

Weiterentwicklung der Energieeinsparverordnung

Ansätze zur Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase von Gebäuden

Die wesentlichen Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden werden in Deutschland bisher in der Energieeinsparverordnung (EnEV) formuliert. In absehbarer Zeit wird die EnEV durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG) ersetzt. Beiden Regelwerken ist gleich, dass lediglich der Energiebedarf, resultierend aus der Nutzungsphase eines Gebäudes, zu bilanzieren ist. Der Energieaufwand für die Herstellung und Instandhaltung von Gebäuden sowie für den Rückbau und die Entsorgung von veralteten Gebäudekomponenten wird dabei außer Acht gelassen. In der Vergangenheit war diese Einschränkung vertretbar. Mit der Entwicklung hocheffizienter Gebäude sinkt jedoch der Energiebedarf in der Nutzungsphase in hohem Maße und eine Neubewertung ist erforderlich. Wissenschaftliche Untersuchungen am Beispiel eines Ein- und eines Mehrfamilienhauses, welche die aktuellen Anforderungen der EnEV erfüllen, haben ergeben, dass über einen Zeitraum von 50 Jahren die Herstellungs- und Instandhaltungsphase zusammen einen Anteil von 30 % (EFH) bzw. 38 % (MFH) des gesamten Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar verursacht. Für diesen Anteil sind jedoch bisher keine gesetzlichen Vorgaben zu beachten. Es sind somit über die Gebäudenutzungsphase hinaus erhebliche Einsparpotenziale im Baubereich vorhanden. Zur Aktivierung dieser Potenziale werden im Rahmen dieses Artikels Ansätze zur Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase bei der energetischen Bewertung von Gebäuden vorgestellt.

Stichworte Primärenergiebedarf; Energieeinsparverordnung; EnEV; Gebäudeenergiegesetz; GEG; Gebäudelebenszyklus; Lebenszyklus

Further development of the Energy Saving Ordinance – Approaches for taking into account the manufacturing, use and maintenance phase of buildings

The main requirements for the energetic quality of buildings in Germany are defined by the Energy Saving Ordinance (EnEV). In the foreseeable future, it will be replaced by the Building Energy Act (GEG). Both regulations account only for the energy demand resulting from the use phase of a building. The energy expenditure for the manufacture and maintenance of buildings and for the removal and disposal of old building components is not taken into account. In the past, this limitation was justifiable. However, with the development of highly efficient buildings, the energy demand of the use phase is decreasing significantly and a reassessment is necessary. Scientific investigations on the example of a single-family house and an apartment building, which fulfil the current requirements of the EnEV, have shown that over a period of 50 years the manufacturing and maintenance phase account for 30 % (single-family house) resp. 38 % (apartment building) of the total primary energy demand, non-renewable. However, there are no legal requirements yet to be observed for this share. This means that there is significant potential for savings in the building sector beyond the building use phase. In order to activate these potentials, this article presents approaches to consider the manufacturing, use and maintenance phase in the energy assessment of buildings.

Keywords primary energy demand; Energy Saving Ordinance; EnEV; Building Energy Act; GEG; building life cycle; life cycle

1 Einleitung

Seit Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung [1] im Jahr 1977 wurden, wie in Bild 1 dargestellt, die Anforderungen an die energetische Gebäudequalität stetig erhöht [2], wobei nur der Energiebedarf resultierend aus der Gebäudenutzungsphase zu berücksichtigen war. Der Energieaufwand für die Herstellung und Instandhaltung von Gebäuden sowie für den Rückbau und die Entsorgung von veralteten Gebäudekomponenten wurde nicht berücksichtigt [3]. Auch bei dem erwarteten Ersatz der EnEV durch das GEG wird sich nach heutigem Stand der Diskussion daran nichts ändern [4].

Mittlerweile wurde in Deutschland ein Anforderungsniveau erreicht, bei dem die Vorgaben zur Begrenzung des Energiebedarfs resultierend aus der Gebäudenutzungsphase „kostenoptimal“ auf Basis der Grundlagen der

Europäischen Gebäuderichtlinie [5, 6] nur noch minimal erhöht werden können [7–10].

Eine Untersuchung der Autoren zur lebenszyklusbezogenen Energieeffizienz von Gebäuden in Abhängigkeit vom energetischen Gebäudestandard hat ergeben, dass die Herstellungs- und Instandhaltungsphase eines Einfamilienhauses zusammen 30% des gesamten Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ausmachen, wenn das Beispielgebäude die aktuellen Anforderungen der EnEV erfüllt. Für ein berechnetes Mehrfamilienhaus ergaben sich sogar 38% [11]. Für diesen Anteil, resultierend aus Herstellung und Instandhaltung von Gebäuden, sind jedoch bisher keine gesetzlichen Vorgaben zu beachten. Es sind somit über die Nutzungsphase von Gebäuden hinaus erhebliche Einsparpotenziale im Baubereich vorhanden, die durch die geeignete Auswahl von Bauprodukten, Bauweisen und

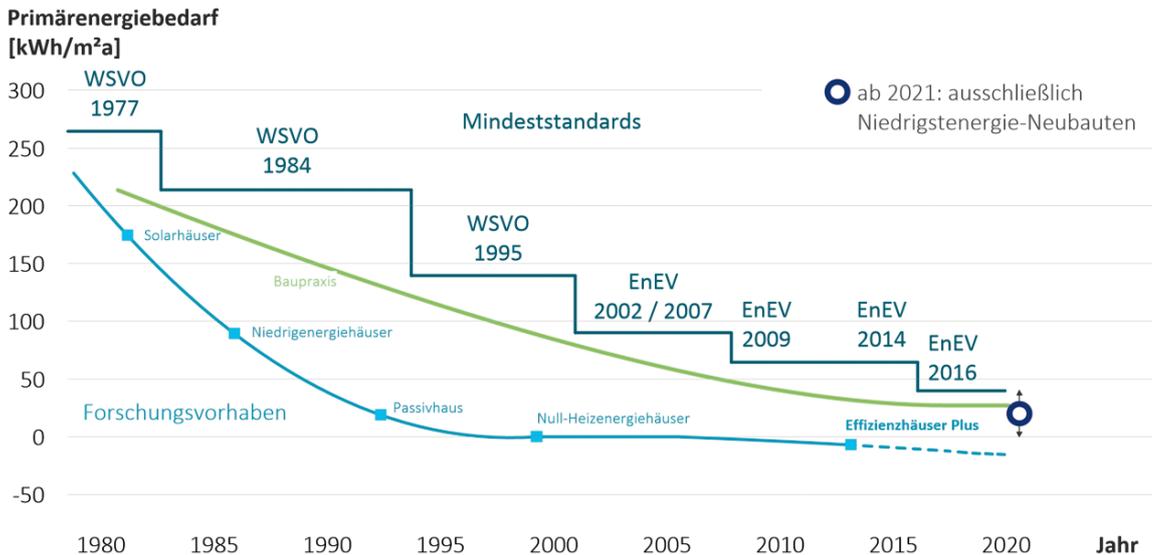


Bild 1 Entwicklung der energetischen Gebäudestandards in Deutschland nach [2]
Development of energetic building standards in Germany according to [2]

anlagentechnischen Konzepten erschlossen werden können. Für das Erreichen der Klimaschutzziele Deutschlands ist die Aktivierung dieser Potenziale extrem bedeutsam, weil der Gebäudesektor mehr als ein Drittel des nationalen Endenergieverbrauchs ausmacht [12].

Um diese Einsparpotenziale nutzbar machen zu können, werden im Rahmen dieses Artikels Ansätze zur Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase bei der energetischen Gebäudebilanzierung vorgestellt.

Zunächst wird im Beitrag auf die Grundlagen eingegangen, welche für die Berechnung des lebenszyklusbezogenen Gebäudeenergiebedarfs herangezogen werden können. Im Anschluss wird beschrieben, wie diese Bausteine sinnvoll für eine Weiterentwicklung der EnEV eingesetzt werden können und wie ein möglicher Berechnungsablauf aussehen könnte.

2 Grundlagen zur Berechnung des lebenszyklusbezogenen Gebäudeenergiebedarfs

Zur Ermittlung des lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar unter Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase von Gebäuden muss nicht zwingend ein komplett neuartiges Rechenverfahren entwickelt werden. Es existieren Berechnungsansätze in deutschen Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen, die hierfür genutzt werden können [13–15]. Außerdem kann auf eine frei zugängliche Datenbank [16] und ein kostenlos nutzbares Bilanzierungstool [17] zur Umsetzung dieser bestehenden Rechenverfahren zurückgegriffen werden.

In den nachfolgenden Abschnitten wird zunächst auf bereits bestehende Grundlagen zur Berechnung des lebenszyklusbezogenen Gebäudeenergiebedarfs eingegangen.

2.1 Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme in Deutschland

In Deutschland kommen derzeit hauptsächlich die Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen“ (BNB) der öffentlichen Hand [18], „Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ (DGNB) der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen [14] und „Nachhaltiger Wohnungsbau“ (NaWoh) des Vereins zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau [19] zur Anwendung. Bei allen drei Systemen ist die Berechnung des lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarfs ein Bestandteil der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden. Während die Anwendung des BNB verpflichtend für Bundesgebäude ist und bisher für Nicht-Wohnbauten eingesetzt wird [18], wurde das NaWoh-System für die Bewertung der Nachhaltigkeit von neu zu errichtenden Wohngebäuden [19] entwickelt. Im Gegensatz dazu ermöglicht das DGNB-System die Nachhaltigkeitszertifizierung von unterschiedlichen Gebäudearten. So kann es aktuell für die Bewertung von Wohnbauten und Gebäuden mit Büro-, Bildungs-, Hotel-, Verbrauchermarkt-, Shoppingcenter-, Geschäftshaus-, Logistik- und/oder Produktionsnutzung herangezogen werden [14]. Aufgrund der weiten Verbreitung und der vielseitigen Einsetzbarkeit des DGNB-Systems, wird nachfolgend das Berechnungsverfahren zur Ermittlung des lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar eines Wohngebäudes auf Grundlage der Berechnungsregeln gemäß DGNB-Version 2018 vorgestellt:

Über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren wird der Energiebedarf unter Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Lebensendphase sowie Vorteile und Belastungen außerhalb des Gebäudelebenszyklus ermittelt. Die Module A1 (Rohstoffbeschaffung), A2 (Transport der Rohstoffe zum Hersteller), A3 (Produktion von Gebäudekomponenten), B4 (Austausch von Gebäudekomponenten), B6 (Energieverbrauch im Gebäudebetrieb), C3 (Ab-

fallverwertung von Gebäudekomponenten), C4 (Entsorgung von Gebäudekomponenten) und D (Potenzial für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling) entsprechend DIN EN 15978 [20] werden hierbei berücksichtigt. Transporte von Gebäudekomponenten und Prozesse auf der Baustelle werden derzeit nicht einbezogen [14].

Im Unterschied zu einer EnEV-Gebäudebilanzierung sind alle Räume unabhängig von der thermischen Konditionierung zu erfassen, wobei die Ergebnisse auf die Netto-Raumfläche entsprechend DIN 277-1 [21] unter Abzug von möglichen Fahrgeleisen zu beziehen sind. Außenanlagen werden vernachlässigt [14].

Für die Ermittlung des lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar kann entweder ein vollständiges oder ein vereinfachtes Berechnungsverfahren herangezogen werden. Bei Anwendung des vollständigen Verfahrens sind alle Gebäudekomponenten und Baumaterialien der Kostengruppen 300 (Baukonstruktionen) und 400 (technische Anlagen) gemäß DIN 276-1 [22] zu betrachten. Es ist eine Mengenermittlung anzufertigen unter Einbeziehung aller Baustoffe, die mehr als 1% der Gebäude-Gesamtmasse ausmachen. Die Summe von nicht berücksichtigten Materialien darf jedoch höchstens 5% der gesamten Masse eines Gebäudes betragen. Wird hingegen das vereinfachte Verfahren eingesetzt, sind im Regelfall nur Außenwände, Kellerwände, Innenwände, Stützen, Türen, Fenster, Dächer, Decken, Bodenplatten, Fußbodenaufbauten, Fundamente, Wärmeerzeuger, Kälteerzeuger, Lüftungsanlagen und sonstige gebäudetechnische Anlagen wie z. B. Solarkollektoren zu bilanzieren. Zum Ausgleich von vernachlässigten Gebäudebestandteilen ist im vereinfachten Verfahren auf die Ergebnisse für Herstellungsphase, Austausch und Lebensendphase ein Aufschlag von 20% zuzurechnen. Der berechnete Energiebedarf resultierend aus dem Gebäudebetrieb bleibt hingegen unverändert [14].

Für Baustoffe mit einer kürzeren Nutzungsdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ist ein Austausch zu bilanzieren, wobei sich die Austauschhäufigkeit berechnet durch Division des Betrachtungszeitraums durch die Bauteilnutzungsdauer abzüglich des Wertes eins. Das Ergebnis ist ganzzahlig aufzurunden. Wird die Erneuerung einer Gebäudekomponente bilanziert, ist sowohl die erneute Herstellung als auch die Verwertung und Entsorgung des ausgetauschten Bauteils anzusetzen [14].

Im Rahmen der Bewertung der Nutzungsphase eines Gebäudes ist neben dem Energieaufwand für den Austausch von veralteten Gebäudebestandteilen auch der EnEV-konforme Energiebedarf resultierend aus der Beheizung, Kühlung, Belüftung und Trinkwarmwasserversorgung einschließlich des Bedarfs an Hilfsenergie zu berücksichtigen [14]. In diesem Wert sind der Energieaufwand für Aufzüge sowie der nutzer- und nutzungsbe-

zogene Energiebedarf (beispielsweise für Kochen) nicht enthalten.

Zum Ende des zu untersuchenden Gebäudelebenszyklus von 50 Jahren ist der Energieaufwand für die Verwertung und Entsorgung aller Gebäudekomponenten anzusetzen [14].

Zur Ermittlung des lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar wird auf die Gleichungen (1) bis (3) zurückgegriffen. Das Ergebnis fließt als ein Indikator in die Beurteilung der umweltbezogenen Qualität und der Nachhaltigkeit eines Gebäudes ein [14]. Der Aufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar repräsentiert einen Teil der Inanspruchnahme von Ressourcen.

$$UWP_G = UWP_K + UWP_N \quad (1)$$

Darin:

UWP_G gesamtes entstehendes „Umweltwirkungspotenzial“ für Konstruktion (K) und Nutzung (N) des Gebäudes [MJ/(m²a)]

UWP_K bei Herstellung, Instandhaltung, Verwertung und Entsorgung des Gebäudes einschließlich der verwendeten Anlagentechnik als jährlicher Durchschnittswert über den für die Zertifizierung angesetzten Betrachtungszeitraum t_d entstehendes „Umweltwirkungspotenzial“ [MJ/(m²a)]

UWP_N prognostiziertes jährliches „Umweltwirkungspotenzial“ für den Betrieb des Gebäudes [MJ/(m²a)]

$$UWP_K = (H + E + I)/t_d \quad (2)$$

mit

H prognostizierter Wert des bei Herstellung des Gebäudes entstehenden „Umweltwirkungspotenzials“ [MJ/(m²a)]

E prognostizierter Wert des bei Verwertung und Entsorgung des Gebäudes entstehenden „Umweltwirkungspotenzials“ [MJ/(m²a)]

I prognostizierter Wert des durch die Instandhaltung und Austausch von Komponenten des Gebäudes entstehenden „Umweltwirkungspotenzials“ [MJ/(m²a)]

t_d für die Zertifizierung angesetzter Betrachtungszeitraum [a]

$$UWP_N = UWP_{NS} + UWP_{NW} + UWP_{NA} \quad (3)$$

mit

UWP_{NS} „Umweltwirkungspotenzial“ des Strombedarfs während der Nutzung des Gebäudes [MJ/(m²a)]

UWP_{NW} „Umweltwirkungspotenzial“ des Wärme- und ggf. Kühlungsbedarfs während der Nutzung des Gebäudes [MJ/(m²a)]

UWP_{NA} prognostiziertes jährliches „Umweltwirkungspotenzial“ für die Nutzerausstattung während des Gebäudebetriebs [MJ/(m²a)] – nur bei ausgewählten Nutzungsprofilen anzusetzen

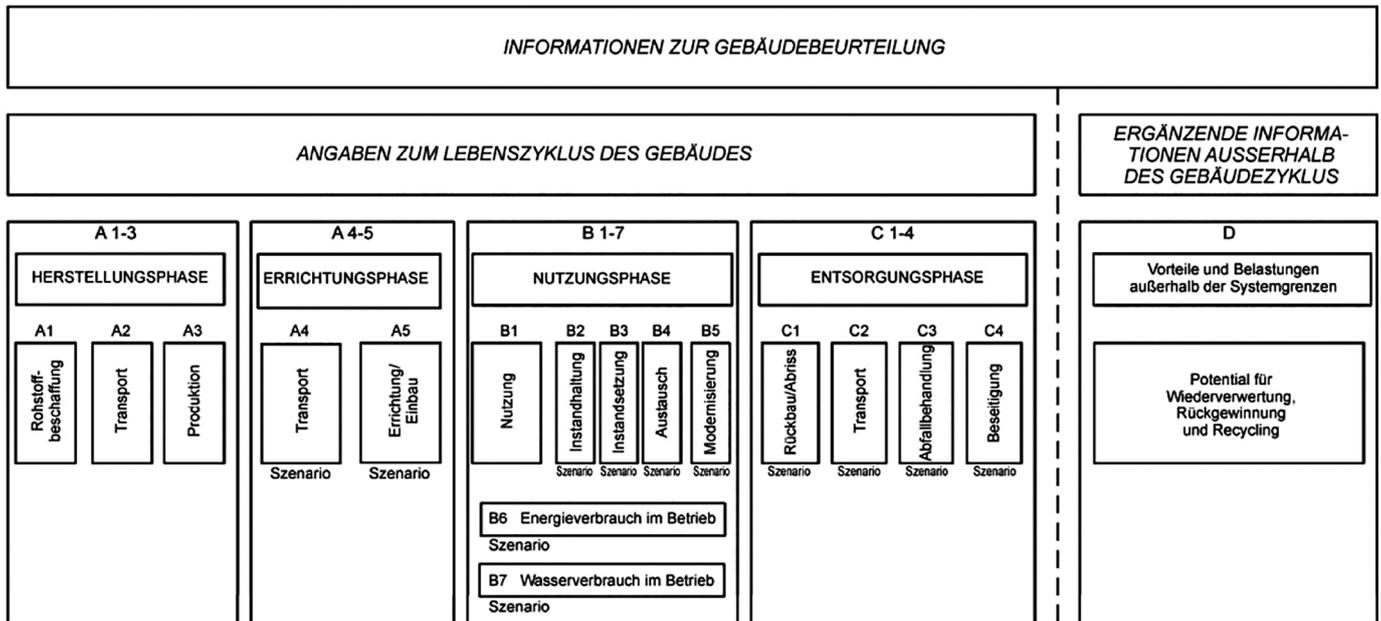


Bild 2 Lebenszyklusphasen eines Gebäudes nach DIN EN 15978 [20]
Life cycle phases of a building according to DIN EN 15978 [20]

2.2 Gebäude-Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15978

Die DIN EN 15978 [20] beinhaltet eine Berechnungsmethode zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden. Hinsichtlich der Weiterentwicklung der EnEV ist diese Norm hilfreich, da sie Informationen zu einer möglichen Aufteilung des Gebäudelebenszyklus in unterschiedliche Phasen enthält. Gemäß Bild 2 hält die DIN EN 15978 16 Module zur Unterteilung des Lebenszyklus eines Gebäudes in eine Herstellungs- (Module A1 bis A3), Errichtungs- (Module A4 und A5), Nutzungs- (Module B1 bis B7) und Entsorgungsphase (Module C1 bis C4) bereit.

Zusätzlich kann das Modul D herangezogen werden, um Vorteile und Belastungen außerhalb des Gebäudelebenszyklus bilanzieren zu können. Das Modul D ermöglicht das Potenzial von verbauten Materialien bzgl. Wiederverwendung, Recycling und Energierückgewinnung nach Ende des Lebenszyklus eines Gebäudes abzuschätzen [20, 23].

2.3 Datenbank ÖKOBAUDAT

Bei der vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) bereitgestellten ÖKOBAUDAT handelt es sich um eine Datenbank für die Ökobilanzierung von Bauwerken. Die ÖKOBAUDAT besteht aus mehr als 1 000 Datensätzen und enthält Informationen zu 25 Ökobilanzindikatoren von Baustoffen und Gebäudekomponenten [16].

Zur Veranschaulichung der Datenbank sind in Tab. 1 ausgewählte Werte für einen mit Dämmstoff gefüllten Mauerziegel aufgeführt. Beispielsweise ist für die Herstellung (entspricht den Modulen A1-A3 entsprechend

DIN EN 15978) von 1 m³ des Baustoffes der Einsatz von 1783 MJ Primärenergie, nicht erneuerbar erforderlich [24].

Die Datenbank setzt sich zusammen aus generischen, durchschnittlichen, repräsentativen und firmenspezifischen Datensätzen [17] und bildet eine verbindliche Datengrundlage für die verpflichtende Bewertung der Nachhaltigkeit von Bundesgebäuden im Rahmen einer BNB-Zertifizierung [18].

2.4 Gebäude-Ökobilanzierungstool eLCA

Mit dem Gebäude-Ökobilanzierungstool eLCA [17] bietet das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) ein internetbasiertes und kostenlos zugängliches Programm zur Ökobilanzierung von Gebäuden an, welches sich derzeit in einem Beta-Stadium befindet. Das Tool ist gekoppelt mit der Datenbank ÖKOBAUDAT und ermöglicht somit den automatischen Zugriff auf Ökobilanzinformationen zu Baustoffen und Gebäudekomponenten. Außerdem sind im Programm Daten bezüglich der Nutzungsdauern von Bauteilen und Haustechnikkomponenten hinterlegt [25].

Das eLCA-Tool erlaubt es, auf Basis der Eingabe von Bauteilquerschnitten die Materialmassen eines Gebäudes zu erfassen. Durch den automatischen Rückgriff auf Ökobilanz- und Lebensdauerdaten kann unter Verwendung des Programms sowohl für einzelne Gebäudekomponenten als auch für komplette Gebäude unter anderem der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase berechnet werden.

Unter Nutzung des eLCA-Tools lässt sich, wie in Bild 3 dargestellt, beispielsweise berechnen, dass für die Herstel-

Tab. 1 ÖKOBAUDAT-Parameter für den Baustoff „Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt)“ nach [24]
ÖKOBAUDAT parameters for the building material “Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt)” according to [24]

Indikator	Richtung	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	Input	MJ	287,1	3,235	0,204	0	0	0	0	0	-	-	0,1888	1,74	1,56	0,3624	-9,445
Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	Input	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
Total erneuerbare Primärenergie (PERT)	Input	MJ	287,1	3,235	0,204	0	0	0	0	0	-	-	0,1888	1,74	1,56	0,3624	-9,445
Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	Input	MJ	1783	54,53	2,421	0	0	0	0	0	-	-	4,808	44,29	28,32	4,393	-101,8
Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	Input	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
Total nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT)	Input	MJ	1783	54,53	2,421	0	0	0	0	0	-	-	4,808	44,29	28,32	4,393	-101,8

lung und Entsorgung eines 1 m² großen Außenwandquerschnitts bestehend aus beidseitig verputztem 36,5 cm dicken mit Dämmstoff gefüllten Ziegelmauerwerk ein Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar von 19,37 MJ/a anfällt, bei Ansatz eines Betrachtungszeitraums von 50 Jahren [17].

Mithilfe eines von den Autoren entwickelten Tools auf Basis von Microsoft Excel konnte am Beispiel eines Einfamilienhauses die korrekte Berechnungsweise vom Programm eLCA erfolgreich überprüft werden [26]. Das eLCA-Tool kann zur allgemeinen Anwendung empfohlen werden.

3 Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV

Wie in den vorherigen Abschnitten aufgezeigt werden konnte, stehen die wichtigen Grundlagen für die Berechnung des lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarfs von Gebäuden unter Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase bereit.

Im Rahmen der Weiterentwicklung der EnEV erscheint es sinnvoll, die nachfolgend beschriebenen Randbedingungen zu diskutieren.

3.1 Betrachtungszeitraum

Im DGNB-System wird ein 50-jähriger Betrachtungszeitraum (Ausnahme: 20 Jahre für Produktions- und Logistikgebäude) mit abschließender Abfallverwertung und Entsorgung aller berücksichtigten Gebäudekomponenten angesetzt [14]. Tatsächlich werden Gebäude viel länger verwendet [27, 28] und im Jahr 2017 wurden in Deutschland weniger als 0,1% der bestehenden Wohngebäude abgerissen [29, 30]. Demnach erscheint der standardmäßige DGNB-Ansatz nicht realistisch.

Bei der Festlegung eines alternativen Ansatzes sollte beachtet werden, dass der Klimaschutzplan 2050 [31] der Bundesregierung nur die Klimaschutzlangfriststrategie für Deutschland bis ins Jahr 2050 hinein regelt. Darüber hinaus gestaltet es sich sehr schwierig die Entwicklungen im Gebäudesektor abzuschätzen, weil beispielsweise aktuell nicht abzusehen ist, welche nationalen und internationalen Klimaschutzziele darauf aufbauend verfolgt werden und welche neuen Technologien zum Erreichen dieser Ziele zur Verfügung stehen werden.

Aber auch die aus Sicht der Autoren sinnvolle Abschätzung und rechnerische Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung der Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar von Energieträgern (siehe Abschnitt 3.4) lässt sich über das Jahr 2050 hinaus nur eingeschränkt umsetzen.

Außenwand

Menge:		1,00 m ²		Nettogrundfläche:		1,00 m ²	
Indikator	Einheit	Herstellung / m ² _{NGFA}	Entsorgung / m ² _{NGFA}	Instandhaltung / m ² _{NGFA}	Gesamt / m ² _{NGFA}	Rec.potential / m ² _{NGFA}	
GWP	kg CO ₂ -Äqv.	1,5806250662	-0,0651481780	0,0000000000	1,5154768882	-0,0509136205	
ODP	kg R11-Äqv.	2,7166096820E-11	2,6685083226E-13	0,0000000000	2,7432947652E-11	-1,3848785343E-12	
POCP	kg Ethen-Äqv.	9,4142850219E-4	1,5744453213E-5	0,0000000000	9,5717295540E-4	2,3051216190E-5	
AP	kg SO ₂ -Äqv.	3,4716944798E-3	1,2894056384E-4	0,0000000000	3,6006350436E-3	-1,4231005425E-4	
EP	kg PO ₄ -Äqv.	3,9471482393E-4	2,5211555787E-5	0,0000000000	4,1992637972E-4	-2,7944708854E-5	
PE Ges.	MJ	21,5825915773	0,3449436607	0,0000000000	21,9275352380	-0,8120258350	
PENRT	MJ	19,0442316245	0,3229039554	0,0000000000	19,3671355800	-0,7430775041	
PENRM	MJ	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	
PENRE	MJ	19,0442316245	0,3229039554	0,0000000000	19,3671355800	-0,7430775041	
PERT	MJ	2,5383599528	0,0220397052	0,0000000000	2,5603996580	-0,0689483309	
PERM	MJ	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	
PERE	MJ	2,5383599528	0,0220397052	0,0000000000	2,5603996580	-0,0689483309	
ADP elem.	kg Sb-Äqv.	1,4283333438E-6	2,0090257995E-8	0,0000000000	1,4484236017E-6	-5,1655096334E-9	
ADP fossil	MJ	17,8668482800	0,3114399273	0,0000000000	18,1782882073	-0,6702686373	

Gesamt inkl. A1-3, B6, C3, C4; Instandhaltung inkl. A1-3, C3, C4

► Ergebnisse für Baustoffe

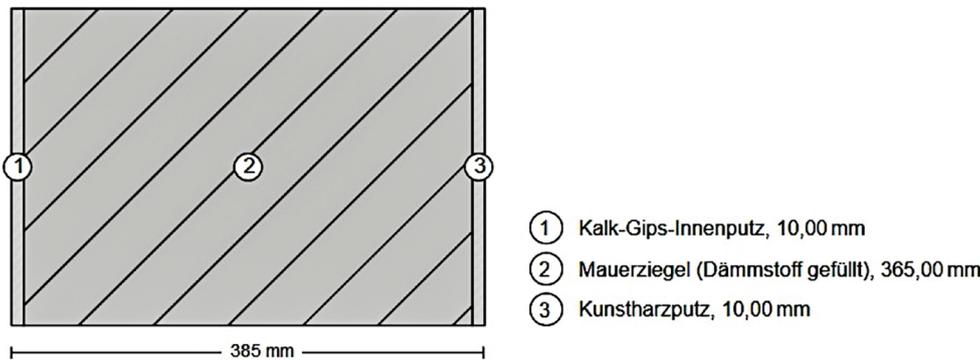


Bild 3 eLCA-Tool-Ergebnisse für einen Außenwandquerschnitt nach [17]
 eLCA tool results for an external wall cross-section according to [17]

Insgesamt wird deshalb empfohlen, im Rahmen der Weiterentwicklung der EnEV unter Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase, nur die ersten 30 Jahre der Gebäudenutzung zu betrachten ohne Ansatz eines Gebäuderückbaus.

3.2 Zu bilanzierende Lebenszyklusphasen

In Anlehnung an das DGNB-Zertifizierungssystem [14] und die DIN EN 15978 [20] wird vorgeschlagen in der Herstellungsphase die Rohstoffbeschaffung (Modul A1), den Transport dieser Grundstoffe zu den Baustoffherstellern (Modul A2) sowie die Produktion der Baustoffe (Modul A3) zu bilanzieren.

Nach der Fertigstellung eines Gebäudes ist in der Nutzungsphase zum einen der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus der Beheizung, Kühlung, Belüftung, Warmwasserversorgung und Beleuchtung (nur für Nichtwohngebäude) einschließlich des Bedarfs an Hilfsenergie entsprechend der aktuell gültigen EnEV 2014 [32] zu berücksichtigen (Modul B6). Es wird empfohlen das Rechenverfahren gemäß der Normenreihe DIN V 18599 [33] anzuwenden. Im Vergleich zu einer alternativen EnEV-konformen Berechnung unter

Einsatz der DIN V 4108-6 [34] in Kombination mit der DIN V 4701-10 [35] bestehen dadurch die Vorteile, dass sowohl Wohn- als auch Nichtwohngebäude auf Basis der gleichen Normgrundlage berechnet werden können und dass insgesamt mehr Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung berücksichtigt werden können. Beispielsweise ermöglicht die Anwendung der Normenreihe DIN V 18599 die Bilanzierung des aus fest eingebauter künstlicher Beleuchtung in Gebäuden resultierenden Energiebedarfs [33].

Für Gebäudebestandteile mit einer kürzeren Nutzungsdauer im Vergleich zum vorgeschlagenen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ist zu entscheiden, ob ein Austausch realistisch erscheint. Die Austauschhäufigkeit ist dann unter Verwendung der Gleichung (4) zu bestimmen, wobei Ergebnisse ganzzahlig abzurunden sind.

$$n_{\text{Austausch}} = \left(\frac{t_B}{t_N} \right) \tag{4}$$

- Darin:
- $n_{\text{Austausch}}$ Austauschhäufigkeit einer Gebäudekomponente; ganzzahlig abrunden [-]
 - t_B Betrachtungszeitraum [a]
 - t_N Nutzungsdauer einer Gebäudekomponente [a]

Tab. 2 Zu bilanzierende Gebäude-Lebenszyklusphasen
Building life cycle phases to be calculated

Lebenszyklusphasen	Herstellungsphase (A 1-3)			Errichtungsphase (A 4-5)		Nutzungsphase (B 1-7)							Entsorgungsphase (C 1-4)				Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen (D)
	Rohstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	
Module gemäß DIN EN 15978	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
zu bilanzierende Module	x	x	x	-	-	-	-	-	x ¹	-	x	-	-	-	x	x	-

¹ beinhaltet Herstellung baugleicher Ersatzteile (nicht den Austauschprozess selbst); Verwertung und Entsorgung in C3 bzw. C4 zu berücksichtigen

Der Energieaufwand für die Herstellung von baugleichen Ersatzteilen ist dem Modul B4 zuzuordnen, währenddessen die Verwertung und Entsorgung von veralteten Gebäudekomponenten dem Modul C3 bzw. C4 zugeordnet werden kann.

Sämtliche Transporte von Bauteilen (Module A4 und C2) sowie jegliche Baustellenprozesse (Module A5 und C1) sind zur Minimierung des Bearbeitungsaufwands zu vernachlässigen. Auch der nutzerspezifische Stromverbrauch (Modul B1) ist im Vergleich zum Energiebedarf resultierend aus der Gebäudekonditionierung (Modul B6) nicht zu bilanzieren, weil es sich dabei um keinen gebäudespezifischen Energieaufwand handelt.

Aufgrund des Betrachtungszeitraums von 30 Jahren ist kein Gebäuderückbau anzusetzen, da Gebäude in der Regel über einen deutlich längeren Zeitraum betrieben werden [27, 28]. Es sind nur die ersten drei Jahrzehnte der Gebäudenutzung zu betrachten. Außerdem wird im Unterschied zum DGNB-System abgeraten von dem rechnerischen Ansatz der Einsparpotenziale infolge einer zukünftigen Wiederverwertung und des Recyclings von eingesetzten Gebäudekomponenten sowie der Energierückgewinnung aus verwendeten Baustoffen (Modul D), da sich nicht sicher abschätzen lässt, ob diese Potenziale in Zukunft auch tatsächlich genutzt werden.

Im Sinne einer guten Überschaubarkeit sind in Tab. 2 die Empfehlungen hinsichtlich der zu bilanzierenden Gebäude-Lebenszyklusphasen (grün markiert) zusammengefasst.

3.3 Detaillierungsgrad

Bei der Anfertigung einer Gebäude-Ökobilanzierung, beispielsweise entsprechend den Regularien der DGNB, be-

stehen die Möglichkeiten entweder ein vollständiges oder ein vereinfachtes Rechenverfahren anzuwenden [14].

Bei Durchführung einer vereinfachten Berechnung sind DGNB-konform nur die nachfolgend aufgelisteten Gebäudekomponenten gemäß [14] zu bilanzieren:

- Außenwände (inklusive Türen und Fenster) und Kellerwände,
- Dach,
- Geschosdecken (inklusive Fußbodenaufbau und -beläge und Beschichtungen),
- Bodenplatte (inklusive Fußbodenaufbau und -beläge und Beschichtungen sowie Geschosdecken über Luft),
- Fundamente,
- Innenwände und Türen (inklusive Beschichtungen sowie Innenstützen),
- Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen sowie lufttechnische Anlagen,
- sonstige gebäudetechnische Anlagen (z. B. Photovoltaik oder der Einsatz von solaren Kollektoren) und
- in Einzelfällen: Nutzerausstattung mit nennenswertem Energieverbrauch in der Nutzungsphase (sofern geeignete Ökobilanzdaten dafür vorliegen, beispielsweise Kühltheken und Kühlräume), nutzerspezifisch können hier weitere Konkretisierungen vorgenommen werden.

Für vernachlässigte Gebäudebestandteile ist bei Anwendung des vereinfachten DGNB-Verfahrens ein Zuschlagsfaktor anzusetzen. Der ermittelte Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus Herstellung (Module A1 bis A3 entspr. DIN EN 15978), Austausch (Modul B4) und Entsorgung (Module C3 und C4) von Gebäudekomponenten sowie aus Einsparpotenzialen für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling von Baustoffen

(Modul D) ist mit einem Faktor von 1,2 zu multiplizieren [14].

Um einen zu hohen Detaillierungsgrad zu vermeiden und daraus folgend den Zeitaufwand bei der lebenszyklusbezogenen energetischen Gebäudebewertung sinnvoll zu begrenzen, wird grundsätzlich empfohlen, von einer vollständigen Mengenermittlung abzusehen [36].

In Anlehnung an das vereinfachte DGNB-Verfahren wird vorgeschlagen nur die Außenwände, Kellerwände, Innenwände, Stützen, Fenster, Außentüren, Innentüren, Fundamente, Bodenplatten und Geschossdecken (inklusive Fußbodenaufbauten), Dächer, Wärmeerzeuger, Kälteerzeuger, Lüftungszentralen, Energiespeicher sowie Wärmeverteilerleitungen von Gebäuden im Rahmen einer Masenermittlung zu berücksichtigen. Zum Ausgleich von vernachlässigten Gebäudebestandteilen erscheint auf Basis der Erkenntnisse des Forschungsprojektes [36] ein Zuschlagsfaktor von 1,1 auf die Ergebnisse für Herstellung (Module A1 bis A3), Austausch (Modul B4) und Entsorgung (Module C3 und C4) von Gebäudekomponenten zweckmäßig, wobei dieser Wert im Rahmen weiterer Untersuchungen noch präzisiert werden kann. Im Vergleich zu einer aktuellen EnEV-Gebäudebilanzierung würde dieser neue Ansatz einen zeitlichen Mehraufwand insbesondere für die Erfassung des Innenausbaus bedeuten. Durch die zukünftige Entwicklung von vereinfachten Ermittlungsverfahren könnte der zeitliche Mehraufwand auf ein vertretbares Maß reduziert werden.

3.4 Primärenergiefaktoren und mittlerer Primärenergiebedarf

Bei der Berechnung des EnEV-konformen Jahres-Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar resultierend aus der Beheizung, Kühlung, Belüftung, Warmwasserversorgung und Beleuchtung (nur für Nichtwohngebäude) einschließlich des Bedarfs an Hilfsenergie unter Verwendung der Normenreihe DIN V 18599 [33] kommt den eingesetzten Energieträgern entsprechend der Gleichung (5) eine große Bedeutung zu.

$$Q_p = \sum_{i=1}^n \left(Q_{f,i} \cdot \left(\frac{f_{p,i}}{f_{HS,HI,i}} \right) \right) \quad (5)$$

Darin:

- Q_p Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus der Gebäudekonditionierung [kWh/a]
- $Q_{f,i}$ Jahres-Endenergiebedarf des Energieträgers i resultierend aus der Gebäudekonditionierung [kWh/a]
- $f_{p,i}$ Primärenergiefaktor, nicht erneuerbar des Energieträgers i [-]
- $\frac{f_{HS}}{f_{HI}}$ Verhältnis Brennwert zu Heizwert für den Energieträger i [-]

In Zukunft wird insbesondere der Primärenergiefaktor, nicht erneuerbar von Strom aufgrund des steigenden An-

teils von Elektrizität aus erneuerbaren Energien eine erhebliche Reduktion erfahren [37–43]. Auch die Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar der Energieträger Gas und Öl könnten durch eine zukünftige Beimischung von bis zu 20% Biogas bzw. Bioöl niedriger ausfallen [37]. Insbesondere für Gebäude mit einem hohen Strombedarf bedeutet diese Entwicklung, dass bei konstantem Wärmedämmniveau der Gebäudehülle und gleichbleibender technischer Gebäudeausrüstung der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus der Gebäudekonditionierung deutlich sinken wird. Deshalb wird es als sinnvoll angesehen, während des vorgeschlagenen Betrachtungszeitraums von 30 Jahren einen mittleren Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des Gebäudelebenszyklus zu bewerten.

Für die Bilanzierung des mittleren Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar resultierend aus der Gebäudekonditionierung (Modul B6 entspr. DIN EN 15978) kann die Umsetzung dieses neuen Ansatzes ohne Probleme erfolgen. Es müssen lediglich Untersuchungen zur Entwicklung der Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar bis zum Jahr 2050 durchgeführt werden und darauf aufbauend Festlegungen getroffen werden. Die Auswertung bereits existierender Studien für den Energieträger Strom hat zu der Erkenntnis geführt, dass die Abschätzung im Forschungsbericht „Dynamische Primärenergiefaktoren – Konzept mit einem Stromsystemmodell – Berechnungsvorschrift und erste Ergebnisse“ [38] eine gute Grundlage für eine Festlegung bilden könnte.

Zur Berechnung des mittleren Jahres-Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar resultierend aus der Gebäudekonditionierung ist die Gleichung (6) zu verwenden.

$$\bar{Q}_p = \frac{\sum_{j=1}^m Q_{p,j}}{m} \quad (6)$$

Darin:

- \bar{Q}_p mittlerer Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus der Gebäudekonditionierung [kWh/a]
- $Q_{p,j}$ Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar des Jahres j resultierend aus der Gebäudekonditionierung [kWh/a]
- m Anzahl der betrachteten Jahre [-]

Komplizierter gestaltet sich die Situation bei der Bestimmung des Energieaufwands für den Austausch von Gebäudekomponenten mit einer kürzeren Nutzungsdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum von 30 Jahren (Modul B4) und der Verwertung und Entsorgung dieser veralteten Gebäudebestandteile (Modul C3 bzw. C4). Die Problematik liegt darin begründet, dass für die Bilanzierung dieser Module der Rückgriff auf die Datenbank ÖKOBAUDAT [16] grundsätzlich sinnvoll erscheint, die Daten allerdings keine Zukunftsansätze enthalten. Im Idealfall könnten in die Datensätze Abschätzungen eingearbeitet werden, wie sich der aktuelle Energieaufwand für Aus-

tausch, Verwertung und Entsorgung einer veralteten Gebäudekomponente aufgrund sinkender Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar bis zum Jahr 2050 ändern könnte.

3.5 Datenbasis, Softwareeinsatz und Berechnungsablauf

Es wird empfohlen für die Berechnung des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar unter Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase von Gebäuden auf die Ökobilanzdaten der Datenbank ÖKOBAUDAT [16] zurückzugreifen. Die ÖKOBAUDAT weist zwar insbesondere hinsichtlich möglicher Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung Datenlücken auf. Mit einem Umfang von mehr als 1 000 Datensätzen [16] ermöglicht die ÖKOBAUDAT dennoch den Großteil der Materialien und Komponenten eines Gebäudes zu berücksichtigen. Derzeit noch vorhandene Informationslücken können in Zukunft durch Fortschreibung der Datenbank geschlossen werden.

Außerdem wird es als sinnvoll erachtet, für eine lebenszyklusbezogene energetische Gebäudebewertung auf das Ökobilanzierungstool eLCA zurückzugreifen, da es gekoppelt ist an die Datenbank ÖKOBAUDAT und zusätzlich im Programm Daten bzgl. der Nutzungsdauern von Bauteilen und Haustechnikkomponenten hinterlegt sind [25].

Zur Umsetzung der Empfehlung die zukünftige Entwicklung der Primärenergiefaktoren zu berücksichtigen und darauf aufbauend den mittleren Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des Gebäudelebenszyklus zu berechnen, ist allerdings zum jetzigen Zeitpunkt der Einsatz eines zusätzlichen Tools notwendig. Zur Zusammenführung der Ergebnisse resultierend aus der Herstellung (Module A1 bis A3 entspr. DIN EN 15978), dem Austausch (Modul B4) und der Entsorgung (Module C3 und C4) von Gebäudekomponenten aus dem eLCA-Tool mit dem mit Hilfe einer EnEV-Software ermittelten Energiebedarf resultierend aus der Beheizung, Kühlung, Belüftung, Warmwasserversorgung und Beleuchtung (nur für Nichtwohngebäude) einschließlich des Bedarfs an Hilfsenergie eines Gebäudes (Modul B6) kann beispielsweise Microsoft Excel verwendet werden.

Bei der Ermittlung des lebenszyklusbezogenen Gebäudeenergiebedarfs bietet es sich an, zur Einarbeitung in ein Projekt, zunächst eine EnEV-Berechnung anzufertigen und auf diesem Weg den Energieaufwand für die Gebäudekonditionierung zu bestimmen. Im Anschluss ist auf Basis einer Massenermittlung zu den eingesetzten Bauteilen und Materialien mithilfe des eLCA-Tools der Energiebedarf resultierend aus der Herstellung sowie dem möglichen Austausch und der Entsorgung von veralteten Gebäudekomponenten zu berechnen. Abschließend sind, zur Ermittlung des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar unter Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase eines Gebäudes, die Resultate aus der verwendeten EnEV-Software mit den Ergebnissen

aus dem eLCA-Tool mithilfe der Gleichung (7) zusammenzuführen. Zum Ausgleich von vernachlässigten Gebäudekomponenten sind die Ergebnisse aus der eLCA-Berechnung mit dem vorgeschlagenen Zuschlagsfaktor Z von 1,1 zu multiplizieren.

$$\bar{Q}_{\text{PENRT}} = \left(\frac{\bar{Q}_{\text{PENRT,A1-A3}} + \bar{Q}_{\text{PENRT,Instandh.}}}{3,6} \right) \times Z + \bar{Q}_{\text{PENRT,B6}} \quad (7)$$

Darin:

\bar{Q}_{PENRT}	mittlerer Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des untersuchten Gebäudelebenszyklus [kWh/a]
$\bar{Q}_{\text{PENRT,A1-A3}}$	\bar{Q}_{PENRT} resultierend aus der Gebäudeherstellung [MJ/a] – aus eLCA-Tool
$\bar{Q}_{\text{PENRT,Instandh.}}$	\bar{Q}_{PENRT} resultierend aus der Gebäudeinstandhaltung [MJ/a] – aus eLCA-Tool
$\bar{Q}_{\text{PENRT,B6}}$	\bar{Q}_{PENRT} resultierend aus der Gebäudekonditionierung [kWh/a] – aus EnEV-Software
Z	Zuschlagsfaktor zum Ausgleich vernachlässigter Gebäudekomponenten [-]

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Artikels wurden zunächst existierende Grundlagen vorgestellt, welche für die Bilanzierung des lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar von Gebäuden herangezogen werden können. Es wurde auf das Nachhaltigkeitszertifizierungssystem DGNB [14], die Gebäude-Lebenszyklusphasen entsprechend der DIN EN 15978 [20], die Datenbank ÖKOBAUDAT [16] sowie auf das Gebäude-Ökobilanzierungstool eLCA [17] eingegangen.

Im Anschluss wurde beschrieben, wie diese Grundlagenbausteine sinnvoll für eine Weiterentwicklung der EnEV unter Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase von Gebäuden eingesetzt werden können und wie ein möglicher Berechnungsablauf aussehen könnte. Nach Anfertigung einer EnEV-Berechnung zur Ermittlung des Energiebedarfs resultierend aus der Gebäudekonditionierung ist auf Basis einer Massenermittlung zu den eingesetzten Bauteilen und Materialien mithilfe des eLCA-Tools der Energiebedarf resultierend aus der Herstellung sowie dem möglichen Austausch und der Entsorgung von veralteten Gebäudekomponenten zu berechnen. Abschließend sind zur Ermittlung des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar unter Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase eines Gebäudes, die Resultate aus der verwendeten EnEV-Software mit den Ergebnissen aus dem eLCA-Tool zusammenzuführen.

Mithilfe der hier vorgestellten Methode zur Bilanzierung des lebenszyklusbezogenen Gebäudeenergiebedarfs kann ein wesentlicher Beitrag zur Aktivierung bisher ungenutz-

ter Energieeinsparpotenziale und zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Gebäudesektor geleistet werden.

Aus Sicht der Autoren sind weitere Forschungsarbeiten sinnvoll, um auf der einen Seite die Praxistauglichkeit der vorgestellten Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV zu optimieren. So könnte die Entwicklung einer Methode zur vereinfachten Berücksichtigung des Innenausbaus dazu führen, dass der Bearbeitungsaufwand zur Bewertung eines Gebäudes erheblich minimiert wird, bei Sicherstellung einer ausreichenden Berechnungsgenauigkeit. Außerdem müssen für eine gesetzliche Einführung der dargestellten Ansätze sinnvolle neue Anforderungswerte auf Basis der Vorgaben der Europäischen Gebäude-Richtlinie [5, 6] entwickelt werden.

Literatur

[1] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: *Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden*. Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV, 1977.

[2] Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP): *Wege zum Effizienzhaus-Plus*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 2011.

[3] Schöndube, T.; Carrigan, S.; Schoch, T. et al. (2017) *Auswirkungen der Entwicklung zu Niedrigstenergiegebäuden auf die Gebäudehülle* in: Fouad, N. A. [Hrsg.] Bauphysik-Kalender 2017. Gebäudehülle und Fassaden, Berlin: Ernst & Sohn Verlag.

[4] Gesetzentwurf der Bundesregierung: *Gesetz zur Vereinheitlichung des Energiesparrechts für Gebäude. Gebäudeenergiegesetz (GEG)*.

[5] Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union (2010) *Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010*.

[6] Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union (2018) *Richtlinie (EU) 2018/844 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz*.

[7] Schöndube, T.; Carrigan, S.; Schoch, T. et al. (2018) *Niedrigstenergiegebäude – Entwicklung eines Standards und einer Berechnungsmethode für die Gebäudeenergieeffizienz*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

[8] Schöndube, T.; Carrigan, S.; Schoch, T. et al. (2017) *Niedrigstenergiegebäude-Standard in Deutschland* in: Kornadt, O.; Carrigan, S.; Hoffmann, S. et al. [Hrsg.] Bauphysiktag Kaiserlautern 2017. Bauphysik in Forschung und Praxis, Schriftenreihe des Fachgebiets Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung, Band 4, S. 115–120. Kaiserlautern: Eigenverlag der Technischen Universität Kaiserslautern.

[9] Schöndube, T.; Carrigan, S.; Schoch, T. et al. (2018) *Primärenergiebedarf und Gesamtkosten von Gebäuden* in: Pahn, M.; Thiele, C.; Glock, C. [Hrsg.] Vielfalt im Massivbau. Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell, S. 806–823. Berlin: Ernst & Sohn Verlag.

[10] Schöndube, T.; Carrigan, S.; Schoch, T. et al. (2017) *Standard of nearly zero energy buildings in Germany, Standard von Niedrigstenergiegebäuden in Deutschland* in: European Journal of Masonry 21, Heft 5, S. 273–286.

[11] Schöndube, T.; Beecken, C.; Becker, S. et al.: (2019) *Primärenergiebedarf resultierend aus Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase von Gebäuden in Abhängigkeit*

Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) für die Förderung mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau sowie für die Bereitstellung des Gebäude-Ökobilanzierungstools eLCA und dem Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) für die Zurverfügungstellung der Datenbank ÖKOBAUDAT.

Die Autoren danken weiterhin Herrn Prof. Dr.-Ing. Lützkendorf für die Beratung während des Projektes sowie die Unterstützung bei der Erarbeitung dieses Beitrages.

vom energetischen Gebäudestandard in: Völker, C.; Kornadt, O.; Jentsch, M. et al. [Hrsg.] Bauphysiktag 2019 in Weimar. Bauphysik in Forschung und Praxis. Schriftenreihe der Professur Bauphysik, Bauhaus-Universität Weimar, S. 82–87.

[12] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2017) *Energieeffizienz in Zahlen. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)*. Frankfurt.

[13] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2015) *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude. Bilanzierungsregeln für die Erstellung von Ökobilanzen*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).

[14] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) (2018) *DGNB System. Kriterienkatalog Gebäude Neubau*.

[15] Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V. (NaWoh) (2018) *Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau Mehrfamilienhäuser – Neubau. Hauptkriterien-gruppe Ökologische Qualität*. http://www.nawoh.de/uploads/pdf/kriterien/v_3_1/3-Oekologische_Qualitaet_3_1.pdf [Zugriff am: 02. Dez. 2018]

[16] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) (2019) *Ökobaudat* [online] Informationsportal Nachhaltiges Bauen. <https://www.oekobaudat.de/> [Zugriff am: 20. Dez. 2019]

[17] Rössig, S. (2014) *eLCA*. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR).

[18] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016) *Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden*. Berlin.

[19] Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V. (NaWoh) (2013) *Nachhaltiger Wohnungsbau. System zur Beschreibung und Bewertung der Qualität und Nachhaltigkeit neuer Mehrfamilienhäuser*. Bad Langensalza.

[20] DIN EN 15978:2012-10 (2012) *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode. Deutsche Fassung EN 15978:2011*. Beuth, Berlin.

[21] DIN 277-1:2016-01 (2016) *Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen – Teil 1: Hochbau*. Beuth, Berlin.

[22] DIN 276-1:2008-12 (2008) *Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau*. Beuth, Berlin.

[23] CAALA (2019) *Was ist das Modul D der Lebenszyklusanalyse?* [online] <https://caala.de/knowledgebase/faq/recyc>

- lingpotential-modul-d-der-lebenszyklusanalyse [Zugriff am: 16. Dez. 2019]
- [24] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) (2019) *Ökobaudat. Prozess-Datensatz: Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt)*. [online] https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=8a7bcf84-f0a1-46fe-a146-4af9a182edfe&stock=OBD_2019_III&lang=de [Zugriff am: 20. Dez. 2019]
- [25] Rössig, S. (2014) *eLCA Starter-Handbuch*. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR).
- [26] Blum, T. (2019) *Entwicklung eines Excel-basierten Tools zur Berechnung des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Äquivalenten von Gebäuden resultierend aus Errichtungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase* [Masterarbeit]. Technische Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Bauphysik/Energetische Gebäudeoptimierung. Kaiserslautern.
- [27] Herr, T. (2017) *Technische Grundlagen von Wohnimmobilien* in: Arnold, D.; Rottke, N. B.; Winter, R. [Hrsg.] *Wohnimmobilien. Lebenszyklus, Strategie, Transaktion*, S. 419–456. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag.
- [28] Bund Technischer Experten e.V. (BTE): *Arbeitsblatt der BTE-Arbeitsgruppe: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte*.
- [29] Statista GmbH (2018) *Abriss von Wohngebäuden in Deutschland nach Gebäudeart in den Jahren 2002 bis 2017* [online] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/198175/umfrage/abriss-von-wohngebaeuden-in-deutschland-seit-2002-nach-wohnungsanzahl/> [Zugriff am: 04. Dez. 2018]
- [30] Statistisches Bundesamt (2018) *Gebäude und Wohnungen. Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden, Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden, Lange Reihen ab 1969–2017*.
- [31] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016) *Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung*.
- [32] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat (2014) *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Energieeinsparverordnung – EnEV*.
- [33] DIN V 18599:2018-09 (2018) *Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*. Beuth, Berlin.
- [34] DIN V 4108-6:2003-06 (2003) *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs*. Beuth, Berlin.
- [35] DIN V 4701-10:2003-08 (2003) *Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung*. Beuth, Berlin.
- [36] Pohl, S. (2014) *Analyse der Rechenverfahren für die Ökobilanzierung im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB). Gegenüberstellung von detailliertem und vereinfachtem Rechenverfahren*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- [37] Hoier, A.; Erhorn, H. (2013) *Energetische Gebäudesanierung in Deutschland – Studie Teil I: Entwicklung und energetische Bewertung alternativer Sanierungsfahrpläne* [IBP-Bericht WB 170/2013]. Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP).
- [38] Dornmair, R.; Kuhn, P. (2017) *Dynamische Primärenergiefaktoren – Konzept mit einem Stromsystemmodell. Berechnungsvorschrift und erste Ergebnisse*. Technische Universität München.
- [39] Öko-Institut e.V.; Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) (2015) *Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht*.
- [40] Weiß, J.; Bost, M.; Dunkelberg, E. (2017) *Regionale Sanierungsszenarien und deren Bewertung. Transformation kleinerer Wohngebäude in den Regionen Spreewald-Lausitz und Potsdam/Potsdam-Mittelmark* in: *Gebäude-Energie-wende Arbeitspapier 9*. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (iöw).
- [41] Oschatz, B.; Pehnt, M.; Schüwer, D. (2016) *Weiterentwicklung der Primärenergiefaktoren im neuen Energiesparend für Gebäude*. Dresden: Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden GmbH (ITG); Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu); Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH.
- [42] Schneider, C.; Schüwer, D. (2018) *Technologiebericht 6.4 Low-carbon und ressourceneffiziente Industrie innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energie-wende*. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH.
- [43] Schüwer, D.; Hanke, T.; Luhmann, H.-J. (2015) *Konsistenz und Aussagefähigkeit der Primärenergie-Faktoren für Endenergieträger im Rahmen der EnEV* [Diskussionspapier]. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, 2015.

Autoren

Dipl.-Ing. (BA) Tim Schöndube, M.Sc. (Korrespondenzautor)
 Tim.Schoendube@bauing.uni-kl.de
 Technische Universität Kaiserslautern
 Fachgebiet Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung
 Paul-Ehrlich-Straße, Gebäude 29
 67663 Kaiserslautern

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Christoph Beecken
 C.Beecken@bow-ingenieure.de
 bow ingenieure gmbh
 Hagenmarkt 8
 38100 Braunschweig

Sabine Becker, M.Eng.
 S.Becker@itg-energie.de
 ITG Energieinstitut GmbH
 Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2
 39106 Magdeburg

Jun.-Prof. Dr. Svenja Carrigan
 Svenja.Carrigan@bauing.uni-kl.de
 Technische Universität Kaiserslautern
 Fachgebiet Bauphysikalische Modellierung
 Paul-Ehrlich-Straße, Gebäude 29
 67663 Kaiserslautern

Prof. Dr. Oliver Kornadt
 Oliver.Kornadt@bauing.uni-kl.de
 Technische Universität Kaiserslautern
 Fachgebiet Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung
 Paul-Ehrlich-Straße, Gebäude 29
 67663 Kaiserslautern

Zitieren Sie diesen Beitrag

Schöndube, T.; Beecken, C.; Becker, S.; Carrigan, S.; Kornadt, O. (2020) *Weiterentwicklung der Energieeinsparverordnung – Ansätze zur Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase von Gebäuden*. *Bauphysik* 42, H. 2, S. 51–62. <https://doi.org/10.1002/bapi.202000003>