFEU²⁶¹ wird davon ausgegangen, dass der durch Fernwärme zur Verfügung gestellte Energiebetrag von etwa 60 TWh/a im Jahr 2020 auf 94 TWh/a im Jahr 2045 gesteigert werden wird. Für die Anzahl der Wärmenetzanschlüsse bedeutet dies, dass auch bei sinkendem Wärmebedarf der Gebäude ihre Anzahl in diesem Zeitraum um etwa den Faktor 3 gesteigert werden muss.²⁶²

Das Beispiel der kleinen Pyrolyseanlagen mit angeschlossenen BHKW zeigt, dass die dezentrale Erzeugung von Wärme und Strom mit deutlich verringerten Emissionen möglich ist.

²⁶¹ IFEU: Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg

²⁶² Vgl. Mellwig, 2022.

Technische Maßnahmen

Allgemeiner Einschätzung zur Folge sind Wärmepumpen Teil der Lösung, die Emissionen von Gebäuden zu reduzieren. Mit einer durchschnittlichen Jahresarbeitszahl JAZ ≥ 3 werden sie mehr als dreimal mehr Wärme produzieren als sie verbrauchen. In der Regel werden Wärmepumpen elektrisch betrieben werden, können aber auch Bestandteil eines hybriden Systems sein, in dem zusätzlich andere Wärmeerzeuger wie Gaskessel eingesetzt.

IT-Technik für Smart Cities

In sog. Smart Cities wird versucht, im ersten Schritt möglichst weitgefächerte elektronische Daten zu erheben und zu sammeln. Die Daten haben eine Relevanz für den Gesamtenergieverbrauch der Stadt oder Region und werden durch den Einsatz von Big-Data-Technologie im zweiten Schritt aufbereitet. Die Daten können sein: Verkehrsströme und Ampelphasen, Beheizung, Kühlung, Beleuchtung von Gebäuden und der Betrieb von elektrischen Geräten darin. Da es sich bei den Verbrauchsdaten teilweise um personenbezogene Daten handelt, ist es wichtig, ein vertrauenswürdiges Protokoll einzusetzen oder zu entwickeln, das den sicheren Transport der Daten gewährleistet.

Im EU-Projekts BESOS (Building Energy decision Support systems for Smart cities) war es das Ziel, bestehende Bezirke in Städten mit einem Entscheidungshilfesystem zu fördern, um ein koordiniertes Management der Infrastruktur in Smart Cities zu ermöglichen, und gleichzeitig die Einwohner mit Informationen zu versorgen, um Nachhaltigkeit und Energieeffizienz zu avancieren.²⁶³ BESOS wurde in Barcelona und Lissabon zwischen den Jahren 2013 und 2016 evaluiert.

Verschiedene Energy Management Systeme innerhalb einer smarten Stadt sollen in der Lage sein, Daten und Dienstleistungen über eine neue Open Trustworthy Energy Service Platform (OTESP), welche in dem Projekt entwickelt wurde, auszutauschen und zu nutzen. Durch die Vernetzung der bestehenden Infrastruktur in Städten können Behörden, Stadtwerke, Netzbetreiber und inländische Nutzer nicht nur in Echtzeit die Daten aus solchen Systemen analysieren, sondern auch für die Umsetzung gemeinsamer Strategien, z.B. die Erhöhung der Energieeffizienz, nutzen.

Im Bee-Smart-City-Netzwerk haben sich bereits 13.200 Städte aus 170 Ländern zusammengefunden, um Best-Practices auszutauschen oder die derzeit (>730) entwickelten Smart-City-Lösungen zu implementieren.²⁶⁴

²⁶³ Vgl. Enercast, 2013.

²⁶⁴ Vgl. Bee Smart City, o. J.

3.4.4 Anwendungsbeispiele

Nullenergiehaus: Nullenergiehäuser beziehen von außen keine Energie, sind also energetisch autark. Um den Wärmeaustausch mit der Umwelt so gering wie möglich zu halten, wird bei Nullenergiehäusern das Verhältnis von Oberfläche zu umbauten Volumen möglichst gering gehalten, da der Wärmeaustausch durch Strahlung und Konvektion stets über die Oberflächen stattfindet. Die Außenflächen des Gebäudes werden sehr gut gedämmt und das Gebäude wird luftdicht gehalten, um Zugluft zu vermeiden. Luftaustausch findet durch eine Lüftung statt, die auch die Wärme zwischen Ab- und Zuluft tauscht. Die Gebäude sind auf der Nordhalbkugel in Südrichtung ausgerichtet, um durch große Fenster möglichst viel Sonnenstrahlung aufzufangen.

Klärwerk Waßmannsorf (Nähe Berlin): Im Klärwerk wird durch Pyrolyse des ammoniumhaltigen Abwassers bei der Faulschlammbehandlung Wasserstoff gewonnen, der zur Wärmergewinnung in BHKW oder zur Betankung von Flottenfahrzeugen im Berliner Verbund genutzt werden kann.²⁶⁵ Das Abwasser wird durch die Behandlung mit Plasmalyse gereinigt. Die Produktion von Wasserstoff erfordert einen relativ geringen Energieaufwand von 20 kWh/kg H₂ (siehe auch Kapitel 2.4ff).

3.4.5 Entwicklungsrelevanz

Die Herausforderung der Dekarbonisierung der Energie- und Wärmeversorgung von Wohngebäuden ist je nach Ebene der Betrachtung – international, national oder im Fall des GdW in Deutschland – unterschiedlich gelagert. Speziell die Gebäude des GdW werden schon zu fast 50 % mit Fernwärme versorgt, während deutschlandweit Erdgas sowie Heizöl noch die am weitesten verbreiteten Energieträger sind. Der Schlüssel zur Dekarbonisierung deutscher Wohngebäude liegt eindeutig im Gebäudebestand, während in anderen Erdteilen der Neubau entscheidend sein wird. Für Deutschland wird es darauf ankommen, dass Energieeffizienz und Defossilisierung Hand in Hand gehen. Der derzeit existierende Wärmeverbrauch muss – beginnend mit den höchsten Energieverbräuchen – kosteneffizient und möglichst schnell gesenkt werden. Der verbliebene Bedarf muss dabei über den Einsatz erneuerbarer Energien, den Anschluss an Wärmenetze und wo möglich die Nutzung objektweiser Wärmeversorgung effizient gedeckt werden. Die für den Gebäudebestand benötigten Fördermittel müssen so eingesetzt werden, dass die höchsten Treibhausgaseinsparungen pro Förderereuro realisiert werden können. Gerade bei unsanierten oder schlecht sanierten Gebäuden sind hier die höchsten Energieeinsparpotentiale zu heben. Dabei ist sicherzustellen, dass die Mieterinnen und Mieter nicht überfordert werden und die Bezahlbarkeit für alle Einkommensklassen gewährleistet bleibt. Die Wohnungen im Bereich des GdW sind an Haushalte mit mittleren und kleinen Einkommen vermietet.

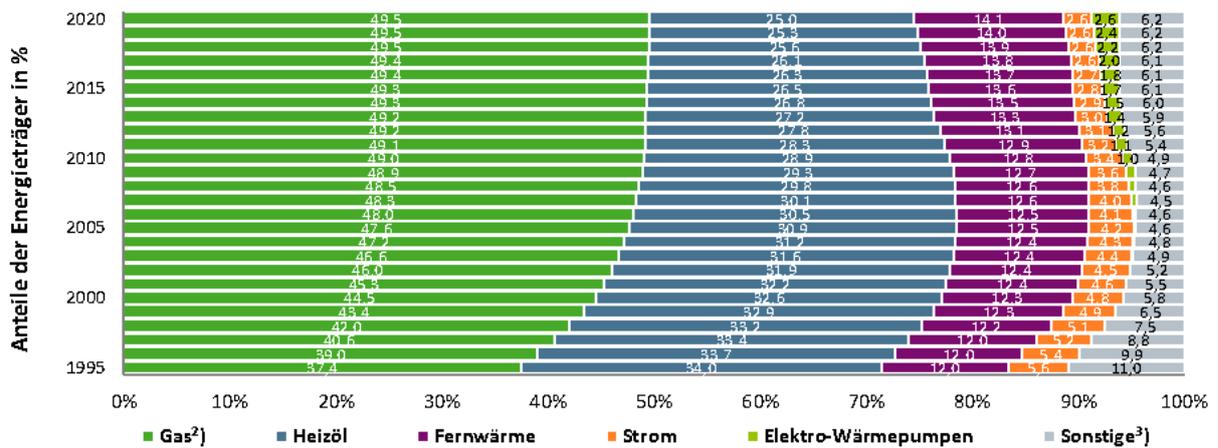
²⁶⁵ Vgl. Synreform, o. J.

International betrachtet werden Städte vorwiegend in Afrika, China und Indien gebaut werden, dort wo die Bevölkerungszahlen stark expandieren werden. In den Ländern des globalen Südens wird es notwendig sein, beim Neubau von Wohnungen und Geschäftsgebäuden das Wissen, um energiesparendes Bauen und moderne Technik umzusetzen.

28.01.2021 Folie 1 SP-V, CMI



Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes¹⁾ in Deutschland



Quelle: BDEW, Stand 01/2021

¹⁾ Anzahl der Wohnungen in Gebäuden mit Wohnraum; Heizung vorhanden; ²⁾ einschließlich Bioerdgas und Flüssiggas; ³⁾ Holz, Holzpellets, sonstige Biomasse, Koks/Kohle, sonstige Heizenergie

Abbildung 90: Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland.

Quelle: BDEW, 2021.