

Analyse der Einflussfaktoren auf den berechneten Energiebedarf und den tatsächlichen Energieverbrauch von Wohngebäuden

Marco Hartner¹, Christoph A. Beecken², Sabine Becker³, Svenja Carrigan¹, Oliver Kornadt¹

¹ Technische Universität Kaiserslautern, 67657 Kaiserslautern, E-Mail: marco.hartner@bauing.uni-kl.de

² bow ingenieure gmbh, 38100 Braunschweig, E-Mail: mail@bow-ingenieure.de

³ ITG Energieinstitut GmbH, 39106 Magdeburg, E-Mail: info@itg-ing.de

Einleitung

In einigen Studien, etwa [1-2] wurden teilweise erhebliche Diskrepanzen zwischen berechneten Energiebedarfswerten nach Energieeinsparverordnung (EnEV) [3] und real gemessenen Energieverbrauchswerten von Gebäuden festgestellt.

Dies kann zum einem zu einer mangelnden Akzeptanz der EnEV führen, zum anderem wird dem prognostiziertem Einsparpotenzial sowohl bei Neubauten als auch bei Sanierungen wenig Vertrauen geschenkt und daher eventuell nicht das gesamte Spektrum des energetischen Einsparpotentials genutzt.

Um mögliche systematische Abweichungen wissenschaftlich fundiert zu analysieren und zu quantifizieren, werden Untersuchungen an zahlreichen existierenden Gebäuden durchgeführt. Es werden wesentliche Haupteinflussfaktoren auf den Gebäudeenergiebedarf und -verbrauch analysiert. Es handelt sich dabei um Einflussfaktoren des Nutzerverhaltens, der Gebäudehülle und der technischen Gebäudeausrüstung (TGA).

Methodik

Die untersuchten Einflussfaktoren sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Untersuchte Einflussfaktoren

	Einflussfaktoren		
Nutzer	Raumlufttemperatur	Lüftungsverhalten	Teilbeheizung
Gebäudehülle	U-Werte opake Gebäudehülle	U-Werte transparente Bauteile	Wärmebrücken
TGA	Wärmeerzeuger	Vor-/Rücklauftemperaturen	Leitungen
	Wärmeübergabe	hydraulischer Abgleich/Pumpenregelung	

Für die Untersuchung werden mit dem Programm ZUB Helena Ultra [4] (unter Zugrundelegung der DIN V 18599-2011) sowohl für Einfamilienhäuser als auch für Mehrfamilienhäuser Bedarfs- und Verbrauchsausweise erstellt. Der erstellte Bedarfsausweis dient jeweils als Referenzvariante für die weiteren Untersuchungen.

Für die Untersuchung des Nutzereinflusses wurden die jeweiligen Bezugsvarianten in dem Simulationsprogramm TRNSYS 18 [5] nachgebildet. Hierfür wurden die Werte/Eingaben hinsichtlich des Nutzerverhaltens, der wärmeübertragenden Umfassungsfläche und der TGA von der Referenzvariante übernommen. Nach [6] hat die Nutzungsart des Raumes (Wohnzimmer, Schlafzimmer usw.) sowie nach [7] der Nutzertyp (z.B. Berufstätig oder Rentner) einen Einfluss auf die zu erwartende Raumtemperatur. Durch die Erstellung eines Mehrzonenmodells können Teilbeheizung sowie das jeweilige Temperierungs- und Lüftungsverhalten und deren Einfluss auf den Energiebedarf untersucht werden.

Hinsichtlich der wärmeübertragenden Umfassungsfläche werden sowohl in ZUB Helena Ultra als auch in TRNSYS die Parameter, welche maßgeblich zur Diskrepanz beitragen können, variiert. Dadurch kann der Nutzereinfluss in Kombination der unterschiedlichen Variationen der wärmeübertragenden Umfassungsfläche untersucht werden.

Für den Nutzenergiebedarf eines Gebäudes sind insbesondere die Lage der einzelnen TGA-Komponenten (inner- bzw. außerhalb der thermisch konditionierten Zone) sowie deren energetische Qualität (Dämmung der Rohrleitungen, Regelung der Übergabe usw.) von Bedeutung. Der Endenergiebedarf wird ebenfalls durch die Lage der TGA-Komponenten aber auch durch deren Effizienz (z. B. Kesselwirkungsgrad bei Brennwertgeräten) beeinflusst. Die Variationen der TGA können sowohl in ZUB Helena als auch in TRNSYS durchgeführt werden. Resultierend kann der Einfluss des Nutzers in Kombination mit unterschiedlichen TGA-Variationen untersucht werden.

Die Methodik und die daraus resultierenden Ergebnisse werden am Beispiel eines Einfamilienhauses (EFH) im Weiteren vorgestellt.

Ergebnisse

Abgleich Energiebedarf zum Energieverbrauch

Zunächst wurde in ZUB Helena Ultra für das EFH ein Bedarfs- sowie Verbrauchsausweis erstellt. Die Abweichung des Verbrauchs, bezogen auf den errechneten Bedarf, beträgt -39%. Für die Bedarfsberechnung wurden, hinsichtlich der wärmeübertragenden Umfassungsfläche Pauschalwerte nach [8] verwendet, da die Konstruktionsaufbauten nicht bekannt sind. Die technischen Daten des Wärmeerzeugers sowie der Pumpe und des Speichers waren bekannt. Bedingt durch nicht vorhandene Leitungspläne wur-

den die Leitungslängen der Heiz- und Trinkwarmwasserleitungen (TWW) nach DIN V 18599-5:2011-12 [9] über die Nettogrundfläche errechnet. Der sich ergebene Primärenergiebedarf und -verbrauch sind in Tabelle 2 dargestellt.

Einfluss des Nutzerverhaltens

Zur Untersuchung des Nutzereinflusses wurden zunächst alle Parameter wie Geometrie des Gebäudes, Nutzungsrandbedingungen, Eigenschaften der wärmeübertragenden Umfassungsfläche und TGA in TRNSYS übernommen. Nach der Durchführung einer Nutzerbefragung konnte ein spezifisches Nutzerprofil angelegt werden. Durch dieses spezifische Nutzerprofil verringerte sich der Energiebedarf bezogen auf den ursprünglich berechneten Bedarf nach EnEV um -26% (siehe Tabelle 2, *Nutzer*). Es ist ersichtlich, dass die Anpassung des Nutzerprofils zu einer erheblichen Reduktion der Abweichungen führt, diese sich aber nicht im vollen Umfang hierdurch erklären lassen.

Einfluss der thermischen Außenhülle

Bei unbekanntem Wandaufbau können für die Berechnungen pauschale U-Werte nach [8] verwendet werden. Diese sind laut [10] oftmals zu hoch angesetzt. Für die Untersuchung des Einflusses wurde eine Verbesserung der pauschalen U-Werte der thermischen Außenhülle um 20% verwendet. Dies führt zu einer Reduktion des Energiebedarfs, bezogen auf den ursprünglich berechneten Energiebedarf für dieses Gebäude, um -13% (Tabelle 2, *Gebäudehülle*).

Einfluss der technischen Gebäudeausrüstung

Zunächst wurden die Vor- und Rücklauftemperatur, die Einstellungen des hydraulischen Abgleichs, die Regelung und Auslegung der Pumpe sowie die Regelung der energetisch wirksamen Wärmeübergabe variiert und untersucht. Die gesamte Änderung durch die vorgenannten Punkte beträgt -6%. Die Lage der TGA-Komponenten (inner- oder außerhalb der thermischen Hülle) war für dieses Gebäude bekannt (alle Komponenten liegen innerhalb der thermischen Hülle). Der Einfluss der TGA ist in Tabelle 2, *TGA*, dargestellt.

Kombination der Einflüsse

Zunächst wurden die jeweiligen Variationen der wärmeübertragenden Umfassungsfläche mit den Variationen der TGA-Komponenten kombiniert. Im Besonderen die Verluste der TGA-Komponenten, welche innerhalb der thermischen Hülle anfallen und somit als interne Wärmequellen wieder in die Bilanzierung mit eingehen, führen zu einer Reduzierung des Nutzwärmeenergiebedarfs. Dieser wird ebenfalls durch eine verbesserte thermische Hülle reduziert. Somit besteht eine Wechselwirkung zwischen der energetischen Qualität der Gebäudehülle und den TGA-Komponenten. Die jeweiligen Reduzierungen können nicht pauschal aufaddiert werden. Die Reduktion durch die Kombination von TGA und thermischer Hülle beträgt

18%, bezogen auf den ursprünglich ermittelten Energiebedarf.

Dieser Kombination von TGA und thermischer Hülle wurde für die weitere Untersuchung das spezifische Nutzerprofil hinterlegt. Durch das Nutzerverhalten ändert sich der Nutzenergiebedarf im erheblichen Maße, dies führt wiederum zu einer Wechselwirkung mit den Komponenten der TGA sowie der thermischen Hülle. Hierdurch kann die Reduzierung durch das spezifische Nutzerprofil ebenfalls nicht pauschal aufaddiert werden. Durch die Kombination der Variation der thermischen Hülle, der TGA-Komponenten und des spezifischen Nutzerprofils wird eine Reduktion, bezogen auf den ursprünglich berechneten Energiebedarf, von -41% erreicht (Tabelle 2, *Gesamte Kombination*), was den tatsächlichen Verbrauch bis auf 4 kWh/m²a abbildet.

Tabelle 2: Primärenergie von Verbrauch, Bedarf sowie der Variationen [kWh/m²a]

	PEB/V [kWh/m²a]	Abweichung [%]
Bedarf/ Referenzwert	142	0
Verbrauch	87	-39
Bedarf, Varianten		
Nutzer	105	-26
Gebäudehülle	123	-13
TGA	133	-6
Gesamte Kombination	83	-41

Zusammenfassung

Am Beispiel eines Einfamilienhauses wurden mögliche systematische Abweichungen zwischen Gebäudeenergiebedarf und -verbrauch analysiert. Dabei wurden Parameter des Nutzerverhaltens, der Gebäudehülle und der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) variiert und deren Einfluss auf den resultierenden Primärenergiebedarf mittels der Softwareprogramme ZUB Helena Ultra und TRNSYS ermittelt.

Während ein sehr sparsamer Nutzer, eine verbesserte Gebäudehülle und eine effizientere TGA jeweils als separate Einflüsse nicht den tatsächlich im Gebäude gemessenen Verbrauch erklären können, kann durch eine Kombination aller energetisch vorteilhaften Annahmen der tatsächliche Verbrauch nachvollzogen werden.

Literatur

- [1] Stolte, C., Marcinek, H., Bigalke, U. und Zeng, Y., Studie: Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizient sanierter Wohngebäude., dena, Editor, 2013
- [2] Fisch, M.N., Altendorf, L., Kuehl, L., Wilken, T., et al.: Vergleichswerte für Verbrauch bei Wohngebäuden. Online Ressource. BMVBS-Online-Publikation, ed. B.u.S.B.-B. Bundesministerium für Verkehr, et al. Vol. 11/2012, 2012
- [3] Energieeinsparverordnung - EnEV 2014/ EnEV ab 2016, URL:https://enev-online.com/enev_2014_volltext/index.htm
[abgerufen am 11.07.2019]
- [4] ZUB Helena Ultra, URL:<https://www.zub-systems.de/de/produkte/helena/ultra>,
[abgerufen am 11.07.2019]
- [5] TRNSYS 18, URL:https://trnsys.de/docs/trnsys/trnsys18_Neuheiten_de.htm
[abgerufen am 11.07.2019]
- [6] Hofmann, M.; Geyer, C.; Kornadt, O.: Assessment of indoor climate measurements and derivation datasets for building simulations in WMCAUS, Prag, Tschechien, 2017
- [7] Hofmann, M.; Geyer, C.; Kornadt, O.: Bemessung des Wärmeschutzes der Gebäudehülle auf der Grundlage von Raumklimamessungen, Bauphysik-Kalender, N.A. Fouad, Editor, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 2017
- [8] Worm, Rathert: Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2015
- [9] DIN V 18599-5:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden –Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung –Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen, 2011
- [10] Hoffmann, C.; Geissler, A.: Dem Prebound Effekt auf der Spur - Differenzen zwischen dem Heizwärmeverbrauch und dem rechnerisch ermittelten Heizwärmebedarf bei Bestandsgebäuden (Wohnen). Bauphysik 39 (2017), Heft 3, 159–174

Curriculum Vitae

**Dipl.-Ing.
Marco Hartner**



Ausbildung:

2011-2016 Studium des Bauingenieurwesens an der TU Kaiserslautern

Beruflicher Werdegang:

2013-2016 Werkstudent bei Peter Gross Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG, Niederlassung Kaiserslautern

Seit 2016 Wissenschaftlicher Mitarbeiter Fachgebiet Bauphysik/ Energetische Gebäudeoptimierung, TU Kaiserslautern