

Marco Hartner, Svenja Carrigan, Oliver Kornadt, Christoph Beecken

Ist es wirklich nur der Nutzer?

Energiebedarfswerte nach EnEV versus tatsächlicher Energieverbrauch

Vorspann

In diesem Beitrag wird über die Erforschung der Ursachen für Abweichungen zwischen berechnetem Energiebedarf und tatsächlichem Energieverbrauch berichtet. Drei Einflussgruppen mit einer Anzahl an Einflussfaktoren wurden identifiziert und detailliert untersucht. Für mehrere Gebäudegruppen und -klassen können Empfehlungen für eine Korrektur der Berechnung gegeben werden, um systematische Abweichungen zum realen Energieverbrauch zu reduzieren.

Kernaussagen

- Hohe oder systematische Abweichungen zwischen berechnetem Energiebedarf und tatsächlichem Energieverbrauch können Aussagen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur energetischen Optimierung erschweren.
- Die vorliegenden Daten zeigen, dass Gebäude mit einem hohen (niedrigen) Primärenergiebedarf tendenziell einen wesentlich niedrigeren (höheren) Verbrauch im Vergleich zum nach EnEV errechneten Bedarf aufweisen.
- Für die untersuchten Gebäude hat die mittlere Raumlufttemperatur den größten Einfluss auf die Berechnung, allerdings hat die Überlagerung der Einflussgruppen Gebäudehülle und TGA einen etwa gleichbedeutenden Einfluss.

Hintergrund

Unterschiedliche Studien haben aufgezeigt, dass es Abweichungen zwischen berechneten Energiebedarfswerten nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) [1] und gemessenen Energieverbrauchswerten gibt [2–7].

Die Übereinstimmung von realen Verbrauchswerten mit den berechneten Bedarfswerten ist nicht primäres Ziel der EnEV bzw. des seit Oktober 2020 gültigen Gebäudeenergiegesetzes (GEG) [8], da hierdurch in erster Linie ein energetischer Mindeststandard für Gebäude in Deutschland sichergestellt und zugleich mit den Energieausweisen ein Vergleich der energetischen Qualität unterschiedlicher Gebäude ermöglicht werden soll.

Dennoch können hohe oder systematische Abweichungen zu Irritationen und zu einer Minderung der Akzeptanz der gesetzlichen Vorgaben führen. Ferner können zu erwartende Betriebskosten bei neuen oder sanierten Gebäuden oft nur unzureichend abgeschätzt werden und eine Aussage hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur energetischen Optimierung ist nicht mit ausreichender Präzision möglich.

In dieser Forschungsarbeit wurden die Abweichungen zwischen berechnetem Energiebedarf und vorhandenem Energieverbrauch für reale Gebäude ermittelt und nach ihrer Ursache geforscht [9].

Methodik

Es wurden insgesamt 34 Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) untersucht. Die Auswahl der Gebäude wurde basierend auf dem Gebäudebestand in Deutschland getroffen, wobei EFH und MFH einerseits die größte Anzahl aller Wohngebäude (EFH), andererseits einen ebenso

großen Anteil an Wohneinheiten (MFH) aufweisen [10]. Diese Gebäude wurden unterteilt in drei Gruppen: Bestandsgebäude mit Baujahr älter als 1995, welche nicht umfänglich saniert wurden (Gruppe 1), sanierte Gebäude oder Gebäude Baujahr 1995–2008, welche bereits höhere Anforderungen erfüllen, aber noch nicht nach der Normenreihe DIN V 18599 [11] bilanziert wurden (Gruppe 2) und Neubauten und Sanierungen ab 2009 bis 2014 (Gruppe 3).

Zunächst wurden die Energiebedarfswerte normgerecht nach EnEV ermittelt. Für alle Objekte lagen Pläne vor, allerdings waren vereinzelt einige Größen wie etwa der Wärmetransmissionskoeffizient (U-Wert) der Gebäudehülle oder Leitungslängen der technischen Gebäudeausrüstung unbekannt und konnten auch nicht durch eine Begehung des Objektes ermittelt werden. Hier wurde auf gesetzeskonforme Standardwerte [12] zurückgegriffen. Die Berechnungen wurden mit der Bilanzierungssoftware ZUB Helena Ultra [13] durchgeführt. Um die tatsächlichen Energieverbrauchswerte zu erhalten, wurden Verbrauchsabrechnungen aus mindestens drei Jahren herangezogen und für den Vergleich mit den Bedarfsausweisen standort- und witterungsbereinigt.

Es wurden drei Einflussgruppen für Abweichungen zwischen berechnetem Energiebedarf und tatsächlichem Energieverbrauch identifiziert: Nutzereinfluss, Gebäudehülle und technische Gebäudeausrüstung (TGA). Jede Einflussgruppe besitzt eine Anzahl an Einflussfaktoren, deren Auswirkung im Projektverlauf untersucht wurde. Hierfür wurden die Gebäude im thermischen Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS [14] nachgebildet und zunächst dieselben Randbedingungen für den Nutzer angenommen und alle wesentlichen Kennwerte hinsichtlich der Gebäudehülle, wie etwa U-Werte der Außenbauteile und alle Angaben der TGA, wie etwa Nennleistung und Wirkungsgrad des Wärmeerzeugers, aus der Energiebedarfsberechnung übernommen.

Um den Einfluss des Nutzers aufzeigen zu können, wurden unterschiedliche Nutzerprofile angelegt. Ausgehend von dem in DIN V 18599 normierten „Standardnutzer“ wurde jeweils ein Nutzerprofil für einen sparsamen sowie einen verschwenderischen Nutzer erstellt, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1 Nutzerprofile

Nutzerprofil	sparsam	Standard	verschwenderisch
Temperatur [°C]	17	20	23
Luftwechsel [1/h]	0,3	0,5	0,6
Interne Wärmequellen [Wh/m ² d]	40/80	45/90	50/100

Um zu untersuchen, welchen Einfluss eine veränderte energetische Qualität der Gebäudehülle im Vergleich zu den angenommenen Werten hat, wurden die in Tabelle 2 aufgelisteten Einflussfaktoren variiert.

Tabelle 2 Variation der Einflussfaktoren thermische Gebäudehülle

Einflussfaktoren	Variation		
U-Werte opak Boden	-20%	Referenzwert	+20%
U-Werte opak Wände	-20%	Referenzwert	+20%
U-Werte opak Decke	-20%	Referenzwert	+20%
U-Werte transparent	-20%	Referenzwert	+20%
Wärmebrückenzuschlag	0,03 W/m ² K	0,05 W/m ² K	0,10 W/m ² K
Infiltration (n ₅₀)	1,0 bzw. 2,0 1/h	4,0 1/h	-

Für die Untersuchung der TGA wurden zahlreiche Größen aus den Bereichen Erzeugung, Verteilung und Übergabe variiert [9].

Anhand dieser Einflussgruppen bzw. Einflussfaktoren wurde der Einfluss von Variationen der energetischen Qualität der Gebäudehülle, der TGA und des Nutzerverhaltens untersucht. Weiterhin wurde auch eine Überlagerung der drei Einflussgruppen untersucht.

Ergebnisse

Zunächst wurde für alle zu untersuchenden Gebäude der Energiebedarf und der Energieverbrauch ermittelt. In Abbildung 1 ist der spezifische Primärenergiebedarf auf der X-Achse und der spezifische Primärenergieverbrauch auf der Y-Achse für alle untersuchten Gebäude aufgetragen. Der Fall, dass Bedarf und Verbrauch übereinstimmen, wird mit der orangenen Linie dargestellt. Es ist zu erkennen, dass mit zunehmenden Primärenergiebedarf die absolute Abweichung von der Übereinstimmung zunimmt. Dies lässt die Vermutung zu, dass gerade ältere Gebäude mit einem hohen Primärenergiebedarf bei der Bedarfsberechnung zu schlecht bewertet werden. Betrachtet man die prozentualen Werte der Abweichungen wird ersichtlich, dass aber auch die vermeintlich kleinen Abweichungen im niedrigeren Primärenergiebereich prozentual gesehen in einer ähnlichen Größenordnung liegen können wie für Gebäude im höheren Primärenergiebereich. Die eingezeichnete Trendlinie (blau gepunktet) schneidet die Übereinstimmungsgerade bei etwa 75 kWh/m²a. Nach den vorliegenden Daten wurde dies bedeuten, dass Gebäude, welche einen berechneten Primärenergiebedarf von 75 kWh/m²a und geringer besitzen, tendenziell etwas zu optimistisch berechnet werden.

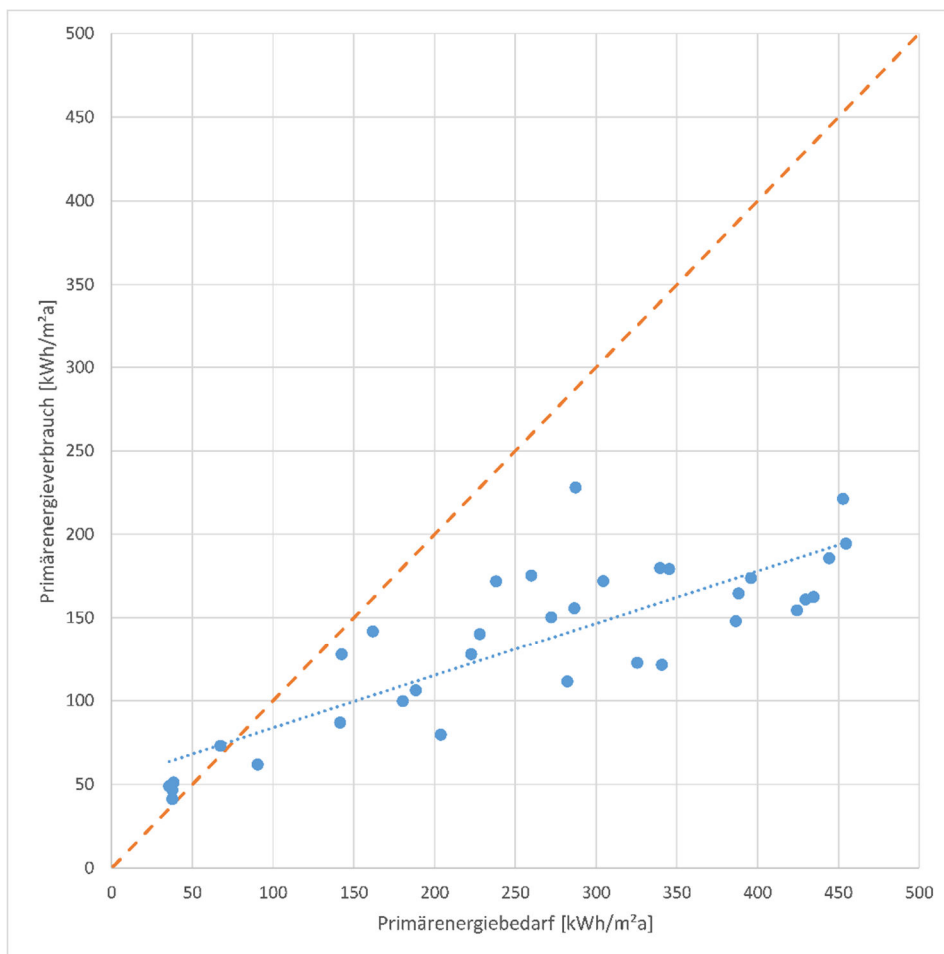


Abbildung 1 Vergleich Primärenergieverbrauch zu Primärenergiebedarf für alle Gebäude

Schlüsselt man diese Daten nach Gebäudeklasse (EFH / MFH) oder Gebäudegruppen auf, zeigen sich qualitativ ähnlich Verläufe. In Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Gruppe 3 gezeigt, bei welcher als einziger Gebäudegruppe der tatsächliche Primärenergieverbrauch den Primärenergiebedarf überschreitet.

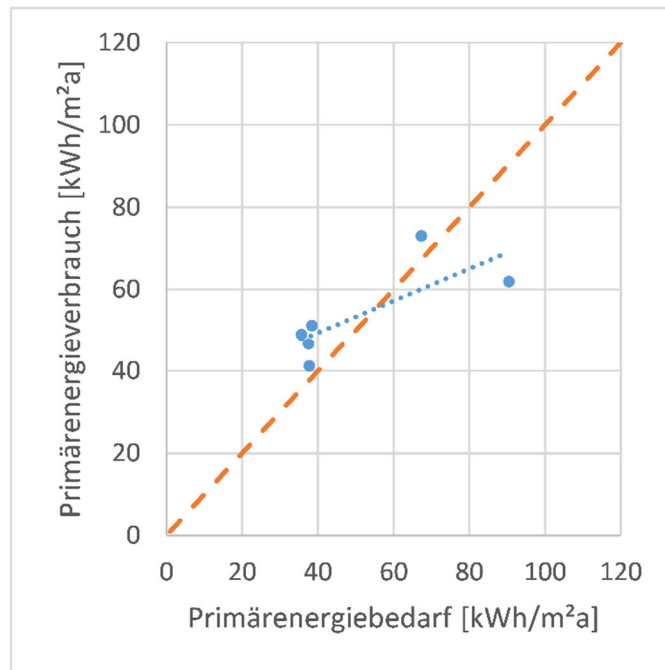


Abbildung 2 Vergleich Primärenergieverbrauch zu Primärenergiebedarf für die Gebäudegruppe G3

Die folgenden Abbildungen zeigen, in welchem Bereich die unterschiedlichen Abweichungen für die Gebäude liegen können. In den Abbildungen der jeweiligen Gebäude sind die Verbrauchsdaten (orange Linie), die Referenzvariante (schwarze Linie) sowie der jeweilige energetische Verbesserungsbereich (grüner Balken) und der energetische Verschlechterungsbereich (roter Balken) in Abhängigkeit der Einflussgruppen bzw. deren Überlagerung (Y-Achse) dargestellt. Für die Vergleichbarkeit wurden alle Werte auf die spezifische Primärenergie (X-Achse) bezogen.

Die Ergebnisse können in vier Gruppen eingeteilt werden. Die erste Gruppe von 9 Gebäuden, bei welcher durch die Variation aller Faktoren in eine energetisch verbessernde Richtung der tatsächliche Primärenergieverbrauch nachvollzogen werden kann, wird exemplarisch durch Abbildung 3 dargestellt.

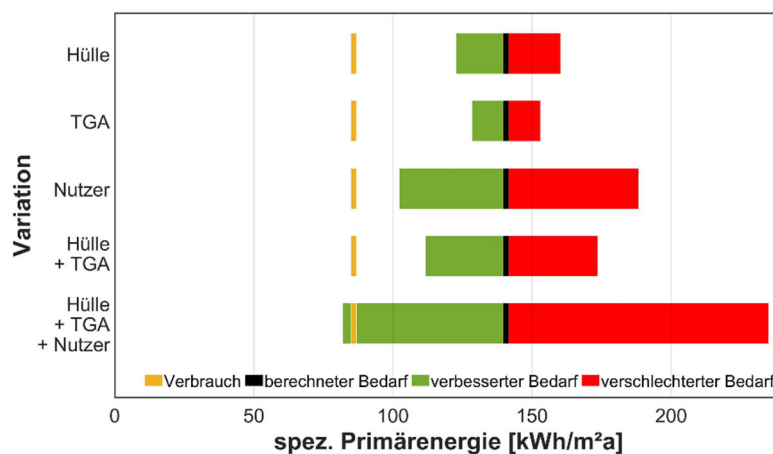


Abbildung 3 Einflussanalyse eines EFH aus Gebäudegruppe 2

Es ist zu erkennen, dass der Nutzer zwar einen erheblichen Einfluss darstellt, sich jedoch die tatsächlichen Verbräuche nicht durch einen sparsamen Nutzer allein erklären lassen. Weiterhin ist zu erkennen, dass die Überlagerung der Einflussgruppen Hülle und TGA einen ähnlich großen Einfluss wie der Nutzer haben können. Der tatsächliche Verbrauch kann für diese 9 Gebäude (EFH aus allen Gebäudegruppen, MFH aus Gebäudegruppe 1) erst durch die Überlagerung aller drei Einflussgruppen erreicht werden.

Für eine weitere Gruppe von 14 Gebäuden kann selbst das Ansetzen aller energetisch positiveren Werte der tatsächliche Verbrauch nicht nachvollzogen werden. Exemplarisch ist ein Gebäude in Abbildung 4 gezeigt. Bei diesen Gebäuden sind EFH und MFH der Gebäudegruppen 1 und 2 vertreten.

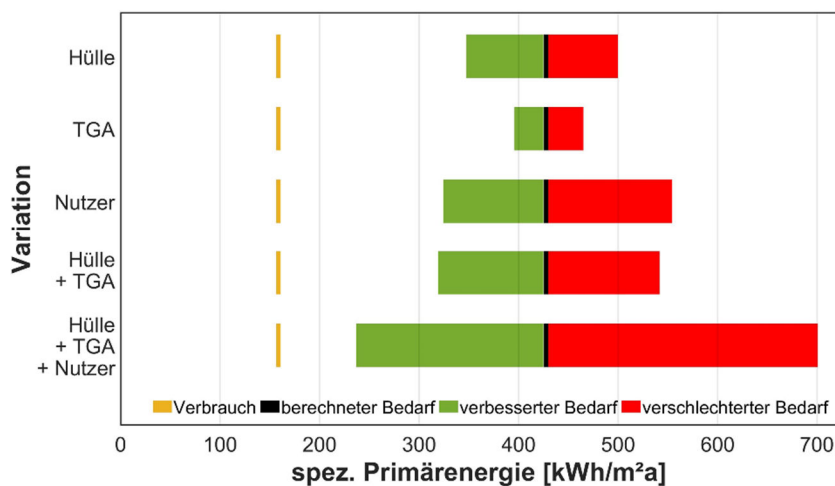


Abbildung 4 Einflussanalyse eines MFH aus Gebäudegruppe 2

Warum der Verbrauch trotz eines sparsamen Nutzerverhaltens sowie einer aus energetischer Sicht verbesserten Gebäudehülle und TGA nicht komplett nachvollzogen werden kann, ist nicht abschließend geklärt. Zum einen könnte ein noch sparsameres Nutzerverhalten vorliegen, zum anderen die Gebäudehülle weiterhin deutlich unterschätzt sein. Bei den Mehrfamilienhäusern erscheint ein noch sparsamerer Nutzer als unwahrscheinlich, hier könnte eine Kombination aus weiterhin unterschätzter energetischer Qualität der Hülle sowie den TGA-Komponenten vorliegen. Für diese Gebäude ist weiterer Forschungsbedarf gegeben.

In Gebäudegruppe 3 gibt es drei Gebäude, für welche der tatsächliche Verbrauch den Bedarf überschreitet und nur durch die Annahme aller energetisch unvorteilhaften Variationen nachvollzogen werden kann, exemplarisch siehe Abbildung 5.

Die letzte Gruppe an Gebäuden sind vier Gebäude, bei welchen der tatsächliche Verbrauch den Bedarf teilweise unter- aber auch überschreitet. Der Verbrauch dieser Gebäude kann fast immer durch jede Einflussgruppe für sich nachvollzogen werden (exemplarisch siehe Abbildung 6). Diese Gebäude sind den Gebäudegruppen 2 und 3 zugeordnet. Einer der Gründe, dass der tatsächliche Verbrauch durch fast jede Einflussgruppe nachvollzogen werden kann, ist, dass die anfängliche Abweichung sehr gering ist. Dies könnte zum einen auf ein sehr EnEV-konformes Nutzerverhalten zurückzuführen sein. Ebenfalls kann eine gute Datengrundlage hinsichtlich der Gebäudehülle und TGA, wie sie in der Gebäudegruppe 3 und teilweise in der Gebäudegruppe 2 vorlag, zur Verringerung der Abweichungen beitragen. Jedoch sind auch gewisse Überlagerungseffekte der einzelnen Einflussfaktoren in den Gruppen und über die Gruppen hinweg nicht auszuschließen.

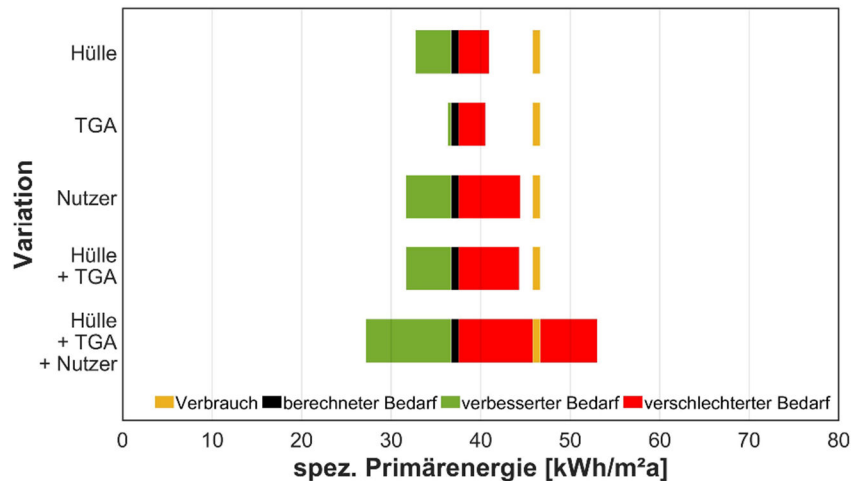


Abbildung 5 Einflussanalyse eines MFH aus Gebäudegruppe 3

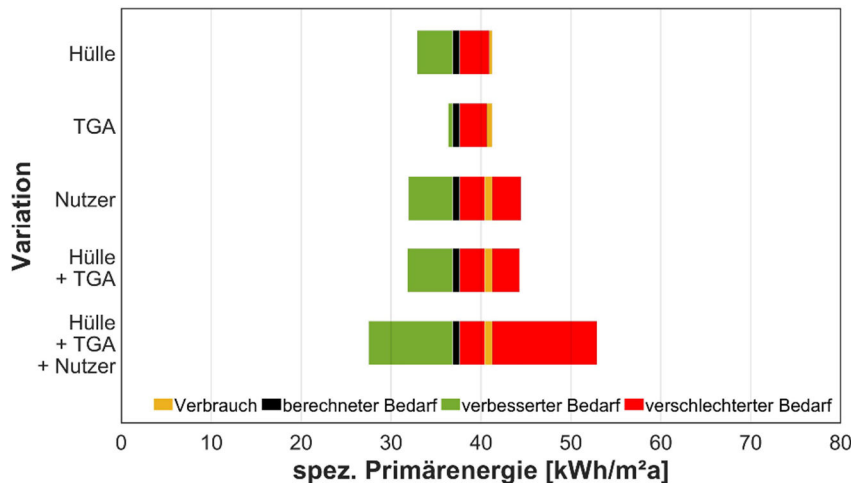


Abbildung 6 Einflussanalyse eines MFH aus Gebäudegruppe 2

Die Untersuchung der Einflussgruppen Nutzereinfluss, Gebäudehülle und TGA hat ergeben, dass unterschiedliche Kombinationen dieser Gruppen den tatsächlichen Verbrauch beschreiben können bzw. sich ihm stark annähern. Welches jedoch die wichtigsten Einflussfaktoren sind, konnte durch diese Betrachtung nicht ermittelt werden. Daher war eine Betrachtung des Einflusses einzelner Einflussfaktoren notwendig. Diese wurden nun in Folge einzeln variiert.

Für die hier vorliegenden Daten zeigt die mittlere Raumlufttemperatur (Einflussgruppe Nutzer) den größten Einfluss auf die Berechnung. Allerdings hat die Überlagerung der Einflussgruppen Hülle und TGA einen etwa gleichbedeutenden Einfluss. Einen detaillierten Überblick über die Ergebnisse der einzelnen Variationen gibt [9].

Für eine Empfehlung einer möglichen Anpassung der Berechnung zur systematischen Verringerung der Abweichung des berechneten Energiebedarfs vom tatsächlichen Energieverbrauch, basierend auf den vorliegenden Daten, werden die Gebäude in Gebäudeklassen und -gruppen unterteilt betrachtet. Für Gebäude der Gebäudegruppe 1, sowohl Ein- als auch Mehrfamilienhäuser, ist die Vorgehensweise einer energetisch positiveren Betrachtungsweise (sparsamer Nutzer, verbesserte TGA und Hülle) sinnvoll, um für die Mehrzahl der Gebäude den berechneten Bedarf deutlich an den

realen Verbrauch anzunähern. Für Einfamilienhäuser der Gebäudegruppe 2 ist das Ansetzen von energetisch positiven Werten für die Hüll- und TGA-Komponenten sinnvoll, jedoch sollte der Nutzer nach den vorliegenden Daten als nicht zu sparsam angesetzt werden, da die Annahme von 19 °C anstelle von 17 °C für die mittlere Raumlufttemperatur eine verbesserte mittlere Übereinstimmung bewirkt. Für Einfamilienhäuser der Gebäudegruppe 3 ist die Datenlage nicht ausreichend, somit wird keine Empfehlung ausgesprochen. Für Mehrfamilienhäuser der Gebäudegruppe 2 erscheint die energetisch positive Variierung der Einflussgruppen Nutzer, Hülle und TGA als zielführend. Hierbei müsste jedoch nach den vorliegenden Daten eine noch positivere Betrachtung der Einflussgruppen Hülle und TGA stattfinden. Für Mehrfamilienhäuser der Gebäudegruppe 3 erscheint die verminderte energetische Qualität der Einflussgruppen Hülle und TGA ein Schritt in die richtige Richtung zu sein. Ein zu verschwenderischer Nutzer mit einer mittleren Raumtemperatur von 23 °C ergab jedoch eine zu hohe Verschiebung der Abweichung, hier erzielte eine nur leichte Erhöhung der mittleren Raumtemperaturen auf 21 °C eine bessere Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Verbrauch.

Zusammenfassung

In dieser Forschungsarbeit wurden die Abweichungen zwischen berechnetem Energiebedarf und tatsächlich vorhandenem Energieverbrauch für 34 reale Gebäude ermittelt und nach ihrer Ursache geforscht.

Es wurden drei mögliche Einflussgruppen für Abweichungen identifiziert: Nutzereinfluss, Gebäudehülle und technische Gebäudeausrüstung. Jede Einflussgruppe besitzt eine Anzahl an Einflussfaktoren, deren Auswirkungen detailliert untersucht wurde.

Für die Auswahl der zu untersuchenden Gebäude wurde der Gebäudebestand in Deutschland ausgewertet und die zwei Gebäudeklassen Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser ausgewählt, da diese beiden Klassen den größten Gebäude- bzw. Wohnungsanteil in Deutschland darstellen. Weiterhin wurde eine Einteilung in drei Gebäudegruppen, nach Baujahr bzw. nach energetischem Sanierungsstand, vorgenommen.

Die Untersuchung der Gebäude erfolgte zum einen mit dem Berechnungstool ZUB Helena Ultra, mit dem EnEV-konforme Energieausweise erstellt werden können, und zum anderen mit dem thermischen Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS, das eine detailliertere Erfassung der realen Gegebenheiten des Gebäudes und der Randbedingungen erlaubt.

Nach dem Abgleich der Energieverbräuche und -bedarfe wurde, nach den vorliegenden Daten, ersichtlich, dass Gebäude mit einem hohen (niedrigen) Primärenergiebedarf tendenziell einen wesentlich niedrigeren (höheren) Verbrauch im Vergleich zum nach EnEV errechneten Bedarf aufweisen.

In jeder der drei möglichen Einflussgruppen wurden die als wesentlich erachteten Einflussfaktoren in eine, aus energetischer Sicht, positive sowie negative Richtung variiert. Weiterhin wurde auch eine Überlagerung der drei Einflussgruppen untersucht. Diese Untersuchung ergab, dass der tatsächliche Energieverbrauch für einen Teil der Gebäude durch die Überlagerung der drei Einflussgruppen nachvollzogen werden konnte. Für einen anderen Teil konnte, bedingt durch eine bereits sehr geringe Abweichung, der Verbrauch durch jede einzelne Einflussgruppe nachvollzogen werden. Für die restlichen Gebäude konnte der tatsächlich auftretende Verbrauch nicht in Gänze nachvollzogen werden. Über Gebäudegruppen und -klassen hinweg konnte durch die Überlagerung der drei Einflussgruppen Nutzer, Hülle und TGA die mittlere Abweichung über alle Gebäude deutlich reduziert werden.

Insbesondere zur Untersuchung der Gebäude, bei welchen der Verbrauch durch jede Einflussgruppe nachvollzogen werden konnte, und für die Gebäude, für welche der Verbrauch nicht nachvollzogen werden konnte, wurde eine Untersuchung der einzelnen Einflussfaktoren in den jeweiligen Einflussgruppen durchgeführt. Diese ergab, für die hier vorliegenden Daten, dass die mittlere Raumlufttemperatur den mit Abstand größten Einfluss auf die Berechnung besitzt. Weiterhin hat die Überlagerung der Einflussgruppen Gebäudehülle und TGA einen etwa gleichbedeutenden Einfluss.

Es wurden basierend auf der vorliegenden Datengrundlage vorläufige Empfehlungen für unterschiedliche Gebäudegruppen und -klassen gegeben. Diese Empfehlungen beschreiben einen exemplarischen Ansatz, wie eine Korrektur der EnEV vollzogen werden könnte, um systematische Abweichungen zum realen Verbrauch zu reduzieren. Um endgültige wissenschaftlich belastbare Verfahren quantitativ angeben zu können, ist eine höhere Datenbasis erforderlich.

Danksagung

Der Autor*innen bedanken sich für die Förderung dieser Forschungsarbeit durch die Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung.

Literatur

- [1] Deutsche Bundesregierung: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Energieeinsparverordnung – EnEV. Bundesgesetzblatt (2013) Teil I, Nr. 67, S. 3951-3990
- [2] Hoffmann, Caroline; Geissler, Achim: Dem Prebound Effekt auf der Spur - Differenzen zwischen dem Heizwärmeverbrauch und dem rechnerisch ermittelten Heizwärmebedarf bei Bestandsgebäuden (Wohnen). In: Bauphysik 39 (2017), S. 159–174
- [3] Hofmann, Markus; Geyer, Christoph; Kornadt, Oliver: Innenraumklimamessungen und Bewertung ihrer Verwendung in Gebäudesimulationen. In: Bauphysik in Forschung und Praxis - Bauphysiktag Kaiserlautern 2017. Schriftenreihe des Fachgebiets Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung, ISSN 2363-8206, ISBN 978-3-95974-067-8
- [4] Hofmann, Markus; Geyer, Christoph; Kornadt, Oliver: Auswertung von Raumklimamessungen und Bestimmung typischer Taupunkttemperaturen in natürlich belüfteten Wohnzimmern. In: Bauphysik 39 (2017), S. 151–158
- [5] Knissel, Jens; Alles, Roland; Born, Rolf et al.: Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten zur Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspiegeln. Abschlussbericht zu dem Forschungsprojekt „Entwicklung eines vereinfachten Verfahrens zur Ermittlung gebäudespezifischer Primärenergiekennwerte, geeignet als Bewertungsmerkmal im Mietspiegel“. Darmstadt: Selbstverlag, 2006
- [6] Stolte, Christian; Marcinek, Heike; Bigalke, Uwe et al.: Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizient sanierter Wohngebäude. Begleitforschung zum dena-Modellvorhaben Effizienzhäuser. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2013
- [7] Merzkirch, Alexander; Hoos, Thorsten; Maas, Stefan et al.: Wie genau sind unsere Energiepässe? Vergleich zwischen berechneter und gemessener Endenergie in 230 Wohngebäuden in Luxemburg. In: Bauphysik 36 (2014), S. 40–43
- [8] Deutsche Bundesregierung: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden. Gebäudeenergiegesetz - GEG, 2020. Bundesgesetzblatt (2020) Teil I Nr. 37, S. 728-794

[9] Kornadt, Oliver; Carrigan, Svenja; Hartner, Marco et al.: Analyse der Diskrepanz zwischen berechnetem Energiebedarf nach EnEV und tatsächlichem Energieverbrauch. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2021

[10] Statistische Ämter des Bundes und der Länder: Gebäude- und Wohnungsbestand in Deutschland. Erste Ergebnisse der Gebäude- und Wohnungszählung 2011. Hannover: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2014

[11] DIN V 18599-2011: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2011

[12] Deutsches Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand. Berlin 2015

[13] ZUB Systems GmbH: ZUB Helena Ultra. ZUB Systems GmbH, 2019

[14] Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison: TRNSYS 18 TRaNsient SYstem Simulation program, 2018