

# Energie

Forschung und Technik | Projekte | Interviews



Ausgewählte Fachartikel  
und Interviews aus der **Bauen +**



Mitglied der  
**DGNB**  
Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen  
German Sustainable Building Council

# Die App zur Bauen +

Als Abonnent haben Sie Zugang zur Bauen+ App.\*



## Ihre Vorteile:

- + Noch mehr Inhalt: Zusatzmaterialien ergänzend zum Heft
- + Praktische Kommentarfunktion: Lesezeichen und Notizen setzen und direkt mit Kollegen teilen
- + Jederzeit verfügbar: Sowohl am Desktop als auch unterwegs nutzbar



Erfahren Sie mehr über das eJournal und die App unter <https://www.bauenplus.de/zeitschrift/ejournal>

\*Der Zugang zur App und zum eJournal ist im Premium-Abonnement bereits enthalten.

Weniger ist mehr. Angesichts Klimakrise und Ressourcenknappheit gilt dies insbesondere beim Thema Energieverbrauch. Einsparungen und innovative Technik zur Gewinnung und -verwendung von Energie sind deshalb wirkungsvolle Hebel, um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu bremsen und die Folgen der Verschwendung und Fehleinschätzung im Bauwesen für das Klima abzumindern.

Unter dem Motto »Mehr Fortschritt wagen« hat sich die neue Regierung im Koalitionsvertrag zu diesem Richtungswechsel verpflichtet. Das Klima soll gerettet, Energieresourcen geschont und die Preisexplosion alternativer Energiequellen gestoppt werden. Im Bereich des Bauens und Wohnens werden diese Aufgaben an verantwortlicher Stelle bei einem neu eingesetzten Bauministerium angesiedelt. Dort sind rasche und beherzte Vorwärtsbewegungen auf einem eher holprigen trägen Spielfeld gefragt. Zum Glück sind andererseits die Möglichkeiten zu klugem und mutigem Handeln vielfältig.

Von Beginn an hat **Bauen+** deshalb den Bereich »Energie« als einen der vier Schwerpunkte behandelt und die Themen »Ressourcen- und Energiebedarf« im Bauwesen in die breite Öffentlichkeit getragen. Projektbeispiele, die wir im zweiten Band der **Edition Bauen+** vorstellen, zeugen davon. Angeführt wird die Auswahl von einem »Sonnenhaus mit zukunftsweisendem Energie- und Baukonzept« das gleichzeitig einen Aufruf zu einer neuen Zeit des solaren Bauens darstellt. Neben einem dreigeschossigen Verwaltungsgebäude aus Holz als moderne Visitenkarte und der beeindruckenden Verwandlung der Melancthon-Kirche als Beispiel erfolgreicher Neustrukturierung mit energetischer Sanierung, beweist ein effektiver Makadamspeicher, dass die Speicherung von Energie und Wärme nicht teuer sein muss.

Passend dazu bereiten wir eine Vielzahl umsetzbarer Informationen auf. Wir berichten über richtungsweisende Forschung und Technik, die sich bewährt haben und in der Praxis angekommen sind. Die Beiträge dazu untersuchen u. a. Möglichkeiten und Voraussetzungen für eine Solarpflicht, betreiben eine Potenzialanalyse des Einsatzes bestehender Heizsysteme zur Raumkühlung und berichten über Beispielprojekte für neue Dämmstoffe auf dem Weg in die praktische Anwendung.

Diese und weitere vielfältige Artikel in **Bauen+** aus dem Bereich »Energie« haben auch nach ihrem Erscheinen in der Zeitschrift an Aktualität und Relevanz nichts eingebüßt. Es lohnt sich, sie einer aufmerksamen Leserschaft als Akteure im Bauwesen in einem Buch gebündelt zur Verfügung zu stellen. Die **Edition Bauen+ Energie** bietet mit dieser kompakten Sammlung einen wichtigen Baustein für ein neues, umweltbewusstes und nachhaltiges Baugeschehen. Der zweite Band der Buchreihe hilft, alle am Bau Beteiligten zu informieren und zu inspirieren. Mögen sie damit »mehr Fortschritt wagen« und sehenswerte sowie nachhaltige Architektur im Sinne einer besseren Zukunft umsetzen.

Wir wünschen Ihnen eine spannende und informative Lektüre.

Im Dezember 2021

Reinhard Eberl-Pacan, Klaus-Jürgen Edelhäuser, Birger Gigla

## FORSCHUNG UND TECHNIK

- Marco Hartner, Svenja Carrigan, Oliver Kornadt und Christoph Beecken  
**Energiebedarfswerte nach EnEV versus Energieverbrauch**  
Ist es wirklich nur der Nutzer? ..... 9
- Katja Biek  
**Grundtemperierung eines Altbaus**  
Thermische Aktivierung der Gebäudehülle ..... 14
- Anton Maas, Marc Klatecki und Rolf Gross  
**Wärmedämmung und Luftdichtheit von Bestandsgebäuden mit Einblasdämmung und Dichtklebern verbessern**  
Untersuchungen zur gezielten Injektion von zusätzlichem Dämmstoff ..... 20
- Gabriele Purper  
**Möglichkeiten und Voraussetzungen für eine Solarpflicht**  
Bestehende und gesetzlich mögliche Regelungen ..... 23
- Karin Gruhler, Jan Reichenbach, Sonja Steinmetzer und Georg Schiller  
**Wo steht das Recycling von Bauprodukten energetisch?**  
Beim Recycling anfallender Energieaufwand von der Aufbereitung des Bauabbruchs über seine Weiterverarbeitung bis zum neuen Bauprodukt ..... 27
- Matthias Pazold, Sabine Giglmeier, Matthias Winkler und Zhenming Peng  
**Potenzialanalyse des Einsatzes bestehender Heizsysteme zur Raumkühlung**  
Einsatzmöglichkeiten und Grenzen ..... 34
- Thomas Jocher, Jakub Pakula und Diego Romero  
**LUX: natürliche Ressource in Stadt und Haus**  
Geometrische Zusammenhänge von städtebaulichen Anordnungen und Tageslichtausbeute in der Planung nutzen ..... 40
- Micha Illner  
**Neue Dämmstoffe auf dem Weg in die praktische Anwendung**  
Fünf Beispielprojekte aus der Forschungsinitiative »HighTechMatBau« ..... 45
- Uta Schneider-Gräfin zu Lynar, Judith Commenges, Sebastian Dybowski, Hauke Meyer, Marie Preuß, Thomas Bäumer, Stephanie Huber, Tobias Popovic und Andreas Schmitt  
**Energieeffizienter Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere**  
Erkenntnisse aus dem 3 %-Projekt ..... 51

Ralf Spilker und Géraldine Liebert	
<b>Sonnenenergie gewinnen und Regensicherheit erhalten</b>	
Häufige Fehler und deren Vermeidbarkeit anhand typischer Schadensfälle	58
Franziska Bockelmann, Thomas Wilken und M. Norbert Fisch	
<b>Elektrische Speicher in EffizienzhausPLUS Wohngebäuden</b>	
Hohe solare Deckungsanteile durch Eigenstromnutzung	62
Klaus W. König	
<b>Holzpellets – klimaneutral heizen</b>	
Holz nutzen, erneuerbar heizen, Klima schützen	70
Arnold Drewer und Kerstin Paschko	
<b>Die Wahl des optimalen Dämmstoffs</b>	
Vergleich hinsichtlich Kosten, Amortisationszeit und CO <sub>2</sub> -Einsparung	74
<b>EXPERTENINTERVIEWS</b>	
Wolfgang Linden	
<b>»Die Zukunft der Nachhaltigkeit oder ist Nachhaltigkeit die Zukunft?«</b>	80
Angelika Smuda	
<b>»Zukunft Bau – effiziente Ressourcennutzung«</b>	84
Ove Mørck	
<b>»Das Konzept der vorgefertigten Bauelemente ist auch für die energetische Renovierung von Gebäuden geeignet«</b>	88
Ove Mørck	
<b>»Schwimmbad sanieren für Smart Cities«</b>	90

## PROJEKTE

Oliver Berghamer und Uwe Fickenscher <b>Sonnenhaus mit zukunftsweisendem Energie- und Baukonzept</b> Aufruf zu einer neuen Zeit des solaren Bauens .....	94
Bernd Bonso <b>Wärmespeicherung mit einem Makadam-speicher</b> Effektive Wärmespeicherung muss nicht teuer sein .....	100
Eva Maria Mittner <b>Dreigeschossiges Verwaltungsgebäude aus Holz</b> Holzbau als moderne Visitenkarte .....	106
Eva Maria Mittner <b>Beeindruckende Verwandlung der Melanchthon-Kirche</b> Neustrukturierung mit energetischer Sanierung in Hannover-Bult erfolgreich umgesetzt .....	109
Achim Pilz <b>Plusenergiehof auf dem Land</b> Hof setzt Maßstäbe hinsichtlich Nachhaltigkeit, innovativer Technologie und Gestaltung .....	113
Melita Tuschinski <b>Das GebäudeEnergieGesetz passiert das Bundeskabinett</b> Wie der neue Entwurf die parallel laufenden Regeln zusammenführt .....	119
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	125
<b>Impressum</b> .....	130

Marco Hartner, Svenja Carrigan, Oliver Kornadt und Christoph Beecken <b>Energiebedarfswerte nach EnEV versus Energieverbrauch</b> Ist es wirklich nur der Nutzer? _____	9
Katja Biek <b>Grundtemperierung eines Altbaus</b> Thermische Aktivierung der Gebäudehülle _____	14
Anton Maas, Marc Klatecki und Rolf Gross <b>Wärmedämmung und Luftdichtheit von Bestandsgebäuden mit Einblasdämmung und Dichtklebern verbessern</b> Untersuchungen zur gezielten Injektion von zusätzlichem Dämmstoff _____	20
Gabriele Purper <b>Möglichkeiten und Voraussetzungen für eine Solarpflicht</b> Bestehende und gesetzlich mögliche Regelungen _____	23
Karin Gruhler, Jan Reichenbach, Sonja Steinmetzer und Georg Schiller <b>Wo steht das Recycling von Bauprodukten energetisch?</b> Beim Recycling anfallender Energieaufwand von der Aufbereitung des Bauabbruchs über seine Weiterverarbeitung bis zum neuen Bauprodukt _____	27
Matthias Pazold, Sabine Giglmeier, Matthias Winkler und Zhenming Peng <b>Potenzialanalyse des Einsatzes bestehender Heizsysteme zur Raumkühlung</b> Einsatzmöglichkeiten und Grenzen _____	34
Thomas Jocher, Jakub Pakula und Diego Romero <b>LUX: natürliche Ressource in Stadt und Haus</b> Geometrische Zusammenhänge von städtebaulichen Anordnungen und Tageslichtausbeute in der Planung nutzen _____	40
Micha Illner <b>Neue Dämmstoffe auf dem Weg in die praktische Anwendung</b> Fünf Beispielprojekte aus der Forschungsinitiative »HighTechMatBau« _____	45
Uta Schneider-Gräfin zu Lynar, Judith Commenges, Sebastian Dybowski, Hauke Meyer, Marie Preuß, Thomas Bäumer, Stephanie Huber, Tobias Popovic und Andreas Schmitt <b>Energieeffizienter Sanierungsfahrplan für kommunale Quartiere</b> Erkenntnisse aus dem 3 %-Projekt _____	51

Ralf Spilker und Géraldine Liebert

**Sonnenenergie gewinnen und Regensicherheit erhalten**

Häufige Fehler und deren Vermeidbarkeit anhand typischer Schadensfälle ..... 58

Franziska Bockelmann, Thomas Wilken und M. Norbert Fisch

**Elektrische Speicher in EffizienzhausPLUS Wohngebäuden**

Hohe solare Deckungsanteile durch Eigenstromnutzung ..... 62

Klaus W. König

**Holzpellets – klimaneutral heizen**

Holz nutzen, erneuerbar heizen, Klima schützen ..... 70

Arnold Drewer und Kerstin Paschko

**Die Wahl des optimalen Dämmstoffs**

Vergleich hinsichtlich Kosten, Amortisationszeit und CO<sub>2</sub>-Einsparung ..... 74

Marco Hartner, Svenja Carrigan, Oliver Kornadt und Christoph Beecken

# Energiebedarfswerte nach EnEV versus Energieverbrauch

## Ist es wirklich nur der Nutzer?

*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.*

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 der Forschungsarbeit »Analyse der Diskrepanz zwischen berechnetem Energiebedarf nach EnEV und tatsächlichem Energieverbrauch« wurden die Abweichungen zwischen berechnetem Energiebedarf und vorhandenem Energieverbrauch für reale Gebäude ermittelt und nach ihren Ursachen 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 in drei Gruppen unterteilt: Bestandsgebäude mit Baujahr älter als 1995, welche nicht umfänglich saniert wurden (Gruppe 1), sanierte Gebäude oder Gebäude mit Baujahr 1995–2008, welche bereits höhere Anforderungen erfüllen, aber noch nicht nach der Normreihe 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 Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) der Gebäudehülle oder Leitungslängen der technischen Gebäudeausrüstung, unbekannt und konnten auch nicht durch eine Begehung des Objekts ermittelt werden. Hier wurde auf gesetzteskonforme Standardwerte [12] zurückgegriffen. Die Berechnungen wurden mit der Bilanzierungs-

#### 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 Raumlufthtemperatur den größten Einfluss auf die Berechnung, allerdings hat die Überlagerung der Einflussgruppen Gebäudehülle und TGA einen etwa gleichbedeutenden Einfluss.

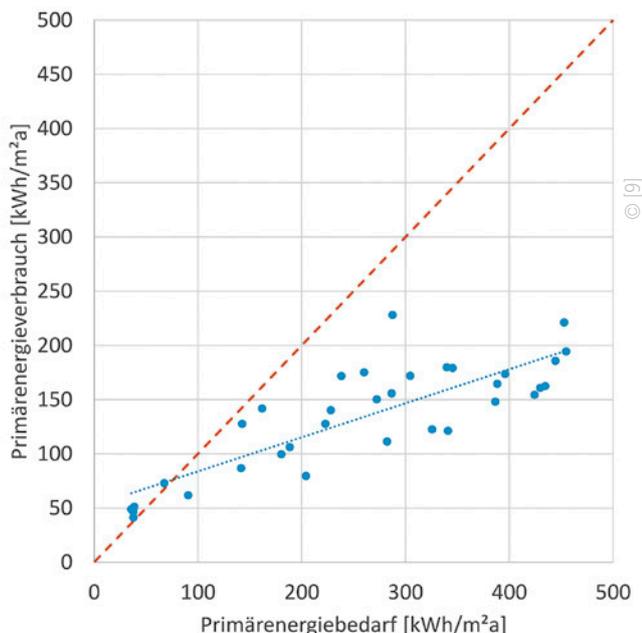


Abb. 1: Vergleich Primärenergieverbrauch zu Primärenergiebedarf für alle Gebäude

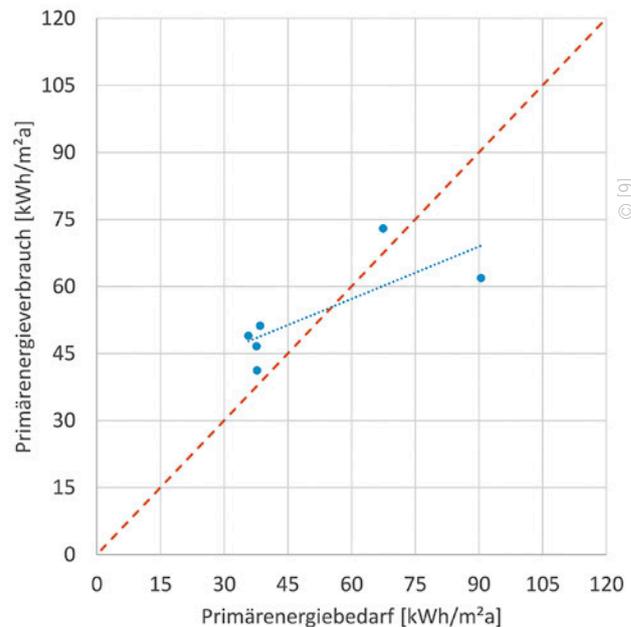


Abb. 2: Vergleich Primärenergieverbrauch zu Primärenergiebedarf für die Gebäudegruppe 3

software 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. Alle wesentlichen Kennwerte hinsichtlich der Gebäudehülle, wie etwa U-Werte der Außenbauteile und alle Angaben der TGA, wie Nennleistung und Wirkungsgrad des Wärmeerzeugers, wurden 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 Tab. 1.

Um zu untersuchen, welchen Einfluss eine veränderte energetische Qualität der Gebäudehülle im Vergleich zu

den angenommenen Werten hat, wurden die in Tab. 2 aufgelisteten Einflussfaktoren variiert.

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 sowie eine Überlagerung der drei Einflussgruppen.

## Ergebnisse

Zunächst wurde für alle zu untersuchenden Gebäude der Energiebedarf und der Energieverbrauch ermittelt. In Abb. 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 orange-farbenen, gestrichelten 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

Tab. 1: Nutzerprofile

Nutzerprofil	sparsam	Standard	verschwen- derisch
Temperatur [°C]	17	20	23
Luftwechsel [1/h]	0,3	0,5	0,6
Interne Wärmequellen [Wh/m²d]	40/80	45/90	50/100

Tab. 2: Variation der Einflussfaktoren thermische Gebäudehülle

Einflussfaktoren	verbessert	Referenzvariante	verschlechtert
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/m²K	0,05 W/m²K	0,10 W/m²K
Infiltration (n50)	1,0 bzw. 2,0 1/h	4,0 1/h	4,0 1/h

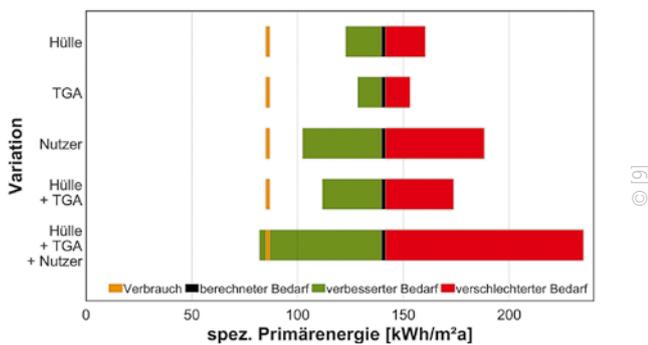


Abb. 3: Einflussanalyse eines EFH aus Gebäudegruppe 2

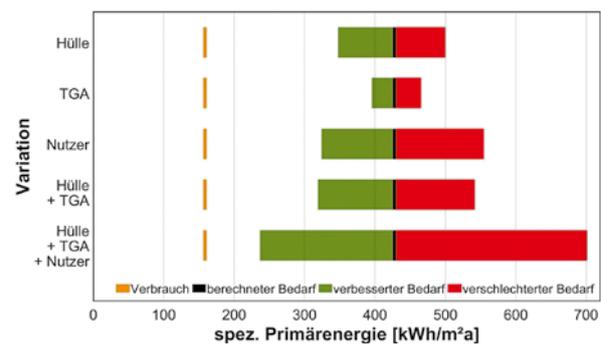


Abb. 4: Einflussanalyse eines MFH aus Gebäudegruppe 2

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  $75 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Nach den vorliegenden Daten würde dies bedeuten, dass Gebäude, welche einen berechneten Primärenergiebedarf von  $75 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  und geringer besitzen, tendenziell etwas zu optimistisch berechnet werden.

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

Die Abbildungen 3 bis 6 zeigen, in welchem Bereich die unterschiedlichen Abweichungen für die Gebäude liegen können. In den Abbildungen der jeweiligen Gebäude sind die Verbrauchsdaten (orange Linie), der berechnete Bedarf der 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 neun Gebäuden, bei der durch die Variation aller Faktoren in eine energetisch verbessernde Richtung der tatsächliche Primärenergieverbrauch nachvollzogen werden kann, wird exemplarisch durch Abb. 3 dargestellt.

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 neun 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 durch das Ansetzen aller energetisch positiveren Werte

der tatsächliche Verbrauch nicht nachvollzogen werden. Exemplarisch ist ein Gebäude in Abb. 4 gezeigt. Bei diesen Gebäuden sind EFH und MFH der Gebäudegruppen 1 und 2 vertreten.

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 die der tatsächliche Verbrauch den Bedarf überschreitet und nur durch die Annahme aller energetisch unvorteilhaften Variationen nachvollzogen werden kann, exemplarisch siehe Abb. 5.

Die letzte Gruppe an Gebäuden sind vier Gebäude, bei denen 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 Abb. 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 die anfängliche sehr geringe Abweichung. Dies könnte 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.

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. Was jedoch die wichtigsten Einflussfaktoren sind, konnte durch diese Betrachtung nicht ermittelt werden. Daher war eine Betrachtung des Einflusses einzelner Ein-

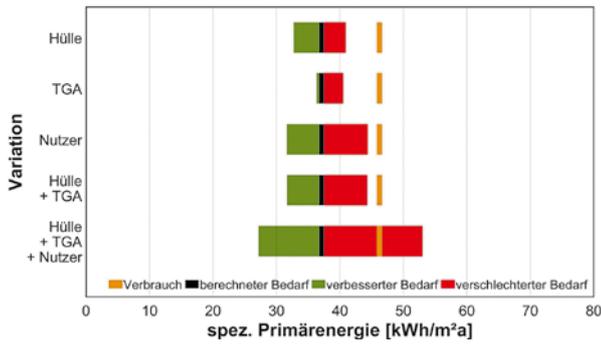


Abb. 5: Einflussanalyse eines MFH aus Gebäudegruppe 3

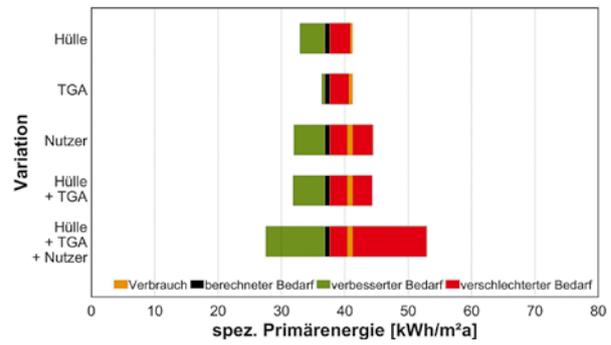


Abb. 6: Einflussanalyse eines MFH aus Gebäudegruppe 2

flussfaktoren 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 posi-

tiven 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 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 Raumtemperatur auf 21 °C eine bessere Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Verbrauch.

ANZEIGE

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

**Baufachwissen für Praxis und Forschung**

- Baufachbücher
- Fachartikel
- Merkblätter

**Fraunhofer IRB Verlag**  
Der Fachverlag zum Planen und Bauen

Nobelstraße 12 • 70569 Stuttgart • [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de) • [www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de) • [irb.fraunhofer.de](http://irb.fraunhofer.de)

## Danksagung

Die Autoren und Autorinnen 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). Bauphysik 39 (2017), Nr. 3, S. 159–174
- [3] Hofmann, Markus; Geyer, Christoph; Kornadt, Oliver: Innenraumklimamessungen und Bewertung ihrer Verwendung in Gebäudesimulationen. In: Bauphysik in Forschung und Praxis - Bauphysiktag Kaiserslautern 2017. Schriftenreihe des Fachgebiets Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung. Kaiserslautern: TU Kaiserslautern, 2017
- [4] Hofmann, Markus; Geyer, Christoph; Kornadt, Oliver: Auswertung von Raumklimamessungen und Bestimmung typischer Taupunkttemperaturen in natürlich belüfteten Wohnzimmern. Bauphysik 39 (2017), Nr. 3, 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. 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. Bauphysik 36 (2014), Nr. 1, 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. Abschlussbericht. 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
- [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: Deutsches Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 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

## Hinweis

**Kostenfreier Download des Forschungsberichts [9]:**  
[www.baufachinformation.de/analyse-der-diskrepanz-zwischen-berechnetem-energiebedarf-nach-enev-und-tatsaechlichem-energieverbrauch/bu/21059004867](http://www.baufachinformation.de/analyse-der-diskrepanz-zwischen-berechnetem-energiebedarf-nach-enev-und-tatsaechlichem-energieverbrauch/bu/21059004867)

## DIE AUTOREN

**Dipl.-Ing. Marco Hartner**  
 Technische Universität Kaiserslautern  
[marco.hartner@bauing.uni-kl.de](mailto:marco.hartner@bauing.uni-kl.de)



Marco Hartner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung der TU Kaiserslautern. Vorrangig arbeitet er an Projekten zu den Fragestellungen der energetischen Qualität von Wohn- und Nichtwohngebäuden, der Effizienzsteigerung technischer Gebäudeausrüstung sowie den Einsatzmöglichkeiten von erneuerbaren Energien.

**apl. Prof. Dr. rer. nat. Svenja Carrigan**  
 Technische Universität Kaiserslautern  
[svenja.carrigan@bauing.uni-kl.de](mailto:svenja.carrigan@bauing.uni-kl.de)



Svenja Carrigan beschäftigt sich am Fachgebiet Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung der TU Kaiserslautern insbesondere mit Fragestellungen der bauphysikalischen Modellierung in den Bereichen der thermischen Behaglichkeit, der bauphysikalischen Simulation, der energetischen Optimierung von Bauteilen und Gebäuden sowie des nachhaltigen Bauens.

**Prof. Dr. rer. nat. Oliver Kornadt**  
 Technische Universität Kaiserslautern  
[oliver.kornadt@bauing.uni-kl.de](mailto:oliver.kornadt@bauing.uni-kl.de)



Oliver Kornadt war 1993 bis 2001 Leiter des Fachgebiets Bauphysik der Philipp Holzmann AG. Er wurde 2001 zum Universitätsprofessor für Bauphysik an der Bauhaus-Universität Weimar und 2012 zum Universitätsprofessor für Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung an der TU Kaiserslautern berufen. Er ist seit 1997 Mitglied und seit 2006 Obmann des NaBau-Ausschusses zur DIN 4109-1 »Schallschutz im Hochbau«.

**Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Christoph Beecken**  
 bow ingenieure gmbh  
[c.beecken@bow-ingenieure.de](mailto:c.beecken@bow-ingenieure.de)



Christoph Beecken, Beratender Ingenieur, verfügt als verantwortlicher Koordinator der im Hause bow vertretenen Planungsgewerke Objektplanung, Tragwerksplanung, Technische Ausrüstungsplanung und Bauphysikplanung u. a. über Fachkenntnisse und Erfahrungen in allen Bereichen der bauphysikalischen Planung. Er hat bereits eine Vielzahl von Bauphysik-Forschungsprojekten sowie studentische Studien- und Abschlussarbeiten begleitet.

Technische Universität Kaiserslautern | Paul-Ehrlich-Straße, Gebäude 29 | 67663 Kaiserslautern | [www.bauing.uni-kl.de](http://www.bauing.uni-kl.de)  
 bow ingenieure gmbh | Hagenmarkt 8 | 38100 Braunschweig | [www.bow-ingenieure.de](http://www.bow-ingenieure.de)