

Klimaschutz im Gebäudebereich: Erklärungen für stagnierende CO₂-Emissionen trotz erfolgreicher Sanierungsmaßnahmen

Kurzstudie im Auftrag von Agora Energiewende

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH, Heidelberg

Unterauftragnehmer:

Technopolis Deutschland GmbH, Berlin

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (DIW Berlin)

Im Auftrag der



Heidelberg, Berlin, Fertigstellung: Januar 2022



Ansprechpartner:innen:

Peter Mellwig, Dr. Martin Pehnt

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH

Wilckensstr. 3, D – 69120 Heidelberg

Tel.: +49/(0)6221/4767-0

Fax: +49/(0)6221/4767-19

E-mail: martin.pehnt@ifeu.de

Website: www.ifeu.de



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

Dr. Jan Stede

Technopolis Deutschland GmbH

Am Zirkus 3, D – 10117 Berlin

Tel. +49 (0)30/549087901

E-mail: jan.stede@technopolis-group.com

Website: www.technopolis-group.com

technopolis
group 

Dr. Franziska Schütze

mit Unterstützung von Marc Blauert und Joel Kohen

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung

Mohrenstr. 58, D – 10117 Berlin

Tel. +49 (0)30/89789-0 – direkt: +49 (0)30/89789-454

E-mail: fschuetze@diw.de

Website: www.diw.de

 **DIW BERLIN**

Liebe Leserin, lieber Leser,

in den Jahren 2000 bis 2010 sanken die Emissionen im Raumwärmebereich noch um 30 Prozent gegenüber 1990. Seit 2010 bis 2018 sind jedoch praktisch keine Reduktionserfolge mehr erzielt worden, obwohl Gebäudesanierungen weitergingen und Energiestandards für den Neubau verschärft wurden.

Für diese ernüchternde Bilanz sind vor allem zwei Faktoren verantwortlich, wie die nachfolgende Untersuchung zeigt: Zum einen die Tatsache, dass die Preise für Heizöl und Gas in den Nullerjahren noch erheblich anstiegen, im vergangenen Jahrzehnt jedoch real sanken. Zum anderen wächst die Wohnfläche pro Kopf in Deutschland seit vielen Jahren, was Einsparerfolgen beim Raumwärmebedarf entgegenwirkt.

Die vorliegende Kurzstudie gibt Handlungsempfehlungen und setzt dabei unter anderem auf ein klares Preissignal in Form absehbar steigender Preise für fossile Energien, welches von der Bundesregierung mit der Einführung eines jährlich steigenden CO₂-Preises bereits Anfang 2021 gestartet wurde. Unter anderem damit, so die Hoffnung, würde sich eine CO₂-Einspardynamik vergleichbar mit den Nullerjahren entfalten können.

Die Studie wurde vor Beginn des Angriffskrieges Russlands gegen die Ukraine und den beispiellosen Preisschüben bei Heizkosten abgeschlossen. Die dramatisch veränderte Situation hat zwar keinen Einfluss auf die hier vorgelegten Analysen, sehr wohl aber auf die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen und Maßnahmen. Die Grundaussagen beziehen sich auf „normale Zeiten“. In Zeiten jedoch, in denen sich wie gerade jetzt Klimaziele und Ziele der Energiesicherheit gegenseitig befeuern, kommt es darauf an, die Energiepreise politisch zu kontrollieren und ihren Anstieg in verkraftbaren Dimensionen zu halten.

Aktuell dominiert die kriegsbedingte Preisentwicklung absolut die prinzipiell fortbestehenden Notwendigkeiten zur Eindämmung der Klimakrise. Im Vordergrund stehen die dringend erforderlichen Entlastungspakete, um die akuten Folgen insbesondere für besonders belastete Verbraucherrinnen, Verbraucher, aber auch Unternehmen beherrschbar zu halten. Die Aussage, dass sich Heizpreise auf Basis fossiler Energien jenseits der kriegs- und auch coronabedingten Disruptionen auch nach der Rückkehr zu einer neuen Normalität aufwärtsbewegen müssen, bis ihre Ablösung durch Erneuerbare Energien vollzogen ist, behält ihre Gültigkeit.

Ich wünsche eine angenehme Lektüre!

Dr. Martin Pehnt

Wissenschaftlicher Geschäftsführer, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Das Wichtigste auf einen Blick

- 1** Der temperaturbereinigte Energieverbrauch für Raumwärme in Wohngebäuden ist zwischen den Jahren 2000 und 2010 um 30 % gesunken, zwischen 2010 und 2018 trotz gleichgebliebenen Sanierungstätigkeiten und Fördermaßnahmen jedoch nur um 1 %. In diesem Zeitraum müssen also andere Faktoren die Effekte der Sanierungsanstrengungen überlagert haben.
- 2** Der stärkste Einflussfaktor ist die Entwicklung der Energiepreise: im Lauf der Dekade 2000 bis 2010 sind die Preise für Gas, Öl und Fernwärme im Mittel um 41 % gestiegen, seit 2010 hingegen um durchschnittlich 5 % gesunken. Private Verbraucher hatten somit weniger finanzielle Anreize für Energieeinsparungen und die Preisentwicklung konterkarierte die Sanierungserfolge. Eine erfolgreiche Wärmewende braucht also – in normalen Zeiten – ein klares Preissignal in Form absehbar steigender Preise für fossile Energien. Ein spürbarer und klar kommunizierter CO₂-Preis ist in solchen Zeiten unverzichtbar und sollte begleitet werden von sozial-politischen Maßnahmen wie einer Pro-Kopf-Rückerstattung von Einnahmen der CO₂-Bepreisung, um insbesondere Geringverdienende zu entlasten.¹
- 3** Die Wohnfläche in Deutschland ist zwischen 2010 und 2018 um 200 Mio. Quadratmeter oder 5,4 % gestiegen. Die Bevölkerung ist im gleichen Zeitraum um 3,5 % gewachsen. Das bedeutet, dass per Saldo die Pro-Kopf-Wohnfläche weiter zugenommen hat. Ursächlich dafür sind immer mehr Single-Haushalte und ältere Menschen in Einfamilienhäusern sowie angespannte Mietmärkte, die keinen Preisanreiz für Umzüge in kleinere Wohnungen bieten. Maßnahmen, die eine dynamischere Anpassung von Wohnflächen an die – je nach Lebenslage variierenden – tatsächlichen Bedarfe ermöglichen, sind daher ein weiterer wichtiger Baustein für die Wärmewende.
- 4** Die Lücke zwischen rechnerisch zu erwartendem und realem Energieverbrauch im Jahr 2018 beträgt 69 TWh bzw. 14 % des realen Verbrauchs. Neben den Energiepreisen und dem Wohnflächenzuwachs sind die Berechnungsmethodik der Temperaturbereinigung, die Verminderung der internen Gewinne und der Rebound-Effekt nach einer Sanierung weitere Faktoren, die diese Lücke erklären können. Neben dem langfristigen Preissignal und der Flexibilisierung von Wohnraum bedarf es daher zusätzlicher Maßnahmen wie Verbrauchskontroll-Möglichkeiten für Nutzer:innen sowie verbesserter und zeitnaher Informations- und Kommunikationsmaßnahmen.

¹ Anmerkung: Die Schlussfolgerungen auf dieser Seite wurden von den Autor:innen vor dem russischen Angriffskrieg auf die Ukraine, also vor dem Hintergrund „normaler Zeiten“ formuliert. Dass in Sondersituationen wie der gegenwärtigen, mit ungeplanten Preissprüngen insbesondere im Raumwärmebereich, die Preise nicht zusätzlich durch staatliche Regulierung über das krisenbedingte Maß hinaus weiter verteuert werden sollten, versteht sich fast von selbst. Die erhofften Wirkungen auf das Verbraucherverhalten treten aktuell voraussichtlich auch ohne gezielte Klimapolitik ein.

Inhalt

Inhalt

Das Wichtigste auf einen Blick	3
Zusammenfassung	5
1 Ausgangssituation	8
1.1 CO ₂ -Emissionen im Gebäudebereich	8
1.2 Vorgehensweise	9
2 Komponenten der CO₂-Entwicklung	11
2.1 Temperaturbereinigung	11
2.1.1 Hintergrund: Temperaturbereinigung über Klimafaktoren	12
2.1.2 Temperaturbereinigung in Studien zum Heizenergieverbrauch	13
2.1.3 Entwicklung einer neuen Methodik zur Temperaturbereinigung und Quantifizierung des Einflusses auf den Heizenergiebedarf	14
2.2 Energiepreise und Elastizitäten	18
2.2.1 Preisentwicklung	18
2.2.2 Preissensibilität der Nachfrage	19
2.2.3 Einfluss der Energiepreise auf den Heizenergieverbrauch in den letzten beiden Dekaden	20
2.2.4 Fazit und Interaktion mit dem CO ₂ -Preis für den Gebäudesektor	21
2.3 Wohnflächenzuwachs	22
2.4 Verminderung der internen Gewinne	24
2.5 Rebound in renovierten Gebäuden	25
3 Das Gesamtbild	27
Referenzen	30
Anhang	34
Verfahren zur Witterungskorrektur in anderen Ländern	34
Vergleich der Witterungskorrektur beim DIW Wärme-monitor, Techem Energiekennwerten und AGEB/BMWi	35

Zusammenfassung

Der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen im Gebäudebereich sind in den letzten 10 Jahren nur geringfügig gesunken. Man könnte daraus den Schluss ziehen, dass energetisches Bauen und Sanieren nicht ausreichend zu einem Rückgang der Energieverbräuche beigetragen haben. Allerdings belegen sowohl die Erfolge der vorigen Dekaden – ein Rückgang des temperaturbereinigten Energieverbrauchs um immerhin 30 Prozent zwischen 1990 und 2010 – als auch die Messwerte aus vielen realen Einzelprojekten die Wirksamkeit von Dämmung und erneuerbaren Energien¹². Die vorliegende Studie liefert Erklärungsansätze, warum es in der letzten Dekade dennoch wenig Fortschritt gab. Dazu analysiert die Studie fünf Themenfelder, die mögliche Ursachen für die Abweichung sein könnten:

- die Methode der Witterungsbereinigung;
- Energiepreise und Preiselastizität;
- Wohnflächenzuwachs;
- Verminderung der internen Gewinne (Wärmeabgabe der elektrischen Geräte und der Bewohner);
- Rebound-Effekt nach Sanierungen.

Die Quantifizierung der Komponenten zeigt, wie unterschiedlich sie sich auswirken:

Die Energiepreise und die Preiselastizität haben demnach den höchsten Einfluss auf den Wärmeverbrauch der letzten 10 Jahre. Tatsächlich gab es in der vergangenen Dekade – im Gegensatz zu davorliegenden Dekaden – kein klares Preissignal für einen geringeren Energieverbrauch im Bereich der Raumwärme. Das Absinken der realen Energiepreise wirkte den erzielten Sanierungserfolgen entgegen.

Fast ebenso deutlich wirkt sich der Wohnflächenzuwachs aus. Die Zunahme um 5,4 Prozent seit 2010 wiegt einen großen Teil der Sanierungserfolge wieder auf. Haupttreiber ist nicht die Bevölkerungsentwicklung, sondern der Lebensstil: die Steigerung der Pro-Kopf-Wohnfläche macht mit 3,6 Prozent den größten Teil der Zunahme aus. Auch der Rebound-Effekt – also die Tendenz, sich nach einer Sanierung etwas mehr Komfort durch höhere Zimmertemperaturen beziehungsweise weniger Anpassung der Zimmertemperaturen an die jeweilige Nutzung zu gönnen – gehört in den Bereich des Lebensstils. Seine Auswirkungen sind jedoch vergleichsweise gering.

Der tatsächliche Verbrauch wird stets temperaturbereinigt, um die Witterungseinflüsse wärmerer oder kälterer Jahre aus der Statistik herauszurechnen. Die vergangene Dekade

¹ Im DIW Wärmemonitor 2015 wurden ca. 100.000 Energieverbrauchsausweise in Regressionsmodellen u.a. in Abhängigkeit des Sanierungsstands ausgewertet. Die mittleren Energieeinsparungen durch Vollsanierungen lagen zwischen 18 % bei Kleinvermietern und 36 % bei großen Wohnungsbauunternehmen.

² Eine Auswertung von etwa 1 Million Verbrauchsdatensätzen von 2002 bis 2019 der co2online GmbH ergab einen durchschnittlichen Heizenergieverbrauch von 161,6 kWh/m²a in unsanierten Gebäuden und von 102,2 kWh/m²a in vollsanierten.

war wegen der Klimaerwärmung überdurchschnittlich warm, das heißt bei der Temperaturbereinigung gab es stets einen deutlichen Aufschlag auf den Verbrauch. Die bisherige Methode zur Temperaturbereinigung mit einer statischen Referenzperiode ist vor dem Hintergrund des dynamischen Temperaturanstiegs daher neu zu bewerten. Durch die Anpassung der Rechenmethode (wie in Kapitel 2.1 vorgestellt) würde der rechnerische Verbrauch sinken.

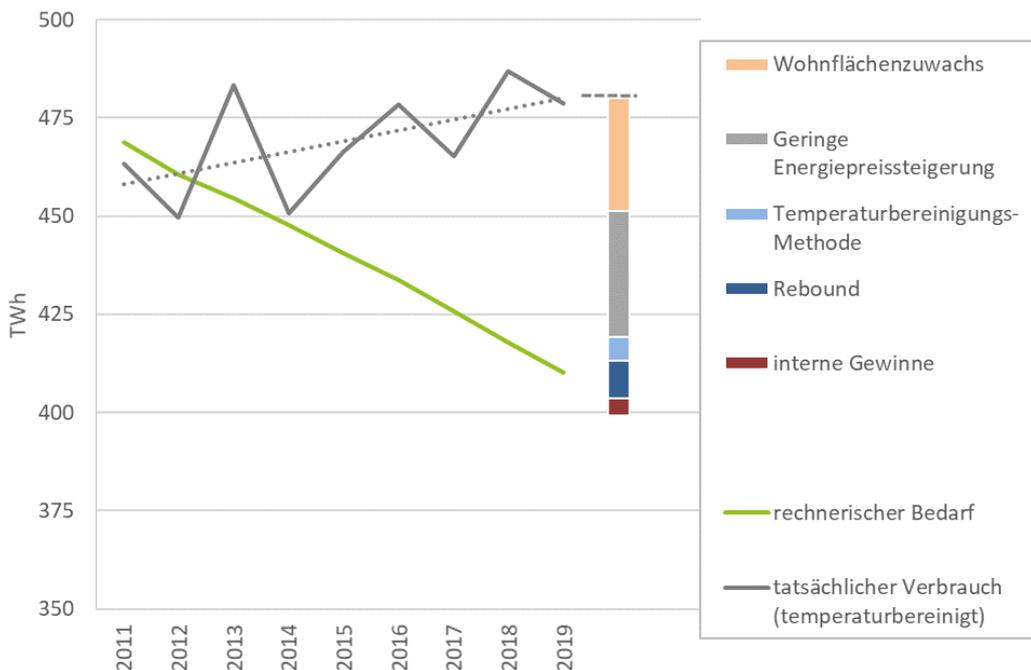


Abbildung 1: Energieverbrauch für Raumwärme in privaten Haushalten: rechnerisch zu erwartender und tatsächlicher Verlauf sowie Komponenten zur Erklärung der Lücke (Quelle für tatsächlichen Verbrauch (bereinigt): BMWi 2021)

Auch der Rückgang der internen Gewinne in Gebäuden wird untersucht. Er folgt aus immer sparsameren Elektrogeräten und der geringeren Personenbelegung pro Wohnfläche. Die Quantifizierung zeigt jedoch, dass der Effekt vergleichsweise klein ist.

Der Anstieg der Energiepreise ist zusammen mit der Preiselastizität die größte Einzelkomponente. Sie macht 40 % des Gesamtverbrauchs aller betrachteten Komponenten aus. Weitere starke Einflüsse sind der Wohnflächenzuwachs (36 %) und der Rebound-Effekt (12 %). Die Erfolge von zehn Jahren Gebäudesanierung werden durch verzerrte Anreize vor allem in Komfortsteigerungen umgesetzt. Sie werden durch Lebensstile kompensiert, die immer mehr Wohnfläche beanspruchen. Fehlende Preissignale verleiten zudem zu einem sorglosen Umgang mit Heizwärme.

Es zeigt sich, dass die Lücke zwischen dem erwarteten und dem realen Energieverbrauch durch die hier untersuchten Einzelkomponenten geschlossen werden kann. Dazu bedarf es jedoch politischer Instrumente, die die Wärmewende nicht nur technisch, sondern auch gesellschaftlich auf Zielkurs bringen. Konkret unterstreicht diese Analyse die Bedeutung folgender Maßnahmen:

1. **Die Verteuerung von klimaschädlichen Energieträgern über den CO₂-Preis**, wie sie im BEHG beschlossen wurde, ist ein richtiger und wichtiger Schritt. Preissignale haben eine besonders hohe Wirkmächtigkeit. Sie müssen jedoch mit anderen Maßnahmen flankiert werden: Steigende Preise müssen sozial abgefedert werden, z.B. durch eine pro Kopf Rückerstattung.¹
2. **Kommunikation und Information**: die bestehenden Ziele müssen klar übersetzt werden. Verbraucher benötigen Informationen über die Klimaziele. Gebäudeeigentümer benötigen bessere Informationen über den daraus resultierenden Sanierungsbedarf und technische Sanierungsoptionen, z.B. durch kostenlose Energieberatungen und starke Anreize für Sanierungsfahrpläne.
3. **Wohnflächenwachstum entgegenwirken**: Wohnen muss flexibler werden. Dazu dienen folgende Ansätze: Umzüge erleichtern, indem überzogene Neumieten reguliert werden. Der Zweckentfremdung von Wohnungen entschieden entgegenwirken. Wohnungstauschbörsen anbieten. Neubauten mit flexiblen Grundrissen planen, damit spätere Nutzungsänderungen möglich sind.
4. Dem Rebound-Effekt kann durch **Feedback-Systeme für Verbraucher** entgegengewirkt werden (wie z.B. einer regelmäßigen und zeitnahen Information über den Verbrauch über Smart Meter). Sie werden auch im Zuge der Novellierung der European Buildings Performance Directive (EPBD) diskutiert.
5. **Temperaturbereinigung**. Die reale Klimaerwärmung sollte in die Methodik zur Berechnung der Temperaturbereinigung einbezogen werden, sonst besteht die Gefahr, dass tatsächliche Verbrauchsrückgänge bei der Berechnung überkompensiert und damit im Indikator nicht abgebildet werden.

¹ Außerdem müssen bei der politisch flankierten Preisgestaltung Sondereffekte Berücksichtigung finden, was spätestens seit den beispiellosen Preissprüngen infolge des russischen Angriffskrieges in der Ukraine und des Wiederanspringens der Weltkonjunktur nach dem Corona-Jahr 2020 keiner Begründung mehr bedarf.

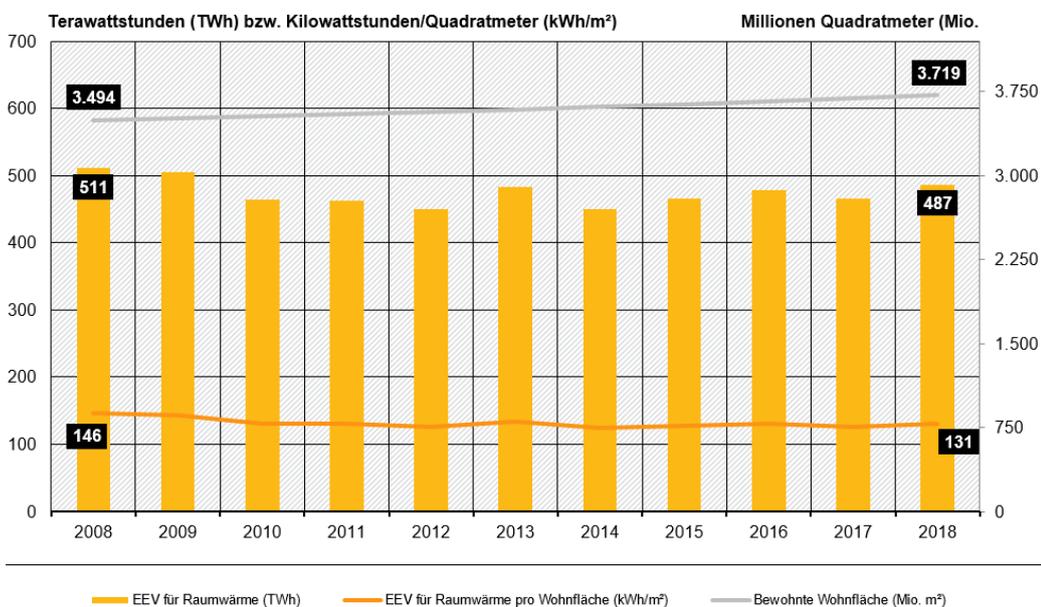
1 Ausgangssituation

1.1 CO₂-Emissionen im Gebäudebereich

Mit der Verschärfung der europäischen Klimaziele steht eine Diskussion über die Anpassung der Klimaschutzziele im Gebäudebereich an. Dabei verweisen sowohl die Gutachten zur Quantifizierung des Klimaschutzprogramms als auch der DIW Wärmemonitor (Stede et al. 2020b) darauf, dass selbst das gegenwärtige Minderungsziel auf 67 Millionen Tonnen im Gebäudebereich bis 2030 nicht erreicht werden kann, wenn nicht instrumentell nachgesteuert wird.

Besonders frappierend ist dabei, wie langsam sowohl die CO₂-Emissionen nach dem Quellprinzip als auch die spezifischen Energieverbräuche gesunken sind. Gerade bei den temperaturbereinigten Energiebedarfen gab es in den letzten 10 Jahren praktisch keine Fortschritte, wie verschiedene Veröffentlichungen auf Basis unterschiedlicher Datenquellen übereinstimmend zeigen (z.B. DIW Wärmemonitor, BMWi Energiedaten). Mit dieser Analyse wird vielfach die Botschaft verknüpft, energetische Gebäudesanierung „bringe nichts“ und entsprechende Fördermittel und Investitionen seien wirkungslos.

Endenergieverbrauch und -intensität für Raumwärme - Private Haushalte



¹ Witterungsberichtigung der AGEb nach DIW mit
Stradtagszahlen nach DWD für 1990-2018

Quelle: Eigene Darstellung Umweltbundesamt auf Basis Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Projekt Temperaturberichtigung,
Stand 05/2020; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Energiedaten, Stand 03/2020

Abbildung 2: Endenergieverbrauch für Raumwärme in Wohngebäuden (UBA 2020)

Diese Kurzstudie untersucht einige der (vermuteten) Treiber für diesen Trend. Dabei wird auf den Endenergieverbrauch für **Raumwärme** in **Wohngebäuden** fokussiert.

1.2 Vorgehensweise

Grundlage der Untersuchung ist eine Referenzentwicklung des Heizwärmeverbrauchs in privaten Haushalten. Sie zeigt den mit dem ifeu-Gebäudemodell GEMOD ermittelten rechnerisch zu erwartenden Verbrauchsrückgang in den Jahren 2011 bis 2020. Sie berücksichtigt Sanierungen bei einer gegebenen Sanierungsrate von rund 1,0 %, Neubau und Abriss und die Entwicklung der Heizungsanlagen. Abweichungen des Energieverbrauchs vom berechneten Energiebedarf sind bereits durch eine Verbrauchs-Bedarfskorrektur einbezogen. Dem gegenüber steht die reale Verbrauchsentwicklung, die deutlich oberhalb des idealen Verlaufs liegt. Um die Lücke zwischen Theorie und Praxis besser zu verstehen, wurden fünf Einzel-Komponenten untersucht, die mögliche Ursachen für die Abweichung sein könnten:

- Methode der Witterungsbereinigung;
- Energiepreis und Preiselastizität;
- Wohnflächenzuwachs;
- Verminderung der internen Gewinne (Wärmeabgabe der elektrischen Geräte und der Bewohner);
- Rebound-Effekt nach Sanierung.

Der Einfluss jeder Komponente wird hergeleitet und mit dem Gebäudemodell GEMOD sowie durch statistische Berechnungen auf Basis von Mikrodaten zu Heizenergieverbräuchen quantifiziert. Die Komponenten werden untereinander verglichen und ins Verhältnis zur Lücke gesetzt.

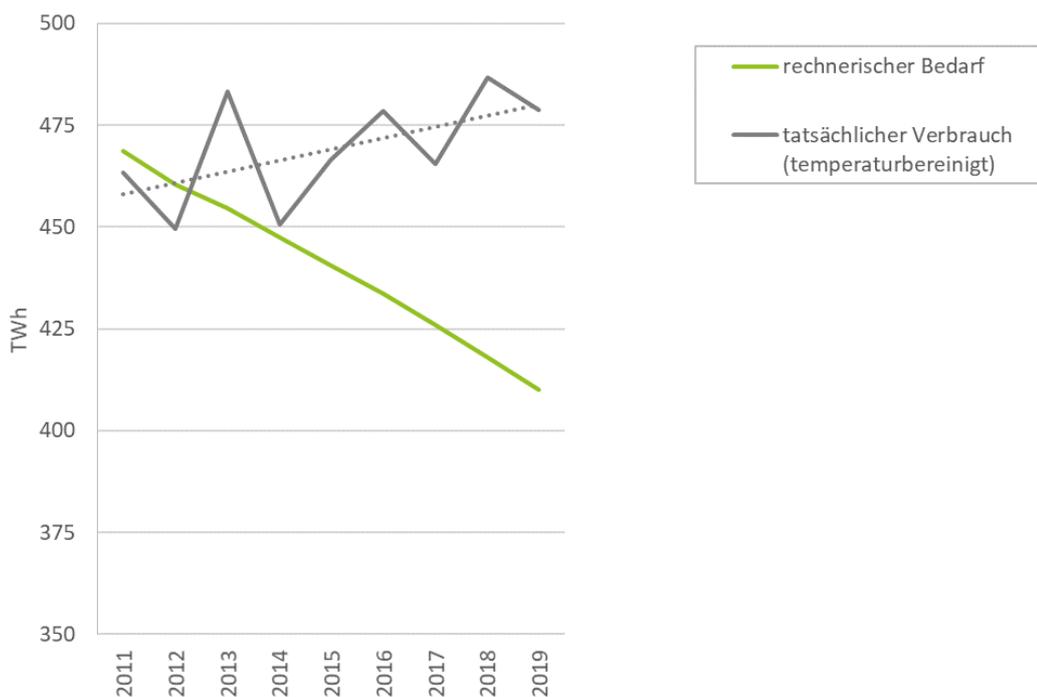


Abbildung 3: Rechnerischer und realer Energieverbrauch in Wohngebäuden im Untersuchungszeitraum (Quelle Verbrauch: BMWi 2021)

Die Referenzentwicklung stellt den Energieverbrauch so dar, wie er ohne überlagernde Einflüsse zu erwarten wäre. Wohnfläche, Klimadaten, Energiepreise, Geräteausstattung und Nutzerverhalten werden konstant gehalten. Der Gebäudebestand entwickelt sich durch Sanierungen sowie Neubau und Abriss. Die Sanierungsrate liegt bei rd. 1%, die Anteile der verschiedenen Heizungstechnologien entsprechen der tatsächlichen Entwicklung im betrachteten Zeitraum.

In der Referenzentwicklung sinkt der Endenergieverbrauch der Wohngebäude für Raumwärme von 469 TWh in 2011 auf 418 TWh in 2018. Der reale witterungsbereinigte Verbrauch in 2018 betrug 487 TWh. Zwischen beiden besteht also eine **Lücke von 69 TWh**, die im Folgenden bei der Bewertung der einzelnen Komponenten berücksichtigt wird.

2 Komponenten der CO₂-Entwicklung

2.1 Temperaturbereinigung

Die Temperaturen während der Heizungsperiode haben einen großen Einfluss auf den Heizenergieverbrauch der Haushalte¹. Um die Entwicklung des realen Heizenergieverbrauchs im Gebäudesektor im Zeitverlauf beurteilen zu können, müssen natürliche Schwankungen der Witterungsverhältnisse berücksichtigt werden. In diesem Kapitel wird der Einfluss verschiedener Methoden der Temperaturbereinigung untersucht und ein Vorschlag für ein neues Verfahren gemacht. Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal ist die Wahl des Referenzstandortes. Bei dem bisher üblichen Vergleich mit einem einheitlichen Referenzort werden lokale Witterungsunterschiede nicht berücksichtigt. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Wahl des historischen Mittels, mit dem die aktuellen Witterungsbedingungen verglichen werden. Viele Methoden nutzen ein festes historisches Mittel. Da in den letzten Jahrzehnten die Temperaturen jedoch angestiegen sind (vgl. Abbildung 4) ist der Nachteil dieser Methode, dass die Höhe der Korrektur immer weiter ansteigt, je länger eine Periode vom historischen Mittel entfernt ist. Außerdem bringt solch ein Verfahren die Notwendigkeit der retrospektiven Korrektur vergangener Energiebedarfe mit sich, sobald die Referenzperiode angepasst wird. Im Unterschied dazu passen sich rollierende Mittel automatisch neuen klimatischen Bedingungen an.

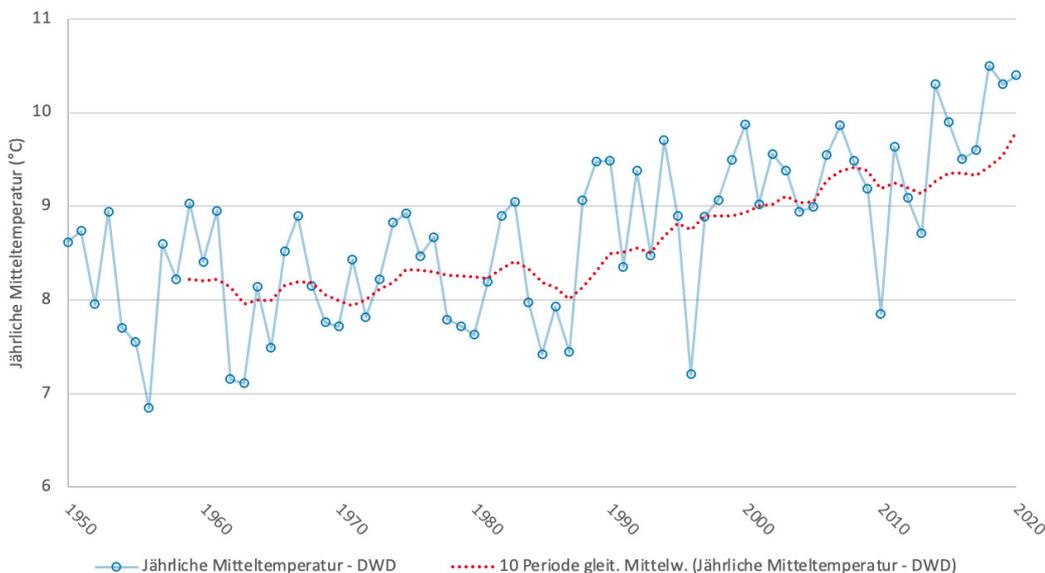


Abbildung 4: Entwicklung der Außentemperatur in Deutschland 1950 bis 2019 (Quelle: eigene Darstellung auf Basis von DWD 2021a)

¹ Neben dem Heizenergieverbrauch wird international nach ähnlicher Logik auch der Verbrauch für Raumkühlung berücksichtigt. Da der Energiebedarf für Raumkühlung in Deutschland jedoch aufgrund der klimatischen Bedingungen nur eine untergeordnete Rolle spielt und zudem nicht in den hier genutzten empirischen Daten abbildbar ist, wird Raumkühlung an dieser Stelle nicht weiter berücksichtigt.

2.1.1 Hintergrund: Temperaturbereinigung über Klimafaktoren

Für die Temperaturbereinigung (auch Witterungsbereinigung genannt) ist die Außentemperatur der wesentliche meteorologische Einflussfaktor (Heße, 2020). Bei niedrigen Außentemperaturen steigen die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste und somit der Heizwärmebedarf; bei höheren Außentemperaturen sinkt der Bedarf¹.

In Deutschland dienen die sogenannten **Gradtagzahlen** als Ausgangspunkt für die Temperaturbereinigung des Wärmeverbrauchs². Zur Ermittlung der Gradtagzahlen werden die Außentemperaturdaten der Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) genutzt. Basierend auf den Vorgaben der Richtlinie VDI 3807/1 (2013) werden die Tagesmittelwerte der Außentemperatur in Gradtagzahlen umgerechnet. Gradtagzahlen (G) gemäß VDI 3807/1 sind hierbei definiert als die Temperaturdifferenz zwischen einer mittleren Raumtemperatur von 20 °C und dem Tagesmittelwert der Außentemperatur (A), sofern diese unter der Heizgrenze von 15 °C liegt und der Tag damit als ein Heiztag zu klassifizieren ist:

$$G(A) = \begin{cases} 20 - A & \text{wenn } A < 15 \\ 0 & \text{wenn } A \geq 15 \end{cases}$$

Die so ermittelten täglichen Gradtagzahlen (G) werden in einem zweiten Schritt zu monatlichen oder jährlichen Gradtagzahlen aufsummiert. Durch die Aufsummierung wird das Verhältnis zwischen Raumtemperatur und Außentemperatur für einen Zeitraum (t) dargestellt. Jährliche Gradtagzahlen werden häufig auch als Jahresgradtage bezeichnet. Höhere Jahresgradtage sind also Ausdruck relativ kälterer Temperaturen im Jahresverlauf und vice versa.

Um die Jahresgradtage für die eigentliche Korrektur in eine leicht verständliche, relative Größe zu transformieren, stellt der DWD die sogenannten **Klimafaktoren** (KF) bereit (DWD, 2021b). Die Klimafaktoren haben ihren Ursprung in dem Wunsch nach Vergleichbarkeit von Energieverbrauchsausweisen für Gebäude in Deutschland (BBSR, 2021). Sie werden jedoch ebenso in Studien zur Korrektur der Verbrauchsentwicklung für den Gesamtgebäudebestand genutzt. Durch ihren primären Anwendungszweck auf Ebene der Energieverbrauchsausweise für einzelne Gebäude erlauben die Klimafaktoren nicht nur eine zeitliche, sondern auch eine räumliche Korrektur zwischen verschiedenen Standorten innerhalb Deutschlands.

Zur Berechnung der Klimafaktoren werden die räumlich und zeitlich spezifischen Jahresgradtage je Wetterstation durch den DWD auf PLZ-Ebene interpoliert und dann durch den Bezug auf ein Referenzklima normalisiert. Das Referenzklima der Klimafaktoren (KF) basiert auf einem fixierten historischen Zeitraum mit einer Dauer von 20 Jahren. Hierzu wird vom DWD seit dem Jahr 2014 der Referenzstandort Potsdam aus dem "Testreferenzjahre (TRY) 2011"-Datensatz genutzt, welcher sich auf Wetterdaten aus dem Bezugszeitraum 1988 bis 2007 stützt (Halbig & Namyslo, 2014). Bis dahin wurde der Standort Würzburg mit der Referenzperiode 1951 bis 1970 verwendet, die jedoch aufgrund der durch den Klimawandel

¹ Zusätzliche Faktoren wie die Globalstrahlung oder Windbedingungen können zwar ebenfalls einen Einfluss auf den Wärmeverbrauch haben, sind aber vielmehr dann einzubeziehen, wenn standortspezifische Bedingungen einzelner Gebäude bekannt sind. Für die übergeordnete Analyseebene des Gesamtgebäudebestands liegt der Fokus auf der Außentemperatur als zentralem Faktor.

² Neben dem Konzept der Gradtagzahlen gibt es auch das Konzept der Heizgradtage, deren Definition sich von der der Gradtagzahlen unterscheidet. Gradtagzahlen sind definiert als die Differenz zwischen einer definierten Raumtemperatur und der Außentemperatur an einem Heiztag. Heizgradtage hingegen sind definiert als die Differenz zwischen der Heizgrenztemperatur und der Außentemperatur an einem Heiztag.

deutlich wärmeren Außentemperaturen nicht mehr repräsentativ für die tatsächlichen klimatischen Verhältnisse war¹.

Die Klimafaktoren (KF) werden monatlich als gleitende Jahreszeiträume je Postleitzahl veröffentlicht. Sie werden als einfacher Quotient der Jahresgradtage für den Referenzstandort Potsdam (mit fixem Referenzzeitraum), durch die räumlich (PLZ-Bereich) und zeitlich (12-Monate rollierend) spezifischen Jahresgradtage der jeweils untersuchten Region (PLZ-Bereich) ermittelt:

$$KF_{PLZ,t} = \frac{G_{TRY2011,Potsdam}}{\hat{G}_{PLZ,t}}$$

Der so ermittelte Faktor wird zur Temperaturbereinigung mit dem effektiven Verbrauch multipliziert. Durch die Multiplikation der tatsächlichen Verbräuche mit den Klimafaktoren wird implizit eine Elastizität von 1 unterstellt. Sind also die Jahresgradtage in einem spezifischen PLZ-Gebiet für den Jahreszeitraum (t) geringer als die Jahresgradtage des Referenzstandorts Potsdam im Zeitraum 1988-2007, so liegt eine relativ wärmere Witterung und damit ein geringerer Heizbedarf vor und der Klimafaktor liegt >1. Wenn nun der effektive Energieverbrauch mit dem Klimafaktor multipliziert wird, ergibt sich ein nach oben korrigierter kalkulatorischer Wert, welcher für den Vergleich mit anderen räumlichen und zeitlichen Bedingungen genutzt werden kann. Die gleiche Mechanik greift für den entgegengesetzten Fall.

2.1.2 Temperaturbereinigung in Studien zum Heizenergieverbrauch

Für den deutschen Raum gibt es mehrere jährlich erscheinende Publikationen, welche das Ziel verfolgen, die Entwicklung des Heizenergiebedarfs für den Wohngebäudebestand zu erfassen und zu bewerten. Zu diesen Veröffentlichungen zählen der Wärmemonitor des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung (DIW) (Stede et al., 2020b) sowie die Techem Energiekennwerte (Techem, 2019). In beiden Veröffentlichungen wird eine Temperaturbereinigung mithilfe der DWD Klimafaktoren durchgeführt (siehe Übersicht im Anhang). Das BMWi veröffentlicht mit den Energiedaten zudem basierend auf den Anwendungsbilanzen für private Haushalte der Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen (AGEB) jährlich den ebenfalls temperaturbereinigten Indikator „Energieeffizienz im Sektor private Haushalte“.

Abbildung 5 zeigt, dass die Trends der temperatur- und witterungsbereinigten Energiebedarfe pro m² Wohnfläche in den verschiedenen Quellen seit 2010 trotz unterschiedlicher Datenbasis sehr ähnlich sind.² In allen Veröffentlichungen ist zu beobachten, dass die spezifischen Energiebedarfe in der Dekade seit 2010 nur noch unwesentlich abgenommen haben,

¹ Während die Jahresmitteltemperatur am Standort Potsdam im Zeitraum 1951 bis 1980 noch bei 8,6 Grad Celsius lag, betrug sie für den Zeitraum TRY 2011 (1988-2007) bereits 9,7 Grad Celsius. Eine vergleichbare Erwärmung war auch für den Standort Würzburg zu beobachten (Halbig & Namyslo, 2014).

² Für die Techem Energiekennwerte wird in Absprache mit den Studienautoren ein über die verschiedenen Brennstoffträger (Öl, Gas und Fernwärme) gemittelter Raumwärmeverbrauch nach Witterungsbereinigung dargestellt. Dieser gemittelte Verbrauch wird auf Basis der beheizten Fläche je Brennstoffträger ermittelt. In den Veröffentlichungen der Techem Energiekennwerte ist dieser gemittelte Verbrauch nicht dargestellt, sondern lediglich die durchschnittlichen Verbräuche je Brennstoffträger.

während der Rückgang in den Nullerjahren deutlich größer war¹. Die zwei orangefarbenen Linien zeigen den Unterschied, der aus der Verwendung unterschiedlicher Referenzstandorte (Würzburg zu Potsdam) für die Daten des DIW Wärmemonitors resultiert.

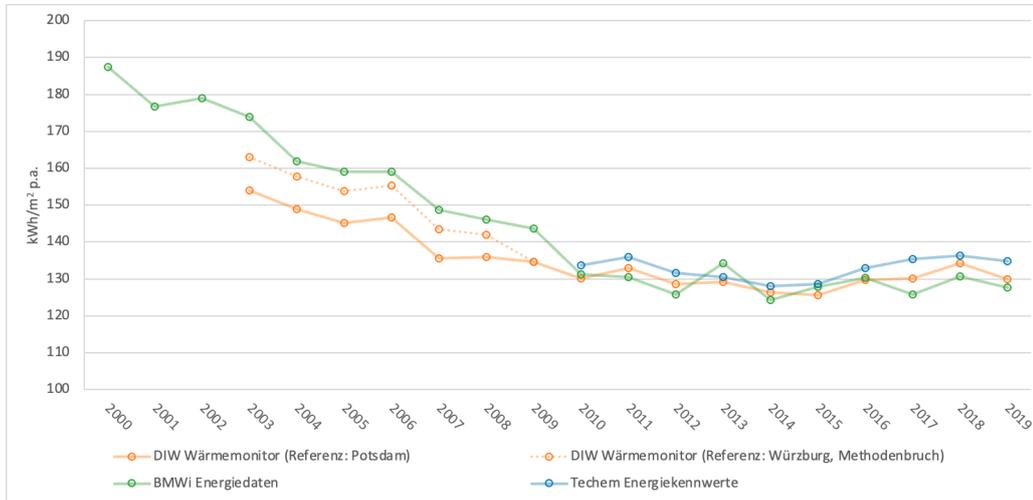


Abbildung 5: Vergleich der Entwicklung des historischen Raumwärmeverbrauchs privater Haushalte (Quelle: eigene Darstellung auf Basis des DIW Wärmemonitors, BMWi Energiedaten 2021 und Techem Energiekennwerte)

2.1.3 Entwicklung einer neuen Methodik zur Temperaturbereinigung und Quantifizierung des Einflusses auf den Heizenergiebedarf

In diesem Abschnitt wird der Einfluss einer verbesserten Methodik der Klimabereinigung der Heizenergieverbräuche auf die Entwicklung des Heizenergiebedarfs in Deutschland untersucht. Hierfür werden die Daten des DIW Wärmemonitor (auf Basis der Daten der ista Deutschland GmbH) genutzt. Die bisher vorherrschende Methode der Klimabereinigung mittels der DWD-Klimafaktoren ist aus zwei Gründen nur eingeschränkt für eine Aussage über deutschlandweite Trends bei der Entwicklung des Heizenergiebedarf geeignet:

- 1) Die DWD-Klimafaktoren basieren auf einer langen und zeitlich fixierten Periode von 20 Jahren (Zeitraum 1988-2007). Gleichzeitig ist die Temperatur in den letzten 30 Jahren jedoch angestiegen (Abbildung 4). Durch die Wahl einer fixen Referenzperiode wird diese Dynamik nicht erfasst. Dies führt zu einer „Überkorrektur“ der tatsächlichen Heizenergieverbräuche, da weiter von der Periode 1988-2007 entfernte Jahre im Durchschnitt als „zu warm“ interpretiert werden.
- 2) Die DWD-Klimafaktoren normieren die Energiebedarfe auf den Standort Potsdam. Bei der Erstellung von Energie(verbrauchs)ausweisen ist dies sinnvoll, da hier die Energieeffizienz von Gebäuden deutschlandweit vergleichbar sein soll. Bei einer Analyse der Entwicklung von Energieverbräuchen (und Emissionen) im deutschen Gebäudebestand insgesamt ist diese Perspektive jedoch nicht geeignet.

¹ Bei den Daten des DIW Wärmemonitor zeigt sich der Einfluss der Umstellung der historischen Referenzperiode von Würzburg auf Potsdam. Der Rückgang der Energiebedarfe in den Jahren 2003-2009 erscheint aufgrund des Methodenbruchs deutlich größer (Methodenbruch; gestrichelte orangene Linie), als bei einer einheitlichen Verwendung der historischen Periode in Potsdam (durchgehende orangene Linie).

Wir untersuchen die Auswirkungen einer methodischen **Weiterentwicklung der Klimafaktoren zur Temperaturbereinigung** auf die Entwicklung des Heizenergiebedarfs, die diesen beiden Problemen Rechnung trägt. Punkt 1) wird durch einen Übergang zu einer kürzeren (10 Jahre) und rollierenden (Periode direkt vor der aktuellen Heizperiode) Korrektur adressiert. Punkt 2) wird durch einen Vergleich der aktuellen Gradtagzahlen mit den historischen Gradtagzahlen *innerhalb einer Postleitzahl* begegnet, statt den Standort Potsdam als Referenz zu verwenden. Ziel ist die Quantifizierung des Anteils an der Differenz zwischen (bereinigtem) Bedarf und tatsächlichem Verbrauch, der auf eine Methodik zurückzuführen ist, die die Temperaturerwärmung nicht abbildet. Es werden also **aktualisierte Klimafaktoren erstellt, die PLZ-scharf die Heizenergieverbräuche für die Abweichung der Gradtagzahlen der aktuellen Heizperiode von den durchschnittlichen Gradtagzahlen der vergangenen 10 Jahre innerhalb der PLZ korrigieren.**

Die **neuen Klimafaktoren** werden gemäß folgender Formel berechnet:

$$KF_{PLZ,t} = \frac{\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} G_{PLZ,t-i}}{G_{PLZ,t}}$$

Mit den postleitzahlscharf verfügbaren Klimafaktoren KF der neuen Methodik kann auf Gebäudeebene für jeden Zeitraum t eine Temperaturbereinigung vorgenommen werden. Genau wie die Klimafaktoren des DWD basieren sie auf den Gradtagzahlen G auf Postleitzahlenebene¹. Im Unterschied zu den DWD-Klimafaktoren werden jedoch für jede Periode t die Gradtagzahlen mit einem sich dynamisch verändernden Zehnjahres-Durchschnitt der Gradtage innerhalb der gleichen Postleitzahl verglichen. Gegenwärtig wird ein ähnliches Verfahren für die Ergebnisse für Raumwärme aus den Anwendungsbilanzen für private Haushalte der Arbeitsgemeinschaft für Energiebilanzen (AGEB) entwickelt, welche durch das Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung erstellt werden (RWI, 2020). Dieses arbeitet zwar nicht mit einem streng rollierenden Mittel, nimmt aber pro Heizperiode alle Jahre von 1990 bis zum Jahr direkt vor dieser in ihre Referenzperiode auf. Weiterhin findet aktuell eine Umstellung von 16 Wetterstationen auf ca. 319 Stationen statt, d.h. es werden regionalspezifische Faktoren verwendet.

Abbildung 6 zeigt den Einfluss der aktualisierten Klimafaktoren zur Temperaturbereinigung im Vergleich zu den DWD-Klimafaktoren auf den Energiebedarf. Die gestrichelte graue Linie repräsentiert den effektiven (unbereinigten) Heizenergieverbrauch von 300.000 Zwei- und Mehrparteienhäusern in Deutschland aus dem Datensatz des DIW-Wärmemonitors². Die blauen und orangefarbenen Punkte zeigen den temperaturbereinigten Heizenergiebedarf mit den zwei unterschiedlichen Korrekturen: Die aktuellen Klimafaktoren nach DWD-Methodik³ mit der Basisperiode Potsdam (TRY 2011, Jahre 1988-2007, blaue Punkte), sowie

¹ Die monatlichen Gradtagzahlen für die Errechnung der Klimafaktoren wurden aus dem IWU-Tool „Gradtagzahlen Deutschland“ auf PLZ-Ebene ausgelesen (IWU 2021). Basis ist eine Heizgrenztemperatur von 15 Grad, sowie eine Zuordnung der PLZ zu den drei nächstgelegenen Wetterstationen (mit Gewichtung nach Entfernung).

² Die Daten basieren auf dem Sample des DIW-Wärmemonitors und werden entsprechend der Anteile der verschiedenen Gebäudekategorien gewichtet aggregiert. Für eine Übersicht der Methodik siehe Stede et al. (2020b).

³ Die Auswahl der Gradtagzahlen auf PLZ-Ebene für die DWD-Klimafaktoren weicht von denen des IWU-Tools ab. Um eine Vergleichbarkeit der beiden Methodiken zu gewährleisten, wurden die DWD-Klimafaktoren auf Basis der IWU-Gradtagzahlen „nachgebaut“. Hierzu wurde der feste historische Referenzwert für die Jahresgradtagzahl für den Standort Potsdam (TRY 2011, Region 4) in Höhe von 3666,8 vom DWD übernommen.

die neuen Klimafaktoren auf Basis des rollierenden Mittels innerhalb der jeweiligen Postleitzahl (orangefarbene Punkte).

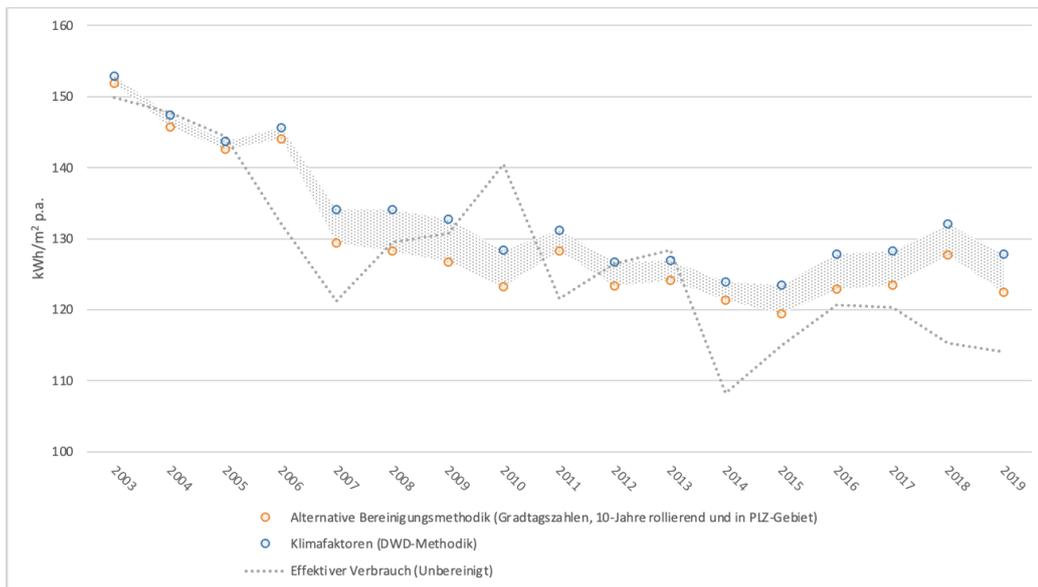


Abbildung 6: Vergleich zwischen der bisherigen Methode zur Temperaturbereinigung des DWD und der vorgeschlagenen alternativen Methode (Quelle: eigene Berechnung auf Basis des DIW Wärmemonitors)

Wie erwartet ist zu sehen, dass die Temperaturbereinigung auf Basis des historischen Mittels von 1988-2007 (DWD-Methodik, blaue Punkte) die effektiven Verbräuche stärker nach oben bzw. weniger stark nach unten korrigiert (Abbildung 6 und Tabelle 1). Die Abbildung zeigt den Zeitraum ab 2003, für den die Daten vorliegen. Grund hierfür ist, dass die Temperatur in Deutschland seit 1988 angestiegen ist: Verglichen mit der historischen Referenzperiode 1988-2007 erscheinen wärmere Jahre in den letzten Jahren also als verhältnismäßig größere Ausreißer, als wenn ein rollierendes Mittel der Gradtagzahlen der letzten 10 Jahre angewandt wird, welches den Temperaturanstieg stärker berücksichtigt.

Um den Einfluss der Veränderung des Referenzzeitraumes von dem der räumlichen Korrektur zu trennen, wurden die beiden Effekte separat betrachtet. Hierbei wird ersichtlich, dass die Veränderung des Referenzzeitraumes zu einem noch größeren Rückgang des Heizenergiebedarfs geführt hätte, dieser aber durch die geänderte räumliche Korrektur wieder etwas abgeschwächt wurde (siehe Tabelle 1).

Wie Abbildung 6 zeigt, wächst die Lücke zwischen den zwei Temperaturbereinigungsmethoden über die Zeit, durchschnittlich um 0,15% pro Jahr. Abbildung 7 stellt diese wachsende Lücke noch einmal gesondert dar. Da die Verbrauchswerte nach der alternativen Methode kleiner sind, ist die Abweichung negativ. **Im Verlauf eines Jahrzehnts liegt der tatsächliche Energiebedarf auf Basis eines rollierenden Mittels von 10 Jahren also um 1,5% niedriger als bei einer Korrektur mit dem in den DWD-Klimafaktoren fixierten historischen Mittel des Standorts Potsdam von 1988-2007.** Je weiter also ein Jahr von der (fixierten) Basisperiode der Klimafaktoren entfernt ist, desto größer ist die erwartete Korrektur der tatsächlichen Verbräuche im Vergleich zu einer Klimakorrektur mit rollierendem Mittel, welche die über die Zeit ansteigenden Temperaturen berücksichtigt.

Der über die Zeit ansteigende Unterschied zwischen dem mit den DWD-Klimafaktoren temperaturbereinigten Energiebedarf und dem tatsächlichen Energieverbrauch ist damit zu einem Großteil auf steigende Temperaturen auf Grund des Klimawandels zurückzuführen.

Tabelle 1: Unterschiede zwischen den Temperaturbereinigungsverfahren für CO₂-Emissionen, Energieverbrauch und Energiebedarf

	Werte			Veränderung			Jährliche Veränderung		
	2003	2010	2019	2003 – 2019	2003 - 2010	2010 – 2019	2003 – 2019	2003 - 2010	2010 – 2019
CO ₂ -Emissionen unbereinigt (kg/m ² a)	31,47	29,04	23,04	-26,8%	-7,7%	-20,7%	-1,9%	-3,3%	-2,5%
Energieverbrauch unbereinigt (kWh/m ² a)	149,9	140,5	114,0	-23,9%	-6,3%	-18,8%	-1,7%	-2,9%	-2,3%
Energieverbrauch bereinigt mit DWD-Klimafaktoren für Potsdam (kWh/m ² a)	154,0	130,2	130,0	-15,6%	-15,5%	-0,2%	-1,1%	0,0%	0,0%
Energieverbrauch bereinigt mit 10-J. rollierendem Mittel für Potsdam (kWh/m ² a)	156,5	125,0	122,2	-21,9%	-20,1%	-2,3%	-1,5%	-0,3%	-0,3%
Energieverbrauch bereinigt mit 10-J. rollierendem Mittel je PLZ (kWh/m ² a)	151,9	123,2	122,5	-19,3%	-18,9%	-0,6%	-1,3%	-0,1%	-0,1%

Durch die vorgeschlagene Temperaturbereinigungsmethode auf Basis eines rollierenden Mittels von 10 Jahren sinkt der bereinigte Energieverbrauch für Raumwärme um **6,0 TWh** gegenüber der bisherigen Methode.

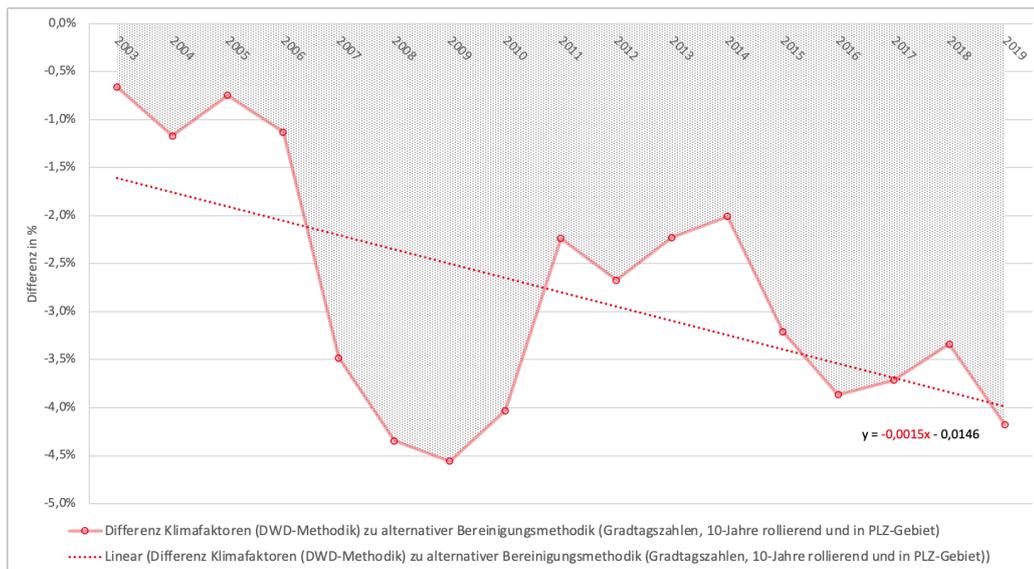


Abbildung 7: Differenz zwischen den Temperaturbereinigungsverfahren (Quelle: eigene Berechnung auf Basis von DIW-Daten zu Heizkostenabrechnungen)

2.2 Energiepreise und Elastizitäten

Neben den technischen Gebäudeparametern spielt bei den Energieverbräuchen auch das Nutzerverhalten eine entscheidende Rolle. Einen zentralen Einfluss haben hier die Energiepreise, sowohl deren absolute Höhe als auch deren Sichtbarkeit¹. In diesem Abschnitt werden auf Basis der Heizkostenabrechnungen von 300.000 Zwei- und Mehrparteienhäusern (den Gebäuden des DIW-Wärmemonitors, auf Basis der Daten der ista Deutschland GmbH) Preiselastizitäten abgeschätzt². Auf dieser Basis wird eine Einschätzung getroffen, inwiefern die Entwicklung der Energiepreise in den vergangenen Jahren dazu beigetragen hat, dass Haushalte sparsamer heizen. Fokussiert wird hierbei auf die Heizenergieträger Erdgas, Öl und Fernwärme, mit denen zusammengerechnet fast 87 % der deutschen Wohnungen beheizt werden (BDEW 2019). Darüber hinaus werden in einem zusätzlichen Schritt Handlungsoptionen für die Politik diskutiert.

2.2.1 Preisentwicklung

Abbildung 8 zeigt die inflationsbereinigte Entwicklung der Verbraucherpreise für Erdgas, Heizöl und Fernwärme seit 1991³. Nach einer Phase relativer Stabilität in den 1990er Jahren sind in den Nullerjahren die Energiepreise kräftig gestiegen – zwischen 2000 und 2009 um 54% bei Erdgas, 48% bei Fernwärme und um 13% bei leichtem Heizöl⁴. In der gleichen Zeit waren auch deutliche Rückgänge beim (temperaturbereinigten) Energiebedarf feststellbar (vgl. Abbildung 5).

Zwischen 2010 und 2019 sind die realen Preise für Erdgas (-5%) und Heizöl (-9%) hingegen gesunken, der Preis von Fernwärme blieb ungefähr stabil (+1%). Der Preis von leichtem Heizöl war dabei sehr deutlichen Schwankungen unterworfen (zwischen 4,9 und 9,2 Cent/kWh).

¹ Zum Einfluss der Sichtbarkeit der Preise auf das Verbrauchsverhalten vgl. Singhal (2020).

² Preiselastizitäten beschreiben die prozentuale Veränderung der Nachfrage eines Guts (in diesem Fall die Heiznachfrage), die durch eine prozentuale Veränderung des Preises ausgelöst wird. Die Elastizität hängt unter anderem davon ab, wie viele Substitute verfügbar sind. Die absolute Höhe der Elastizität gibt an, um wie viel Prozent sich die Wärmenachfrage verringert, wenn der Preis der Heizenergie um 1% steigt.

³ Zur Umrechnung der nominalen Energiepreise im ista-Datensatz in reale Verbraucherpreise wird der allgemeine Verbraucherpreisindex (VPI) des Statistischen Bundesamtes verwendet (DESTATIS, 2021). Als Indexjahr werden die Verbraucherpreise im Jahr 2015 genutzt. Dieser Ansatz zur Inflationsbereinigung der nominalen Endenergiepreise für Haushalte ist konsistent mit dem Vorgehen in der Literatur (Vgl. Gillingham, 2014; Halvorsen, 1975; Schulte & Heindl, 2017).

⁴ Hier ist jedoch zu beachten, dass der Heizölpreis von 2008 auf 2009 auf Grund der Finanzkrise stark gesunken ist. Der Anstieg zwischen 2000 und 2008 lag bei 64%.



Abbildung 8: Entwicklung der realen Verbraucherpreise für Erdgas, leichtes Heizöl und Fernwärme seit 1991 (Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von BMWi Energiedaten 2021)

2.2.2 Preissensibilität der Nachfrage

Haushalte reagieren auf Preisveränderungen in der Regel durch eine Anpassung der Nachfrage. Im Unterschied zu anderen Gütern können Haushalte ihre Wärmenachfrage jedoch nicht unbegrenzt anpassen, da diese von technischen Parametern wie der Energieeffizienz eines Gebäudes abhängt. Selbst bei optimalem Heiz- und Lüftungsverhalten seitens der Bewohner gibt es also technische Parameter, die die Menge an Heizenergie beeinflussen, die für das Erreichen einer für den Komfort und die Gesundheit notwendigen Mindesttemperatur nachgefragt werden muss. Im Bereich der Mietwohnungen haben die Haushalte zudem typischerweise keine Möglichkeit, die technische Energieeffizienz ihrer Wohnung zu beeinflussen.

Das Panel des DIW Wärmemonitors ist aufgrund des langen Beobachtungszeitraums und der Vielzahl an Gebäuden gut geeignet, um Preiselastizitäten für den deutschen Mietwohnungsmarkt abzuschätzen; es enthält Heizkostenabrechnungen von ca. 300.000 Zwei- und Mehrparteienhäusern über einen Zeitraum von 17 Jahren (aktuell 2003-2019, vgl. Stede et al. 2020b). Bestehende Schätzungen von Preiselastizitäten stellen oftmals auf andere Datenquellen wie das sozioökonomische Panel (SOEP) ab, in dem keine direkten Brennstoffpreise enthalten sind, oder können nicht zwischen verschiedenen Brennstoffen unterscheiden (vgl. z.B. Schmitz und Madlener, 2020).

Ziel der Schätzung der Preiselastizitäten ist eine Einordnung, welcher Anteil des Nachfrage-rückgangs in den Jahren 2000 - 2009 sowie seit 2010 durch veränderte Heizenergiepreise erklärt werden kann. Dabei wird auf kurzfristige Elastizitäten abgestellt, die keine strukturelle Anpassung der Nachfrage über mehrere Jahre z.B. durch Investitionen in Modernisierung von Heizungssystemen oder Dämmung beinhaltet.

Die Preiselastizitäten werden mit folgendem Fixed Effects Panel-Modell geschätzt:

$$\ln(EEV_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(p_{it}) + \beta_2 \ln(HDD_{it}) + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it},$$

wobei EEV den Heizenergieverbrauch des Gebäudes i im Jahr t darstellt, p den Energiepreis gemäß Heizkostenabrechnung, HDD die jährlichen Gradtagzahlen auf Postleitzahlebene, γ_t fixe Effekte für jedes Jahr im Datensatz und α_i die fixen Effekte auf Gebäudeebene, die für zeitunabhängige Variablen wie den Heizenergieträger oder das Alter des Gebäudes kontrollieren.

Ergebnis der Schätzungen des Fixed Effects-Modells auf Basis der Heizkostenabrechnungen des DIW Wärmemonitors ist eine kurzfristig relativ unelastische Nachfrage mit einer Preiselastizität von ungefähr -0,25 über den Gesamtzeitraum. Eine Elastizität von -0,25 bedeutet, dass bei einer Verdoppelung der Heizenergiepreise die Nachfrage um 16% Prozent sinken würde.

In der Literatur werden grundsätzlich sehr unterschiedliche Elastizitäten angegeben, die sich je nach Datensatz und Modellspezifikation recht deutlich unterscheiden. Asche et al. (2008) berichten für Deutschland eine kurzfristige Preiselastizität für Gas zwischen -0,065 und -0,11 je nach angewendetem Modell. Für Heizöl liegt ihre Schätzung der kurzfristigen Elastizität zwischen -0,013 und -0,014 und damit nahezu bei keinem Effekt. Schmitz und Madlener (2020) nutzen SOEP-Daten aus dem Zeitraum 1996-2014 und errechnen aus den Ausgaben für Heizkosten der Haushalte abgeleitete Preiselastizitäten von -0,31 bis -0,43. Eine Veröffentlichung der Energy Information Administration der USA (2021) modelliert die zu erwartende Nachfrageentwicklung bei einer Verdoppelung der Gaspreise in den USA. Im ersten Jahr liegt die geschätzte Preiselastizität der Nachfrage bei -0,08 und steigt im Laufe von drei Jahren auf -0,15 an (EIA 2021). Das DIW zitiert eine kurzfristige Preiselastizität von -0,2 aus dem 2. Nationalen Energieeffizienz-Aktionsplan (BMW 2012), dem jedoch eine ältere Studie über das Mobilitätsverhalten aus dem Jahr 2004 zugrunde liegt (DIW 2019).

2.2.3 Einfluss der Energiepreise auf den Heizenergieverbrauch in den letzten beiden Dekaden

Die Ergebnisse zeigen, dass – bei konstanter Sanierungsrate – die Energiepreise maßgeblich dazu beigetragen haben könnten, dass der temperaturbereinigte Heizenergiebedarf in den Nullerjahren deutlich stärker zurückging als in den Jahren seit 2010. Die Energiepreise stiegen in der ersten Phase kräftig an. Besonders ausgeprägt war dies bei Erdgas (+54%), das in den meisten Häusern zum Heizen eingesetzt wird. Die Haushalte hatten also deutliche Anreize, ihre Verbräuche zu reduzieren.

In der vergangenen Dekade sanken die realen Energiepreise für Öl und Gas hingegen.¹ Aufgrund der Preiselastizität hätte die reale Preisentwicklung der Jahre 2010 - 2019 (ceteris paribus, d.h. ohne Berücksichtigung z.B. von Sanierungen) einen *Anstieg* der Heizenergieverbräuche um etwa 1,4% erwarten lassen. Die Preisentwicklung in der letzten Dekade wirkte somit Sanierungserfolgen direkt entgegen und verringerte durch energetische Sanierungen erzielte Einsparungen.

¹ Ausgenommen hiervon war die Fernwärme, bei der ein leichter Anstieg von etwa 1% zu verzeichnen.

Bei einer Fortsetzung der Preisentwicklung wie in den Nullerjahren in der letzten Dekade wären hingegen deutliche Nachfragerückgänge zu erwarten gewesen. Hätten sich die Preisanstiege für die Brennstoffe Gas, Öl und Fernwärme der Jahre 2000-2009 auch in der Dekade seit 2010 fortgesetzt, wäre mit einem mittleren nach den Energieträgern gewichteten Nachfragerückgang von etwa 8% zu rechnen gewesen. Bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch übersetzt sich dies in einen Mehrverbrauch von etwa **32 TWh**.

2.2.4 Fazit und Interaktion mit dem CO₂-Preis für den Gebäudesektor

Wie die Berechnungen im vorigen Abschnitt zeigen, haben die Energiepreise und die Preiselastizität der Nachfrage einen großen Einfluss auf den Heizenergieverbrauch. Der typischerweise als Indikator für die technische Energieeffizienz angegebene temperaturbereinigte Endenergieverbrauch je Quadratmeter Wohnfläche wird neben der technischen Energieeffizienz (Sanierungsstand) eines Gebäudes allerdings auch durch Verhaltensänderungen der Bewohnerinnen und Bewohner beeinflusst – diese beiden Einflussfaktoren lassen sich in den aggregierten Daten nicht voneinander trennen.

Ein großer Teil der Unterschiede zwischen dem deutlichen Rückgang des Heizenergiebedarfs in den Nullerjahren und der relativen Stagnation in der letzten Dekade lässt sich durch den Rückgang der realen Energiepreise erklären: Die Haushalte hatten hierdurch einen Anreiz, mehr zu heizen, was die durch energetische Sanierungen erzielten Einsparungen reduzierte.

Das Ausmaß der durch Nachfragerückgänge in den Nullerjahren erzielten Energieeinsparungen zeigt, welches große Potenzial in Politikmaßnahmen steckt, die das Verhalten adressieren. Dies müssen nicht zwangsläufig preisbasierte Politikmaßnahmen sein – Studien zeigen, dass auch die Sichtbarkeit von Preisen einen wichtigen Einfluss auf das Verbrauchsverhalten haben, insbesondere im Heizwärmebereich, wo viele Mieterinnen und Mieter nur einmal im Jahr eine Heizkostenabrechnung erhalten (vgl. Singhal 2020).¹ Weiterhin könnte ein Vergleich mit dem durchschnittlichen Verbrauch der Nachbarn oder in der gleichen Region, wie es bei Stromrechnungen bereits üblich ist, mehr Bewusstsein schaffen. Die Sichtbarkeit könnte auch durch Maßnahmen wie die Einführung von Smart Metern für Heizungen erhöht werden. Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen wurde in dieser Studie jedoch nicht untersucht.

Eine zentrale Maßnahme im Wärmebereich ist die zum Jahr 2021 eingeführte CO₂-Bepreisung für die Sektoren Verkehr und Wärme. Die Bepreisung startete mit einem Festpreis von 25 Euro pro Tonne CO₂, der bis zum Jahr 2025 auf 55 Euro pro Tonne CO₂ ansteigen soll.² Die Einführung eines CO₂-Preises von 25 Euro/Tonne entsprach einer Preiserhöhung von rund 7,25 Cent/Liter Heizöl (oder 0,7 Cent/kWh) und rund 0,55 Cent/kWh Erdgas im Jahr 2021³. Dies entspricht einem Anstieg von ca. 8% im Vergleich zum Preis für Erdgas im Jahr 2019 und 10% im Vergleich zum Preis von Heizöl im Jahr 2019 (vgl. Abbildung 8). In Verbindung mit unserer Schätzung der kurzfristigen Preiselastizität lässt sich also absehen,

¹ Angesichts der historischen Preissprünge infolge der russischen Aggression gegen die Ukraine (und infolge des Wiederanspringens der Weltkonjunktur nach dem Coronajahr 2020) ist aktuell die „Sichtbarkeit der Preise“ bzw. der Preisentwicklung für alle Verbraucherinnen und Verbraucher gegeben. Dies kann sich ändern, wenn sich die Preise wieder günstiger entwickeln. s.a. nachfolgende Absätze.

² 2022 beträgt er 30 Euro pro Tonne CO₂

³ Die Berechnung basiert auf einem spezifischen CO₂-Faktor von 2,9 Kilogramm CO₂ pro Liter Heizöl (oder 0,28 kg CO₂/kWh) und 0,22 Kilogramm CO₂ pro Kilowattstunde Erdgas (direkte und indirekte Emissionen).

dass in den kommenden Jahren durch die CO₂-Bepreisung ein Nachfragerückgang zu erwarten ist.

Ein CO₂-Preisanstieg setzt signifikante Anreize zum Energiesparen für Bewohnerinnen und Bewohner. Wenn einseitig fossile Energieträger verteuert werden, wird außerdem ein Anreiz zum Wechseln des Heizträgers auf CO₂-ärmere bzw. regenerative Energieträger sowie für energetische Sanierungen gesetzt. Für den Mietwohnungsbereich gilt dies allerdings nur, wenn auch die Vermieterinnen und Vermieter an den Kosten beteiligt werden, wie es aktuell von der Politik diskutiert wird, oder bei der Einführung von Warmmieten (Agora Energiewende 2021, Agora Energiewende und Universität Kassel 2020). Über die direkten Preisreize hinaus erhöht ein CO₂-Preis mit transparentem Erhöhungspfad auch die Sichtbarkeit der Heizenergiepreise insgesamt und kann somit auch über diesen Kanal zu einer Reduzierung des Heizenergieverbrauchs beitragen.¹

Neben Anreizen für sparsameres Verhalten sind tiefgreifende energetische Sanierungen weiterhin notwendig, um den technisch notwendigen Heizenergiebedarf von Gebäuden zu reduzieren. Hierfür gibt es bereits finanzielle Anreize für die energetische Sanierung für Vermieter. Eine mögliche ergänzende Maßnahme wären kostenlose Energieberatungen und Sanierungsfahrpläne sowie energetische Mindestanforderungen für vermietete Gebäude, die zeitlich gestaffelt werden². Ohne die Verringerung des technischen Energiebedarfs lassen sich durch kurzfristige Preiselastizitäten zu erzielende Energieeinsparungen nicht unbegrenzt bzw. ohne deutliche Einschränkungen im Komfort fortschreiben. Allerdings entsteht bei energetischen Sanierungen aufgrund des Rebound-Effekts neues Potenzial an Energieeinsparmöglichkeiten, die durch Verhaltensänderungen erzielt werden können. Auf das Nutzerverhalten abzielende Politikmaßnahmen bleiben also bei einer zunehmenden Sanierungsaktivität auch langfristig relevant.³

Eine wichtige Dimension bei der Diskussion um steigende Energiepreise ist eine soziale Abfederung, da Energiesteuern – besonders bei den Heizstoffen – regressiv wirken, also ärmere Haushalte überproportional belasten (Bach et al., 2019). Hier wurden verschiedene Modelle vorgeschlagen, beispielsweise eine Pro-Kopf-Rückerstattung über die Krankenversicherungen (Stede et al., 2020a) oder eine Absenkung der EEG-Umlage (Agora, 2021). Eine Absenkung der EEG-Umlage würde im Unterschied zu einer Pro-Kopf-Rückerstattung auch Unternehmen entlasten, die die EEG-Umlage zahlen (z.B. die Bahn). Außerdem würden zusätzliche Anreize für Sektorkopplung (z.B. die Verwendung von Wärmepumpen im Heizmarkt) entstehen, allerdings auch verringerte Anreize für Energieeffizienz (FÖS, 2021).⁴

¹ Hier gilt erneut wie oben: Angesichts der historischen Preissprünge des Jahres 2022 ist aktuell die „Sichtbarkeit der Preise“ bzw. der Preisentwicklung für alle Verbraucherinnen und Verbraucher ohnehin gegeben.

² Die Niederlande erlauben ab 2025 die Vermietung (vorerst bei Nicht-Wohngebäuden) nur noch mit Energielabel C und besser, ab 2030 dürfen Nicht-Wohngebäude nur noch mit Label A vermietet werden (Lexology, 2019)

³ Auch hier kann es in Zeiten, in denen wie aktuell Preisschübe auch unabhängig von einer zielgerichteten energiepolitischen Steuerung auftreten, nur darum gehen, eine kalkulierbare Kostenentwicklung und mit ihr ein informiertes und bewusstes Verbraucherverhalten sicherzustellen.

⁴ Als Reaktion auf die Strompreisentwicklung infolge des Ukrainekrieges und des Wiederanspringens der Weltkonjunktur wird die EEG-Umlage bereits zum 1. Juli 2022 abgeschafft. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/eeg-umlage-faellt-weg-2011728>

2.3 Wohnflächenzuwachs

Die beheizte Wohnfläche in Deutschland ist von 3,68 Mrd. m² im Jahr 2010 auf 3,88 Mrd. m² in 2018 gestiegen (Destatis 2019). Das ist ein Zuwachs um 5,4 %. Die zusätzlichen 200 Mio. Quadratmeter müssen beheizt werden und tragen somit zu einem höheren Energieverbrauch des Gebäudebestands bei. Die Höhe des Mehrverbrauchs wurde mit dem Gebäude-modell des ifeu (GEMOD) hergeleitet. Dabei wird unterstellt, dass die hinzukommenden Gebäude die Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV 2014 und EnEV 2016) bzw. des GEG erfüllen. Gleichzeitig werden weiterhin ältere Gebäude abgerissen, insbesondere unsanierte mit hohem Energieverbrauch. Allein durch diesen Effekt sinkt also der mittlere spezifische Energieverbrauch. Der Wohnflächenzuwachs der Jahre 2010 bis 2018 hat einen Mehrverbrauch von rd. **29 TWh** verursacht.

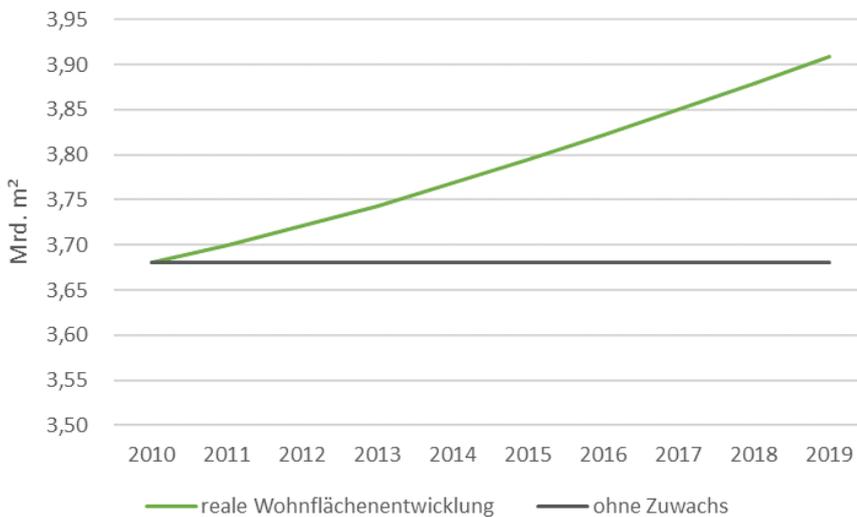


Abbildung 9: Schaffung von zusätzlichen Wohnflächen zwischen 2010 und 2019 (Destatis 2019)

Der Zuwachs der Wohnfläche ist nur zum Teil auf den Bevölkerungszuwachs zurückzuführen. Die Pro-Kopf-Wohnfläche ist im gleichen Zeitraum um 3,6 % gewachsen und war somit ein wesentlicher Treiber für den Wohnflächenzuwachs (Statista 2021). Insbesondere zwei Trends haben die Pro-Kopf-Wohnfläche anwachsen lassen: der steigende Anteil von Single-Haushalten und die älteren Menschen im Wohneigentum. In angespannten Mietmärkten kommt erschwerend hinzu, dass Mieter die Wohnung seltener wechseln, weil neue Mietverträge teurer sind, selbst wenn die Wohnfläche kleiner ist.

Suffizienz-Maßnahmen können hier Abhilfe schaffen. Zu nennen wäre eine bedarfsgerechte Flächenausweisung für Neubauten in der Stadtplanung, eine flexible Planung neuer Gebäude, so dass spätere Nutzungswechsel möglich sind, eine wirksame Begrenzung der Mietsteigerungen, gemeinschaftliche Wohnformen und Wohnungstausch-Plattformen. Suffizienz bedeutet in diesem Sinne also eine stärkere Orientierung am Bedarf und nicht Verzicht. Das Ziel wäre, dass die Wohnflächenentwicklung die Emissionsminderungen nicht länger aufwiegt, sondern im besten Fall selbst zur Minderung beiträgt. Allein bei einer Rückkehr zur Pro-Kopf-Wohnfläche im Jahr 2000 – das nicht für beengte Verhältnisse bekannt ist – würden die Emissionen schon um 15 Prozent sinken.

2.4 Verminderung der internen Gewinne

Interne Gewinne entstehen in Gebäuden durch die Wärmeabgabe der elektrischen Geräte und der Bewohner. Sie werden bei der Wärmebedarfsberechnung pauschal mit 5 W/m² Nutzfläche angesetzt. Die tatsächliche Höhe der Faktoren und ihre zeitliche Veränderung werden dabei vernachlässigt. So hat der kontinuierliche Anstieg der Pro-Kopf-Wohnfläche eine „verdünnende“ Wirkung auf die Gewinne: sie verteilen sich auf eine größere Fläche, so dass jeder Quadratmeter weniger Wärme bekommt. Hinzu kommt, dass gleichzeitig der absolute Stromverbrauch der Haushaltsgeräte gesunken ist. Tabelle 2 zeigt, wie stark die internen Gewinne zurückgegangen sind.

Die Pro-Kopf-Wohnfläche ist von 2010 bis 2018 um 3,6% gewachsen. Die Wärmeabgabe der Bewohner pro Quadratmeter ist entsprechend im gleichen Maß gesunken. Dabei wird unterstellt, dass ein Mensch in Ruhe eine Wärmeleistung von ca. 100 W abgibt und dass sich dieser Wert über die betrachteten acht Jahre nicht verändert hat (OVGU 2005).

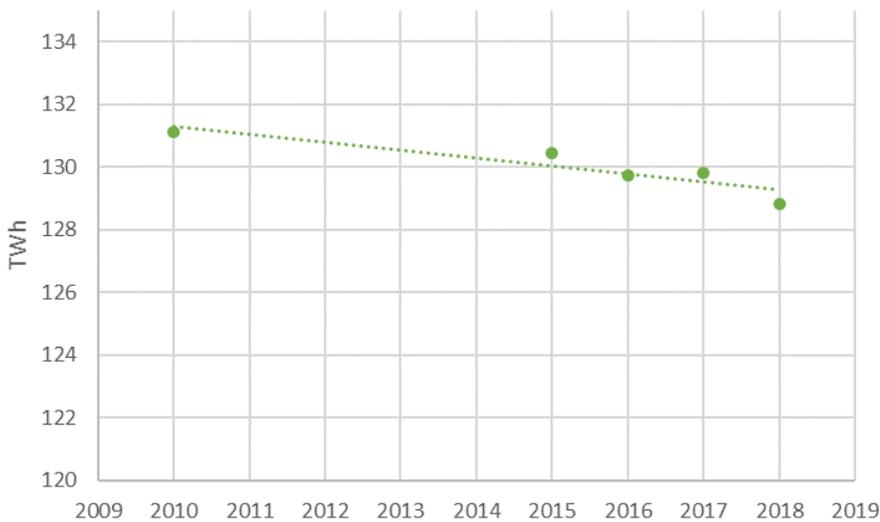


Abbildung 10: Stromverbrauch für Elektrogeräte in privaten Haushalten (eigene Darstellung auf Grundlage von Destatis 2020)

Der Stromverbrauch – und damit auch die Wärmeabgabe – der Elektrogeräte in privaten Haushalten ist pro Quadratmeter in dieser Zeit um 6,3% gesunken (AGEB 2013, AGEB 2019). Der Stromverbrauch für Raumwärme und Trinkwassererwärmung ist in der Summe nicht berücksichtigt, weil er per Definition nicht zu den internen Gewinnen beiträgt. Die Einsparungen gehen auf die zunehmend effizienteren Vorgaben der Ökodesign-Richtlinie zurück. Diese Entwicklung ist unbedingt zu begrüßen, auch wenn sie zu einem erhöhten Heizwärmeverbrauch führt. Ineffiziente Elektrogeräte, die viel Wärme abgeben, sind ökonomisch und ökologisch die schlechteste Art zu heizen, da das Wärmeaufkommen nicht mit dem Bedarf korreliert und Strom ein treibhausgas- und kostenintensiver Energieträger ist. Zusammengenommen bewirken die verminderten Gewinne durch Bewohner und Elektrogeräte einen Rückgang der internen Gewinne um 5,6%. Geringere Gewinne führen zu einem höheren Heizwärmebedarf. Im deutschen Wohngebäudebestand summiert sich der entsprechende Mehrverbrauch auf **4,4 TWh**.

Tabelle 2: Rückgang der internen Gewinne in Wohngebäuden (Quellen: Destatis 2021, AGEB 2013)

	2010	2018
Pro-Kopf-Wohnfläche (m ²)	45	46,7
spez. Leistung bei 100 W pro Person	2,22	2,14
Rückgang		3,6%
Stromverbrauch in privaten Haushalten (TWh)	131	129
Wohnfläche (Mrd. m ²)	3,68	3,88
Mittlere Leistung (W/m ²)	4,06	3,80
Rückgang		6,6%
Gesamte Leistung (W/m ²)	6,29	5,94
Gesamter Rückgang der internen Gewinne		5,6%

2.5 Rebound in renovierten Gebäuden

Der Rebound-Effekt bei der Gebäudesanierung resultiert aus einem geänderten Verhalten der Bewohner vor und nach einer energetischen Sanierung. Vor einer Sanierung verhalten die Bewohner sich im Durchschnitt sparsamer, um hohe Energiekosten zu vermeiden. Gerade in unsanierten Gebäuden mit Verbräuchen von 150 bis über 300 kWh/m²a sparen die Nutzer durch Teilbeheizung, zeitlich begrenztes Heizen und aufmerksames Lüften, so dass sie nur 50 bis 70 % des rechnerischen Energiebedarfs tatsächlich verbrauchen. Diese Sparsamkeit vor einer Sanierung wird auch als „Prebound-Effekt“ bezeichnet.

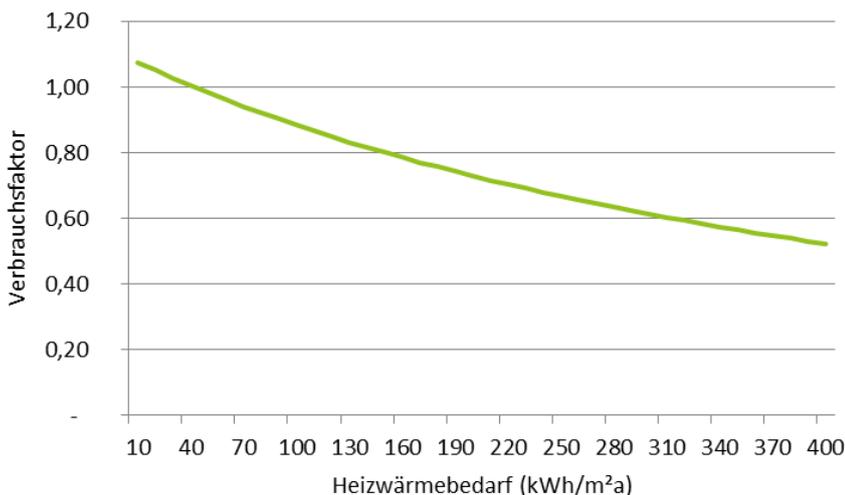


Abbildung 11: Verbrauchsfaktoren in Abhängigkeit vom Heizwärmebedarf (eigene Darstellung auf Basis von IWU 2015)

Nach einer energetischen Sanierung lässt der Kostendruck nach. Die Bewohner „gönnen“ sich mehr Komfort bei Raumtemperaturen und Lüftungsverhalten bzw. können ein höheres Komfortniveau gebäudetechnisch überhaupt erst realisieren. Dies ist der Rebound-Effekt. Zusammengenommen bewirken Prebound und Rebound, dass die Energieeinsparung einer Sanierung selbst bei fachgerechter Durchführung meist geringer ist, als sie laut Berechnung sein sollte. Dafür haben die Bewohner einen höheren Komfort.

Das Institut Wohnen und Umwelt hat die Abhängigkeit des Nutzerverhaltens vom energetischen Zustand der Gebäude aus verschiedenen Felduntersuchungen empirisch abgeleitet (IWU 2015). Der Verbrauchsfaktor in Abbildung 11 gibt an, wie hoch der tatsächliche Verbrauch ist bezogen auf den berechneten Energiebedarf, wie er in einem Energiebedarfsausweis steht. Die Jahre von 2010 bis 2020 wurden einmal mit Rebound-Effekt modelliert und einmal ohne. Die Differenz dieser beiden Berechnungen stellt den Einfluss des Rebound-Effekts in diesem Zeitraum dar. Danach wäre die Einsparung durch Gebäudesanierung ohne den Rebound-Effekt **9,7 TWh** höher gewesen.

3 Das Gesamtbild

Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten, die in den obigen Kapiteln ermittelt wurden, gemeinsam betrachtet und der Lücke zwischen rechnerischem und tatsächlichem Verbrauch gegenübergestellt. Abbildung 12 zeigt die Lücke für den Raumwärmeverbrauch in privaten Haushalten sowie die gestapelten Komponenten, die sie beeinflussen. In dieser Darstellung sind die Einzelkomponenten aufaddiert. Dies ist eine erste Näherung. Bei genauerer Betrachtung gibt es gegenseitige Beeinflussungen und Überschneidungen zwischen ihnen, die hier jedoch nicht näher betrachtet werden können.

Der Rückgang der Energiepreise ist die bei weitem größte Einzelkomponente. Sie macht 40 % des Gesamtverbrauchs der Komponenten aus. Bei einem ähnlichen Preisanstieg wie in den Nullerjahren wären die Energieverbräuche deutlich stärker zurückgegangen.¹ Weitere starke Einflüsse sind der Wohnflächenzuwachs (36 %) und der Rebound-Effekt (12 %).

Die Lücke zwischen erwartetem und realem Energieverbrauch in 2018 beträgt 69 TWh. Die betrachteten Einzelkomponenten summieren sich zu einem Mehrverbrauch von 81 TWh auf und füllen die Lücke somit gut auf. Weitere Komponenten, die zu einem Mehrverbrauch trotz laufenden Sanierungsfortschritts führen können, sind denkbar. Hierzu gehören zum Beispiel die geringere Attraktivität von Fördermitteln in Niedrigzinsphasen, disruptive Brüche in Förderprogrammen, die Komplexität der Beantragung, Volatilität auf dem Beratungsmarkt oder die hohe mediale Aufmerksamkeit für vereinzelte Zwischenfälle, wie Brände von Dämmstoffen. All diese Beispiele können jedoch weniger gut quantifiziert werden als die fünf Komponenten, die analysiert wurden.

Die Analyse zeigt, dass die Senkung der absoluten THG-Emissionen im Gebäudebereich vielschichtig ist und weit über den rein baulich-technischen Aspekt hinausgeht. Die Erfolge von zehn Jahren Gebäudesanierung werden durch verzerrte Anreize von ineffizienterer und gesteigerter Energienutzung allgemein konterkariert. Außerdem werden sie durch Lebensstile kompensiert, die immer mehr Wohnfläche beanspruchen. Fehlende Preissignale verleiten zudem zu einem sorgloseren Umgang mit Heizwärme. Der 2021 eingeführte CO₂-Preis ist daher ein wichtiges Element, um dem entgegenzuwirken.²

¹ Entsprechend werden auch die 2022 durch den Ukrainekrieg kurzfristig ausgelösten, zusätzlichen Preissteigerungen im Raumwärmesektor den Verbrauch in diesem Bereich unabhängig von zuvor geplanten Politikmaßnahmen deutlich senken.

² Noch stärker als der von derzeit 30 EURO/Tonne CO₂ (2022) in den kommenden Jahren weiter steigende CO₂-Preis werden kurzfristig voraussichtlich die kriegsbedingten Preiseffekte im Bereich Raumwärme einem sorglosen Umgang mit Heizwärme entgegenwirken – ungeachtet der Entlastungspakete der Bundesregierung in diesem Bereich.

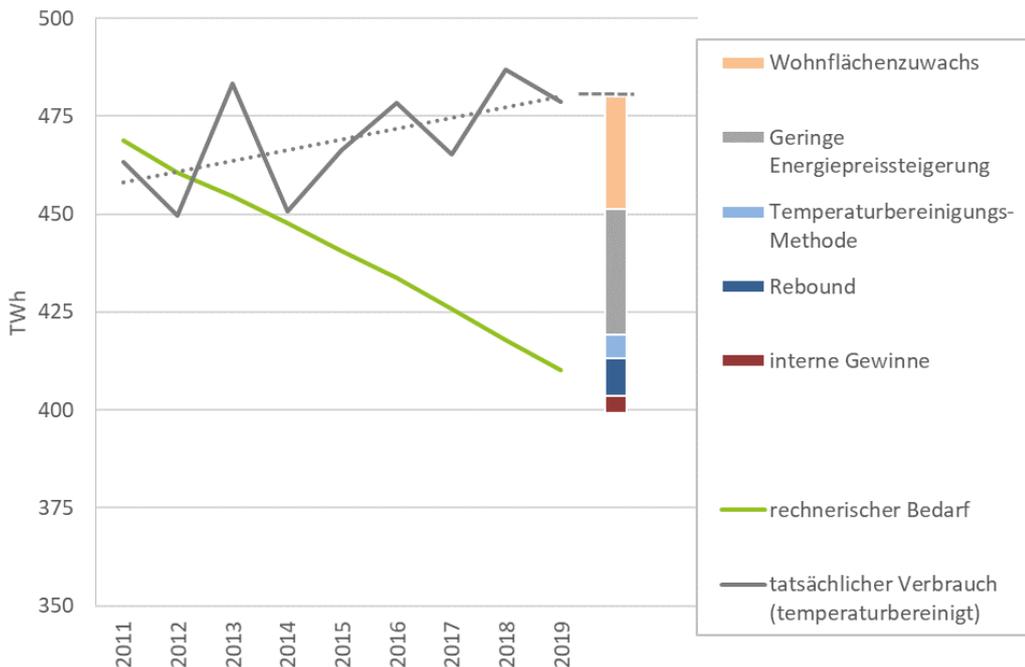


Abbildung 12: Raumwärme in privaten Haushalten: rechnerischer und tatsächlicher Verlauf sowie Komponenten zur Erklärung der Lücke (Quelle für tatsächlichen Verbrauch (bereinigt): BMWi 2021)

Vor dem Hintergrund dieser Analyse ergeben sich auch einige Schlussfolgerungen für politische Instrumente, die die derzeit diskutierten Vorschläge bestärken und flankieren.

1. Die **Verteuerung von klimaschädlichen Energieträgern** über den CO₂-Preis, wie sie im BEHG beschlossen wurde, ist ein richtiger und wichtiger Schritt. Wie im Bericht gezeigt, setzen erwartete Preisentwicklungen einen starken Handlungsimpuls. Um seine Wirkung entfalten zu können, muss der CO₂-Preis

- a. ausreichend hoch sein,
- b. langfristig planbar sein
- c. und klar kommuniziert werden¹

Die entstehenden Kosten für die Verbraucher müssen wirksam rückverteilt werden, um eine soziale Abfederung zu gewährleisten. Die alternativen Technologien müssen klar benannt, bezuschusst werden und verfügbar sein.

2. **Kommunikation und Information:** Vielfach wird noch nicht verinnerlicht, was die weltweiten – und auch deutschen – THG-Senkungsziele wirklich bedeuten: in neun Jahren werden wir nur noch halb so viel Erdgas, Öl und Kohle verbrennen wie heute, in 23 Jahren wollen wir vollständig darauf verzichten. Wenn über diesen ambitionierten Ausstiegsplan ein gesellschaftlicher Konsens hergestellt wird, bekommt der Umbau den erforderlichen Schwung. Dazu ist eine eindeutige Kommunikation erforderlich, die die Bedeutung der Zielerreichung

¹ Auch hier gilt: Diese Schlussfolgerungen gelten für „normale Zeiten“, in denen die Energiepreissteigerungen nicht ohnehin Gegenstand der aktuellen politischen Diskussion und Berichterstattung sind, wie infolge des Angriffs Russlands auf die Ukraine und der Corona-Krise.

über tagesaktuelle Fragen und parteipolitische Belange stellt. Verbraucher benötigen zeitnahe und vergleichbare Informationen über ihren Wärmeverbrauch, zum Beispiel über Smart Meter. Gebäude Eigentümerinnen benötigen bessere Informationen über den Sanierungsbedarf und Sanierungsoptionen sowie über kommende ordnungsrechtliche Vorgaben, z.B. durch kostenlose Energieberatungen und Sanierungsfahrpläne.

3. Wohnflächenwachstum entgegenwirken. Die Sanierungserfolge werden durch die wachsende Wohnfläche zum Teil aufgewogen. Kurzfristig bedeutet dies: Umzüge erleichtern, indem überzogene Mietforderungen reguliert werden. Einer Zweckentfremdung von Wohnungen ist entgegenzuwirken, Wohnungstauschbörsen sollten Wohnflexibilität unterstützen.

Langfristig sind Gebäude zu entwickeln, die über flexible Grundrisse, teilbare Wohneinheiten, leicht durchzuführende Nutzungsänderungen und andere Elemente diesem Wachstum entgegenwirken.

4. Einem Rebound kann auch durch **Feedback für Verbraucher** entgegengewirkt werden. Über die Weiterentwicklung der EPBD bzw. deren Umsetzung in deutsches Recht müssen Heizungen in Zukunft mit Feedback-Einrichtungen ausgestattet werden, die darüber Auskunft geben, wie viel CO₂ und Kosten durch die Beheizung verursacht werden.

5. Temperaturbereinigung. Methodisch ist es wichtig, in Zukunft eine Bereinigungsmethode zu verwenden, die die Witterungseinflüsse eines Jahres für die statistische Erfassung herausrechnet. Wenn die reale Klimaerwärmung dabei aber nicht einbezogen wird, besteht die Gefahr, dass tatsächliche Verbrauchsrückgänge überkompensiert und damit unsichtbar werden. Kapitel 2.1 zeigt einen Vorschlag für ein angepasstes Verfahren.

Referenzen

AG Energiebilanzen e.V. (AGEB), 2013, Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2011 und 2012 mit Zeitreihen von 2008 bis 2012

AG Energiebilanzen e.V. (AGEB), 2019, Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2017

Agora Energiewende, 2021, Zwischen Rekordhoch und Abschaffung: Die EEG-Umlage 2021 in Zeiten der Corona-Krise, <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/zwischen-rekordhoch-und-abschaffung-die-eeu-umlage-2021-in-zeiten-der-corona-krise/>

Agora Energiewende, 2021, Ein Gebäudekonsens für Klimaneutralität. 10 Eckpunkte wie wir bezahlbaren Wohnraum und Klimaneutralität 2045 zusammen erreichen. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_02_Gebaeudekonsens/A-EW_217_Gebaeudekonsens_WEB.pdf

Agora Energiewende und Universität Kassel, 2020, Wie passen Mieterschutz und Klimaschutz unter einen Hut? https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_07_Warmmieten/A-EW_190_Mieterschutz_Klimaschutz_WEB.pdf

Asche, F., Nilsen, O., & Tveterås, R., 2008, Natural Gas Demand in the European Household Sector, The Energy Journal, 29(3), 27-46, <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol29-No3-2>

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2021, Klimafaktoren für Energieausweise, https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Energieausweise/Regelungen/Klimafaktoren/Klimafaktoren_node.html

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2019, Online-Publikation Nr. 04/2019, Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen, ISSN 1868-00

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2021, Gesamtausgabe der Energiedaten, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt.xls.xlsx?__blob=publicationFile&v=133

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2012, Mehr aus Energie machen: Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/nationaler-aktionsplan-energieeffizienz-nape.pdf?__blob=publicationFile&v=6

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), 2019, Wie heizt Deutschland 2019? BDEW Studie zum Heizbedarf, https://www.bdew.de/media/documents/Pub_20191031_Wie-heizt-Deutschland-2019.pdf

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), 2015, Wärmemonitor 2015: Mit der Erfahrung kommt der Sanierungserfolg, https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.543290.de/16-39-3.pdf

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), 2019, Für eine sozialverträgliche CO₂-Bepreisung

Deutscher Wetterdienst (DWD), 2021a, Klimadaten des Climate Data Centers (CDC): Mittelwerte für die einzelnen Bundesländer und für Gesamtdeutschland, https://open-data.dwd.de/climate_environment/CDC/regional_averages_DE/

Deutscher Wetterdienst (DWD), 2021b, Klimafaktoren (KF) für Energieverbrauchsabweise, <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html>

Energy Information Administration (EIA), 2020, Degree days, <https://www.eia.gov/energyexplained/units-and-calculators/degree-days.php>

Energy Information Administration (EIA), 2021, Price Elasticity for Energy Use in Buildings in the United States, https://www.eia.gov/analysis/studies/buildings/energyuse/pdf/price_elasticities.pdf#page9

Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS), 2019, Lenkungs- und Verteilungswirkungen einer klimaschutzorientierten Reform der Energiesteuern, https://foes.de/pdf/2019-07-FOES_CO2Preis_Hintergrundpapier_BMU.pdf

Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS), 2021, Soziale und ökologische Auswirkungen einer Senkung der EEG-Umlage, https://foes.de/publikationen/2021/2021-06_FOES_EEG_Umlagesenkung.pdf

Halbig, Guido und Joachim Namyslo (2014): Neue Witterungsbereinigung für Energieausweise auf der Basis des Referenzklimas Potsdam. EneV aktuell, IV, 2014, S. 11-13.

Heße, W. (2020). Energieeffiziente Wärmeversorgung von Gebäuden: Tatsächliche Versorgungsverhältnisse und Maßnahmen zur Effizienzsteigerung. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-27571-6>

Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OVGU), 2005, Der Mensch als wärmetechnisches System (Mess- und Regelungsmechanismus der Betriebstemperatur, Wärmeabgabe, Energieerhaltung, Gewichtsänderung, Behaglichkeit)

Institut Wohnen und Umwelt (IWU), 2015, Deutsche Wohngebäudetypologie, Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden – zweite erweiterte Auflage

Institut Wohnen und Umwelt (IWU), 2021, Klimadaten deutscher Stationen / Gradtagszahlen Deutschland, <https://www.iwu.de/fileadmin/Ftools/Fgradtagzahlen/Fgradtagzahlen-Deutschland.xls&usg=AOvVaw0rA-QoIJYq4df4598DVBzf>

Kahneman, D. und Tversky, A. (1979): Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*. 47(4), 263–291.

Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), 2020, Erstellung der Anwendungsbilanzen 2019 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland, https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=8&archiv=5&year=2020

Niessink, R.J.M., 2017, Temperature Correction—A Sensitivity Analysis, Energy Research Center of the Netherlands, <https://publicaties.ecn.nl/pdffetch.aspx?nr=ecn-n--17-039>

Schmitz, H., Madlener, R., 2020, Heterogeneity in Price Responsiveness for Residential Space Heating in Germany, Empirical Economics 59(5): 2255–2281, <https://doi.org/10.1007/s00181-019-01760-y>

Singhal, P., 2020, Inform Me When It Matters: Cost Saliency, Energy Consumption, and Efficiency Investments, SSRN Electronic Journal, <https://doi.org/10.2139/ssrn.3686418>

Statista, 2021, Durchschnittlicher Verbraucherpreis für leichtes Heizöl in Deutschland in den Jahren 1960 bis 2021, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2633/umfrage/entwicklung-des-verbraucherpreises-fuer-leichtes-heizoel-seit-1960/#professional>

Statista, 2021, Inlandsabsatz von leichtem und schwerem Heizöl in Deutschland in den Jahren 1950 bis 2019 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2474/umfrage/inlandsabsatz-von-heizoel-seit-1950/>

Statista, 2021, Wohnfläche je Einwohner in Wohnungen in Deutschland von 1991 bis 2019 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36495/umfrage/wohnflaeche-je-einwohner-in-deutschland-von-1989-bis-2004/>

Statistisches Bundesamt, 2019, Gebäude und Wohnungen, Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden, Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden, Lange Reihen ab 1969 – 2019

Statistisches Bundesamt (Destatis), 2020, Umweltökonomische Gesamtrechnungen, Private Haushalte und Umwelt

Stede, J., Bach, S., Ismer, R., Meßerschmidt, K., & Neuhoff, K., 2020a, Optionen zur Auszahlung einer Pro-Kopf-Klimaprämie für einen sozialverträglichen CO₂-Preis, https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.799699.de/diwkompakt_2020-155.pdf

Stede, J., Schütze, F., & Wietschel, J., 2020b, Wärmemonitor 2019: Klimaziele bei Wohngebäuden trotz sinkender CO₂-Emissionen derzeit außer Reichweite, DIW Wochenbericht, https://doi.org/10.18723/DIW_WB:2020-40-1

Techem, 2019, Studie Energiekennwerte 2019: Wärmewende in Not. <https://newsroom.techem.de/pressemappe/studien/energiekennwerte.html>

Umweltbundesamt, 2019, Wohnen und Sanieren – empirische Wohngebäudedaten seit 2002, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-06-03-barrierefrei-broschuere_wohnenundsaniieren.pdf

Umweltbundesamt, 2020, Endenergieverbrauch und -intensität für Raumwärme - Private Haushalte (witterungsbereinigt), <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#mehr-haushalte-grossere-wohnflachen-energieverbrauch-pro-wohnflache-sinkt>

Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2013, Richtlinie 3807 Blatt 1: Verbrauchskennwerte für Gebäude—Grundlagen, <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-3807-blatt-1-verbrauchskennwerte-fuer-gebaeude-grundlagen-1>

Zweifel, G., 2015, Neue Berechnung der Heizgradtage, *sia*, https://www.sia.ch/uploads/media/sia_tec21_19-20_2015_Heizgradtage.pdf

Anhang

Verfahren zur Witterungskorrektur in anderen Ländern

International werden unterschiedlich zur in Deutschland angewendeten Methodik in der Regel nicht Gradtagzahlen, sondern Heizgradtage (Heating Degree Days – HDD) zur Witterungskorrektur genutzt. Heizgradtage (HDD) sind in Abgrenzung zu Gradtagzahlen als einfache Differenz zwischen der Heizgrenztemperatur und dem Tagesmittel der Außentemperatur definiert, wenn diese unter der Heizgrenztemperatur liegt. Diese Methodik unterscheidet sich von den in Deutschland verwendeten Gradtagzahlen, bei denen die Differenz zwischen der Außentemperatur und einer zusätzlich definierten Raumtemperatur ermittelt wird, wenn die Außentemperatur unter die Heizgrenztemperatur fällt.

Neben diesem konzeptionell wichtigen Unterschied in der Methodik gibt es darüber hinaus weitere internationale Unterschiede durch variierende Heizgrenztemperatur zwischen den Ländern. Die Heizgrenztemperatur ist hierbei als der energetische Übergangspunkt eines Gebäudes zu begreifen, unterhalb dessen ein Gebäude nach Einbezug von internen Wärmegewinnen (Bewohner, elektrische Geräte) beheizt werden muss. Auch wenn länderbezogene Unterschiede der Heizgrenztemperatur zum Teil durch unterschiedliche energetische Standards des Gebäudebestands sowie durch unterschiedliche Klimazonen (ozeanisches oder kontinentales Klima) begründbar sind, so sind die Werte dennoch bis zu einem gewissen Grad arbiträr. Tabelle 3 stellt die Werte, welche in Deutschland genutzt werden, denen in den Niederlanden, der Schweiz und den USA gegenüber.

Tabelle 3: Unterschiede zwischen den Temperaturbereinigungsverfahren für CO₂-Emissionen, Energieverbrauch und Energiebedarf

Land	Heizgrenztemperatur	Raumtemperatur	Quelle/n
Deutschland	15 °C	20 °C	VDI 3807/1 (2013); Halbig & Namyslo (2014)
Niederlande	18 °C	-	Niessink (2017)
USA	18.33°C (65 °F)	-	EIA (2020)
Schweiz	12 °C	-	Zweifel (2015)

Vergleich der Witterungskorrektur beim DIW Wärmemonitor, Techem Energiekennwerten und AGEB/BMWi

Dem DIW Wärmemonitor sowie die Techem Energiekennwerte basieren auf Daten für gebäudespezifische Heizkostenabrechnungen. Die Daten des DIW Wärmemonitors umfassen dabei knapp 320.000 Zwei- und Mehrparteienhäuser mit ca. 3,2 Millionen Wohneinheiten die durch den Energiedienstleister ista Deutschland GmbH zur Verfügung gestellt werden. Die Techem Energiekennwerte basieren auf unternehmensinternen Daten der Techem Gruppe als Energiedienstleister und umfassen knapp 40.000 Zwei- und Mehrparteienhäuser mit ca. 430.000 Wohneinheiten. Zur Witterungskorrektur wird der effektive Verbrauch eines Gebäudes in der Stichprobe mit dem räumlich und zeitlich spezifischen Klimafaktor multipliziert, um so einen vergleichbaren kalkulatorischen Verbrauchswert zu generieren.

Die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) nähert sich der Thematik aus einer etwas anderen Perspektive. Ihr Ziel ist die möglichst genaue Abbildung des deutschen Primärenergieverbrauches insgesamt, wobei vor allem nach Energieträgern differenziert wird. Gegenwärtig erfolgt die Witterungsbereinigung im Rahmen eines Proportionalverfahrens über ein fortlaufendes langfristiges Mittel der Gradtagzahlen, basierend auf 16 Wetterstationen seit 1990, zu dem jede neue Heizperiode addiert wird. Diese Methodik wird jedoch momentan einer Überarbeitung unterzogen und durch ökonometrische Ergebnisse ergänzt werden.