

Energieeffizienz von Wohngebäuden: Energieverbräuche und Investitionskosten energetischer Gebäudestandards

In Anbetracht der in Deutschland bevorstehenden Energiewende weg von der Atomkraft und von fossilen Energieträgern hin zur Nutzung regenerativer Energiequellen wird die – vielfach öffentlich geförderte – Errichtung besonders energieeffizienter Neubauten immer wichtiger. Denn die Energieeinsparung durch effiziente Gebäude bietet das bei weitem größte Potenzial, um eine Energiewende ohne spürbaren Komfortverlust zu erreichen und außerdem die Klimaschutzziele mit einer Beschränkung des Kohlendioxid-Ausstoßes nicht zu verletzen. In der täglichen Praxis der Energieberatung offenbart sich regelmäßig ein Dilemma: Obwohl bei Wohnbauten Heiz- und Stromkosten den größten Anteil der Betriebskosten ausmachen, fehlt es an klaren, für den Nutzer verständlichen Standards zur Einstufung von Gebäuden.

Ein erster Schritt zur Einschätzung der energetischen Qualität von Gebäuden war die Einführung des Gebäude-Energieausweises zuerst für Neubauten, später auch bei Neuvermietung oder Verkauf einer Bestandsimmobilie. Betrachtet man Neubauten in der Projektierungsphase, so hilft der Energieausweis zunächst nicht weiter, gilt es doch für den Planer erst einmal, den Bauherrn auch in Hinblick auf einen sinnvollen energetischen Standard qualifiziert zu beraten. Diese Beratung erschöpft sich derzeit oft im Hinweis auf die – quasi als Mindeststandard – einzuhaltende Energieeinsparverordnung, müsste jedoch die große Anzahl sonstiger energetischer Standards mit umfassen. Nur: Der Architekt kann Potenziale zur Verringerung des Energieverbrauchs von Gebäuden in Anbetracht der Vielzahl existierender Standards mit ihren vielfältigen Auswirkungen auf Energieverbrauch, erforderliche Gebäudetechnik und Baukosten nur schwer quantifizieren und dem Bauherrn deshalb die wichtige Frage der Optimierung von Investitions- und Betriebskosten oft nur unzureichend beantworten. Zielsetzung der vorliegenden Ausarbeitung ist es, beim Planer ein besseres Verständnis für die möglichen energetischen Ausgestaltungen von Gebäuden und deren Auswirkungen auf den Energieverbrauch und die Baukosten zu wecken. Anhand einer imaginären Geschosswohnungs-Bebauung in Hannover werden übliche energetische Standards für Wohngebäude miteinander verglichen und die wichtigsten Ergebnisse in puncto Energieverbrauch und Investitionskosten herausgearbeitet und gegenüber gestellt. Dabei werden neben der Baukonstruktion auch die technischen Anlagen wie Heizung, Warmwasserbereitung und Raumlufttechnische Anlagen einbezogen und auf diese Weise die wichtigsten Elemente energetisch optimierten Planens vorgestellt.

Energy efficiency of residential buildings: energy consumption and investment costs of different building energy standards. *In view of the impending energy transition in Germany, turning away from fossil fuels and atomic power and leading to renewable energy sources, the construction of very energy efficient new buildings gains more and more in importance. Because the saving of*

energy with efficient buildings offers the highest potential to achieve the energy transition without loss of comfort and also complying with the climate protection target of limitation of the carbon dioxide emission.

For new buildings in the initial project planning phase, the client needs qualified consulting concerning a reasonable energy standard for his building. The consulting should comprise the multitude of energy efficiency standards and the related financial incentives and not only cover the minimum standard of the German Building Energy Conservation Regulation EnEV (Energieeinsparverordnung). But the architect can hardly quantify the potentials to reduce energy consumption of buildings considering the multitude of existing standards with multifarious effects on energy consumption, technical requirements and building costs.

With the help of an example multi-storey residential building in Hannover, current energy standards for residential buildings are compared. Besides the building construction also the building services like heating, hot water generation and ventilation are considered and the most important results concerning energy consumption and investment costs are compared.

1 Übliche energetische Standards für Wohngebäude

Die Energiebilanz eines Gebäudes ergibt sich aus dem Zusammenspiel

- der für die Heizung und Warmwasserbereitung notwendigen Energiemenge,
- der Wärmeverluste durch Transmission (Bauteildurchgang) und Lüftung,
- der Wärmeverluste der Anlagentechnik bzw. der Wärmeverteilungssysteme sowie
- der solaren Wärmegewinne (z. B. Verglasungsflächen in Abhängigkeit von der Orientierung) und der internen Wärmegewinne (z. B. Personen, Geräteabwärme).

Die nachfolgend beschriebenen energetischen Standards geben für die Energiebilanz unterschiedliche Grenzwerte vor.

1.1 EnEV 2009

Berechnungsgrundlage ist die 2002 eingeführte Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und die energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung EnEV) in der seit 1. Oktober 2009 gültigen Neufassung und deren mitgeltende Normen.

Die EnEV ist ein zentrales Element der Energie- und Klimaschutzpolitik der Bundesrepublik Deutschland zur

Reduzierung der CO₂-Produktion und des Primärenergieverbrauchs. Die wichtigsten Kenngrößen eines Gebäudes gemäß EnEV sind

- der Jahres-Primärenergiebedarf Q_p (Referenzgebäudeverfahren),
- der spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient/Transmissionswärmeverlust H_T ,
- die Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes (Vermeidung der Überhitzung),
- die Einhaltung von Anforderungen hinsichtlich der Dichtheit der Gebäudehülle, des Mindestwärmeschutzes [1] sowie von Regelungen zu Wärmebrücken.

Der zulässige maximale Jahres-Primärenergiebedarf wird individuell für ein Referenzgebäude gleicher Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung ermittelt. Mit dem Referenzgebäudeverfahren ist für Wohngebäude die gleiche Verfahrensweise wie bei Nichtwohngebäuden anzuwenden [2].

Die Berechnungen nach EnEV 2009 gewährleisten in erster Linie die Vergleichbarkeit des untersuchten Gebäudes mit ähnlichen Objekten. Weil den Berechnungen normierte Randbedingungen zugrunde liegen, erlauben die errechneten Energiekennwerte jedoch nur bedingt Rückschlüsse auf den tatsächlichen Energieverbrauch. Denn

Tabelle 1. Begriffsdefinitionen

Table 1. Definition of notations

A	wärmeübertragende Umfassungsfläche (Hüllfläche) [m ²]	bildet die Grenze zwischen dem beheizten Innenraum und der Außenluft, nicht beheizten Räumen und dem Erdreich. (üblicherweise Außenwände einschließlich Fenster und Türen, Kellerdecke, oberster Geschossdecke oder Dach).
A _{EB}	Energiebezugsfläche [m ²]	ist der Anteil der Wohnfläche nach Wohnflächenverordnung, der sich innerhalb der thermischen Hülle befindet.
A _N	Gebäudenutzfläche [m ²]	beschreibt die auf das beheizte Gebäudevolumen bezogene nutzbare Fläche (für Wohngebäude in der EnEV definiert mit $0,32 \text{ m}^{-1} \cdot V_e$).
A/V _e	Kompaktheit [1/m]	Verhältnis aus Wärme übertragenden Umfassungsflächen eines Gebäudes zum beheizten Gebäudevolumen.
BGF	Bruttogrundfläche [m ²]	ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Gebäudes. Dabei sind die äußeren Maße der Bauteile einschließlich ihrer Bekleidung anzusetzen.
e _p	Anlagenaufwandszahl [-]	beschreibt den energetischen Wirkungsgrad der Heizanlage (Beheizung, Lüftung und Warmwasserbereitung) unter Einbeziehung der Primärenergie. Die Aufwandszahl stellt das Verhältnis von Aufwand (eingesetzter Brennstoff) zu Nutzen (abgegebene Wärmeleistung) dar.
H _T	spezifischer Transmissionswärmetransferkoeffizient/Transmissionswärmeverlust [W/(m ² K)]	Wärmestrom durch die Außenbauteile je Kelvin Temperaturdifferenz. Es gilt: je kleiner der Wert, desto besser ist die Dämmwirkung der Gebäudehülle. Durch zusätzlichen Bezug auf die Wärme übertragende Umfassungsfläche liefert der Wert einen wichtigen Hinweis auf die Qualität des Wärmeschutzes.
NF	Nutzfläche [m ²]	ist der Anteil der Grundfläche eines Gebäudes, der der Nutzung entsprechend der Zweckbestimmung dient. Nicht zur Nutzfläche gehören Verkehrsflächen und Funktionsflächen wie technische Betriebsräume.
P _H	Heizlast [kW]	ist die erforderliche Leistung des Wärmeerzeugers, um die normierte Rauminnentemperatur am kältesten Tag (normierte Außentemperatur in Abhängigkeit vom Gebäudestandort) sicherzustellen.
Q _E	Jahres-Endenergiebedarf [kWh/a]	ist die rechnerisch benötigte Energiemenge, die den Anlagen über selbst gewonnene Anteile hinaus für die Gebäudeheizung/-lüftung/-kühlung und Trinkwassererwärmung zur Verfügung gestellt werden muss. Diese Energiemenge bezieht die für den Betrieb der Anlagentechnik (Pumpen, Regelungen usw.) benötigte Hilfsenergie ein.
q _E	flächenbezogener Jahres-Endenergiebedarf [kWh/(m ² a)]	
q _h	flächenbezogener Heizwärmebedarf [kWh/(m ² a)]	
Q _p	flächenbezogener Jahres-Primärenergiebedarf [kWh/(m ² a)]	ist die rechnerisch benötigte Energiemenge einschließlich Anteilen für Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des eingesetzten Brennstoffs (vorgelagerte Prozessketten).
U	Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m ² K)]	eines Bauteils bzw. einer Konstruktion gibt an, wie viel Wärme durch das Bauteil zwischen Innen- und Außenseite hindurch geht. Je kleiner der U-Wert, desto besser ist der Wärmeschutz.
U _w	U-Wert für Fenster (Glas + Rahmen)	
V _e	beheiztes Gebäudevolumen [m ³]	ist das an Hand von Außenmaßen ermittelte, von der Wärme übertragenden Umfassungsfläche eines Gebäudes umschlossene Volumen.
WLS	Wärmeleitfähigkeitsstufe [W/(mK)]	ist die bauteilspezifische Wärmeleitfähigkeit.
Wärmebrücken		sind Zonen der Außenbauteile, bei denen gegenüber der sonstigen Fläche ein besonders hoher Wärmeverlust auftritt. Neben geometrischen Wärmebrücken gibt es insbesondere konstruktive Wärmebrücken, die an Bauteilanschlüssen (z. B. Balkonplatte) auftreten.

den Berechnungen liegt ein genormtes Nutzerverhalten zugrunde und die Anlagentechnik wird ebenfalls unter normierten Randbedingungen betrachtet. Dadurch können zwischen errechneten Werten und dem tatsächlichen Energieverbrauch erhebliche Abweichungen auftreten. Hierzu führt DIN EN 832:1998 in Anhang K.2 unter der Überschrift „Vergleich mit tatsächlichen Gebäuden“ aus: „Die Berechnungen werden insbesondere unter Zugrundelegung von Annahmen über das Nutzerverhalten und hierbei die Luftwechselraten vorgenommen. In der Praxis können diese Faktoren den Energiebedarf von 50 % bis 150 % des berechneten Durchschnittswertes verändern“, [3].

Zu beachten ist bei der vergleichenden Gegenüberstellung unterschiedlicher energetischer Standards, dass sämtliche Standards, die auf der EnEV 2009 basieren, mit der Bezugsgröße „Gebäudenutzfläche“ A_N arbeiten, während der energetische Standard „Passivhaus“ mit der abweichend definierten „Energiebezugsfläche“ A_{EB} arbeitet. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Begriffsdefinitionen aufgeführt.

1.2 KfW-Effizienzhaus

Der Gebäudestandard „KfW-Effizienzhaus“ beschreibt einen gegenüber den Anforderungen der EnEV 2009 verbesserten energetischen Standard und bildet die Grundlage für eine besondere finanzielle Förderfähigkeit der Baumaßnahme. KfW-Effizienzhäuser sind Wohngebäude, die aufgrund ihrer Bauweise den Energieverbrauch deutlich drosseln. Die energetische Effizienz lässt sich an der jeweiligen Kennzahl der KfW-Effizienzhäuser erkennen: je kleiner die Zahl, umso geringer der Energiebedarf, desto höher die Förderung [4].

KfW-Effizienzhäuser dürfen die folgenden Prozentsätze der Werte des Referenzgebäudes für einen Neubau nach Anlage 1 der EnEV 2009 [2] nicht überschreiten (Bezug: Gebäudenutzfläche A_N):

KfW-Effizienzhaus 70

- Jahres-Primärenergiebedarf (Q_p): ≤ 70 %,
- Transmissionswärmeverlust (H_T): ≤ 85 %.

KfW-Effizienzhaus 55

- Jahres-Primärenergiebedarf (Q_p): ≤ 55 %,
- Transmissionswärmeverlust (H_T): ≤ 70 %.

KfW-Effizienzhaus 40

- Jahres-Primärenergiebedarf (Q_p): ≤ 40 %,
- Transmissionswärmeverlust (H_T): ≤ 55 %.

1.3 Passivhaus

Passivhäuser müssen folgende energetische Randbedingungen einhalten (Bezug: Energiebezugsfläche A_{EB}):

- Heizwärmebedarf $q_h \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$
(„Energienmenge“ = Leistung $\times$ Bereitstellungsdauer)
- Heizlast $P_H \leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
(„Leistung des Wärmeerzeugers“)
- Primärenergiebedarf $Q_p \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$
(Heizung, Lüftung, Warmwasser, Hilfs-/Haushaltsstrom)

Daneben müssen Passivhäuser sämtliche Grenzwerte der EnEV 2009 erfüllen [5].

2 Objektbeschreibung

Nachfolgend sind die wichtigsten Kenndaten des betrachteten Gebäudes aufgelistet, insbesondere Angaben zur Gebäudeart, zur Nutzung und zum Aufbau der Wärme übertragenden Bauteile.

Gebäude

- Gebäudeart: Mehrfamilien-Geschosswohnungsbau in Reihennittellage,
- Standort: Hannover,
- Nutzungsart: Wohnnutzung,
- Nutzung DG: Wohnnutzung,
- Nutzung UG: Nutzkeller (Lagerräume) unbeheizt,
- Wohneinheitenzahl: 24,
- Anzahl der Bewohner: 40,
- Bauantragsdatum: 2011,
- Außenmaße: $21,20 \text{ m} \times 16,30 \text{ m}$,
- BGF: 2.100 m^2 ,
- NF: 1.600 m^2 ,
- Nutzfläche A_N : 1.900 m^2 ,
- Energiebezugsfläche A_{EB} : 1.440 m^2 ,
- Volumen V_e : 5.945 m^3 ,
- Bauart: Massivbau mit leichtem DG,
- Geschossanzahl: 7 (einschl. UG),
- Dachform: Flachdach,
- Giebelrichtung: West – Ost.

Bauteile

- Dachart: Sparrendach,
- Dachdeckung: Wärmedämmung mit Dachabdichtung,
- Geschossdecken: Stahlbeton mit schwimmendem Estrich,
- Außenwände: Kalksandstein-Mauerwerk mit WDVS,
- Kellerdecke: Stahlbetondecke mit schwimmendem Estrich und Wärmedämmung,
- Kellerwände: Stahlbeton,
- Bodenplatte: Stahlbeton,
- Fenster/Fenstertüren: mehrfachverglaste Kunststoffrahmen,
- Außentür: Kunststofftür.

Der Gebäudeentwurf ist in den Bildern 1 bis 4 dargestellt. Dabei ist die thermische Hülle farblich abgesetzt.

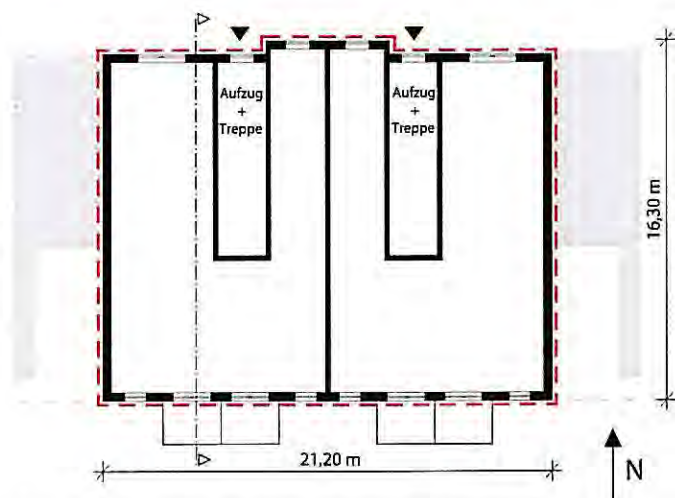


Bild 1. Grundriss des betrachteten Gebäudes
Fig. 1. Floor plan of the considered building

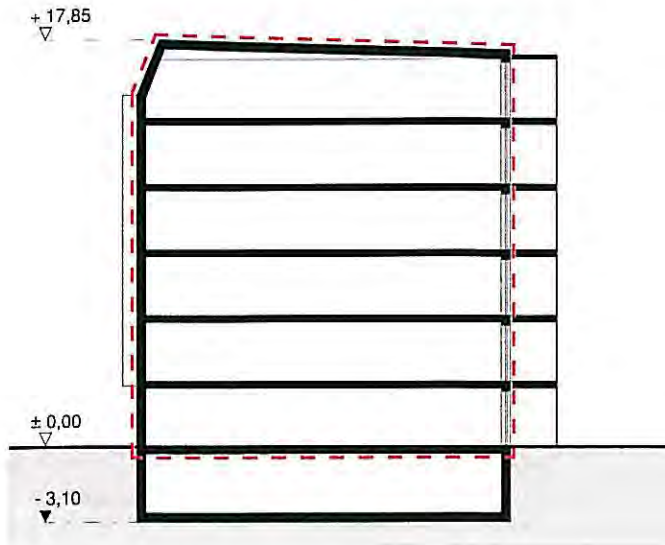


Bild 2. Schnitt des betrachteten Gebäudes
Fig. 2. Cross-section of the considered building



Bild 3. Nordansicht des betrachteten Gebäudes
Fig. 3. North elevation of the considered building

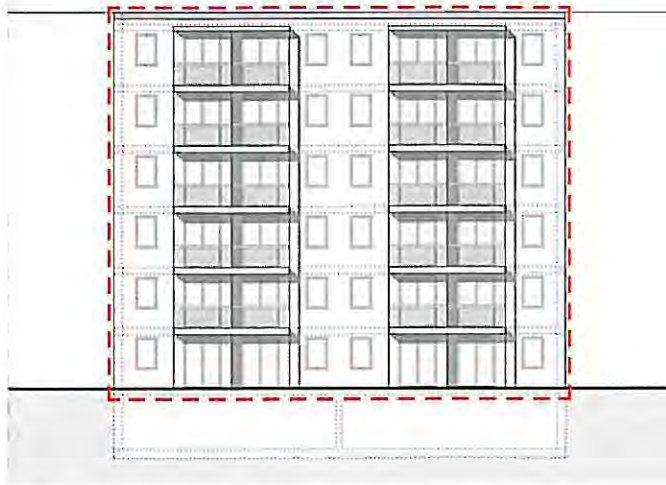


Bild 4. Südansicht des betrachteten Gebäudes
Fig. 4. South elevation of the considered building

3 Vorgehensweise

Es werden Betrachtungen für unterschiedliche energetische Gebäudestandards durchgeführt, wobei stets die gleiche Gebäudegeometrie (Tragwerk) zugrunde gelegt wird. Variiert werden die energetisch wirksamen Gebäudeelemente, insbesondere die energetische Güte der Außenbauteile (Fassaden-/Dachdämmung, Fenster, Außentüren) und der technischen Anlagen. Bei der untersuchten Variante „EnEV 2009“, die im Rahmen der vorliegenden Ausarbeitung den geringstwertigen energetischen Standard repräsentiert, wird den Forderungen des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) [6] nach dem Einsatz regenerativer Energien dadurch genügt, dass die Anforderungen der EnEV 2009 um 15 % unterschritten werden. Auf den Einsatz regenerativer Energiequellen kann daher verzichtet werden.

4 Variationen von Gebäudehülle und Anlagentechnik

Im Einzelnen werden – in Reihenfolge sinkender Werte für Energiebedarf, Wärmeverluste und CO₂-Emissionen – folgende Variationen untersucht:

- Grundvariante A: EnEV 2009,
- Variante B: KfW-Effizienzhaus 70,
- Variante C: KfW-Effizienzhaus 55,
- Variante D: Passivhaus (Passivhausinstitut Darmstadt),
- Variante E: KfW-Effizienzhaus 40.

Dabei werden folgende energetisch wirksame Gebäudeelemente bzw. Nachweisrandbedingungen angesetzt:

Grundvariante A: EnEV 2009

Die Außenwände werden mit 16 cm Wärmedämmstoff (WLS 035) versehen, die Dachflächen erhalten eine 30 cm starke Wärmedämmung (WLS 035), die Kellerdecke 12 cm Dämmung (WLS 035).

Es kommen Fenster mit einem U_w -Wert von 0,8 W/(m²K) und Türen mit einem U_w -Wert von 1,3 W/(m²K) zum Einsatz.

Die Wärmeerzeugung erfolgt mit einem Gas-Brennwertkessel, der auch der Warmwasserbereitung dient. Eine kontrollierte Wohnraumlüftung ist nicht vorgesehen, die Luftwechselrate wird auf $n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$ begrenzt, die Wärmebrücken werden pauschal berücksichtigt, so dass auf einen Einzelnachweis verzichtet werden kann.

Variante B: KfW-Effizienzhaus 70

Außenwände, Dachflächen und Kellerdecke werden analog zur Variante „EnEV 2009“ gedämmt. Auch die Anforderungen an Fenster und Türen entsprechen denen der Variante „EnEV 2009“, genauso wie Wärmeerzeugung und Warmwasserbereitung mit einem Gas-Brennwertkessel erfolgen.

Im Unterschied zur Variante „EnEV 2009“ ist zur Einhaltung der Anforderungen „KfW-Effizienzhaus 70“ eine kontrollierte Wohnraumlüftung mit einem Wärmebereitstellungsgrad WRG = 80 % vorgesehen. Die Luftwechselrate entspricht der Variante „EnEV 2009“, anders als bei dieser Variante werden die Wärmebrücken jedoch für das KfW-Effizienzhaus 70 einzeln nachgewiesen.

Variante C: KfW-Effizienzhaus 55

Außenwände, Dachflächen und Kellerdecke werden wie bei den vorhergehenden Varianten gedämmt. Fenster und Türen entsprechen in ihren Anforderungen den vorgenannten Varianten, ebenso die Art der Wärmeerzeugung. Das Erfordernis einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit einem Wärmebereitstellungsgrad WRG = 80 % und die Einzelnachweise der Wärmebrücken entsprechen der Variante B (KfW-Effizienzhaus 70).

Im Unterschied zur Variante „KfW-Effizienzhaus 70“ ist zur Einhaltung der Anforderungen „KfW-Effizienzhaus 55“ der Einsatz einer solaren Warmwasserbereitung erforderlich sowie die Begrenzung der Luftwechselrate auf $n_{50} < 1,0 \text{ h}^{-1}$.

Variante D: Passivhaus (Passivhausinstitut Darmstadt)

An die Fenster werden die gleichen Anforderungen gestellt wie bei der Variante „KfW-Effizienzhaus 55“, ebenso entspricht die Art der Wärmeerzeugung und das Erfordernis von Einzelnachweisen für Wärmebrücken dieser Variante.

Im Unterschied zur Variante „KfW-Effizienzhaus 55“ werden die Außenwände zur Einhaltung des Anforderungsniveaus „Passivhaus“ mit 25 cm Wärmedämmstoff (WLS 035) versehen, die Dachflächen erhalten eine 34 cm starke Wärmedämmung (WLS 035) und die Kellerdecke 20 cm Dämmung (WLS 035). Es kommen Türen mit einem U_w -Wert von $0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ zum Einsatz. Die kontrollierte Wohnraumlüftung muss einen erhöhten Wärmebereitstellungsgrad WRG = 85 % (entsprechend WRG = 80 % gemäß WRG-Definition des Passivhausinstituts Darmstadt) gewährleisten und die Luftwechselrate wird auf $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$ begrenzt.

Der Einsatz einer solaren Warmwasserbereitung ist – anders als bei der Variante „KfW-Effizienzhaus 55“ – nicht erforderlich. Die Warmwasserbereitung erfolgt über den Heizkessel [7].

Variante E: KfW-Effizienzhaus 40

An die Fenster werden die gleichen Anforderungen gestellt wie bei der Variante „Passivhaus“, ebenso entspricht das Erfordernis von Einzelnachweisen für Wärmebrücken dieser Variante.

Im Unterschied zur Variante „Passivhaus“ werden die Außenbauteile ansonsten geringer gedämmt, und zwar die Außenwände zur Einhaltung des Anforderungsniveaus „KfW-Effizienzhaus 40“ mit 24 cm Wärmedämmstoff (WLS 035), die Dachflächen mit einer 30 cm starken Wärmedämmung (WLS 035) und die Kellerdecke mit einer 12 cm dicken Dämmung (WLS 035). Somit entsprechen Dach- und Kellerdeckendämmung der gewählten Ausführung für die Variante „KfW-Energieeffizienzhaus 55“. Dies gilt auch für die Türen mit einem U_w -Wert von $1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, die kontrollierte Wohnraumlüftung mit einem Wärmebereitstellungsgrad WRG = 80 %, die Begrenzung der Luftwechselrate auf $n_{50} < 1,0 \text{ h}^{-1}$ sowie den Einsatz einer solaren Warmwasserbereitung.

Die Wärmeerzeugung erfolgt im Gegensatz zu allen anderen Varianten jedoch mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einer Leistungszahl von 4,0.

In Tabelle 2 sind die Variationen von Gebäudehülle und Anlagentechnik vergleichend gegenübergestellt.

5 Ergebnisse und deren Bewertung

Die Ergebnisse werden mit den Kennwerten der Grundvariante A ins Verhältnis gesetzt, um – losgelöst vom gewählten Beispielgebäude – das energetische Verhalten der gewählten Gebäudeart anschaulich zu machen. Eine Gegenüberstellung der absoluten Ergebnisse ist ebenso in Tabelle 3 enthalten.

Grundvariante A: EnEV 2009

Nach EnEV 2009 (minus 15 %) ergibt sich ein flächenbezogener Jahres-Primärenergiebedarf Q_p von $58,3 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)}$,

Tabelle 2. Variationen von Gebäudehülle und Anlagentechnik
Table 2. Variations of building envelope and building services

	Grundvariante A EnEV 2009 (minus 15 %)	Variante B KfW- Effizienzhaus 70	Variante C KfW- Effizienzhaus 55	Variante D Passivhaus	Variante E KfW- Effizienzhaus 40
Wärmedämmung Außenwände d [cm] (WLS)	16 cm (035)			25 cm (035)	24 cm (035)
Wärmedämmung Dachflächen d [cm] (WLS)	30 cm (035)			34 cm (035)	30 cm (035)
Wärmedämmung Kellerdecke d [cm] (WLS)	12 cm (035)			20 cm (035)	12 cm (035)
Fenstereigenschaften U_w [W/(m ² K)]	0,8				
Türeigenschaften U_w [W/(m ² K)]	1,3			0,8	1,3
Wärmeerzeugungsart	Gas-Brennwertkessel				Luft/Wasser- Wärmepumpe
Warmwasserbereitungsart	Kessel		solar	Kessel	solar
kontrollierte Wohnraumlüftung WRG [%]	keine	80%		85%	80%
Wärmebrückennachweis	nein	ja			
Luftwechselrate	$n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$		$n_{50} < 1,0 \text{ h}^{-1}$	$n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$	$n_{50} < 1,0 \text{ h}^{-1}$

der den zulässigen Höchstwert knapp unterschreitet. Der spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient H_T unterschreitet mit $0,311 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ den zulässigen Maximalwert deutlich.

Der CO_2 -Ausstoß beträgt (bezogen auf die Gebäudenutzfläche A_N) $14,54 \text{ kg/(m}^2 \text{ a)}$, der absolute Jahres-Endenergiebedarf Q_E beträgt 110.003 kWh/a .

Der Baukostenrahmen beträgt $2.400.000 \text{ €}$ zzgl. MwSt.

Variante B: KfW-Effizienzhaus 70

Die Berechnung für das KfW-Effizienzhaus 70 weist einen flächenbezogenen Jahres-Primärenergiebedarf Q_p aus, der 19 % unter dem Kennwert der Grundvariante A liegt. Maßgebender Grenzwert ist – wie bei Grundvariante A – Q_p , während der spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient H_T den zulässigen Maximalwert wiederum deutlich unterschreitet.

Der CO_2 -Ausstoß unterschreitet den Wert der Grundvariante A um 18 %, der absolute Jahres-Endenergiebedarf Q_E liegt bei 67 % der Grundvariante A.

Die Baukosten übersteigen die Kosten der Grundvariante A um 100.000 € zzgl. MwSt., was einem Plus von 4 % entspricht.

Variante C: KfW-Effizienzhaus 55

Bei Einhaltung der Grenzvorgaben für das KfW-Effizienzhaus 55 liegt der flächenbezogene Jahres-Primärenergiebedarf Q_p um 36 % unter Grundvariante A. Wie bei den vorgenannten Varianten ist dieser Wert für die Einhaltung der Grenzwerte maßgeblich, während der – gegenüber der Variante „KfW-Effizienzhaus 70“ unveränderte – spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient H_T den zulässigen Maximalwert wiederum deutlich unterschreitet (Grundvariante A minus 16 %).

Der CO_2 -Ausstoß liegt bei 65 % der Grundvariante A, der absolute Jahres-Endenergiebedarf Q_E bei 54 %.

Die Mehr-Baukosten betragen gegenüber der Variante „EnEV 2009“ 125.000 € zzgl. MwSt., was +5 % entspricht.

Variante D: Passivhaus (Passivhausinstitut Darmstadt)

Bei Einhaltung des Passivhausstandards beträgt der flächenbezogene Jahres-Primärenergiebedarf Q_p die Hälfte der Grundvariante A. Er liegt – genau wie der spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient H_T mit 81 % der Grundvariante A – deutlich unter den zulässigen Maximalwerten gemäß EnEV.

Der (hier auch auf die Gebäudenutzfläche A_N bezogene) CO_2 -Ausstoß beträgt 56 % der Grundvariante A, der absolute Jahres-Endenergiebedarf Q_E unterschreitet Grundvariante A um 62 %.

Der für Passivhäuser einzuhaltende Höchstwert des flächenbezogenen Jahres-Heizenergiebedarfs q_h von $15 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)}$ wird mit $q_h = 14,2 \text{ kWh/(m}^2 \text{ a)}$ erfüllt.

Die Mehr-Baukosten betragen gegenüber der Grundvariante A 160.000 € zzgl. MwSt. (Grundvariante A plus 7 %).

Variante E: KfW-Effizienzhaus 40

Bei Einhaltung der Grenzvorgaben für das KfW-Effizienzhaus 40 ergibt sich ein flächenbezogener Jahres-Primärenergiebedarf Q_p , der nur noch 34 % der Grundvariante A beträgt. Anders als bei den vorgenannten Varianten ist dieser Wert für die Einhaltung der zulässigen Grenzwerte jedoch nicht maßgebend, sondern der spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient H_T , der gegenüber Grundvariante A um 25 % vermindert ist.

Es ergibt sich ein CO_2 -Ausstoß von 36 % der Grundvariante A, der absolute Jahres-Endenergiebedarf Q_E beträgt 17 % der Grundvariante A.

Tabelle 3. Gegenüberstellung der Ergebnisse

Table 3. Comparison of results

	Grundvariante A EnEV 2009 (minus 15 %)	Variante B KfW- Effizienzhaus 70	Variante C KfW- Effizienzhaus 55	Variante D Passivhaus	Variante E KfW- Effizienzhaus 40
Mehrkosten (zzgl. MwSt.)	0 €	100.000 €	125.000 €	160.000 €	140.000 €
[%] von Variante A	0 %	+4 %	+5 %	+7 %	+6 %
Q_p in $[\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})]$	58,3	47,4	37,5	29,3	20,1
[%] von Variante A	0 %	-19 %	-36 %	-50 %	-66 %
Q_p , zul in $[\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})]$	58,6	48,3	37,9	58,6	27,6
H_T in $[\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})]$	0,311	0,261	0,261	0,253	0,234
[%] von Variante A	0 %	-16 %	-16 %	-19 %	-25 %
H_T , zul in $[\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})]$	0,553	0,373	0,307	0,650	0,241
CO_2 in $[\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ a})]$ (bezogen auf A_N)	14,54	11,99	9,48	8,20	5,28
[%] von Variante A	0 %	-18 %	-35 %	-44 %	-64 %
A_{EB} in $[\text{m}^2]$	–			1.440	–
A_N in $[\text{m}^2]$	1.900			–	1.900
q_h in $[\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})]$	–			14,2	–
Q_E in $[\text{kWh/a}]$	110.003	74.167	59.820	42.055	19.120
[%] von Variante A	0 %	-33 %	-46 %	-62 %	-83 %

Die Mehr-Baukosten gegenüber der Variante „EnEV 2009“ liegen bei 140.000 € zzgl. MwSt. (Grundvariante A plus 6 %).

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse vergleichend gegenübergestellt. Zunächst wird Folgendes deutlich:

Maßgeblicher Grenzwert bei den EnEV-basierten Varianten ist der flächenbezogene Jahres-Primärenergiebedarf Q_p . Erst beim hocheffizienten Gebäude nach dem Standard „KfW-Effizienzhaus 40“ wird der spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient H_T maßgeblich. Hierin spiegelt sich die Logik der Effizienzhaus-Anforderungen wider: Einzuhalten sind pauschal abgeminderte Grenzwerte Q_p und H_T , darüber hinaus existieren – anders als beim Passivhaus – keine Vorgaben, wie dies zu erreichen ist.

Maßgeblicher Grenzwert bei der Variante „Passivhaus“ ist hingegen die vom Passivhausinstitut Darmstadt vorgegebene rigide Beschränkung des flächenbezogenen Jahres-Heizenergiebedarfs q_H . Hintergrund ist die beim Passivhaus grundsätzlich sicherzustellende Beheizung des Gebäudes ausschließlich mittels Lüftungsanlage.

Die Ergebnisse lassen zudem folgende Schlüsse zu:

Der flächenbezogene Jahres-Primärenergiebedarf Q_p sinkt – ausgehend von Variante A „EnEV 2009“ – bei den Varianten B bis E kontinuierlich ab bis auf einen Wert „Grundvariante A minus 66 %“.

Der spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient H_T ist bei den Varianten B „KfW-Effizienzhaus 70“ und C „KfW-Effizienzhaus 55“ wegen gleicher Dämmeigenschaften der thermischen Hülle gleich. H_T sinkt ansonsten bis zum Minimalwert bei Variante E „KfW-Effizienzhaus 40“ kontinuierlich ab bis auf einen Wert „Variante A (EnEV 2009) minus 25 %“.

Der CO_2 -Ausstoß sinkt – ausgehend von Grundvariante A „EnEV 2009“ – bei den Varianten B bis E kontinuierlich ab bis zu einem Wert „Variante A minus 64 %“.

Auch der absolute Jahres-Endenergiebedarf Q_E sinkt erwartungsgemäß kontinuierlich ab, bis er bei Variante E „KfW-Effizienzhaus 40“ um 83 % unter Grundvariante A (EnEV 2009) liegt.

Dem stehen Baukostenerhöhungen gegenüber Grundvariante A „EnEV 2009“ von bis zu 7 % (Variante D „Passivhaus“) entgegen. Die energetisch günstigste Variante E „KfW-Effizienzhaus 40“ fällt beim hier betrachteten Beispielgebäude mit 6 % Baukostensteigerung sogar etwas kostengünstiger aus. Dies ist in erster Linie auf das Anforderungskonzept für Passivhäuser zurückzuführen, das von der Logik der Effizienzhaus-Anforderungen mit pauschal abgeminderten Grenzwerten Q_p und H_T , abweicht.

Zusammenfassend zeigt sich, dass ein direkter Vergleich der Energiestandards nur unvollkommen gelingt, da die Auslegung der KfW-Effizienzhäuser von anderen Bezugsgrößen ausgeht als sie bei der Auslegung von Passivhäusern gelten. Die den Effizienzhausstandards zugrunde liegende EnEV arbeitet mit dem Referenzgebäudeverfahren und damit mit stark standardisierten Werten, während im Rahmen der Passivhausprojektierung das individuelle Gebäude im Mittelpunkt steht. Für beide Konzepte gilt jedoch, dass bei Inkaufnahme von 6 bis 7 % Mehrkosten der Transmissionswärmeverlust um bis zu 25 % gesenkt werden kann, der CO_2 -Ausstoß sogar um bis zu 64 %.

Eines haben die betrachteten energetischen Standards gemein: Ihre konsequente, durch qualifizierte Berater geplante und begleitete Umsetzung führt nicht nur zu einem deutlich verringerten Primärenergieverbrauch und damit zu sinkenden CO_2 -Emissionen, sondern aktiviert gleichsam nebenbei die größte Energiequelle der Zukunft: die Energieeinsparung.

Literatur

- [1] DIN 4108-2:2003-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Berlin: Beuth-Verlag, 2003.
- [2] Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und die energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung EnEV) von 2002 in der seit 1. Oktober 2009 gültigen Neufassung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 29. April 2009 (BGBl. I S. 954).
- [3] DIN EN 832:2003-06 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden: Berechnung des Heizenergiebedarfs – Wohngebäude. Berlin: Beuth-Verlag, 2003.
- [4] Förderrichtlinien der KfW-Bankengruppe, Frankfurt am Main (www.kfw.de).
- [5] Sommer, A.-W.: Passivhäuser: Planung – Konstruktion – Details – Beispiele. Köln: Rudolf Müller, 2008.
- [6] Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) in der Fassung vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 12. April 2011 (BGBl. I S. 619).
- [7] Passivhaus-Projektierungs-Paket: Tool des Passivhaus-Instituts Darmstadt für die Planung von Passivhäusern, Version 2007.

Autoren dieses Beitrags:

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Christoph Beecken,
Dipl.-Ing. (FH) Stephan Schulze
bow ingenieure gmbh, Breite Straße 15, 38100 Braunschweig