

# Primärenergiebedarf resultierend aus Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase von Gebäuden in Abhängigkeit vom energetischen Gebäudestandard

Tim Schöndube<sup>1</sup>, Christoph Beecken<sup>2</sup>, Sabine Becker<sup>3</sup>, Thomas Lützkendorf<sup>4</sup>, Svenja Carrigan<sup>1</sup>, Oliver Kornadt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Kaiserslautern, 67663 Kaiserslautern, E-Mail: tim.schoendube@bauing.uni-kl.de

<sup>2</sup> bow ingenieure gmbh, 38100 Braunschweig, E-Mail: c.beecken@bow-ingenieure.de

<sup>3</sup> ITG Energieinstitut GmbH, 39106 Magdeburg, E-Mail: s.becker@itg-energie.de

<sup>4</sup> Ingenieurbüro BEU Bau-, Energie- und Umweltberatung Weimar, 99423 Weimar, E-Mail: thomas.luetzkendorf@gmx.de

## Einleitung

Zur Beschränkung der negativen Auswirkungen des Klimawandels verfolgt Deutschland anspruchsvolle Klimaschutzziele. So soll unter anderem bis zum Jahr 2050 eine weitgehende Treibhausgasneutralität erreicht werden [1]. Um diese Ziele erfüllen zu können, sind weitreichende Maßnahmen erforderlich.

Mit einem Anteil von 35,3 % des deutschen Endenergieverbrauchs hat der Gebäudebereich einen wesentlichen Einfluss auf das Erreichen der nationalen Klimaschutzziele [2].

Derzeit sind die zentralen Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden in der Energieeinsparverordnung [3] (EnEV) festgelegt. Bei der Beurteilung der energetischen Gebäudequalität wird jedoch nur der Energiebedarf während der Nutzungsphase eines Gebäudes bilanziert. Der Energieaufwand für die Herstellung, Errichtung und Instandhaltung sowie für Rückbau und Entsorgung von Gebäuden ist hingegen nicht zu betrachten [4]. Dies erscheint für Gebäude mit sehr gutem energetischen Standard nicht mehr angemessen. Der Klimaschutzplan 2050 gibt Hinweise auf die Notwendigkeit einer Erweiterung der Systemgrenzen in Richtung der Beachtung des vollständigen Lebenszyklus [1].

Zur Überprüfung des Anteils der Herstellung und Instandhaltung von Gebäuden sowie der Entsorgung von Gebäudebestandteilen am Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar im Lebenszyklus werden jeweils ein neu errichtetes Einfamilienhaus und ein Mehrfamilienhaus herangezogen. Durch Variation des Wärmedämmniveaus und der technischen Gebäudeausrüstung wird weiterhin analysiert, wie sich die Anteile verschieben, wenn sich der energetische Gebäudestandard ändert.

## Zu untersuchende energetische Gebäudestandards

Im Jahr 1977 wurde die erste Wärmeschutzverordnung [5] (WSVO 1977) in Deutschland erlassen, welche erstmals Anforderungen an das Wärmedämmniveau der Außenbauteile von Gebäuden festgelegt hat. In den folgenden Jahrzehnten wurden die Anforderungen an die Gebäudeenergieeffizienz regelmäßig verschärft bis hin zur aktuell gültigen EnEV 2014 [3] mit den seit

1. Januar 2016 zu beachtenden erhöhten Anforderungen (EnEV 2016). [6]

In der Abbildung 1 sind die Entwicklung von Anforderungen an den Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar in der Nutzungsphase von Doppelhäusern seit Einführung der WSVO 1977 [5] sowie Ergebnisse von Forschungsprojekten dargestellt.

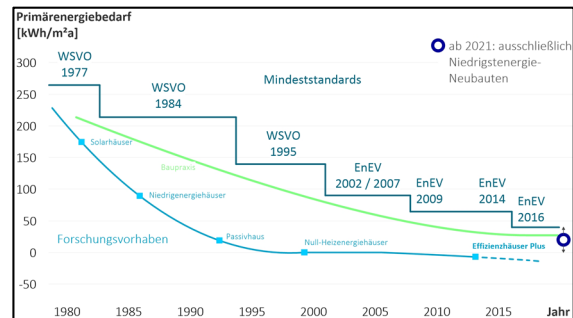


Abbildung 1: Entwicklung der energetischen Gebäudestandards in Deutschland nach [7].

Von den abgebildeten energetischen Gebäudestandards werden die WSVO 1995 [8], die EnEV 2007 [9], die EnEV 2014 [3] und die EnEV 2016 [3] im Rahmen einer Variantenuntersuchung betrachtet. Es wird am Beispiel der im folgenden Abschnitt vorgestellten Gebäude der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus Herstellungs-, Nutzungs-, Instandhaltungs- und Entsorgungsphase berechnet. Zusätzlich einbezogen wird eine Ausführung der beiden Wohngebäude jeweils als KfW-Effizienzhäuser-55 bzw. -40 gemäß den Vorgaben der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) [10].

## Beispielgebäude

Bei dem ersten Beispielgebäude handelt es sich um ein im Jahr 2019 in Sachsen neu errichtetes Einfamilienhaus mit einer Länge und Breite von je 10,28 m sowie einer Höhe von 8,35 m – siehe Abbildung 2. Insgesamt weist das nicht unterkellerte 3-geschossige Gebäude eine Netto-Raumfläche NRF gemäß DIN 277-1 [11] von 169,8 m<sup>2</sup> auf, die sich über ein beheiztes Erd- und Obergeschoss erstreckt. Im Vergleich dazu beträgt die Gebäudenutzfläche A<sub>N</sub> 181,9 m<sup>2</sup> entsprechend EnEV 2014 [3] in Abhängigkeit vom beheizten Gebäudevolumen V<sub>e</sub> und der durchschnittlichen Geschosshöhe h<sub>G</sub>. Die Bodenplatte

(aus Stahlbeton), die Decke über dem Erdgeschoss (aus Stahlbeton), die Außenwände (aus Leichtbetonsteinen) und Teile der Innenwände (aus Leichtbetonsteinen) wurden in Massivbauweise errichtet. Bei den übrigen Bauteilaufbauten handelt es sich um Leichtbaukonstruktionen. Den oberen Gebäudeabschluss bildet ein Binderdach, wobei die Dämmebene zwischen Holzbalken der Decke über dem Obergeschoss angeordnet ist. Die Innenwände im Obergeschoss wurden unter Verwendung von metallischen Trockenbauprofilen hergestellt. [12]

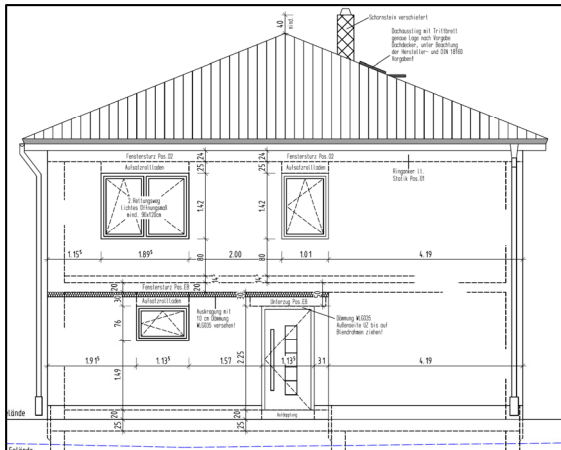


Abbildung 2: Beispielgebäude Einfamilienhaus [12].

Die Annahmen bezüglich des Wärmedämmniveaus der Gebäudehülle (beschrieben durch den spezifischen Transmissionswärmeverlust  $H'_T$ ) und der Anlagentechnik zu den untersuchten energetischen Gebäudestandards sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengefasst:

Tabelle 1: Untersuchte EFH-Varianten

Variante	Kurzbeschreibung
WSVO 1995	Brennwertkessel; keine Lüftungsanlage; $H'_T = 0,492 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; $\Delta U_{\text{WB}} = 0,100 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; keine Dichtheitsprüfung
EnEV 2007	Brennwertkessel; keine Lüftungsanlage; $H'_T = 0,449 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; $\Delta U_{\text{WB}} = 0,100 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; keine Dichtheitsprüfung
EnEV 2014	Referenzgebäude entsprechend EnEV 2014 mit Brennwertkessel + Solaranlage für Warmwasser + Abluftanlage; $H'_T = 0,395 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; $\Delta U_{\text{WB}} = 0,050 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; erfolgreiche Dichtheitsprüfung
EnEV 2016	Brennwertkessel + Solaranlage für Warmwasser + Zu- und Abluftanlage mit 90 % WRG; $H'_T = 0,327 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; $\Delta U_{\text{WB}} = 0,050 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; erfolgr. Dichtheitsprüfung
KfW 55	Luft-Wasser-Wärmepumpe + Abluftanlage; $H'_T = 0,269 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; $\Delta U_{\text{WB}} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; erfolgr. Dichtheitsprüfung
KfW 40	Holzpelletkessel + Abluftanlage; $H'_T = 0,210 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; $\Delta U_{\text{WB}} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; erfolgr. Dichtheitsprüfung

Das zweite zu untersuchende Beispielgebäude ist ein im Jahr 2015 in Hamburg neu errichtetes Mehrfamilienhaus mit insgesamt 24 Wohneinheiten, die sich über sechs vollbeheizte oberirdische Etagen erstrecken mit einer Länge von 28,31 m, einer Breite von 12,57 m und einer Höhe von 19,46 m oberhalb des Geländes. Unterirdisch befindet sich ein teilbeheiztes Kellergeschoss.

Die Netto-Raumfläche NRF gemäß DIN 277-1 [11] beträgt 1925,2 m<sup>2</sup> und für die Gebäudenutzfläche  $A_N$  ergibt sich entsprechend EnEV 2014 [3] ein Wert von 1960,3 m<sup>2</sup>.

Das Gebäude weist zwei unterschiedliche Fassadensysteme auf. Die in der nachfolgenden Abbildung 3 sichtbaren weißen Flächen entsprechen 17,5 cm dicken Kalksandstein-Außenwänden mit außengedämmter hinterlüfteter Vorhangfassade. Im Vergleich dazu sind die orangefarbenen Bereiche aus Kalksandstein- bzw. Stahlbetonaußenwänden mit außenliegender Wärmedämmung und vorgesetzten Klinkerriemchen. Die Innenwände wurden aus Kalksandstein-Mauerwerk, bewehrtem Beton und metallischen Trockenbauprofilen errichtet. Zusätzlich wurden im Keller teilweise Holzwände zur Raumentrennung eingesetzt. Die Bodenplatte, die Decken, die Balkone, die Dächer sowie die Attika wurden aus Stahlbeton hergestellt. [13]

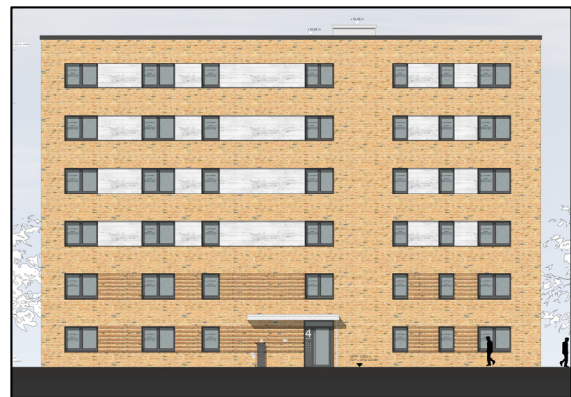


Abbildung 3: Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [13].

Angaben zum angesetzten Wärmedämmniveau und zu der technischen Gebäudeausrüstung zu den berechneten energetischen Gebäudestandards sind in der auf der Folgende zu findenden Tabelle 2 aufgeführt.

Die im Rahmen der Variantenuntersuchung angesetzten Wärmedämm- und TGA-Maßnahmen wurden so gewählt, dass die Anforderungen zu den untersuchten energetischen Gebäudestandards jeweils möglichst knapp erfüllt werden konnten. Es wurden die realen Konstruktionsaufbauten zugrunde gelegt. Unter praxisnahen Gesichtspunkten wurden die Dämmstoff- bzw. Wandstärken der Außenbauteile variiert. Die Festlegung der berücksichtigten anlagentechnischen Komponenten erfolgte ebenfalls auf Basis von realitätsnahen Konditionierungskonzepten.

**Tabelle 2:** Untersuchte MFH-Varianten

Variante	Kurzbeschreibung
WSVO 1995	Brennwertkessel; keine Lüftungsanlage; $H'_T = 0,657 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; $\Delta U_{WB} = 0,100 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; keine Dichtheitsprüfung
EnEV 2007	Brennwertkessel + Solaranlage für Warmwasser; keine Lüftungsanlage; $H'_T = 0,590 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; $\Delta U_{WB} = 0,100 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; keine Dichtheitsprüfung
EnEV 2014	Referenzgebäude entsprechend EnEV 2014 mit Brennwertkessel + Solaranlage für Warmwasser + Abluftanlage; $H'_T = 0,487 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; $\Delta U_{WB} = 0,050 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; erfolgreiche Dichtheitsprüfung
EnEV 2016	Brennwertkessel + Solaranlage für Warmwasser + Zu- und Abluftanlage mit 90 % WRG; $H'_T = 0,445 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; $\Delta U_{WB} = 0,050 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; erfolgr. Dichtheitsprüfung
KfW 55	Sole-Wasser-Wärmepumpe + Abluftanlage; $H'_T = 0,309 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; $\Delta U_{WB} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; erfolgr. Dichtheitsprüfung
KfW 40	Holzpelletkessel + Abluftanlage; $H'_T = 0,242 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; $\Delta U_{WB} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; erfolgr. Dichtheitsprüfung

### Berechnung des Primärenergiebedarfs

Der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar der Beispielgebäude resultierend aus Herstellungs-, Nutzungs-, Instandhaltungs- und Entsorgungsphase wird berechnet in Anlehnung an die Vorgaben der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB).

Über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren wird gemäß der DIN EN 15978 [14] in der Herstellungsphase die Bereitstellung von Rohstoffen (Modul A1), der Transport dieser Grundstoffe zu den Baustoffproduzenten (Modul A2) sowie die Herstellung der Bauprodukte (Modul A3) bilanziert. Nach Bauwerksfertigstellung wird in der Nutzungsphase der Energiebedarf zur Beheizung, Belüftung und Warmwasserversorgung der Gebäude entsprechend EnEV 2014 [3] erfasst (Modul B6) sowie der Austausch von Gebäudekomponenten aufgrund einer kürzeren Nutzungsdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum (Modul B4). In der Entsorgungsphase wird die Verwertung (Modul C3) und Entsorgung (Modul C4) aller zum Ende des Lebenszyklus eingebauten Gebäudebestandteile bilanziert. Sämtliche Transporte von Gebäudekomponenten (Module A4 und C2) sowie Baustellenprozesse (Module A5 und C1) werden vernachlässigt. [15]

Im Gegensatz zum DGNB-System wird jedoch für die Beispielgebäude das Potential infolge einer späteren Wiederverwertung, einer Rückgewinnung und eines Recyclings der erfassten Materialien (Modul D) nicht angerechnet, weil sich über einen Betrachtungszeitraum

von 50 Jahren nicht sicher abschätzen lässt, ob diese Potentiale in der Zukunft auch wirklich genutzt werden.

Zur Bilanzierung der Module A1-A3, B4, C3 und C4 mittels des vereinfachten DGNB-Verfahrens wird das vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) bereitgestellte eLCA-Tool herangezogen, welches gekoppelt ist mit der Ökobilanz-Datenbank ÖKOBAUDAT.

Auf Basis der Anwendung des vereinfachten DGNB-Rechenverfahrens ist eine Mengenermittlung für die Baustoffe der Außenwände, Kellerwände, Innenwände, Stützen, Fenster, Außentüren, Innentüren, Fundamente, Bodenplatten, Geschossdecken und Dächer der Beispielgebäude zu erstellen. Zusätzlich werden vorhandene Wärme- und Kälteerzeuger sowie mögliche Lüftungszentralen mengenmäßig erfasst. [15]

Zum Ausgleich von vernachlässigten Gebäudekomponenten ist auf die Ergebnisse für die Herstellungs- (Module A1-A3), Instandhaltungs- (Modul B4) und Entsorgungsphase (Module C3 und C4) ein Aufschlag von 20 % zuzurechnen. Ausgenommen von diesem Zuschlag sind die ermittelten Energiebedarfswerte resultierend aus der Gebäudekonditionierung. [15]

Die Lebensdauer der berücksichtigten Baumaterialien wird DGNB-konform dem Dokument „Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“ [16] entnommen. Für Baustoffe mit einer kürzeren Lebensdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ist theoretisch immer ein Austausch zu bilanzieren. Speziell bei der Eingabe von innenliegenden Bauteilschichten im eLCA-Tool wird jedoch praxisnah entschieden, ob ein Austausch in Abhängigkeit von der Einbausituation realistisch erscheint. [15]

Die Austauschhäufigkeit ergibt sich rechnerisch durch die Division des Betrachtungszeitraums durch die Bauteilnutzungsdauer abzüglich des Wertes eins, wobei das Ergebnis ganzzahlig aufzurunden ist. Bei dem Austausch einer veralteten Gebäudekomponente wird einmal die erneute Herstellung des baugleichen Produkts und einmal die Verwertung und Entsorgung des ausgebauten Bauteils der Instandhaltungsphase zugerechnet. [15]

Die Berechnung des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar resultierend aus der Beheizung, Belüftung und Warmwasserversorgung der Beispielgebäude erfolgt mit Hilfe der Software ZUB Helena Ultra unter Anwendung der Normenreihe DIN V 18599, wobei für alle untersuchten Varianten die aktuell gültigen Primärenergiefaktoren gemäß der EnEV [3] angesetzt werden. [15]

Zur Zusammenführung der Ergebnisse zu den einzelnen Lebenszyklusphasen wird ein selbstprogrammiertes Excel-Tool verwendet.

Die zu berechnenden primärenergetischen Ergebnisse werden auf die Netto-Raumfläche NRF entsprechend DIN 277-1 [11] bezogen.

## Ergebnisse

Die Ergebnisse der Variantenuntersuchung sind in den Abbildungen 4 für den Fall eines Einfamilienhauses und 5 für den Fall eines Mehrfamilienhauses zusammengefasst:

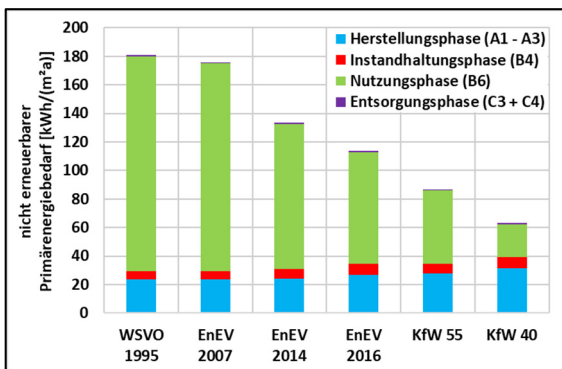


Abbildung 4: Anteile am Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar des Einfamilienhauses über 50 Jahre.

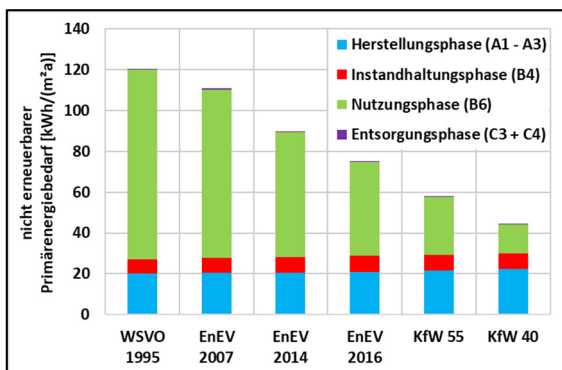


Abbildung 5: Anteile am Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar des Mehrfamilienhauses über 50 Jahre.

Die Berechnungen ergaben, dass der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren umso geringer ist, je besser der energetische Gebäudestandard ist. Beispielsweise würde das Ergebnis von 180,8 kWh/(m²a) um 65,2 % auf 63,0 kWh/(m²a) sinken, wenn das untersuchte Einfamilienhaus die Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus-40 erfüllen würde anstatt die Vorgaben der WSWO 1995 [8].

Insgesamt weist das Mehrfamilienhaus niedrigere Energiebedarfskennwerte auf im Vergleich zum Einfamilienhaus, begünstigt durch ein optimiertes Verhältnis zwischen Gebäudehüllfläche und -volumen. So beträgt z. B. der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar des Mehrfamilienhauses über 50 Jahre 75,4 kWh/(m²a) im EnEV-2016-Gebäudestandard, währenddessen für das Einfamilienhaus ein Wert von 113,6 kWh/(m²a) ermittelt wurde.

Betrachtet man die Ergebnisse für die einzelnen Gebäudelebenszyklusphasen im Detail, ist auffällig, dass in den untersuchten Fällen der Energieaufwand für die Herstellung und Instandhaltung der Beispielgebäude in der Regel gestiegen ist, wenn ein verbesserter energetischer Gebäudestandard angesetzt wurde. Durch die Berücksichtigung eines optimierten Wärmedämmniveaus sowie einer zusätzlichen Solar- und Lüftungsanlage in der EnEV-2016-Variante im Vergleich zum WSWO-1995-Standard stieg beispielsweise der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar des Mehrfamilienhauses von 27,3 kWh/(m²a) um 5,5 % auf 28,8 kWh/(m²a). Diese Charakteristik ist dem vermehrten Einsatz von Wärmedämmstoffen und einer aufwändiger werdenden technischen Gebäudeausrüstung geschuldet.

Im Gegensatz dazu sank der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus der Nutzungsphase der untersuchten Beispielgebäude bei Ansatz eines erhöhten energetischen Gebäudestandards. Am Beispiel des Einfamilienhauses betrug der Unterschied zwischen der ungünstigsten (WSVO 1995) und der günstigsten Variante (KfW 40) 127,8 kWh/(m²a) bzw. 84,8 %.

In Folge der Variierung des energetischen Gebäudestandards hat sich der Energieaufwand für die Verwertung und Entsorgung von Gebäudekomponenten nur minimal geändert. Die berechneten Werte der Entsorgungsphase lagen für beide Beispielgebäude immer unter 1,0 kWh/(m²a).

Wendet man sich den Anteilen der einzelnen Gebäudelebenszyklusphasen am gesamten Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar über 50 Jahre zu, hat die Variantenuntersuchung ergeben, dass der Beitrag des Energieaufwands für Herstellung und Instandhaltung der Beispielgebäude mit einem verbesserten energetischen Gebäudestandard zugenommen hat, währenddessen der Anteil der Nutzungsphase gesunken ist. Die Berechnungen ergaben z. B. einen Anteil von 22,7 % resultierend aus Herstellung und Instandhaltung des Mehrfamilienhauses im Vergleich zu einem Nutzungsphasenanteil von 76,9 % bei Ansatz des WSWO-1995-Standards. Bei einem KfW-Effizienzhaus-40 haben sich die Anteile deutlich verschoben zu 67,3 % (Herstellungs- und Instandhaltungsphase) bzw. 31,6 % (Nutzungsphase).

## Zusammenfassung

Für ein real existierendes Einfamilienhaus und ein Mehrfamilienhaus mit 24 Wohneinheiten wurde jeweils der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus Herstellungs-, Nutzungs-, Instandhaltungs- und Entsorgungsphase während eines Betrachtungszeitraums von 50 Jahren in Abhängigkeit vom energetischen Gebäudestandard berechnet. Zur Abbildung des WSWO-1995-, des EnEV-2007-, des EnEV-2014-, des EnEV-2016-, des KfW-Effizienzhaus-55- und des KfW-Effizienzhaus-40-Standards wurde im Rahmen einer Varianten-

untersuchung das Wärmedämmniveau der Gebäudehülle und die technische Gebäudeausrüstung der Beispielgebäude verändert.

Mit Hilfe der beiden Wohngebäude wurde untersucht, wie sich die Anteile der Herstellungs-, Nutzungs-, Instandhaltungs- und Entsorgungsphase am Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des Gebäudelebenszyklus verschieben, wenn sich der energetische Gebäudestandard ändert.

Die Berechnungen haben ergeben, dass der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren in den untersuchten Fällen umso geringer ist, je besser der energetische Gebäudestandard ist. Für das Einfamilienhaus ergab sich eine Abweichung von 65,2 % zwischen dem niedrigsten (WSVO 1995) und dem höchsten Standard (KfW-Effizienzhaus 40).

Der Beitrag des Energieaufwands für Herstellung und Instandhaltung der Beispielgebäude nimmt mit einem verbesserten energetischen Gebäudestandard relativ und absolut zu, währenddessen der Anteil der Nutzungsphase relativ und absolut sinkt. Bei Erfüllung der aktuell gültigen Anforderungen der EnEV [3] ergibt sich ein Nutzungsphasenanteil von 69,0 % (Einfamilienhaus) bzw. 61,0 % (Mehrfamilienhaus) am Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des betrachteten Gebäudelebenszyklus. Dieser Anteil wird durch die staatlichen Vorgaben der EnEV [3] beeinflusst. Für den verbleibenden Anteil von 30,3 % (Einfamilienhaus) bzw. 38,2 % (Mehrfamilienhaus) resultierend aus der Herstellungs- und Instandhaltungsphase sind bisher keine Gesetze, Verordnungen oder Vorgaben von Förderprogrammen zu beachten.

Die Ergebnisse bestätigen im Prinzip Resultate früherer Untersuchungen. Noch in den achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts ging man von einem Verhältnis zwischen dem Aufwand für Herstellung und Instandhaltung einerseits und dem Energieaufwand der Nutzungsphase andererseits von ca. 1 : 10 aus [17]. Die hier vorgelegten Ergebnisse auf Basis aktueller energetischer Standards und unter Nutzung frei verfügbarer Daten und Hilfsmittel zeigen, dass (1) geeignete Grundlagen für die Ermittlung des Aufwandes an Primärenergie, nicht erneuerbar im Lebenszyklus vorhanden sind und eine Berechnung insofern möglich und zumutbar ist, (2) der relative und ggf. auch absolute Anteil für Herstellung und Instandhaltung bzw. Ersatz wächst und nicht mehr vernachlässigt werden kann, (3) ähnliche Berechnungen mit dem Indikator Treibhausgasemissionen möglich sind.

Im Sinne des Erreichens der anspruchsvollen Klimaschutzziele von Deutschland erscheint es zweckmäßig in Zukunft auch den Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar, weiteren Ressourcen und letztlich auch die resultierenden Emissionen an Treibhausgasen für die Herstellung und Instandhaltung eines Hauses zu

berücksichtigen. Ein erster Schritt könnte die Erweiterung der Systemgrenzen der EnEV in Richtung einer lebenszyklusbezogenen energetischen Gebäudebilanzierung und die stärkere Einbeziehung der Treibhausgasemissionen sein. Mittelfristig geht der Trend in Richtung einer Erfassung, Bewertung und Beeinflussung der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden in Form des „carbon footprint“.

Es wird deutlich, dass einerseits über die Nutzungsphase hinaus im Baubereich Einsparpotentiale vorhanden sind, die durch die geeignete Auswahl von Bauprodukten, Bauweisen und anlagentechnischen Konzepten erschlossen werden könnten. Andererseits muss ggf. die Erhöhung beim Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar für Herstellung und Instandhaltung energieeffizienter Gebäude gegengerechnet werden, auch wenn dieser derzeit dem Sektor „Industrie“ zugeordnet wird.

Es sind aus Sicht der Autoren noch weitere Forschungsarbeiten notwendig, um diese Einsparpotentiale nutzbar zu machen. Unter anderem sind sinnvolle neue Anforderungswerte auf Basis der Vorgaben der Europäischen Gebäuderichtlinie [18] zu entwickeln, die verwendeten Bauprodukte und Bauweisen im Hinblick auf ihren Einfluss auf den Aufwand für Herstellung und Instandhaltung/Ersatz zu variieren, die Auswirkungen einer dynamischen Veränderung von Primärenergie- und Emissionsfaktoren zu untersuchen sowie Benchmarks für einen lebenszyklusbezogenen Ansatz zu erarbeiten. All dies führt zu Konsequenzen für Förderprogramme, Normen und Gesetze, die frühzeitig diskutiert werden müssen. Empfohlen wird die Entwicklung eines Stufenplans, der von der Erweiterung der Systemgrenzen in der Energiebilanz ausgeht und bei neuen Anforderungen an die Begrenzung von Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden und einer Erarbeitung geeigneter Anforderungsniveaus endet.

## Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. BMUB, 2016
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Energieeffizienz in Zahlen. BMWi, Frankfurt, 2017
- [3] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Energieeinsparverordnung - EnEV, 2014
- [4] Schöndube, T.; Carrigan, S.; Schoch, T. et al.: Niedrigstenergiegebäude - Entwicklung eines Standards und einer Berechnungsmethode für die Gebäudeenergieeffizienz. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2018
- [5] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden. Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzVO, 1977
- [6] Schöndube, T.; Carrigan, S.; Schoch, T. et al.: Auswirkungen der Entwicklung zu Niedrigstenergiegebäuden auf die Gebäudehülle. In: Fouad, N. A. (Hrsg.): Bauphysik-Kalender 2017. Gebäudehülle und Fassaden, S. 45–76. Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2017
- [7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Wege zum Effizienzhaus Plus. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2016
- [8] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden. Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzVO, 1995
- [9] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Energieeinsparverordnung - EnEV, 2007
- [10] Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW): Anlagen zum Merkblatt Energieeffizient Bauen. Technische Mindestanforderungen, 2018
- [11] DIN 277-1:2016-01: Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen - Teil 1: Hochbau
- [12] OSTRAUER Baugesellschaft mbH: Planungsunterlagen zum Beispielgebäude Einfamilienhaus, 2018
- [13] bow ingenieure gmbh: Planungsunterlagen zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus, 2014
- [14] DIN EN 15978:2012-10: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011
- [15] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB): DGNB System. Kriterienkatalog Gebäude Neubau. DGNB, 2018
- [16] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), 2017
- [17] Feist, W.: Graue Energie und Passivhaus - welche Bedeutung hat der Energieaufwand für die Herstellung? URL: [https://passiv.de/former\\_conferences/Passivhaus\\_D/Graue\\_Energie\\_und\\_Passivhaus\\_2007.htm](https://passiv.de/former_conferences/Passivhaus_D/Graue_Energie_und_Passivhaus_2007.htm)
- [18] Europäisches Parlament; Europäischer Rat: Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. EU-Gebäuderichtlinie, 2010

## Curriculum Vitae

**Dipl.-Ing. (BA)**  
**Tim Schöndube, M.Sc.**



### Ausbildung:

- |           |  |
|-----------|--|
| 2007-2010 | Studium des Bauingenieurwesens an der Staatlichen Studienakademie Glauchau |
| 2012-2014 | Studium der Bauphysik an der Bauhaus-Universität Weimar                    |

### Beruflicher Werdegang:

- |           |  |
|-----------|--|
| 2009-2010 | Projektingenieur für Bauphysik für die A.R.T. GmbH   |
| 2011-2012 | Projektingenieur für Bauphysik für die ITG Energieinstitut GmbH  |
| 2013-2014 | Leiter Bauphysikabteilung der bow ingenieure gmbh  |
| seit 2015 | Wissenschaftlicher Mitarbeiter Fachgebiet Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung, TU Kaiserslautern |