ISBN 978-3-7388-0633-5

F 3231

Gefördert mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Tim Schöndube, Oliver Kornadt, Svenja Carrigan,
Thomas Lützkendorf, Christoph Beecken, Sabine Becker

Weiterentwicklung der EnEV-Nachweisverfahren und -Anforderungen unter Berücksichtigung des Gebäudelebenszyklus

Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

Fraunhofer IRB Verlag

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

F 3231

Tim Schöndube, Oliver Kornadt, Svenja Carrigan,
Thomas Lützkendorf, Christoph Beecken, Sabine Becker

Weiterentwicklung der EnEV-Nachweisverfahren und -Anforderungen unter Berücksichtigung des Gebäudelebenszyklus

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Fraunhofer IRB Verlag

F 3231

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2021

ISBN 978-3-7388-0633-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

FORSCHUNGSINITIATIVE ZukunftBAU

Endbericht

Weiterentwicklung der EnEV-Nachweisverfahren und -Anforderungen unter Berücksichtigung des Gebäudelebenszyklus

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

bow

itg

Ingenieurbüro BEU
Bau-, Energie- und Umweltberatung Weimar

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.
(Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-17.60)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Projektlaufzeit: **01.10.2017 – 31.03.2020**

Zuwendungsempfänger:
Technische Universität Kaiserslautern
Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung
Paul-Ehrlich-Straße
Gebäude 29
D-67663 Kaiserslautern

Projektleitung: **Dipl.-Ing. (BA) Tim Schöndube, M.Sc.**
Prof. Dr. Oliver Kornadt
Apl. Prof. Dr. Svenja Carrigan

Weitere Bearbeiter: **Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Lützkendorf**
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Christoph Beecken
Sabine Becker, M.Eng.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 5

2. Aktuelle Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden 7

2.1 Energieeinsparverordnung (EnEV) 8

2.2 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) 11

3. Zu untersuchende Beispielgebäude 12

3.1 Beispielgebäude Einfamilienhaus 13

3.2 Beispielgebäude Doppelhaushälfte 15

3.3 Beispielgebäude Reihenhaus 16

3.4 Beispielgebäude Mehrfamilienhaus 19

4. Grundlagen zur Berechnung des lebenszyklusbezogenen Gebäudeenergiebedarfs 22

4.1 Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme in Deutschland 22

4.1.1 Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) 22

4.1.2 Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) 30

4.1.3 Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau (NaWoh) 38

4.2 Gebäude-Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15978 44

4.3 Datenbank ÖKOBAUDAT 45

4.4 Gebäude-Ökobilanzierungstool eLCA 45

5. Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV unter Berücksichtigung des Gebäudelebenszyklus 48

5.1 Zu berücksichtigende Lebenswegphasen und -module 48

5.2 Detaillierungsgrad des Rechenverfahrens 50

5.3 Betrachtungszeitraum 52

5.4 Austausch von Gebäudekomponenten 53

5.5 Energiebedarf während des Gebäudebetriebs 54

5.6 Energiebezugsfläche 57

5.7 Datenbasis, Softwareeinsatz und Berechnungsablauf 59

6. Anwendung der weiterentwickelten EnEV-Ansätze 61

6.1 Zu untersuchende Varianten 61

6.2 Berechnungsrandbedingungen 62

6.3 Erfahrungswerte 65

6.4 Ergebnisauswertung 66

7. Zusammenfassung und Ausblick 83

Anhang 88

A Kriterientabelle zum Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) 88

B Kriterientabelle zum Zertifizierungssystem der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) 89

C Kriterientabellen zum Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh) 90

D Bauzeichnungen zum Beispielgebäude Einfamilienhaus 93

E Bauzeichnungen zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte 98

F Bauzeichnungen zum Beispielgebäude Reihenhaus 104

G Bauzeichnungen zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus 111

H Außenkonstruktionen reales Beispielgebäude Einfamilienhaus 120

I Außenkonstruktionen reales Beispielgebäude Doppelhaushälfte 125

J Außenkonstruktionen reales Beispielgebäude Reihenhaus 129

K Außenkonstruktionen reales Beispielgebäude Mehrfamilienhaus 137

L Variantenuntersuchung Beispielgebäude Einfamilienhaus 147

M Variantenuntersuchung Beispielgebäude Doppelhaushälfte 156

N Variantenuntersuchung Beispielgebäude Reihenhaus 164

O Variantenuntersuchung Beispielgebäude Mehrfamilienhaus 177

Literaturverzeichnis 190

Abbildungsverzeichnis 197

Tabellenverzeichnis 200

1. Einleitung

Um einen wesentlichen Beitrag bei der Begrenzung der Erderwärmung zu leisten, verfolgt Deutschland ehrgeizige Klimaschutzziele. So sollen unter anderem die Treibhausgas-Emissionen bis zum Jahr 2020 um mindestens 40 %, bis zum Jahr 2030 um mindestens 55 % und bis zum Jahr 2040 um mindestens 70 % gegenüber 1990 gesenkt werden. Bis zum Jahr 2050 wird eine weitgehende Treibhausgasneutralität angestrebt [1]. Entsprechend dem 2017er Projektionsbericht der Bundesregierung [2] zur zukünftigen Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen wird Deutschland das Ziel für das Jahr 2020 nicht erreichen [3]. Um zumindest die weiteren zukünftigen Klimaschutzziele erfüllen zu können, sind weitreichende Maßnahmen notwendig.

Mit einem Anteil von 35,3 % am gesamtdeutschen Endenergieverbrauch im Jahr 2015 [4], ist der Gebäudesektor besonders bedeutsam für die Erreichung der nationalen Klimaschutzziele.

Die wesentlichen Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden sind in Deutschland im Jahr 2019 durch die Energieeinsparverordnung (im Folgenden EnEV) [5] und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (im Folgenden EEWärmeG) [6] festgelegt. Bei der Bewertung der energetischen Gebäudequalität wird jedoch nur der Energiebedarf während der Nutzungsphase betrachtet. Energetische Aufwendungen für die Herstellung, die Instandhaltung und den Abriss bzw. die Umnutzung von Gebäuden sind hingegen nicht zu berücksichtigen.

Wissenschaftliche Untersuchungen haben gezeigt, dass mit Verschärfung der energetischen Gebäude-Anforderungen in der Vergangenheit, auf der einen Seite der Energieverbrauch des Gebäudebestandes gesenkt werden konnte. Auf der anderen Seite ist der prozentuale Anteil des Energieaufwands für die Herstellung und Instandhaltung von Gebäuden im Vergleich zum Energiebedarf für den Gebäudebetrieb gestiegen [7, 8]. Berechnungen 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 ausmacht [8]. Es sind jedoch für diesen Anteil bisher keine gesetzlichen Vorgaben zu beachten, sodass über die Gebäudenutzungsphase hinaus erhebliche Einsparpotenziale im Baubereich vorhanden sind.

Im Sinne des Erreichens der anspruchsvollen Klimaschutzziele Deutschlands erscheint es nicht mehr zweckmäßig den Energieaufwand für die Herstellung und Instandhaltung von Gebäuden bei der Bewertung der energetischen Qualität weiterhin zu vernachlässigen.

Deshalb wird mit diesem Forschungsprojekt das Ziel verfolgt, das Berechnungsverfahren der EnEV sinnvoll weiterzuentwickeln, sodass zusätzlich zum Energiebedarf resultierend aus dem Gebäudebetrieb auch der Energieaufwand für die Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung von Gebäudekomponenten berücksichtigt werden kann. Dieses Verfahren soll sich an die im Jahr 2019 gültige EnEV anlehnen und den bisherigen primärenergetischen, nicht erneuerbaren Ansatz beibehalten.

Dieser Bericht setzt sich aus sieben Abschnitten zusammen. In dem folgenden Kapitel 2 werden zunächst die derzeit in Deutschland umzusetzenden Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden beschrieben. Im 3. Abschnitt erfolgt eine Präsentation von Beispielgebäuden, die zur Untersuchung des Einflusses von neuen EnEV-Ansätzen herangezogen werden. Das 4. Kapitel wird genutzt, um bestehende Grundlagen für die Weiterentwicklung der EnEV vorzustellen. Aufbauend auf dieses Grundlagenwissen werden im 5. Abschnitt Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV unter Berücksichtigung

des Gebäudelebenszyklus erläutert. Im 6. Kapitel werden diese Ansätze am Beispiel eines Einfamilienhauses, einer Doppelhaushälfte, eines Reihenhauses und eines Mehrfamilienhauses angewandt. Zum einen wird untersucht, ob unterschiedliche baupraxisübliche Ausführungsvarianten der Beispielgebäude unter Berücksichtigung der weiterentwickelten EnEV-Ansätze rechnerisch abgebildet werden können. Zum anderen wird am Beispiel der Häuser berechnet und ausgewertet, wie sich der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des Gebäudelebenszyklus ändert, wenn das Wärmedämmniveau der Gebäudehüllen und die technische Gebäudeausrüstung variiert wird. Im abschließenden 7. Abschnitt werden die wichtigsten Erkenntnisse dieses Berichtes zusammengefasst und es wird ein Ausblick gegeben hinsichtlich sinnvoller weiterer zukünftiger Forschungsarbeiten.

2. Aktuelle Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden

Die wesentlichen Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden sind in Deutschland im Jahr 2019 durch die EnEV [5] und das EEWärmeG [6] festgelegt. Die Vorgaben gelten *„für Gebäude, [die] unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werden“ [5, 6]*. Nicht umgesetzt werden müssen die Anforderungen für

„ [...] Betriebsgebäude, die überwiegend zur Aufzucht oder zur Haltung von Tieren genutzt werden,

[...] Betriebsgebäude, soweit sie nach ihrem Verwendungszweck großflächig und lang anhaltend offen gehalten werden müssen,

[...] unterirdische Bauten,

[...] Unterglasanlagen und Kulturräume für Aufzucht, Vermehrung und Verkauf von Pflanzen,

[...] Traglufthallen und Zelte,

[...] Gebäude, die dazu bestimmt sind, wiederholt aufgestellt und zerlegt zu werden, und provisorische Gebäude mit einer geplanten Nutzungsdauer von bis zu zwei Jahren,

[...] Gebäude, die dem Gottesdienst oder anderen religiösen Zwecken gewidmet sind,

[...] Wohngebäude, die [...] für eine Nutzungsdauer von weniger als vier Monaten jährlich bestimmt sind [und]

[...] sonstige handwerkliche, landwirtschaftliche, gewerbliche und industrielle Betriebsgebäude, die nach ihrer Zweckbestimmung auf eine Innentemperatur von weniger als 12 Grad Celsius oder jährlich weniger als vier Monate beheizt sowie jährlich weniger als zwei Monate gekühlt werden [5, 6].“

Außerdem ist die EnEV nicht verpflichtend für

„ [...] Wohngebäude, die [...] für eine begrenzte jährliche Nutzungsdauer bestimmt sind, wenn der zu erwartende Energieverbrauch der Wohngebäude weniger als 25 Prozent des zu erwartenden Energieverbrauchs bei ganzjähriger Nutzung beträgt“ [5].

Des Weiteren muss das EEWärmeG nicht umgesetzt werden für

„ [...] [Gebäude], die Teil oder Nebeneinrichtung einer Anlage sind, die vom Anwendungsbereich des Treibhausgas-Emissionshandelsgesetzes vom 21. Juli 2011 (BGBl. I S. 1475) in der jeweils geltenden Fassung erfasst ist, und

[...] [Gebäude] der Bundeswehr, soweit die Erfüllung der Pflicht nach § 3 Absatz 1 oder 2 der Art und dem Hauptzweck der Tätigkeit der Bundeswehr entgegensteht [6].“

In den folgenden Kapiteln 2.1 und 2.2 werden die Vorgaben der EnEV und des EEWärmeG für neu zu errichtende Gebäude vorgestellt.

2.1 Energieeinsparverordnung (EnEV)

Die EnEV [9] trat in Deutschland am 01.02.2002 in Kraft und führte die Wärmeschutzverordnung [10] sowie die Heizungsanlagen-Verordnung [11] zu einem gemeinsamen Verordnungstext zusammen [9]. In den Jahren 2004 [12], 2007 [13], 2009 [14] und 2014 [5] erfolgte jeweils eine Novellierung der EnEV mit teilweiser Verschärfung der bisher gültigen Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden.

Die im Jahr 2019 gültige EnEV [5] hält unterschiedliche Anforderungen für neu zu errichtende Gebäude, Bauwerkssanierungen und Gebäudeerweiterungen bereit. Nachfolgend werden im Detail die zu beachtenden Vorgaben für Neubauten vorgestellt.

Für neu zu errichtende Gebäude existieren zwei wesentliche Anforderungen an die Energieeffizienz [5]. Einerseits ist der Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar Q_P zu begrenzen [5]. Dieser entspricht der *„[berechneten jährlichen] Energiemenge, die zusätzlich zum Energieinhalt des notwendigen Brennstoffs und der Hilfsenergien für die Anlagentechnik auch die Energiemengen einbezieht, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb [eines] Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe bzw. Stoffe entstehen“ [15]*. Der Primärenergiebedarf setzt sich entsprechend der Abbildung 1 zusammen aus der Energiemenge, die innerhalb einer Gebäudehülle durch den Nutzerbetrieb anfällt und der Energiemenge, die aus der Gewinnung, der Aufbereitung, der Umwandlung und des Transports der eingesetzten Energieträger bis zum Gebäude resultiert [16].

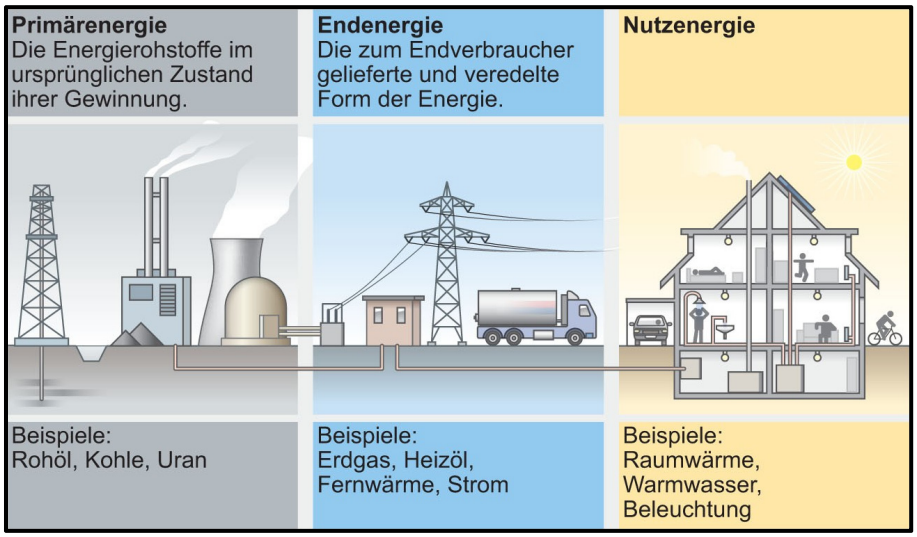


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Primär-, End- und Nutzenergie nach [17]

Bei der Bilanzierung von Wohngebäuden ist die Energiemenge zur Deckung des Heiz-, Kühl-, Lüftungs- und Trinkwarmwasserbedarfs zu berücksichtigen. Handelt es sich bei einem zu berechnenden Bauvorhaben um ein Nichtwohngebäude, ist zusätzlich auch der durch künstliche Beleuchtung entstehende Energiebedarf einzubeziehen [18].

Es ist nachzuweisen, dass der Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar eines zu betrachtenden Gebäudes maximal 75 % vom jährlichen Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar des zugehörigen Referenzgebäudes beträgt [5]. Dieses ist gemäß der Abbildung 2 hinsichtlich der Geometrie, der Ausrichtung, der Nutzung und der Gebäudenutzfläche A_N (Bezugsgröße für Wohngebäude) bzw. der Netto-Grundfläche NGF (Bezugsgröße für Nichtwohngebäude) identisch mit dem zu berechnenden Gebäude. Die Unterschiede zwischen einem realen Gebäude und dem zugehörigen Referenzgebäude sind im Dämmstandard und der Luftdichtheit der Gebäudehülle sowie in der technischen Gebäudeausrüstung zu finden.

Die für ein Referenzgebäude anzusetzenden Werte und Komponenten können der Anlage 1 Tabelle 1 (gültig für Wohngebäude) bzw. der Anlage 2 Tabelle 1 (gültig für Nichtwohngebäude) der EnEV entnommen werden [5].

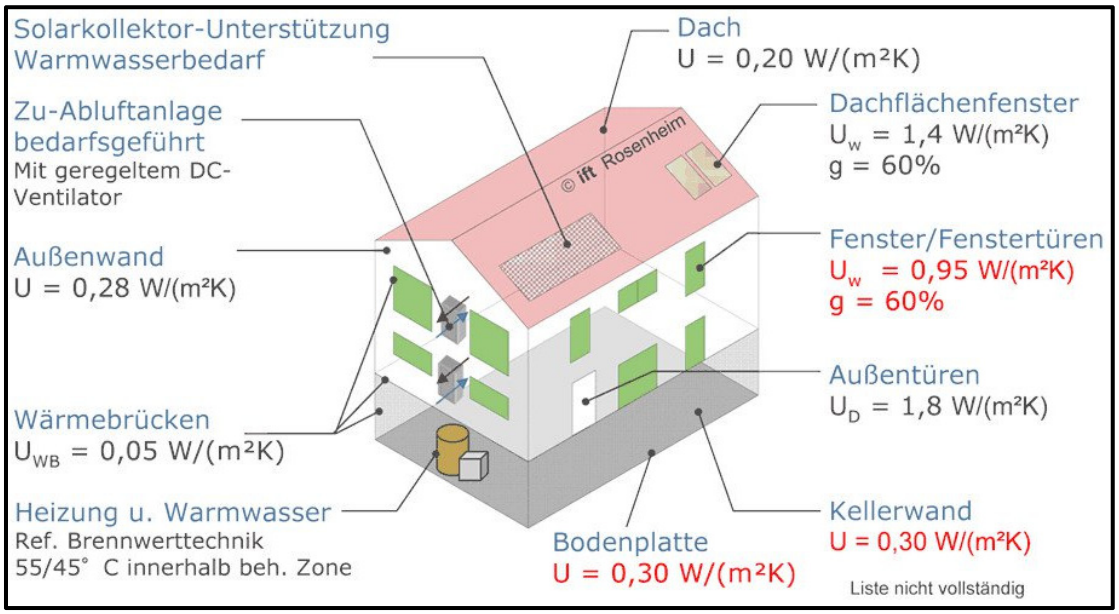


Abbildung 2: Wohn-Referenzgebäude entsprechend EnEV 2014 [19]

Andererseits ist der Transmissionswärmeverlust über die beheizte Gebäudehülle einzuschränken. Handelt es sich bei einem zu betrachtenden Bauvorhaben um ein neu zu errichtendes Wohngebäude, ist zum einen nachzuweisen, dass der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust H'_T (im Folgenden spezifischer Transmissionswärmeverlust) die Höchstwerte entsprechend der Tabelle 1 nicht überschreitet. Zum anderen darf der spezifische Transmissionswärmeverlust des realen Gebäudes den Wert des zugehörigen Referenzgebäudes nicht übersteigen [5].

Tabelle 1: Höchstwerte des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts nach [5]

Gebäudetyp		**Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlusts**
freistehendes Wohngebäude	mit A_N [1] ≤ 350 m²	H'_T = 0,40 W/(m²K)
	mit A_N [1] > 350 m²	H'_T = 0,50 W/(m²K)
einseitig angebautes Wohngebäude gemäß Anlage 1 Tabelle 2 EnEV		H'_T = 0,45 W/(m²K)
alle anderen Wohngebäude		H'_T = 0,65 W/(m²K)
Erweiterungen und Ausbauten von Wohngebäuden gemäß § 9 Absatz 5 EnEV		H'_T = 0,65 W/(m²K)

[1] A_N Gebäudenutzfläche [m²]

Der spezifische Transmissionswärmeverlust lässt sich mithilfe der Formeln (1) und (2) ermitteln [5, 20].

$$H'_T = \frac{H_T}{A} \quad (1)$$

Darin:

H'_T spezifischer, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmeverlust [W/(m²K)]

A Summe der wärmeübertragenden Umfassungsflächen A_i [m²]

H_T Transmissionswärmeverlust [W/K] nach folgender Berechnung:

$$H_T = \sum_i \left(U_i \times A_i \times F_{x,i} \right) + \Delta U_{WB} \times A \quad (2)$$

mit

U_i	Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils i [W/(m²K)]
A_i	wärmeübertragende Umfassungsfläche des Bauteils i [m²]
$F_{x,i}$	Temperatur-Korrekturfaktor des Bauteils i [-]
ΔU_{WB}	spezifischer Wärmebrückenzuschlag [W/(m²K)]

Für neuzubauende Nichtwohngebäude sind hingegen die Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten $\bar{U}$ der wärmeübertragenden Umfassungsfläche (im Folgenden mittlere $\bar{U}$-Werte) gemäß der Tabelle 2 zu begrenzen [5].

Tabelle 2: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche von Nichtwohngebäuden nach [5]

Bauteile	**Höchstwerte der Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten**	
	Zonen mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall ≥ 19 °C	**Zonen mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis < 19 °C**
opake Außenbauteile	$\bar{U}$ = 0,28 W/(m²K)	$\bar{U}$ = 0,50 W/(m²K)
transparente Außenbauteile	$\bar{U}$ = 1,50 W/(m²K)	$\bar{U}$ = 2,80 W/(m²K)
Vorhangfassade	$\bar{U}$ = 1,50 W/(m²K)	$\bar{U}$ = 3,00 W/(m²K)
Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	$\bar{U}$ = 2,50 W/(m²K)	$\bar{U}$ = 3,10 W/(m²K)

Die Berechnung der mittleren $\bar{U}$-Werte erfolgt unter Verwendung der Formel (3). Außentüren sind dabei zu vernachlässigen. Außerdem sind die Wärmedurchgangskoeffizienten U (im Folgenden U-Werte) von Bauteilen gegen unbeheizte Räume (außer gegen Dachräume) oder Erdreich mit einem Faktor von 0,5 zu gewichten. Bei Bodenplatten gegen Erdboden sind nur die Flächen zu bilanzieren, die maximal 5 m von den Außenkanten eines Gebäudes entfernt sind [5].

$$\overline{U} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i)}{\sum_i A_i} \quad (3)$$

Darin:

$\bar{U}$	mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient der wärmeübertragenden Umfassungsfläche [W/(m²K)]
U_i	Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils i [W/(m²K)]
A_i	wärmeübertragende Umfassungsfläche des Bauteils i [m²]

Des Weiteren sind für neu zu errichtende Gebäude insgesamt fünf Nebenanforderungen umzusetzen [5].

Zum einen ist die Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz entsprechend DIN 4108-2 [21] nachzuweisen. Damit soll der Einsatz von energieintensiven Kühlmaßnahmen sowie ein unbehagliches Innenraumklima vermieden werden [5, 21].

Zum anderen sind die Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig abzudichten. Eine messtechnische Luftdichtheitsprüfung ist nicht verpflichtend durchzuführen. Ein erfolgreicher Nachweis darf bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs positiv angesetzt werden. Um rechnerisch einen günstigeren Wert für den Raumluftwechsel berücksichtigen zu können, ist im Rahmen einer Differenzdruck-Messung gemäß DIN EN 13829 [22] nachzuweisen, dass der ermittelte Volumenstrom, bei einer Druckdifferenz von 50 Pascal zwischen dem Gebäudeinneren und der Außenwelt, die Werte gemäß Anlage 4 der EnEV nicht überschreitet [5, 22].

Im Gegensatz zu der Forderung einer luftundurchlässigen wärmeübertragenden Umfassungsfläche ist insbesondere zur Förderung der Gesundheit der Gebäudenutzer ein Mindestluftwechsel für Räume sicherzustellen [5].

Außerdem sind für Bauteile gegen Außenluft, gegen Erdreich sowie Konstruktionen, die Gebäudebereiche mit wesentlich unterschiedlichen Innentemperaturen voneinander trennen Vorgaben an den Mindestwärmeschutz zu erfüllen. Damit soll speziell Tauwasser- und Schimmelpilzbildung im Gebäudeinneren vermieden werden. Es sind für solche Bauteile die Nachweise zu erbringen, dass die Mindestwärmedurchlasswiderstände entsprechend DIN 4108-2 [21] eingehalten werden [5, 21].

Weiterhin ist zur Vermeidung von Wärmebrückenproblemen der Einfluss konstruktiver Wärmebrücken wirtschaftlich vertretbar so gering wie möglich zu halten. Der verbleibende Wärmebrückeneinfluss ist bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar eines Gebäudes zu berücksichtigen [5].

2.2 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) [6] regelt die Anforderungen an den Einsatz erneuerbarer Energien in Gebäuden in Deutschland im Jahr 2019. Durch dieses Gesetz werden Bauherren von Neubauten und von grundlegend zu renovierenden öffentlichen Gebäuden verpflichtet regenerative Energiequellen für die Wärme- und Kälteversorgung einzusetzen. Alternativ zur Nutzung erneuerbarer Energien können auch Ersatzmaßnahmen realisiert werden. So ist es z. B. zulässig mindestens 50 % des Wärme- und Kälteenergiebedarfs eines Bauwerks mithilfe des Einsatzes einer Wärmepumpe zu decken. Auch die Kombination des Rückgriffs auf regenerative Energien und Ersatzmaßnahmen ist möglich. Detaillierte Vorgaben können dem Gesetzestext des EEWärmeG entnommen werden. Sofern die Anforderungen für ein neu zu errichtendes Gebäude ausschließlich unter Verwendung erneuerbarer Energiequellen erfüllt werden sollen, sind die Mindestanteile entsprechend der Tabelle 3 zu beachten [6].

Tabelle 3: Mindestanteile erneuerbarer Energien für neue Gebäude

Energiequelle	Mindestanteil
solare Strahlungsenergie	15 %
gasförmige Biomasse	30 %
flüssige Biomasse	50 %
feste Biomasse	50 %
Geothermie	50 %
Umweltwärme	50 %

3. Zu untersuchende Beispielgebäude

Für energiebezogene Untersuchungen wurden im Rahmen des Zukunft-Bau-Forschungsprojektes "Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit" [23] Modellgebäude entwickelt. Diese Bauwerke können hinsichtlich des aktuellen und zukünftig zu erwartenden Neubaubestandes in Deutschland als repräsentativ angesehen werden [23, 24]. Zu den Modellgebäuden existieren jedoch nur Informationen zu den Außenbauteilen. Für die Bearbeitung dieses Forschungsthemas wird es jedoch als sinnvoll erachtet, auf Beispielgebäude zurückzugreifen, zu denen auch detaillierte Daten zum Innenausbau vorliegen. Denn die Innenbauteile haben einen wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf zur Herstellung eines Gebäudes. Deshalb werden die Modellgebäude des vorgenannten Forschungsberichtes vernachlässigt. Stattdessen wird auf reale Projekte von etablierten Unternehmen der Baubranche zurückgegriffen. Die Bauplanungsfirmen "bow ingenieure GmbH" und "ITG Energieinstitut GmbH" als Projektpartner sowie die "OSTRAUER Baugesellschaft mbH" als Unterstützer des Fachbereichs "Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung" der Technischen Universität Kaiserslautern waren so freundlich Informationen zu bearbeiteten Bauvorhaben zur Verfügung zu stellen. Die Einbeziehung von wirklichen Gebäudeneubauten hat zudem den Vorteil unter Umständen gebäudespezifische Besonderheiten feststellen zu können, welche für die Weiterentwicklung der EnEV von Bedeutung sein könnten. An dieser Stelle wird z. B. an den Umgang mit teilbeheizten Kellergeschossen gedacht.

Mithilfe der ausgewählten Beispielgebäude soll sichergestellt werden, dass der gesamte Wohngebäudebestand in Deutschland abgedeckt wird und die Erkenntnisse dieses Berichtes unabhängig von der Wohngebäudeart zielführend anwendbar sind. Es wird als zweckmäßig angesehen Wohngebäude in die Kategorien Einfamilienhäuser, Doppelhaushälften, Reihenhäuser und Mehrfamilienhäuser zu unterteilen. In der Tabelle 4 sind ausgewählte Ergebnisse der Volks-, Gebäude- und Wohnungszählung in Deutschland aus dem Jahr 2011 [25] zusammengefasst. Es ist deutlich zu erkennen, dass kein Gebäudetyp vernachlässigbar klein ist. Deshalb wird für jeden der vorgenannten Wohngebäudetypen ein geeignetes Beispielgebäude für die Untersuchungen zur Weiterentwicklung der EnEV herangezogen.

Tabelle 4: Wohngebäude- und Wohnungsverteilung in Deutschland im Jahr 2011 nach [25]

Wohngebäudetyp	Gebäudeanteil	Wohnungsanteil
Einfamilienhäuser (1 Wohnung)	42,4 %	19,7 %
Doppelhaushälften (1 Wohnung)	10,7 %	5,0 %
Reihenhäuser (1 Wohnung)	11,3 %	5,2 %
Mehrfamilienhäuser (≥ 2 Wohnungen)	34,3 %	69,3 %

Bei der Auswahl geeigneter Beispielgebäude ist es sinnvoll die Vorgaben der Europäischen Union (EU) zu beachten. Gemäß der "Delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012" *„[obliegt] die Festlegung von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten den Mitgliedstaaten“* [26] der EU. Ein nationaler Niedrigstenergiegebäudestandard ist mithilfe von Kostenoptimalitätsberechnungen am Beispiel von repräsentativen Referenzgebäuden zu definieren [26]. Vor diesem Hintergrund wurde bei der Zusammenstellung von Beispielgebäuden darauf geachtet, dass die Bauwerke keine extremen Besonderheiten aufweisen und sich als Neubau ohne Probleme in ein typisches deutsches Stadtbild einfügen könnten.

Die aus realen Bauvorhaben der "bow ingenieure GmbH", des "ITG Energieinstitut GmbH" und der "OSTRAUER Baugesellschaft mbH" gewählten Beispielgebäude werden in den folgenden Kapiteln 3.1 bis 3.4 im Detail vorgestellt.

3.1 Beispielgebäude Einfamilienhaus

Das Beispielgebäude "Einfamilienhaus" wurde im Jahr 2019 in Sachsen fertiggestellt und erstreckt sich mit einer Netto-Raumfläche NRF von 169,8 m² über ein beheiztes Erd- und Obergeschoss sowie einen unbeheizten Dachboden. Im Vergleich dazu beträgt die Gebäudenutzfläche A_N 181,9 m² und die Wohnfläche 162,4 m². Die Ursachen für die Abweichungen zwischen den Werten können im Kapitel 5.6 nachgelesen werden. Das ca. 10,25 m lange, 10,25 m breite und 8,35 m hohe Gebäude (oberhalb der Geländeoberkante) mit einer Wohneinheit ist nicht unterkellert und entsprechend den Abbildungen 3 bis 6 ist die Haustür nach Norden und der Terrassenbereich nach Süden ausgerichtet. Weitere Bauzeichnungen zu dem Beispielgebäude sind im Anhang D hinterlegt.

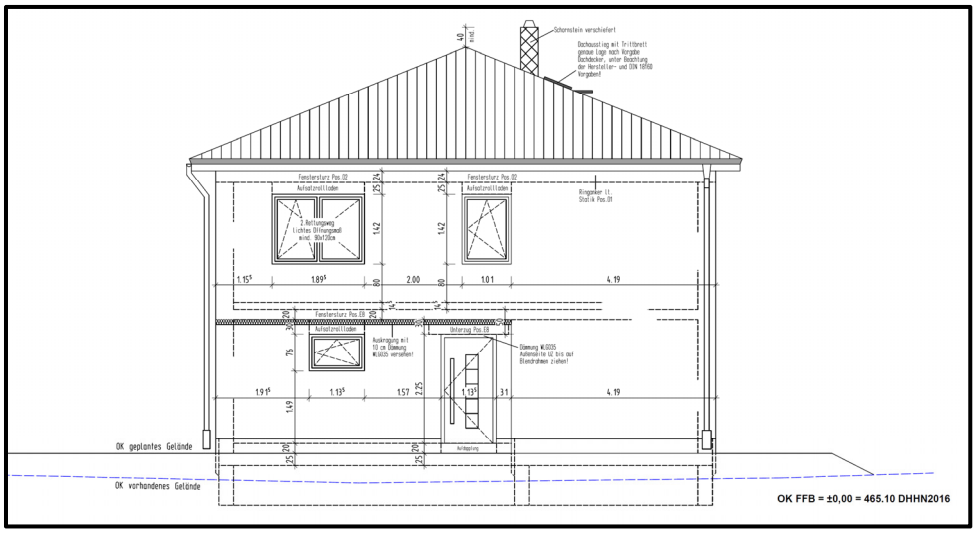


Abbildung 3: Ansicht Nord zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27]

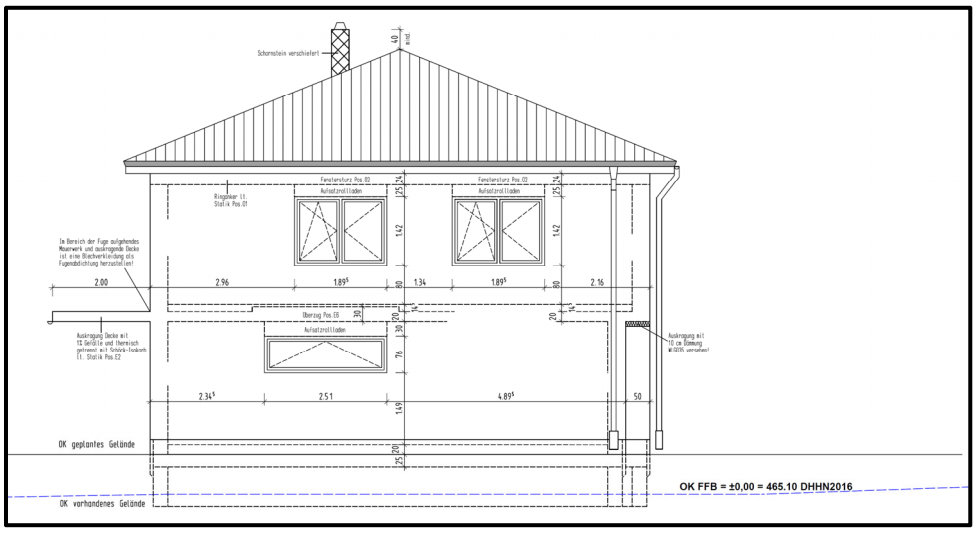


Abbildung 4: Ansicht Ost zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27]

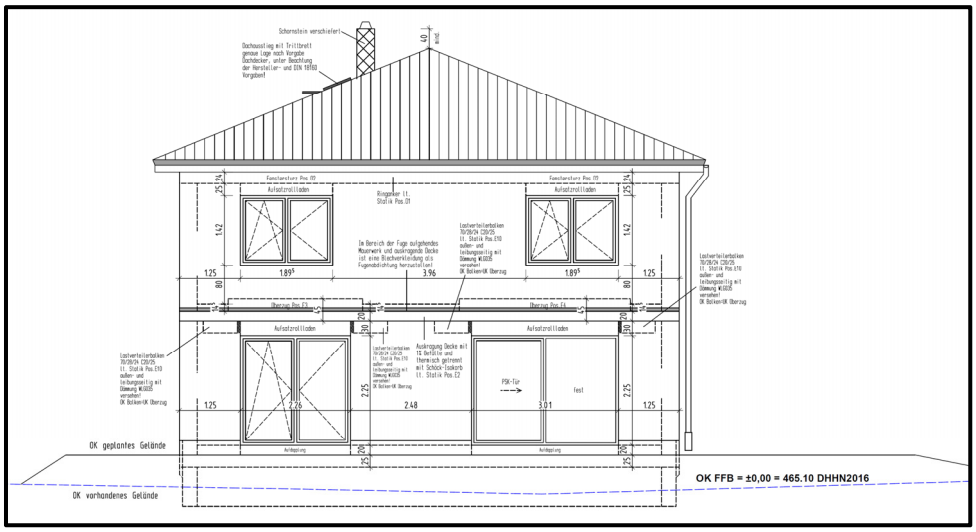


Abbildung 5: Ansicht Süd zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27]

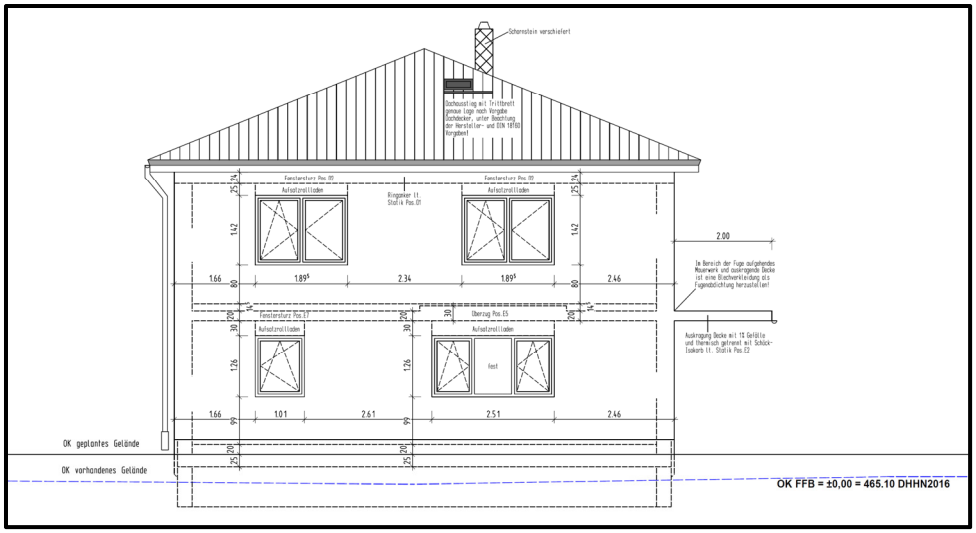


Abbildung 6: Ansicht West zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27]

Eine klassische Einteilung in leichte beziehungsweise schwere Bauweise ist nicht möglich. Denn während die Bodenplatte, die Decke über dem Erdgeschoss, die Außenwände und Teile der Innenwände in Massivbauweise errichtet wurden, handelt es sich bei den übrigen Bauteilaufbauten um Leitbaukonstruktionen. Den oberen Gebäudeabschluss bildet nämlich ein Binderdach, wobei die Dämmebene zwischen den Holzbalken der Decke über dem Obergeschoss angeordnet ist. Und auch die Innenwände im Obergeschoss werden in Leichtbauweise aus metallischen Trockenbauprofilen errichtet. Abweichend dazu bestehen die sonstigen Innenwände aus Leichtbetonsteinen. Auch bei dem Bau der Außenwände wurde auf Leichtbeton zurückgegriffen. Es kam 36,5 cm dickes Leichtbetonmauerwerk zum Einsatz. Die Bodenplatte sowie die Decke über dem Erdgeschoss wurden mithilfe des Einsatzes von Stahlbeton realisiert.

Positiv an der Auswahl dieses Beispielgebäudes wird bewertet, dass es eine Mischbauweise aus Leichtbaukonstruktionen und massiven Bauteilen aufweist. Außerdem ermöglicht der Dachboden die gedankliche Auseinandersetzung mit dem Umgang mit unbeheizten Gebäudebereichen.

3.2 Beispielgebäude Doppelhaushälfte

Als Beispielgebäude "Doppelhaushälfte" wird ein Zwei-Familienhaus mit einer Länge von ca. 18,84 m, einer Breite von ca. 12,31 m und einer Höhe von ca. 8,79 m oberhalb des Geländes herangezogen, welches im Jahr 2018 in Sachsen erstbezogen wurde. Untersucht wird im Detail die linke Gebäudehälfte von Südost aus betrachtet. Diese nicht unterkellerte drei-etagige Doppelhaushälfte weißt eine Wohnfläche von 178,1 m² auf, wobei das unbeheizte Dachgeschoss einen Technikraum enthält und des Weiteren als Lagerfläche dient. Verglichen dazu beträgt die Netto-Raumfläche NRF 293,6 m² und die Gebäudenutzfläche A_N 218,9 m². Wie in den Abbildungen 7 bis 9 ersichtlich, ist der Eingangsbereich nach Südost orientiert, währenddessen an die Nordwestfassade eine Terrasse angrenzt. Im Anhang E sind zusätzlich Grundrisse und ein Schnitt zum Gesamtgebäude zu finden.

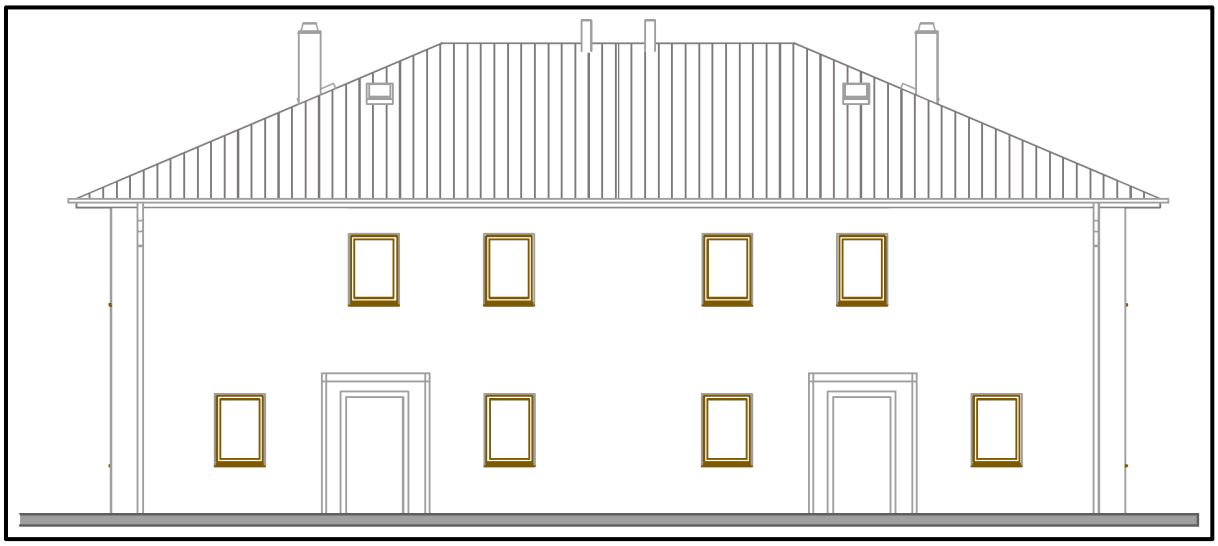


Abbildung 7: Ansicht Südost zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28]

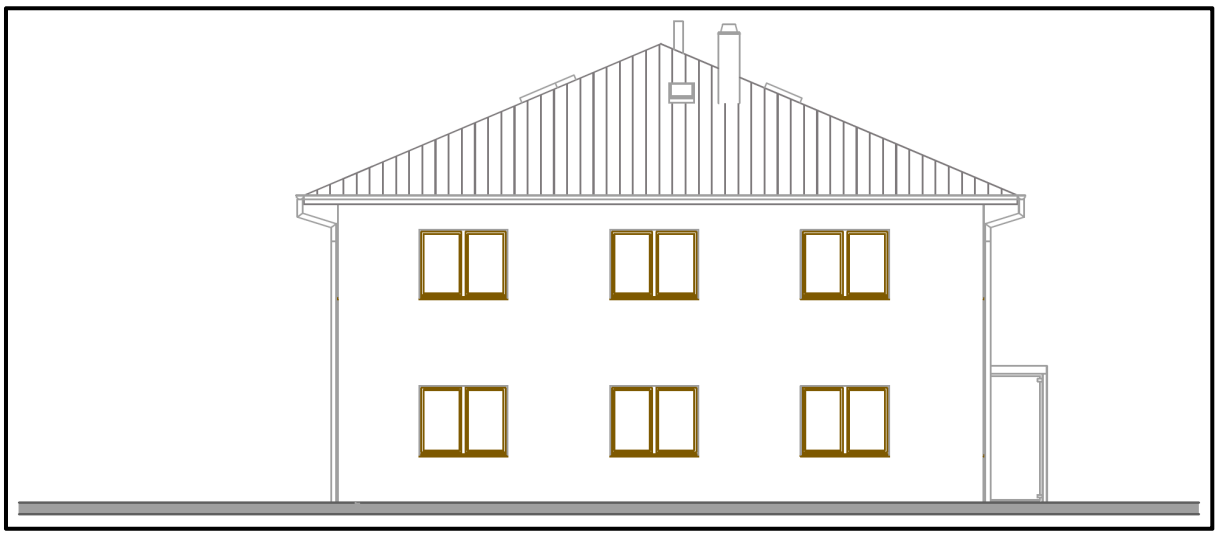


Abbildung 8: Ansicht Südwest zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28]

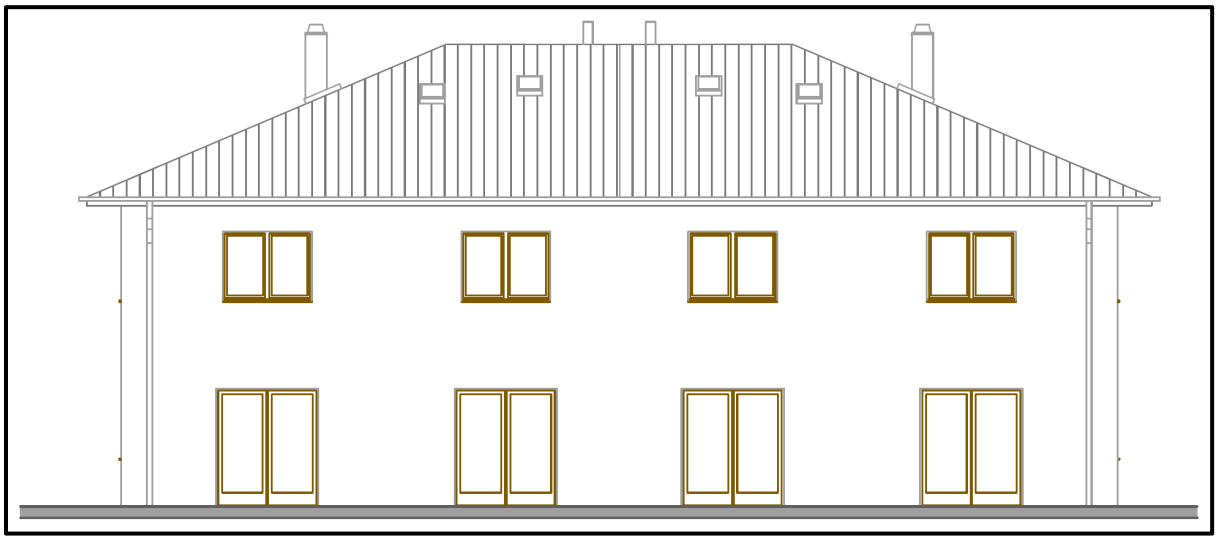


Abbildung 9: Ansicht Nordwest zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28]

Die horizontalen und vertikalen Gebäudekonstruktionen wurden überwiegend in Massivbauweise errichtet, währenddessen das Dach aus Holzsparren gebaut wurde. Bei der Erstellung der Außenwände kamen 36,5 cm dicke Porenbeton-Steine zum Einsatz. Im Gegensatz dazu bestehen die Innenwände überwiegend aus Kalksandstein-Mauerwerk und teilweise auch aus metallischen Trockenbauprofilen. Die Herstellung der Bodenplatte und der Decken wurde mithilfe von armierten Beton realisiert.

Dieses ausgesuchte Beispielgebäude wird als besonders interessant angesehen, weil es die Besonderheit eines unbeheizten Dachgeschosses mit integriertem Technikraum pro Wohneinheit aufweist.

3.3 Beispielgebäude Reihenhaus

Eine im Jahr 2011 in Sachsen-Anhalt neu gebaute Wohneinheit mit einer Länge von ca. 12,89 m, einer Breite von ca. 6,50 m und einer Höhe von ca. 12,73 m (oberhalb des Erdreichs) dient als Beispielgebäude "Reihenhaus". Das Gebäude befindet sich an zweiter Stelle in einer Bebauungsreihe von insgesamt zwölf Wohneinheiten und ist somit ein Reihenmittelhaus. Das nicht unterkellerte Bauwerk mit einer Wohnfläche von 202,6 m² besteht aus vier Etagen, wobei das Erdgeschoss eine Garage enthält und es sich bei der obersten Etage um ein Staffelgeschoss handelt. Obwohl die Garage beheizt wird und somit zum beheizten Gebäudevolumen entsprechend der EnEV zählt [5], sind die Trennwände zwischen Wohn- und Garagenbereich sowie der Deckenbereich oberhalb der Fahrzeugabstellfläche zur Vermeidung von Feuchtproblemen und zur Minimierung des Energiebedarfs mit einer Wärmedämmung versehen. Einschließlich der Garage beträgt die Netto-Raumfläche NRF 233,4 m². Ohne die Fahrzeugabstellfläche macht die Netto-Raumfläche NRF noch 217,0 m² aus. Im Gegensatz dazu beträgt die Gebäudenutzfläche A_N 265,4 m². Im Kapitel 5.6 werden die Gründe für die Abweichungen zwischen den einzelnen Grundflächenbezügen erklärt. Die in den Abbildungen 10 und 11 ersichtlichen Hausfassaden grenzen nach Osten gegen eine Straße und nach Westen zu einem Gartenbereich. Zusätzliche Baupläne können dem Anhang F entnommen werden.

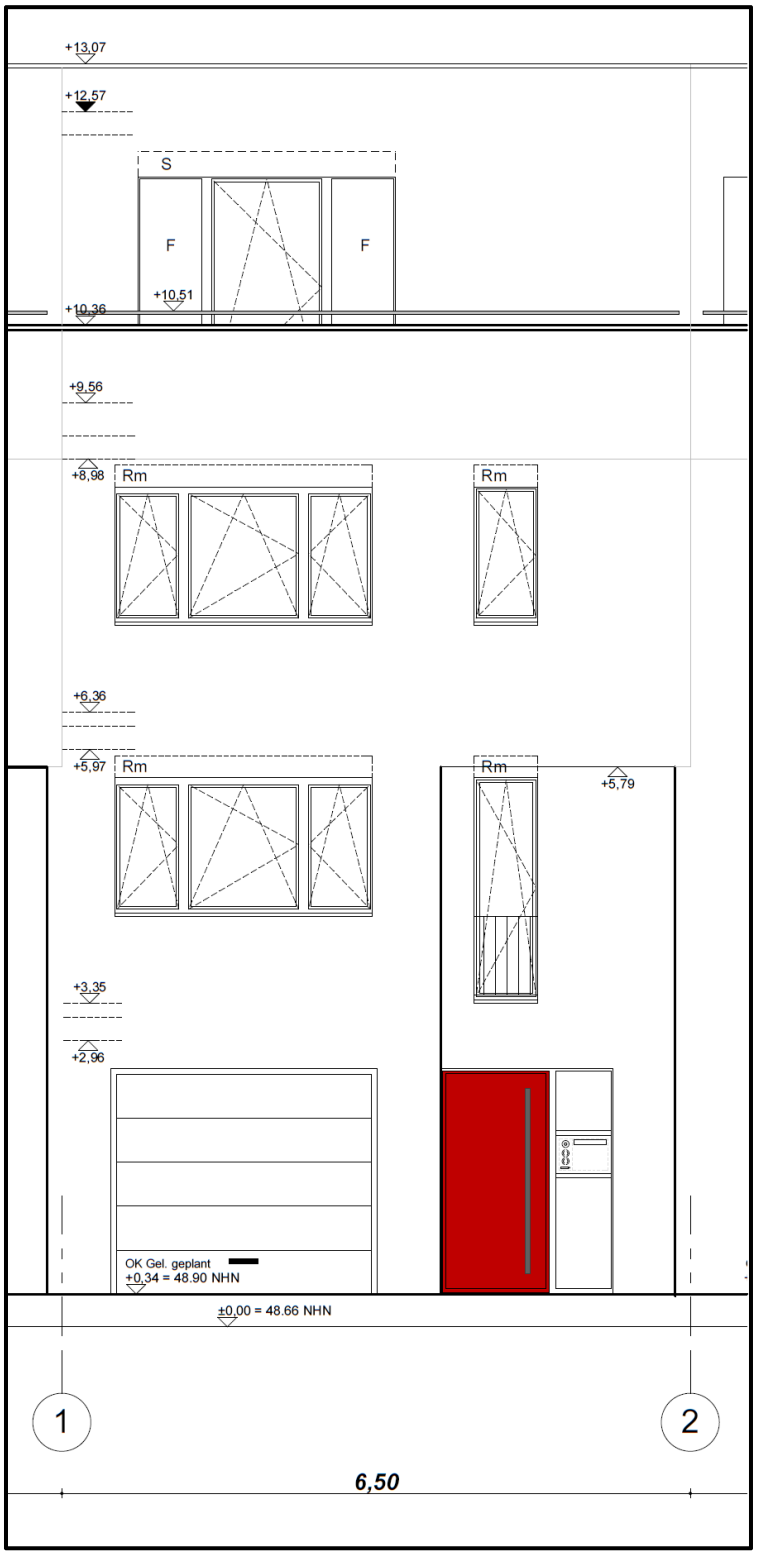


Abbildung 10: Ansicht Ost zum Beispielgebäude Reihenhaus [29]

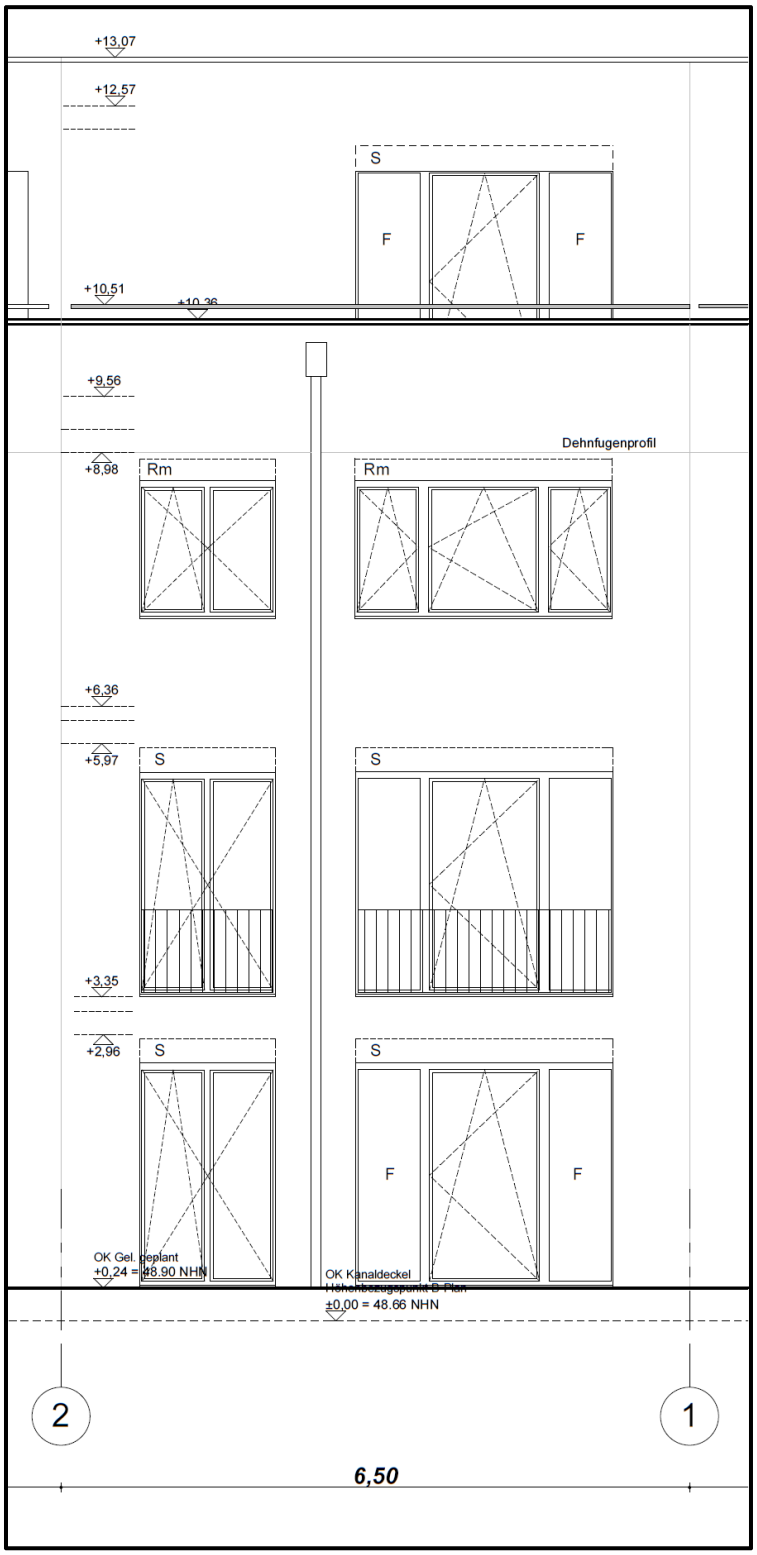


Abbildung 11: Ansicht West zum Beispielgebäude Reihenhaus [29]

Die Außenwände des Reihenhauses wurden aus 24 cm dicken Kalksandstein-Mauerwerk errichtet und auf der Außenseite mit einem Wärmedämmverbundsystem versehen. Auch die Innenwände wurden teilweise aus massiven Kalkstandstein-Mauerwerk mit einer Stärke von 17,5 cm erstellt. Der übrige Teil der Innenwände wurde in Leichtbauweise aus metallischen Trockenbauprofilen hergestellt. Die Bodenplatte, die Decken sowie das Flachdach über dem Staffelgeschoss bestehen aus Stahlbeton, sodass die Bauweise des Gebäudes insgesamt der Kategorie schwer gemäß DIN V 18599-2 [30] zugeteilt werden kann.

Als positive Besonderheit des Beispielgebäudes wird gesehen, dass es eine Garage enthält. Denn im Verlauf des Forschungsprojektes ist die Frage zu klären, ob bzgl. des zu berechnenden Energiebedarfs während des Gebäudelebenszyklus ein Grundflächenbezug inklusive oder exklusive Fahrzeugabstellflächen sinnvoll erscheint.

3.4 Beispielgebäude Mehrfamilienhaus

Es handelt sich bei dem Beispielgebäude "Mehrfamilienhaus" um ein im Jahr 2019 in Sachsen-Anhalt errichtetes Gebäude mit insgesamt acht Wohneinheiten und einer Wohnfläche von 1.068,8 m², die sich über vier oberirdische Etagen verteilt. Zusätzlich ist im Kellergeschoss eine Tiefgarage zu finden, die im Vergleich zum restlichen Gebäude nicht beheizt wird. Mit den Fahrzeugabstellflächen gerechnet beträgt die Netto-Grundfläche NGF des Wohngebäudes 1.456,0 m². Wird die Tiefgarage hingegen vernachlässigt, macht die Netto-Grundfläche NGF nur noch 1.176,3 m² aus. Im Vergleich dazu zählen 1.238,3 m² zur Gebäudenutzfläche A_N. Die Ursachen für die unterschiedlichen Grundflächenbezüge werden im Kapitel 5.6 beschrieben. Wie man in den Abbildungen 12 bis 15 sehen kann, weist das Mehrfamilienhaus ein Pultdach auf, welches nach Osten geneigt ist. Auf der Ostseite befindet sich der Hauseingang mit einem angrenzenden Fahrstuhlschacht. Insgesamt ist das Gebäude ca. 24,39 m lang, 13,92 m breit und 12,88 m hoch (oberhalb der Geländeoberkante). Weitere Bauzeichnungen sind im Anhang G enthalten.

Abbildung 12: Ansicht Ost zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

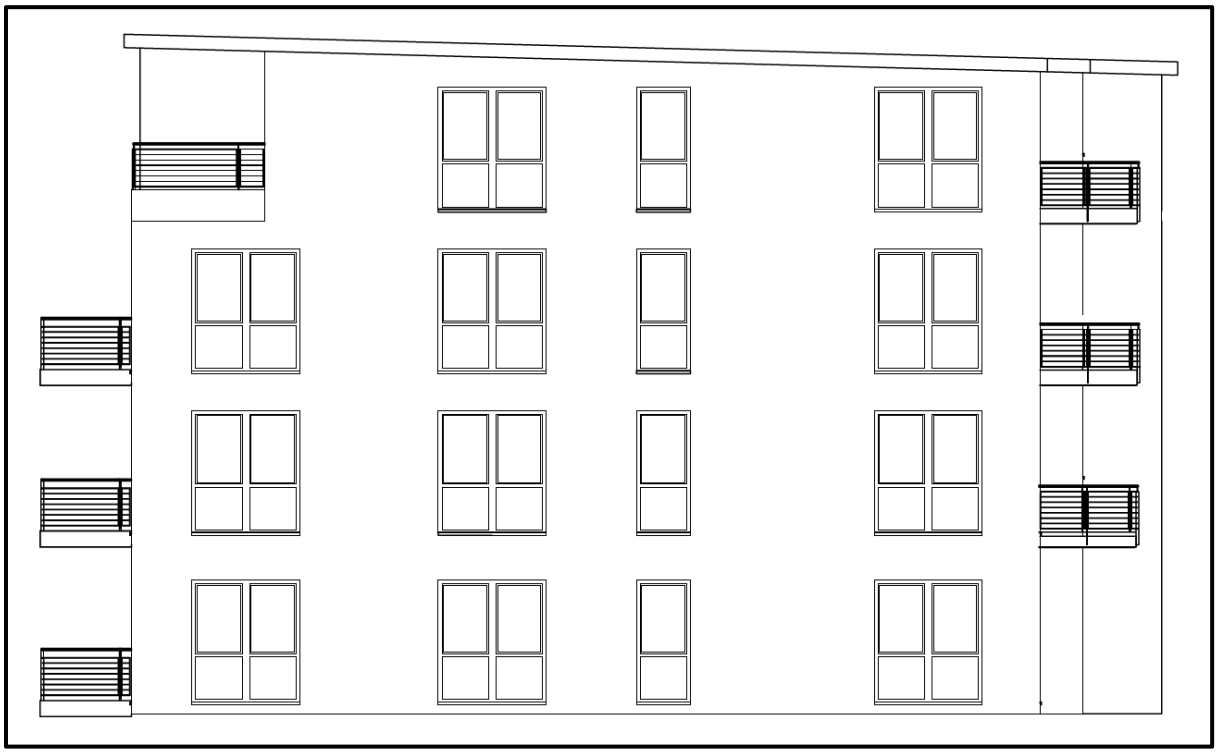


Abbildung 13: Ansicht Süd zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

Abbildung 14: Ansicht West zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

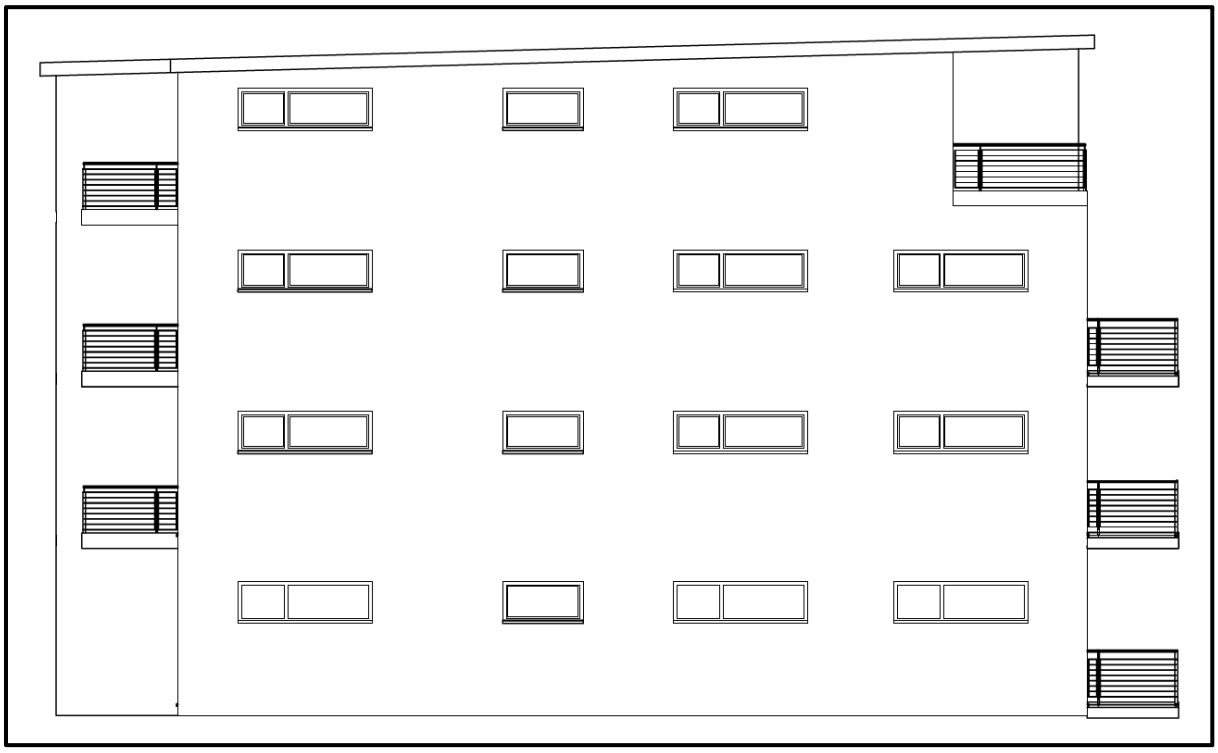


Abbildung 15: Ansicht Nord zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

Das Mehrfamilienhaus erfüllt die Kriterien für eine schwere Bauweise entsprechend DIN V 18599-2 [30], weil mit Ausnahme des Pultdaches über dem 3. Obergeschoss (mit einer Zwischensparrendämmung) fast alle Konstruktionen in Massivbauweise errichtet wurden. Die Wände, Stützen und Unterzüge im Kellergeschoss sind Stahlbetonbauteile, wobei die Außenwände teilweise mit einer außenseitigen Perimeterdämmung versehen sind. Auch die Treppenhauswände gegen die unbeheizte Tiefgarage sind gedämmt. Die Bodenplatte sowie die Decken bestehen ebenfalls aus bewehrtem Beton. Die oberirdischen Außen- und Innenwände wurden hingegen unter Verwendung von Kalksandstein gebaut. Dabei kam für die Außenwände 24 cm dickes Mauerwerk zum Einsatz, dass außenseitig mit einem Wärmedämmverbundsystem ausgestattet wurde. Im Bereich des Aufzugsschachtes wurde im Vergleich zu den sonstigen Gebäudefassaden eine geringere Dämmstoffstärke verwendet.

Interessant am gewählten Haus wird gefunden, dass es im Vergleich zu den übrigen Beispielgebäuden fast ausschließlich aus massiven Konstruktionen besteht. Außerdem wirft die Tiefgarage im Kellergeschoss die Frage auf, wie bei der Festlegung eines Grundflächenbezugs für die lebenszyklusbezogene energetische Gebäudebewertung sinnvoll mit Fahrzeugabstellflächen und Fahrgassen in Gebäuden umgegangen werden soll?

4. Grundlagen zur Berechnung des lebenszyklusbezogenen Gebäudeenergiebedarfs

Zur Berechnung des Primärenergiebedarfs während des Lebenszyklus eines Gebäudes existieren Ansätze in deutschen Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen. Außerdem gibt es eine Norm, die Informationen bzgl. einer möglichen Aufteilung des Gebäudelebenszyklus in einzelne Lebenszyklusstadien enthält. Des Weiteren existiert bereits für Deutschland eine Datenbank, die unter anderem Informationen hinsichtlich des Primärenergiebedarfs für die Herstellung und Entsorgung von Baustoffen und Gebäudekomponenten zur Verfügung stellt. Diese Datenbank ist gekoppelt mit einem internetbasierten und kostenlos nutzbaren Programm, mit dem man sowohl für einzelne Bauteile, als auch für komplette Gebäude unter anderem den Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des Lebenszyklus berechnen kann. Es kann somit festgehalten werden, dass bereits wichtige Bausteine zur Berechnung des lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarfs existieren. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden diese bestehenden Grundlagen vorgestellt.

4.1 Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme in Deutschland

In Deutschland existieren derzeit drei bedeutsame Systeme zur Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden. Bei allen Systemen ist die Berechnung des Primärenergiebedarfs während des Gebäudelebenszyklus ein Bestandteil der Nachhaltigkeitszertifizierung [32–34]. In den folgenden Kapiteln 4.1.1 bis 4.1.3 werden diese Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme vorgestellt. Insbesondere wird herausgearbeitet, wie die Bewertung des Primärenergiebedarfs während des Gebäudelebenszyklus erfolgt, um entscheiden zu können, ob bereits bestehende Ansätze im Rahmen der Weiterentwicklung der EnEV sinnvoll übernommen werden können.

4.1.1 Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)

4.1.1.1 Allgemeine Informationen zum BNB-Zertifizierungssystem

Das "Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen" (im Folgenden BNB) wurde im Jahr 2009 durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in Deutschland eingeführt [35, 36]. Es handelt sich dabei um ein Verfahren zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Gebäuden. Die im Jahr 2019 zu beachtenden wesentlichen Inhalte des Nachhaltigkeitsbewertungssystems sind im „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ [35] zusammengefasst. Der Leitfaden ist verpflichtend für Bundesgebäude und wird nachfolgend vorgestellt. Für Hochbaumaßnahmen der Länder sowie kommunale und private Bauvorhaben hat er lediglich empfehlenden Charakter [35].

Die Bewertung von Gebäuden basiert auf den fünf Dimensionen der Nachhaltigkeit – ökologische Qualität, ökonomische Qualität, soziokulturelle und funktionale Qualität, technische Qualität sowie Prozessqualität. Zur Beurteilung der ökologischen Güte gehört insbesondere die Betrachtung der Stoff- und Energieströme resultierend aus Herstellung, Betrieb, Instandhaltung und Rückbau eines Gebäudes. Im Bereich der Ökonomie werden die Kosten während des Gebäudelebenszyklus analysiert. Zur soziokulturellen und funktionalen Dimension zählt unter anderem die Bewertung der Erfüllung der Gebäudenut-

zerbedürfnisse sowie die Beurteilung der Funktionalität eines Gebäudes. Die Betrachtung der technischen Güte umfasst die Analyse der technischen Ausführung eines Bauwerks. Dazu gehört z. B. die Bewertung des Schall-, Wärme- und Feuchteschutzes. Im Rahmen der Beurteilung der Prozessqualität werden die Gebäudeplanung und die Bauausführung betrachtet [35].

Die fünf Dimensionen der Nachhaltigkeit setzen sich entsprechend der Abbildung 16 jeweils aus Kriteriengruppen zusammen. Man bezeichnet die Dimensionen deshalb auch als Hauptkriteriengruppen. Die Kriteriengruppen werden gebildet von einzelnen Kriterien, die wiederum aus Teilkriterien bestehen [35].

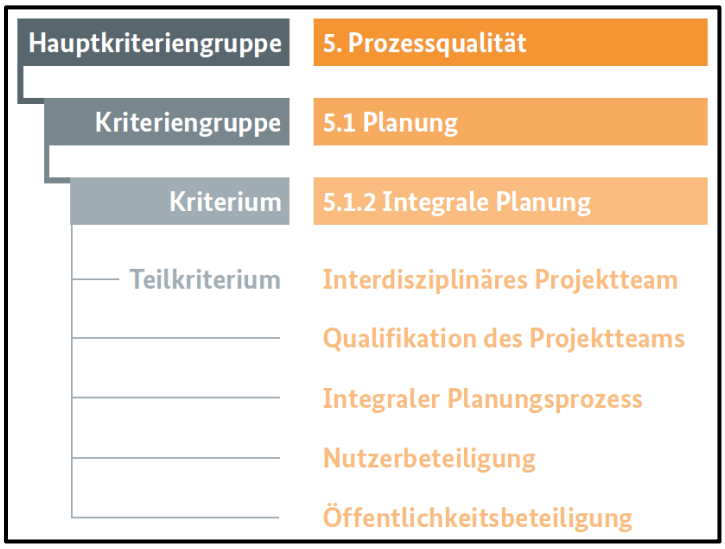


Abbildung 16: Aufbau des BNB [35]

Die Bewertung der Nachhaltigkeit eines Gebäudes gemäß BNB erfolgt auf Basis einer Punktevergabe für jedes Teilkriterium. Insgesamt beträgt die ansetzbare Maximalpunktzahl für ein Kriterium 100 Punkte. Die einzelnen Kriterienergebnisse sind abhängig von der Nachhaltigkeitsbedeutung unterschiedlich stark zu gewichten und innerhalb der zugehörigen Hauptkriteriengruppe zusammenzuführen. Es ist der Erfüllungsgrad einer Hauptkriteriengruppe aus dem Verhältnis von maximal erreichbarer und tatsächlicher Punktzahl zu berechnen. Die Ergebnisse der fünf Hauptkriteriengruppen sind entsprechend der Abbildung 17 unterschiedlich stark zu gewichten und miteinander zu verrechnen. Eine Übersicht mit allen für Büro- und Verwaltungsgebäude zu beachtenden Kriterien, Kriteriengruppen und Hauptkriteriengruppen mit den zugehörigen Gewichtungsfaktoren ist im Anhang A hinterlegt [35].

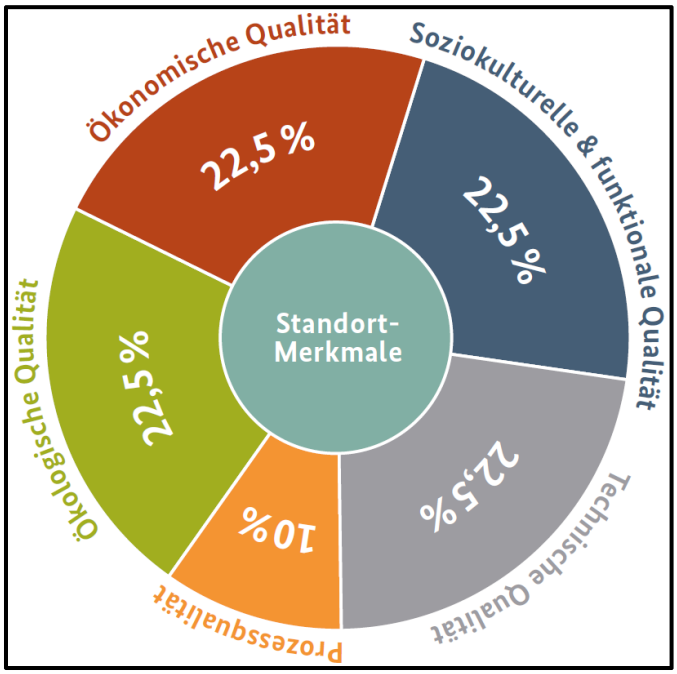


Abbildung 17: Gewichtung der Hauptkriterien im BNB [35]

Im Rahmen einer BNB-Zertifizierung kann ein Gebäude den Qualitätsstandard Gold, Silber oder Bronze erreichen. Gemäß der Abbildung 18 ist für das Höchstlevel Gold ein Gesamterfüllungsgrad von 80 % notwendig. Für den Silber-Standard sind mindestens 65 % nachzuweisen. Der niedrigste Qualitätsstandard Bronze wird ab einem Gesamterfüllungsgrad von 50 % erreicht. Für Bundesgebäude ist mindestens das Erfüllen des Silber-Standards verpflichtend [35].

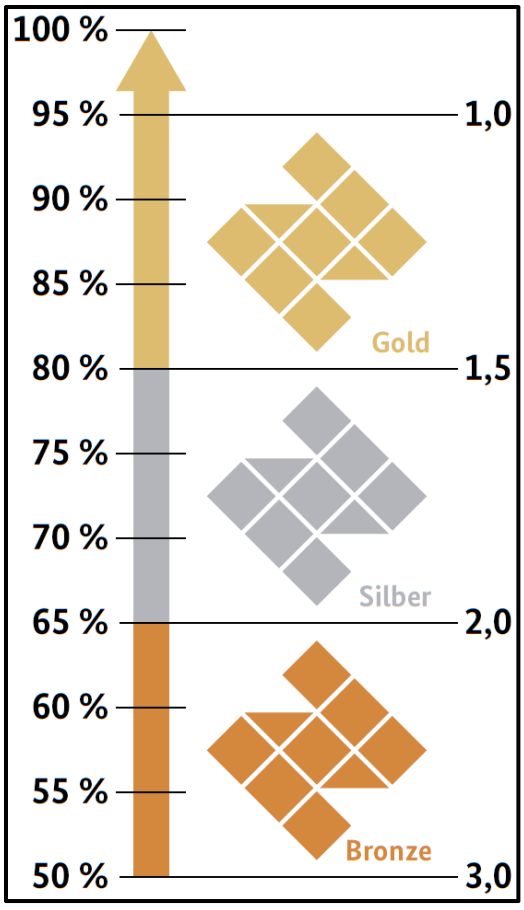


Abbildung 18: Bewertungsskala im BNB [35]

Zusätzlich müssen Bundesbauten Mindesterfüllungsgrade in den Hauptkriteriengruppen aufweisen. Die zu berücksichtigen Grenzwerte sind in der Tabelle 5 zusammengefasst [35].

Tabelle 5: Mindesterfüllungsgrade für Bundesbauten im BNB nach [37]

Mindesterfüllungsgrad	Gebäudetyp	
	Standardgebäude [1] Neubau + Komplettmodernisierung	**Besonderes Gebäude [1, 2]** Neubau + Komplettmodernisierung
Ökologische Qualität	≥ 50 %	≥ 65 %
Ökonomische Qualität	≥ 50 %	≥ 65 %
Soziokulturelle und funktionale Qualität	≥ 50 %	≥ 65 %
Technische Qualität	≥ 50 %	≥ 65 %
Prozessqualität	≥ 50 %	≥ 65 %
Gesamterfüllungsgrad	≥ 65 %	≥ 65 %

[1] ohne Denkmaleigenschaften

[2] Festlegung erfolgt durch oberste technische Instanz in Abstimmung mit Eigentümer und Nutzer

Unterschiedliche Gebäudetypen weisen typenspezifische Besonderheiten auf. So sind z. B. bei der Planung von Schulen andere nutzerspezifische Bedürfnisse zu beachten im Vergleich zu Bürogebäuden. Deshalb hält das BNB für Neubauvorhaben insgesamt fünf spezifische Systemvarianten bereit. Für Büro- und Verwaltungsgebäude, Unterrichtsgebäude, Laborgebäude, überbetriebliche Berufsbildungsstätten sowie Außenanlagen existieren jeweils angepasste Vorgaben für eine BNB-Nachhaltigkeitsbewertung [35].

Im nachfolgenden Kapitel 4.1.1.2 wird für neu zu errichtende Büro- und Verwaltungsgebäude vorgestellt, wie bei einer BNB-Zertifizierung der Energiebedarf zu bewerten ist.

4.1.1.2 Bewertung des Energiebedarfs im BNB-Zertifizierungssystem

Hinsichtlich der Bewertung des Energiebedarfs eines neu zu errichtenden Gebäudes im Rahmen einer BNB-Nachhaltigkeitsbewertung sind drei Teilkriterien zu beachten, die sich alle auf den Primärenergiebedarf während des Lebenszyklus beziehen. Zu beurteilen ist der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf PE_{ne}, der Gesamtprimärenergiebedarf PE_{ges} sowie der Anteil der erneuerbaren Primärenergie PE_e [38].

Mithilfe der Berechnung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs können z. B. für Büro- und Verwaltungsgebäude bis zu 60 Bewertungspunkte entsprechend der Tabelle 6 gesammelt werden [38].

Tabelle 6: Bewertungspunkte im BNB für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von Büro- und Verwaltungsgebäuden nach [38]

Bewertungspunkte [1]	Anforderungsniveau
60	≤ 109 kWh/(m²a) [2]
30	= 167 kWh/(m²a) [2]
6	≥ 277 kWh/(m²a) [2]
0	Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf wurde nicht nachgewiesen.

[1] Zwischenwerte sind abschnittsweise linear zu interpolieren

[2] bezogen auf die Netto-Grundfläche

Sofern des Weiteren auch der Gesamtprimärenergiebedarf nachgewiesen wird, ist gemäß der Tabelle 7 ein Zuschlag von maximal 40 Punkten möglich [38].

Tabelle 7: Bewertungspunkte im BNB für den Gesamtprimärenergiebedarf von Büro- und Verwaltungsgebäuden nach [38]

Bewertungspunkte [1]	Anforderungsniveau
40	≤ 121 kWh/(m²a) [2]
20	= 204 kWh/(m²a) [2]
4	≥ 343 kWh/(m²a) [2]
0	Der Gesamtprimärenergiebedarf wurde nicht nachgewiesen.

[1] Zwischenwerte sind abschnittsweise linear zu interpolieren

[2] bezogen auf die Netto-Grundfläche

Wird zusätzlich auch der Anteil erneuerbarer Primärenergie ausgewertet können bis zu 20 weitere Bewertungspunkte entsprechend der Tabelle 8 gesammelt werden [38].

Tabelle 8: Bewertungspunkte im BNB für den Anteil erneuerbarer Primärenergie von Büro- und Verwaltungsgebäuden nach [38]

Bewertungspunkte [1]	Anforderungsniveau
20	≥ 37 %
10	= 29 %
2	= 15 %
0	< 15 % oder der Anteil erneuerbarer Primärenergie wurde nicht nachgewiesen.

[1] Zwischenwerte sind abschnittsweise linear zu interpolieren

Insgesamt können also im Kriterium Primärenergiebedarf für neu zu errichtende Büro- und Verwaltungsgebäude maximal 120 Punkte erreicht werden. Bei der BNB-Zertifizierung eines solchen Gebäudes können jedoch nur höchstens 100 Bewertungspunkte gemäß der Tabelle 9 angesetzt werden, sodass eine Übererfüllung dieses Kriteriums rechnerisch möglich ist [38].

Tabelle 9: Bewertungspunkte im BNB für den Primärenergiebedarf von Büro- und Verwaltungsgebäuden nach [38]

Bewertungspunkte [1]	Anforderungsniveau
100	Die Summe der Bewertungspunkte der Teilkriterien ergibt 100.
50	Die Summe der Bewertungspunkte der Teilkriterien ergibt 50.
10	Die Summe der Bewertungspunkte der Teilkriterien ergibt 10.
0	Die Summe der Bewertungspunkte der Teilkriterien ergibt < 10.

[1] Zwischenwerte sind abschnittsweise linear zu interpolieren

Für die Beurteilung des Kriteriums Primärenergiebedarf sind umfangreiche Berechnungen erforderlich. Über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ist der Gebäude-Energiebedarf während der Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase in Anlehnung an DIN EN 15978 [39] zu ermitteln. Entsprechend der Tabelle 10 sind die Module A1 (Rohstoffbeschaffung), A2 (Transport der Rohstoffe zum Hersteller), A3 (Produktion von Baustoffen), B4 (Austausch von Baustoffen), B6 (Energieverbrauch im Gebäudebetrieb), C3 (Abfallverwertung von Baustoffen) und C4 (Entsorgung von Baustoffen) dieser Norm zu beachten [32, 39, 40].

Tabelle 10: Lebenswegphasen und -module im BNB nach [32]

Lebens-weg-phasen	**Herstellungs-phase A 1-3**			**Errich-tungs-phase A 4-5**		**Nutzungsphase B 1-7**							**Ende des Lebens-zyklus C 1-4**				**außer-halb Sys-tem-grenze D**
	Rohstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallverwertung	Entsorgung	Potenzial für Wiederverwer-tung, Rückgewinnung und Re-i-
Module gemäß DIN EN 15978	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
zu beach-tende Module im BNB	x	x	x	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	x	x	-

Die Außenanlagen eines Gebäudes sind zu vernachlässigen und der Primärenergiebedarf ist auf die Netto-Grundfläche NGF nach DIN 277-1 [41] zu beziehen. Es handelt sich bei dieser Fläche um die Differenz aus der Innen-Grundfläche IGF und der Innenwand-Konstruktions-Grundfläche IKF eines Raumes. Die Energiebezugsfläche im BNB unterscheidet sich somit von der im Jahr 2019 gültigen EnEV [5]. Während gemäß dieser Verordnung für Nichtwohngebäude ebenfalls die Netto-Grundfläche NGF anzusetzen ist, dient bei Wohngebäuden die Gebäudenutzfläche A_N als Bezugsgröße. Diese Energiebezugsfläche ist eine fiktive Größe, die in Abhängigkeit vom beheizten Gebäudevolumen V_e und der durchschnittlichen Geschosshöhe h_G zu bestimmen ist. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass gemäß EnEV für Nichtwohngebäude nur die Nettogrundfläche von beheizten und/oder gekühlten Räumen zu berücksichtigen ist. Bei der BNB-Nachhaltigkeitsbewertung eines Gebäudes ist hingegen die Netto-Grundfläche von allen Räumen anzusetzen [5, 32, 40, 41].

Zur Berechnung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs PE_{ne}, des Gesamtprimärenergiebedarfs PE_{ges} sowie des Anteils der erneuerbaren Primärenergie PE_e während eines zu berücksichtigen Gebäudelebenszyklus von 50 Jahren stehen zwei Verfahren zur Auswahl – das ausführliche und das vereinfachte Verfahren [32].

Bei Anwendung des ausführlichen Verfahrens sind im Rahmen der Bewertung der Gebäude-Herstellungsphase der Rohbau und der Ausbau vollständig wie in der Realität gebaut anzusetzen. Die Bauteile sind entsprechend DIN 276-1 [42] zu gliedern und es ist eine Mengenermittlung für die Kostengruppen 300 (Baukonstruktionen) und 400 (technische Anlagen) sowie ausgewählte Teile der Kostengruppe 500 (Baukonstruktionen in Außenanlagen, technische Anlagen in Außenanlagen, Einbauten in Außenanlagen, Pflanz- und Saatflächen) zu erstellen. Es sind alle Baustoffe einzubeziehen, die mehr als

1 % der Gebäude-Gesamtmasse oder größer als 1 % des Primärenergiebedarfs oder mehr als 1 % des Treibhauspotenzials GWP (im Englischen: Global Warming Potential) ausmachen. Allerdings darf die Summe von nicht berücksichtigten Materialien 5 % der gesamten Masse, der Primärenergie oder des Treibhauspotenzials GWP eines Gebäudes nicht überschreiten. Vernachlässigt werden dürfen Transporte, der Baustellenbetrieb sowie der Baustoffverschnitt und die Abfallentsorgung [32].

Die anzusetzende Lebensdauer von Gebäudekomponenten kann der Datenquelle "Nutzungsdauern, Instandhaltungsaufwand, Ökobilanzierung" [43] entnommen werden. Sofern Bauteile oder Bauteilbestandteile eine kürzere Lebensdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum von 50 Jahren aufweisen, ist ein Austausch der betroffenen Gebäudekomponenten zu berücksichtigen. Zu berechnen ist die Austauschhäufigkeit mithilfe der Division der Dauer des betrachteten Gebäudelebenszyklus durch die Nutzungsdauer des Bauteils bzw. des Baustoffs, wobei das Ergebnis auf eine ganze Zahl abzurunden ist. Je Erneuerung einer Gebäudekomponente ist einmal die erneute Herstellung und einmal die Verwertung und Entsorgung der alten Baumaterialien anzusetzen [32].

Die Bilanzierung der Betriebsphase umfasst die Bemessung des Primärenergiebedarfs zur Deckung des Heiz-, Kühl-, Lüftungs-, Trinkwarmwasser- und Beleuchtungsbedarfs eines Gebäudes. Die erforderlichen Endenergiewerte sind der Berechnung gemäß EnEV zu entnehmen, wobei das Rechenverfahren entsprechend der Normenreihe DIN V 18599 [44] anzuwenden ist [18, 32].

Der Berechnungszeitraum von 50 Jahren endet mit dem Ansatz der Abfallverwertung und Entsorgung aller eingesetzter Baustoffe. Die bereits in den vorangegangenen Lebenszyklusphasen einbezogenen Materialien sind in

„ Metalle zur Verwertung [,]

Mineralische Baustoffe zur Verwertung [,]

Materialien zur thermischen Verwertung [und]

Materialien, die nur auf Deponien abgelagert werden“ [32]

einzuteilen [32].

Wird alternativ zum ausführlichen Rechenverfahren das vereinfachte Verfahren angewandt sind nur für

„ Außenwände und Kellerwände einschließlich Fenster und Beschichtungen [,]

[Dächer] [,]

Geschossdecken einschließlich Fußbodenaufbau, -belägen und -beschichtungen [,]

[Bodenplatten] einschließlich Fußbodenaufbau und -belägen sowie Geschossdecken über Luft [,]

Fundamente [,]

Innenwände einschließlich Beschichtungen sowie Stützen [und]

Türen“ [32]

der Primärenergiebedarf resultierend aus Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung von Gebäudekomponenten zu berechnen und mit einem Faktor von 1,2 zu multiplizieren. Diesem Ergebnis ist der Energiebedarf für den Betrieb des Gebäudes zuzuschlagen [32].

Im Detail berechnet sich der durchschnittliche jährliche Primärenergiebedarf eines Gebäudes während des Lebenszyklus von 50 Jahren mithilfe der Formeln (4) bis (11) [32]:

$$uwg_{ges,PE} = \frac{UWG_{ges,PE}}{NGF_a} \quad (4)$$

Darin:

$uwg_{ges,PE}$	durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf während des Lebenszyklus des Gebäudes pro Quadratmeter Nettogrundfläche [kWh/(m²a)]
$UWG_{ges,PE}$	durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf während des Lebenszyklus des Gebäudes [kWh/a]
NGF_a	Netto-Grundfläche [m²]

$$UWG_{ges,PE} = UWG_{H,PE} + UWG_{E,PE} + UWG_{N,PE} + UWG_{R,PE} \quad (5)$$

mit

$UWG_{ges,PE}$	durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf während des Lebenszyklus des Gebäudes [kWh/a]
$UWG_{H,PE}$	durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf für die Herstellung des Gebäudes [kWh/a]
$UWG_{E,PE}$	durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf für die Erneuerung des Gebäudes [kWh/a]
$UWG_{N,PE}$	durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf für die Nutzung des Gebäudes [kWh/a]
$UWG_{R,PE}$	durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf für den Rückbau und die Entsorgung des Gebäudes [kWh/a]

$$UWG_{H,PE} = \frac{\sum_j UW_{H,PE,j}}{\Delta t} \quad (6)$$

mit

$UWG_{H,PE}$	durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf für die Herstellung des Gebäudes [kWh/a]
$\sum_j UW_{H,PE,j}$	Summe Primärenergiebedarf für die Herstellung der zu bilanzierenden Bauteilbestandteile j des Gebäudes [kWh]
Δt	Zeitspanne des Lebenszyklus [a]

$$UWG_{E,PE} = \frac{\sum_m n_{E,m} \times UW_{H,PE,m}}{\Delta t} \quad (7)$$

mit

$UWG_{E,PE}$	durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf für die Erneuerung des Gebäudes [kWh/a]
$\sum_m n_{E,m} \times UW_{H,PE,m}$	Summe Primärenergiebedarf für die Erneuerung der zu bilanzierenden Bauteilbestandteile m des Gebäudes [kWh]
Δt	Zeitspanne des Lebenszyklus [a]

$$UWG_{N,PE} = \sum_k UW_{N,PE,k} \quad (8)$$

mit

$UWG_{N,PE}$	durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf für die Nutzung des Gebäudes [kWh/a]
$\sum_k UW_{N,PE,k}$	Summe durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf aller eingesetzten Endenergieträger für die Nutzung des Gebäudes [kWh/a]

$$UW_{N,PE,k} = f_{öko,PE,k} \times Q_{E,k} \quad (9)$$

mit

$UW_{N,PE,k}$ durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf des Endenergieträgers k für die Nutzung des Gebäudes [kWh/a]

$f_{öko,PE,k}$ spezifischer Wirkfaktor für den durchschnittlichen jährlichen Primärenergiebedarf des Endenergieträgers k [-]

$Q_{E,k}$ durchschnittlicher jährlicher Endenergiebedarf des Endenergieträgers k für die Nutzung des Gebäudes [kWh/a]

$$UWG_{R,PE} = \frac{\sum_j UW_{R,PE,j}}{\Delta t} \quad (10)$$

mit

$UWG_{R,PE}$ durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf für den Rückbau und die Entsorgung des Gebäudes [kWh/a]

$\sum_j UW_{R,PE,j}$ Summe Primärenergiebedarf für die Verwertung und Entsorgung der zu bilanzierenden Bauteilbestandteile j des Gebäudes [kWh]

Δt Zeitspanne des Lebenszyklus [a]

$$UW_{(H\,/\,E\,/\,R),PE,j} = f_{öko,PE,j} \times m_j \quad (11)$$

mit

$UW_{(H / E / R),PE,j}$ jeweiliger Primärenergiebedarf für Herstellung, Erneuerung oder Rückbau für das Material des Bauteilbestandteils j [kWh]

$f_{öko,PE,j}$ spezifischer Wirkfaktor für den Primärenergiebedarf für das Material des Bauteilbestandteils j [kWh/kg]

m_j Menge des Bauteilbestandteils j [kg]

Zur Ermittlung des durchschnittlichen jährlichen Primärenergiebedarfs eines Gebäudes während des Lebenszyklus von 50 Jahren kann das vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) bereitgestellte internetbasierte Berechnungsprogramm eLCA [45] verwendet werden. Diese Software ist gekoppelt mit der vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) angebotenen Baustoffdatenbank ÖKOBAUDAT [46], sodass den zu bilanzierenden Materialien automatisch Ökobilanzdaten zugewiesen werden können [35].

4.1.2 Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)

4.1.2.1 Allgemeine Informationen zum DGNB-Zertifizierungssystem

Im Jahr 2007 wurde die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (im Folgenden DGNB) von 16 Initiatoren aus der Bau- und Immobilienwirtschaft gegründet [47]. Im darauffolgenden Jahr erfolgte die Einführung eines Zertifizierungssystems zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden, welches kontinuierlich weiterentwickelt wurde [48]. Die im Jahr 2019 aktuelle Version 2018 wird nachfolgend vorgestellt [33].

Die DGNB-Zertifizierung eines Gebäudes umfasst die Bewertung der Themenfelder Ökologie, Ökonomie, soziokulturelle und funktionale Aspekte, Technik, Prozesse und Standort. Die ökologische Güte ist abhängig von der Wirkung eines Gebäudes auf die globale und lokale Umwelt sowie die Ressourceninanspruchnahme und das Abfallaufkommen während des gesamten Lebenszyklus. Zur Beurteilung der Ökonomie zählt die Betrachtung der Gebäudelebenszykluskosten und der zukünftigen Wertentwicklung

einer Immobilie. Zu den soziokulturellen und funktionalen Aspekten gehören die Analyse des Gebäudeeinflusses auf Gesundheit, Behaglichkeit und Zufriedenheit der Nutzer sowie die Bewertung der Gebäudefunktionalität. Im Rahmen des Themenfelds Technik erfolgt die Beurteilung der technischen Ausführung eines Gebäudes. Dazu zählt unter anderem die Betrachtung des Schall-, Wärme- und Immissionsschutzes. Die Analyse der Qualität der Gebäudeplanung und der Bauausführung gehören zum Themenfeld Prozessqualität, währenddessen Aspekte wie z. B. die Verkehrsanbindung und der Einfluss eines Gebäudes auf die Umgebung in die Bewertung der Standortqualität einfließen [33].

Die sechs Themenfelder des nachhaltigen Bauens bestehen jeweils aus Kriteriengruppen. Die Kriteriengruppen setzen sich aus einzelnen Kriterien zusammen, die wiederum aus Indikatoren gebildet werden [33].

Die Beurteilung der Nachhaltigkeit eines Gebäudes gemäß DGNB basiert auf einer Punktevergabe für jeden Indikator. Die standardmäßig erreichbare Maximalpunktzahl für ein Kriterium beträgt 100 Punkte, wobei für einige Kriterien die Möglichkeit besteht, Bonuspunkte unter anderem für Maßnahmen zum Erreichen von Klimaneutralität, für den Einsatz wiederverwendeter Baustoffe und für bereitgestellte Energie für andere Nutzer anzusetzen. Diese Zusatzpunkte dürfen nur im selben Kriterium angerechnet werden. Die einzelnen Kriterienergebnisse sind in Abhängigkeit von der Nachhaltigkeitsbedeutung unterschiedlich stark zu gewichten und innerhalb des zugehörigen Themenfeldes zusammenzuführen. Der Erfüllungsgrad eines Themenfeldes ist aus dem Verhältnis von maximal erreichbarer und tatsächlicher Punktzahl zu berechnen. Die Ergebnisse der sechs Themenfelder sind entsprechend der Abbildung 19 unterschiedlich stark zu gewichten und miteinander zu verrechnen. Im Anhang B ist eine Tabelle zu finden mit den Bedeutungsfaktoren zu den Einzelkriterien und deren Anteil an der Gesamtbewertung in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung [33].

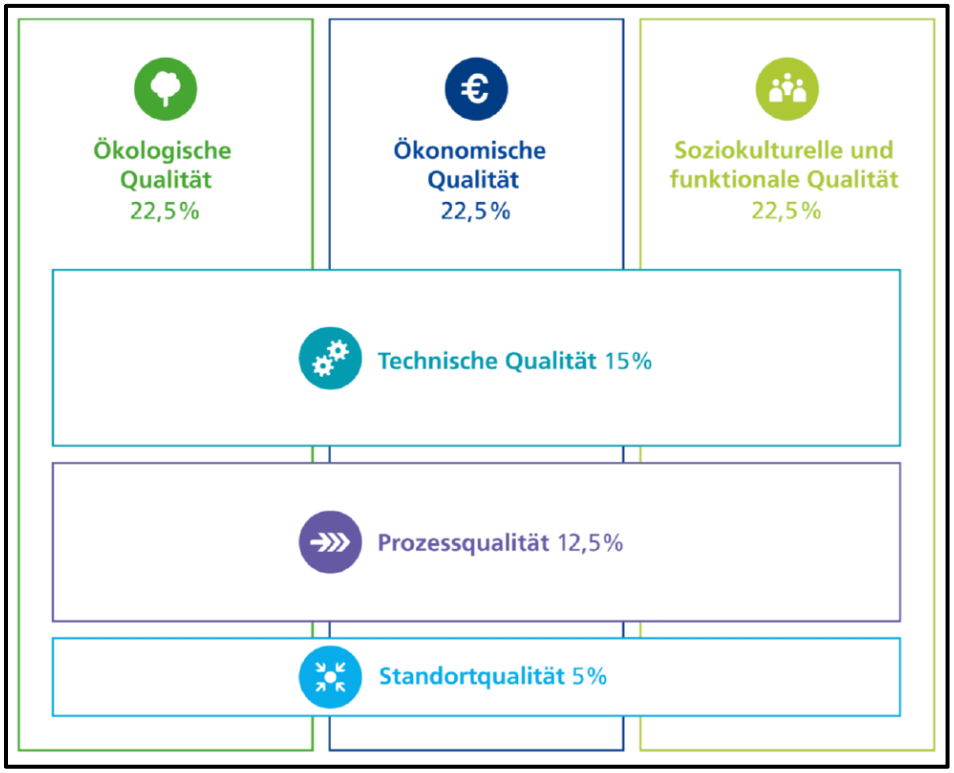


Abbildung 19: Gewichtung der Themenfelder im DGNB-Zertifizierungssystem [33]

Im DGNB-System existieren die Zertifikate Platin, Gold, Silber und Bronze. Gemäß der Abbildung 20 erhält ein zertifiziertes Gebäude den höchsten Standard Platin ab einem Gesamterfüllungsgrad von 80 % und einem Mindesterfüllungsgrad von 65 % in den Themenfeldern ökologische Qualität, ökonomische Qualität, soziokulturelle und funktionale Qualität, technische Qualität und Prozessqualität. Für die Standortqualität muss unabhängig vom Zertifikatslevel kein Mindesterfüllungsgrad erreicht werden. Das Gold-Zertifikat ist verbunden mit einem Gesamterfüllungsgrad von 65 % und einem Mindesterfüllungsgrad von 50 %. Für den Silber-Standard ist ein Gesamterfüllungsgrad von 50 % und ein Mindesterfüllungsgrad von 35 % erforderlich. Eine Bronze-Auszeichnung wird nur für Bestandgebäude vergeben, wobei ein Gesamterfüllungsgrad von 35 % nachzuweisen ist [33].

	DGNB PLATIN	DGNB GOLD	DGNB SILBER	DGNB BRONZE*
Gesamterfüllungsgrad	ab 80%	ab 65%	ab 50%	ab 35%
Mindesterfüllungsgrad	65%	50%	35%	— %

Abbildung 20: Bewertungsskala im DGNB-Zertifizierungssystem [33]

Die DGNB ermöglicht es die Nachhaltigkeit von unterschiedlichen Gebäudetypen zu zertifizieren. Es existieren im Jahr 2019 die Nutzungsprofile Büro, Bildung, Wohnen, Hotel, Verbrauchermarkt, Shoppingcenter, Geschäftshaus, Logistik und Produktion. Abhängig von der Gebäudenutzung sind die einzelnen Kriterienergebnisse unterschiedlich stark zu gewichten (siehe Anhang B). Handelt es sich bei einem zu bewertenden Gebäude um ein gemischt genutztes Bauwerk, ist der Nutzungsbereich mit dem größten Flächenanteil als Hauptnutzung zu behandeln. Die sonstigen Nutzungsbereiche sind der Hauptnutzung zuzuordnen, sofern der Flächenanteil kleiner als 15 % (bei einer weiteren Nutzungsart) bzw. 30 % (bei mehreren weiteren Nutzungsarten) ist. Gehören zu einem nachzuweisenden Gebäude mehrere untergeordnete Nutzungen und betragen deren Flächenanteile insgesamt mehr als 30 %, ist der sonstige Nutzungsbereich mit der größeren Fläche als Nebennutzung zu behandeln [33].

Im nachfolgenden Kapitel 4.1.2.2 wird erläutert, wie für neu zu errichtende Wohngebäude der Energiebedarf im Rahmen einer DGNB-Zertifizierung zu bewerten ist.

4.1.2.2 Bewertung des Energiebedarfs im DGNB-Zertifizierungssystem

Die Bewertung des Energiebedarfs eines Wohngebäudeneubaus im DGNB-System umfasst drei Indikatoren, die im Zusammenhang mit dem Primärenergiebedarf während des Lebenszyklus stehen. Zu bestimmen ist der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf PE_{NE}, der Gesamtprimärenergiebedarf PE_{GES} und der Anteil erneuerbarer Primärenergie PE_E [33].

Durch die Ermittlung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs PE_{NE} können entsprechend der Tabelle 11 bis zu 100 Teilpunkte erreicht werden [33].

Tabelle 11: Teilpunkte im DGNB-Zertifizierungssystem für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von Wohngebäuden nach [33]

Teilpunkte [1]	Anforderungsniveau
0	≥ 1,40 x $PE_{NE,ref}$ [2,3,4]
40	= 1,00 x $PE_{NE,ref}$ [2,3,4]
80	< 0,70 x $PE_{NE,ref}$ [2,3,4]
100	< 0,55 x $PE_{NE,ref}$ [2,3,4]

[1] Zwischenwerte sind abschnittsweise linear zu interpolieren

[2] nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf des zugehörigen Referenzgebäudes bezogen auf die Netto-Raumfläche
= 123 MJ/(m²a) + 7,30 MJ/kWh x S_{ref} + 3,44 MJ/kWh x W_{ref}

[3] S_{ref}: Endenergie-Strombedarf des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 oder aus standardisierter thermischer Simulation

[4] W_{ref}: Endenergie-Wärmebedarf des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 oder aus standardisierter thermischer Simulation

Mithilfe des Nachweises des Gesamtprimärenergiebedarfs können für diesen Indikator auch maximal 100 Teilpunkte gemäß der Tabelle 12 gesammelt werden [33].

Tabelle 12: Teilpunkte im DGNB-Zertifizierungssystem für den Gesamtprimärenergiebedarf von Wohngebäuden nach [33]

Teilpunkte [1]	Anforderungsniveau
0	≥ 1,40 x $PE_{GES,ref}$ [2,3,4]
40	= 1,00 x $PE_{GES,ref}$ [2,3,4]
80	< 0,70 x $PE_{GES,ref}$ [2,3,4]
100	< 0,55 x $PE_{GES,ref}$ [2,3,4]

[1] Zwischenwerte sind abschnittsweise linear zu interpolieren

[2] Gesamtprimärenergiebedarf des zugehörigen Referenzgebäudes bezogen auf die Netto-Raumfläche
= 151 MJ/(m²a) + 11,18 MJ/kWh x S_{ref} + 4,13 MJ/kWh x W_{ref}

[3] S_{ref}: Endenergie-Strombedarf des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 oder aus standardisierter thermischer Simulation

[4] W_{ref}: Endenergie-Wärmebedarf des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 oder aus standardisierter thermischer Simulation

Auch in der Kategorie "Anteil erneuerbarer Primärenergie" können entsprechend der Tabelle 13 ebenfalls bis zu 100 Teilpunkte erworben werden [33].

Tabelle 13: Teilpunkte im DGNB-Zertifizierungssystem für den Anteil erneuerbarer Primärenergie von Wohngebäuden nach [33]

Teilpunkte [1]	Anforderungsniveau
0	= 5,0 %
40	= 15,0 %
80	> 30,0 %
100	> 37,5 %

[1] Zwischenwerte sind abschnittsweise linear zu interpolieren

Neben den drei vorgestellten primärenergetischen Indikatoren sind zusätzlich auch die Ökobilanz-Indikatoren Treibhauspotenzial GWP (im Englischen: Global Warming Potential), Ozonbildungspotenzial POCP (im Englischen: Photochemical Ozone Creation Potential), Versauerungspotenzial AP (im Englischen: Acidification Potential) und Überdünnungspotenzial EP (im Englischen: Eutrophication Potential) zu berechnen. Die Ergebnisse sind mittels der Tabelle 14 zu verrechnen [33].

Tabelle 14: Gewichtung der Ökobilanzindikatoren im DGNB-Zertifizierungssystem nach [33]

Treibhaus-potenzial GWP	**Ozon-bildungs-potenzial POCP**	**Versaue-rungs-potenzial AP**	**Über-dünnungs-potenzial EP**	**nicht ern. Primär-energie-bedarf PE_{NE}**	**Gesamt-primär-energie-bedarf PE_{GES}**	**Anteil ern. Primär-energie PE_E/PE_{GES}**
40 %	10 %	10 %	10 %	15 %	10 %	5 %

Die gewichteten Ökobilanz-Indikatoren gehen mit maximal 100 Punkte in die Beurteilung des Kriteriums "Ökobilanz des Gebäudes" ein. Davon können bis zu 30 Punkte im Zusammenhang mit dem Primärenergiebedarf während des Lebenszyklus erreicht werden [33].

Um die primärenergetischen Indikatoren bewerten zu können sind aufwändige Berechnungen notwendig. Es ist eine Energiebedarfsermittlung während eines Betrachtungszeitraums von 50 Jahren für Wohngebäude inklusive Berücksichtigung der Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase durchzuführen. Gemäß der Tabelle 15 sind die Module A1 (Rohstoffbeschaffung), A2 (Transport der Rohstoffe zum Hersteller), A3 (Produktion von Baustoffen), B4 (Austausch von Baustoffen), B6 (Energieverbrauch im Gebäudebetrieb), C3 (Abfallverwertung von Baustoffen), C4 (Entsorgung von Baustoffen) und D (Potenzial für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling) entsprechend DIN EN 15978 [39] zu bilanzieren [33, 39].

Tabelle 15: Lebenswegphasen und -module im DGNB-Zertifizierungssystem nach [33]

Lebens-weg-phasen	**A 1-3**			**A 4-5**		**B 1-7**							**C 1-4**				**D**
	Herstellungs-phase			**Errich-tungs-phase**		**Nutzungsphase**							**Ende des Lebens-zyklus**				**Vor-teile & Belas-tun-gen außer-halb der Sys-tem-grenze**
	Rohstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallverwertung	Entsorgung	Potenzial für Wiederverwer-tung, Rückgewinnung und Re-
Module gemäß DIN EN 15978	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
zu beach-tende DGNB-Module	x	x	x	-	-	-	-	-	x [1]	-	x	-	-	-	x	x	x

[1] beinhaltet nur die Herstellung und Entsorgung des ausgetauschten Produkts, nicht den Austauschprozess selbst

Zu berücksichtigen ist ausschließlich das zu bewertende Gebäude ohne Außenanlagen, wobei die Ergebnisse auf die Netto-Raumfläche NRF nach DIN 277-1 [41] zu beziehen sind. Diese Fläche entspricht der Differenz aus der Netto-Grundfläche NGF und der Trennwand-Grundfläche TGF. Zusätzlich sind bei Vorhandensein einer Tiefgarage die Fahrgassen abzuziehen. Die DGNB-Bemessungsfläche umfasst somit alle nutzbaren Grundflächen eines Bauwerks mit Ausnahme von Tiefgaragenbereichen. Demnach unterscheiden sich die Energiebezugsflächen der DGNB und der im Jahr 2019 gültigen EnEV [5] für Wohngebäude. Im Vergleich zur Netto-Raumfläche NRF handelt es sich bei der Gebäudenutzfläche A_N gemäß EnEV zum einen um eine fiktive Größe, die abhängig vom beheizten Gebäudevolumen V_e und der durchschnittlichen Geschosshöhe h_G zu berechnen ist. Zum anderen sind entsprechend EnEV nur die Grundflächen von beheizten und/oder gekühlten Räumen anzusetzen. Im Rahmen einer DGNB-Nachhaltigkeitszertifizierung sind hingegen alle Räume unabhängig von der thermischen Konditionierung zu betrachten [5, 33, 41].

Für die Ermittlung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs PE_{NE}, des Gesamtprimärenergiebedarfs PE_{GES} und des Anteils erneuerbarer Primärenergie PE_E kann zwischen einem vollständigen und einem vereinfachten Verfahren gewählt werden [33].

Wird das vollständige Verfahren angewandt, sind alle zu verbauenden Materialien der Kostengruppen 300 (Baukonstruktionen) und 400 (technische Anlagen) gemäß DIN 276-1 [42] zu bilanzieren, die mehr als 1 % der gesamten Gebäudemasse bilden. Der Rohbau und der Ausbau sind dabei wie in der Realität gebaut anzusetzen. Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und Kunststoffe können vernachlässigt werden, wenn sie höchstens 2 % des Gesamtprimärenergiebedarfs resultierend aus Herstellung, Instandhaltung und Lebensende der Konstruktionen ausmachen. Insgesamt dürfen maximal 5 % der Gebäude-Gesamtmasse und 5 % des Gesamtprimärenergiebedarfs unberücksichtigt bleiben. Der Baustellenbetrieb während der Herstellungsphase eines Wohngebäudes, Verschnitte sowie die Abfallentsorgung auf der Baustelle können vernachlässigt werden genauso wie Transportfahrten, vorbereitende Arbeiten und der Bodenaushub [33].

Die zu berücksichtigende Lebensdauer von Baumaterialien ist in dem Dokument "Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)" [49] zusammengefasst. Alternativ können auch die Referenz-Lebensdauern aus Umweltproduktdeklarationen entsprechend DIN EN 15804 [50] verwendet werden. Für Bestandteile der technischen Gebäudeausrüstung ist auf die VDI 2067 Blatt 1 [51] zurückzugreifen. Für Gebäudekomponenten mit einer kürzeren Nutzungsdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum von 50 Jahren für Wohnhäuser ist ein Austausch zu bilanzieren. Die Austauschhäufigkeit berechnet sich durch Division des Berechnungszeitraums durch die Bauteilnutzungsdauer abzüglich des Wertes eins, wobei das Resultat ganzzahlig aufzurunden ist. Bei der Erneuerung eines Gebäudebestandteils ist einmal die erneute Herstellung und einmal die Verwertung und Entsorgung des ausgetauschten Bauteils anzunehmen. Zugehörige Transportfahrten sind nicht mit in die Berechnungen einzubeziehen [33].

Bei der Bilanzierung der Nutzungsphase ist neben dem Energieaufwand für den Austausch von Bauwerkskomponenten auch der Energieverbrauch resultierend aus dem Gebäudebetrieb zu berücksichtigen. Dafür ist der Endenergiebedarf der eingesetzten Energieträger für die Beheizung, Kühlung, Lüftung und Trinkwarmwasserversorgung aus einer EnEV-2014-Berechnung [5] gemäß der Normenreihe DIN V 18599 [44] heranzuziehen. Alternativ können auch Ergebnisse aus einer thermischen Gebäudesimulation mit vorgegebenen Standardrandbedingungen verwendet werden [33].

Für das Ende des Wohngebäudelebenszyklus nach 50 Jahren ist die Verwertung und Entsorgung aller im Voraus bilanzierter Bauwerksbestandteile anzusetzen. Dabei ist zwischen den Materialgruppen

„ Metalle zur Verwertung [,]

Mineralische Baustoffe zur Verwertung [,]

Materialien zur thermischen Verwertung [,]

Materialien, die nur auf Deponien abgelagert werden [und]

Wärme- und Kälteerzeugnisanlagen sowie Lufttechnische Anlagen“ [33]

zu unterscheiden [33].

Bei alternativer Anwendung des vereinfachten Verfahrens zur Bewertung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs PE_{NE}, des Gesamtprimärenergiebedarfs PE_{GES} und des Anteils erneuerbarer Primärenergie PE_E während des Lebenszyklus eines Wohngebäudes sind nur die nachfolgend aufgelisteten Bauteile zu betrachten:

„ Außenwände (inklusive Türen und Fenster) und Kellerwände [,]

Dach [,]

Geschossdecken (inklusive Fußbodenaufbau und -beläge und Beschichtungen) [,]

Bodenplatte (inklusive Fußbodenaufbau und -beläge und Beschichtungen sowie Geschossdecken 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, bspw. Kühltheken und Kühlräume), nutzerspezifisch können hier weitere Konkretisierungen vorgenommen werden [33].“

Wird lediglich eine vereinfachte Mengenermittlung durchgeführt, ist auf die Ergebnisse für die Herstellungs-, Austausch- und Lebensendphase ein Aufschlag von 20 % zuzurechnen. Die ermittelten Energiebedarfswerte während des Gebäudebetriebs bleiben von dieser Regelung unverändert [33].

Unabhängig vom zu bewertenden Umweltbilanzindikator sind die gleichen Rechenschritte durchzuführen. Es sind die Formeln (12) bis (14) zu verwenden. Dabei ist zu beachten, dass die Einheit abhängig vom zu ermittelnden Indikator variiert. Primärenergetische Ergebnisse sind in [MJ/(m²a)] anzugeben. Die übrigen Indikatorergebnisse sind in der Einheit [kg Umweltwirkungs-Äquivalent/(m²a)] zu berechnen [33].

$$UWP_G = UWP_K + UWP_N \quad (12)$$

Darin:

UWP_G	gesamtes entstehendes Umweltwirkungspotenzial für Konstruktion (K) und Nutzung (N) des Gebäudes [MJ/(m²a)] bzw. [kg Umweltwirkungs-Äq./(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)] bzw. [kg Umweltwirkungs-Äq./(m²a)]
UWP_N	prognostiziertes jährliches Umweltwirkungspotenzial für den Betrieb des Gebäudes [MJ/(m²a)] bzw. [kg Umweltwirkungs-Äq./(m²a)]

$$UWP_K = (H + E + I) / t_d \quad (13)$$

mit

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)] bzw. [kg Umweltwirkungs-Äq./(m²a)]
H	prognostizierter Wert des bei Herstellung des Gebäudes entstehenden Umweltwirkungspotenzials [MJ/(m²a)] bzw. [kg Umweltwirkungs-Äq./(m²a)]
E	prognostizierter Wert des bei Verwertung und Entsorgung des Gebäudes entstehenden Umweltwirkungspotenzials [MJ/(m²a)] bzw. [kg Umweltwirkungs-Äq./(m²a)]
I	prognostizierter Wert des durch die Instandhaltung und Austausch von Komponenten des Gebäudes entstehenden Umweltwirkungspotenzials [MJ/(m²a)] bzw. [kg Umweltwirkungs-Äq./(m²a)]
t_d	für die Zertifizierung angesetzter Betrachtungszeitraum [a]

$$UWP_N = UWP_{NS} + UWP_{NW} + UWP_{NA} \quad (14)$$

mit

UWP_N	prognostiziertes jährliches Umweltwirkungspotenzial für den Betrieb des Gebäudes [MJ/(m²a)] bzw. [kg Umweltwirkungs-Äq./(m²a)]
UWP_{NS}	Umweltwirkungspotenzial des Strombedarfs während der Nutzung des Gebäudes [MJ/(m²a)] bzw. [kg Umweltwirkungs-Äq./(m²a)]
UWP_{NW}	Umweltwirkungspotenzial des Wärme- und Kühlungsbedarfs während der Nutzung des Gebäudes [MJ/(m²a)] bzw. [kg Umweltwirkungs-Äq./(m²a)]
UWP_{NA}	prognostiziertes jährliches Umweltwirkungspotenzial für die Nutzerausstattung während des Gebäudebetriebs [MJ/(m²a)] bzw. [kg Umweltwirkungs-Äq./(m²a)]

Die automatisierte Berechnung der Umweltwirkungspotenziale während des Wohngebäudelebenszyklus von 50 Jahren inklusive des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs PE_{NE}, des Gesamtprimärenergiebedarfs PE_{GES} und des Anteils erneuerbarer Primärenergie PE_E kann mithilfe der vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) zur Verfügung gestellten internetbasierten Software eLCA [45] erfolgen. Dieses Rechenprogramm ist verknüpft mit der vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) bereitgestellten Baumaterialdatenbank ÖKOBAUDAT [46]. Diese Kopplung ermöglicht, dass den Gebäudekomponenten einer Mengenermittlung automatisiert Ökobilanzdaten zugeordnet werden können.

4.1.3 Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau (NaWoh)

4.1.3.1 Allgemeine Informationen zum NaWoh-Zertifizierungssystem

Der Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V. (im Folgenden NaWoh) wurde im Jahr 2012 durch neun Unternehmen und Verbände der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft gegründet und vergibt seitdem für neu zu errichtende Wohngebäude das Qualitätssiegel "Nachhaltiger Wohnungsbau" [52, 53]. Das zugehörige Bewertungssystem wurde von der durch die vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) geförderten Arbeitsgruppe "Nachhaltiger Wohnungsbau" des "Runden Tisches Nachhaltiges Bauen" entwickelt [54].

Die Zertifizierung nachhaltiger Wohnungsbauten setzt die Bewertung der Hauptkriteriengruppen Wohnqualität, technische Qualität, ökologische Qualität, ökonomische Qualität und Prozessqualität entsprechend der Abbildung 21 voraus. Die Beurteilung der Wohnqualität basiert auf der Betrachtung der funktionalen und sozialen Güte einer Immobilie, wobei die soziale Qualität unter anderem abhängig von der Barrierefreiheit und von Stellplätzen sowie Freiflächen ist. Zur Analyse der technischen Ausführung ist z. B. der Schall-, Brand- und Feuchteschutz zu bewerten. Der zu ermittelnde Primärenergie- und Trinkwasserbedarf ist für die Beurteilung der ökologischen Güte eines Wohngebäudes heranzuziehen. Weiterhin zählen auch der Flächenverbrauch sowie die Schadstoffemission zu den zu betrachtenden ökologischen Aspekten. Im Rahmen der Analyse der ökonomischen Qualität sind die Lebenszykluskosten und die Werthaftigkeit einer Wohnimmobilie zu bewerten. Die Betrachtung der Qualität der Gebäudeplanung und der Bauausführung bilden die Grundlage für die Beurteilung der Prozessqualität [54].

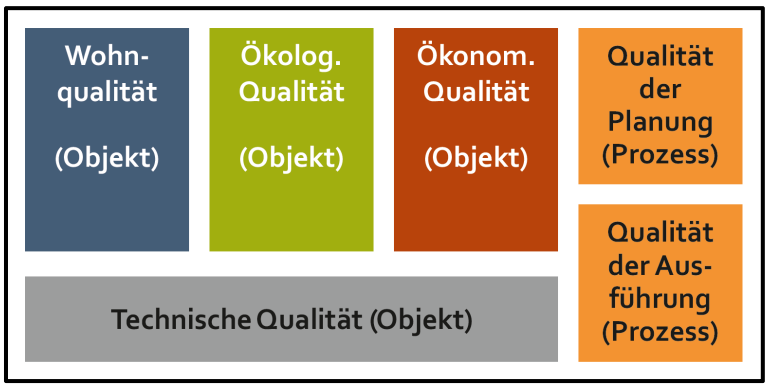


Abbildung 21: Hauptkriterien im NaWoh-Zertifizierungssystem [54]

Die Hauptkriteriengruppen setzen sich jeweils aus einzelnen Kriterien zusammen, die alle im Anhang C aufgelistet sind. Es ist zwischen zwei Arten von Kriterien zu unterscheiden. Zum einen existieren Kriterien zur Bewertung der Erfüllung oder Nichterfüllung von Anforderungen. Bestimmte Kriterien sind dabei in Teilindikatoren untergliedert. Beispielsweise umfasst das Kriterium "Schallschutz" die drei Teilindikatoren "Schallschutz gegen Außenlärm", "Luft- und Trittschallschutz" und "Schallschutz gegen Körperschall / Installationen". Für alle drei Teilindikatoren muss für eine erfolgreiche NaWoh-Zertifizierung jeweils die Einhaltung der Mindestanforderungen nach DIN 4109 [55] nachgewiesen werden. Erfüllt ein Wohngebäude nicht alle Anforderungen kann das Qualitätssiegel NaWoh nicht erreicht werden. Zum anderen gibt es Kriterien, die lediglich zur Angabe von Merkmalen, Eigenschaften oder Maßnahmen dienen. Es kann z. B. auf das Kriterium "Feuchteschutz" verwiesen werden. Mithilfe des zugehörigen Indikators "Bautechnischer Feuchteschutz" sind die Maßnahmen zum Tauwasser-, Schlagregen- und Bodenfeuchteschutz zu beschreiben. Für eine Siegelvergabe müssen auch alle beschreibenden Kriterien bearbeitet werden [56, 57].

Insgesamt sind alle Kriterien gleichgewichtet zu behandeln. Bei Bearbeitung aller Kriterien und Erfüllung der vorgegebenen Anforderungen erfüllt ein Wohngebäude die Vorgaben zum Erhalt des "Qualitätssiegels Nachhaltiger Wohnungsbau" gemäß der Abbildung 22 durch den Verein NaWoh. Auf die Ausweisung unterschiedlicher Qualitätsstandards wird verzichtet [54, 56].

Abbildung 22: Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau [58]

Vorzugsweise ist dieses Nachhaltigkeitsbewertungssystem für Mehrfamilienhäuser mit mindestens sieben Wohnungen anzuwenden [54].

Im nachfolgenden Kapitel 4.1.3.2 werden die Regeln zur Bewertung des Energiebedarfs von neu zu errichtenden Wohngebäuden im Rahmen einer NaWoh-Zertifizierung dargelegt.

4.1.3.2 Bewertung des Energiebedarfs im NaWoh-Zertifizierungssystem

Im Rahmen der Bewertung des Energiebedarfs während des Lebenszyklus eines Wohngebäudeneubaus im NaWoh-System sind zwei Teilindikatoren zu analysieren. Es handelt sich dabei um den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf und den Anteil erneuerbarer Primärenergie [34].

In den beiden Kategorien können die Bewertungsstufen "erfüllt", "übererfüllt" und "deutlich übererfüllt" erreicht werden. Die dafür zu erbringenden Anforderungswerte sind in den Tabellen 16 und 17 zusammengefasst. Das Erreichen eines höheren Standards kann nicht mit anderen Indikatorergebnissen verrechnet werden [34].

Tabelle 16: Bewertungsstufen im NaWoh-Zertifizierungssystem für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von Wohngebäuden nach [34]

Bewertungsstufen	Anforderungsniveau
deutlich übererfüllt	≤ 55 kWh/(m²a) [1]
übererfüllt	≤ 75 kWh/(m²a) [1]
erfüllt	≤ 105 kWh/(m²a) [1]

[1] bezogen auf die Netto-Raumfläche

Tabelle 17: Bewertungsstufen im NaWoh-Zertifizierungssystem für den Anteil erneuerbarer Primärenergie bei Wohngebäuden nach [34]

Bewertungsstufen	Anforderungsniveau
deutlich übererfüllt	25,0 %
übererfüllt	15,0 %
erfüllt	7,5 %

Zur Einordnung eines Wohngebäudes in die primärenergetischen Anforderungsniveaus sind umfangreiche Berechnungen anzufertigen. Während eines Betrachtungszeitraums von 50 Jahren ist entsprechend der Tabelle 18 der Primärenergiebedarf resultierend aus Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase nach DIN EN 15978 [39] zu ermitteln. Im Detail sind die Module A1 (Rohstoffbeschaffung), A2 (Transport der Rohstoffe zum Hersteller), A3 (Produktion von Baustoffen), B4 (Austausch von Baustoffen), B6 (Energieverbrauch im Gebäudebetrieb), C3 (Abfallverwertung von Baustoffen) und C4 (Entsorgung von Baustoffen) gemäß der vorgenannten Norm zu berücksichtigen [34, 39].

Tabelle 18: Lebenswegphasen und -module im NaWoh-Zertifizierungssystem nach [32, 34]

Lebenswegphasen	**Herstellungsphase A 1-3**			**Errichtungsphase A 4-5**		**Nutzungsphase B 1-7**							**Ende des Lebenszyklus C 1-4**				**außerhalb Systemgrenze D**
	Rohstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallverwertung	Entsorgung	Potenzial für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Re-
Module gemäß DIN EN 15978	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
zu beachtende NaWoh-Module	x	x	x	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	x	x	-

Ausschließlich das Gebäude ohne zugehörige Außenanlagen ist zu bilanzieren und die Ergebnisse sind auf die Netto-Raumfläche NRF entsprechend DIN 277-1 [41] zu beziehen. Im Gegensatz zu der im Jahr 2019 gültigen EnEV [5] erfolgt die Flächenermittlung nicht nur für die beheizten und/oder gekühlten Räume eines Wohnhauses, sondern für alle Innenbereiche unabhängig von der anlagentechnischen Konditionierung. Ausgenommen werden kann von dieser Regelung nach eigenem Ermessen eine Tiefgarage. Die Netto-Raumfläche NRF ist durch Differenzbildung aus der Netto-Grundfläche NGF und der Trennwand-Grundfläche TGF zu berechnen, wodurch es sich bei dieser Fläche um keine fiktive Größe

handelt im Vergleich zur Gebäudenutzfläche A_N, welche in Abhängigkeit vom beheizten Gebäudevolumen V_e und der durchschnittlichen Geschosshöhe h_G zu bestimmen ist [5, 34, 41].

Die Ermittlung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs und des Anteils erneuerbarer Primärenergie kann unter Anwendung eines detaillierten oder eines vereinfachten Rechenverfahrens erfolgen [34].

Bei Auswahl des detaillierten Verfahrens sind die Herstellung des Gebäuderohbaus und -ausbaus vollständig wie in der Realität zu bilanzieren. Dabei sind die Bauteile der Kostengruppen 300 (Baukonstruktionen) und 400 (technische Anlagen) gemäß DIN 276-1 [42] zu berücksichtigen. Vernachlässigt werden können alle Materialien die maximal 1 % der Gesamtmasse, 1 % des Primärenergiebedarfs, 1 % des Treibhauspotenzials GWP (im Englischen: Global Warming Potential), 1 % des Versauerungspotenzials AP (im Englischen: Acidification Potential) oder 1 % des Überdünnungspotenzials EP (im Englischen: Eutrophication Potential) des Bauwerks ausmachen. Es dürfen jedoch jeweils nur höchstens 5 % des Gesamtanteils der vorgenannten ökologischen Parameter unberücksichtigt bleiben. Der Baustellenbetrieb inklusive Transportfahrten braucht ebenfalls nicht bilanziert werden [34].

Bei der Festlegung der Lebensdauer von haustechnischen Gebäudekomponenten ist die VDI 2067 Blatt 1 [51] heranzuziehen. Für sonstige Bauteile ist die Informationsquelle "Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)" [49] maßgeblich. Weißt ein Gebäudebestandteil eine kürzere Lebensdauer verglichen zum Betrachtungszeitraum von 50 Jahren auf, ist mindestens ein Austausch zu bilanzieren. Die Austauschhäufigkeit lässt sich berechnen mittels der Division der betrachteten Gebäudelebenszyklusdauer durch den Bauteilnutzungszeitraum. Bei dem Ansatz eines Komponentenaustausches ist einmal die erneute Herstellung sowie einmal die Abfallverwertung und Entsorgung der Altmaterialien zu berücksichtigen. Mit einem Austausch verbundene Transportfahrten sind zu vernachlässigen [34].

Im Rahmen der Bilanzierung der Betriebsphase eines Wohngebäudes ist der Energiebedarf resultierend aus der Beheizung, Kühlung, Lüftung und Trinkwarmwasserversorgung zu erfassen. Dafür ist der zugehörige Endenergiebedarf der eingesetzten Energieträger einer EnEV-2014-Berechnung auf Grundlage der Normenreihe DIN V 18599 [44] zu entnehmen [34].

Mit dem Ansatz der Abfallverwertung und Entsorgung aller im Bauwerk befindlichen Materialien und Komponenten endet der Berechnungszeitraum von 50 Jahren. Es ist dabei zu unterscheiden zwischen

„ Metalle [,]

Mineralische Baustoffe [,]

Materialien mit einem Heizwert [,]

Wärmeerzeuger [und]

alle sonstigen Materialien, die auf Bauschutt- oder Hausmülldeponien abgelagert werden dürfen [34].“

Sofern alternativ zum detaillierten Verfahren das vereinfachte Rechenverfahren eingesetzt wird, müssen nur folgende Gebäudekomponenten bei der lebenszyklusbezogenen Bewertung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs und des Anteils erneuerbarer Primärenergie berücksichtigt werden:

„ Außenwände und Kellerwände inklusive Fenster und Beschichtungen,

Dach,

Geschossdecken inkl. Fußbodenaufbau, -belägen und -beschichtungen,

Bodenplatte inkl. Fußbodenaufbau und -belägen sowie Geschossdecken über Luft,

Fundamente,

Innenwände inkl. Beschichtungen sowie Stützen,

Türen [und]

Wärmeerzeugungsanlagen [34].“

Bei Umsetzung des vereinfachten Berechnungsverfahrens ist ein Zuschlagsfaktor von 1,1 auf das Ergebnis für Herstellung, Austausch und Entsorgung von Gebäudekomponenten einzusetzen [34].

Unabhängig vom gewählten Verfahren bilden die Formeln (15) bis (17) die Grundlagen für die Berechnung des Primärenergiebedarfs während des Lebenszyklus eines Wohngebäudes [34]:

$$PE_G = PE_K + PE_N \quad (15)$$

Darin:

PE_G	durchschnittlicher jährlicher Primärenergiebedarf während des Lebenszyklus des Gebäudes pro Quadratmeter Netto-Raumfläche [kWh/(m²a)]
PE_K	bei Herstellung, Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung des Bauwerks einschließlich der verwendeten Anlagentechnik als jährlicher Durchschnittswert über den für die Bewertung angesetzten Betrachtungszeitraum t_d entstehender Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]
PE_N	prognostizierter jährlicher Primärenergiebedarf für den Betrieb des realisierten Gebäudes abgeleitet aus dem Endenergiebedarf nach EnEV [kWh/(m²a)]

$$PE_K = (H + E) / t_d + I \quad (16)$$

mit

PE_K	bei Herstellung, Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung des Bauwerks einschließlich der verwendeten Anlagentechnik als jährlicher Durchschnittswert über den für die Bewertung angesetzten Betrachtungszeitraum t_d entstehender Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]
H	prognostizierter Wert des bei Herstellung (Baukonstruktion und technische Anlagen) des realisierten Gebäudes entstehenden Primärenergiebedarfs [kWh/m²]
E	prognostizierter Wert des bei Rückbau und Entsorgung (Baukonstruktion und technische Anlagen) des realisierten Gebäudes entstehenden Primärenergiebedarfs [kWh/m²]
t_d	für die Bewertung angesetzter Betrachtungszeitraum [a]
I	prognostizierter Wert des jährlichen durch die Instandhaltung (Konstruktion und Anlagentechnik) des realisierten Gebäudes entstehenden Primärenergiebedarfs [kWh/(m²a)]

$$PE_N = PE_{NS} + PE_{NW} \quad (17)$$

mit

PE_N prognostizierter jährlicher Primärenergiebedarf für den Betrieb des realisierten Gebäudes abgeleitet aus dem Endenergiebedarf nach EnEV [kWh/(m²a)]

PE_{NS} Primärenergiebedarf resultierend aus dem Strombedarf (Endenergie) während der Nutzung (berechnet gemäß EnEV, Strombedarf (Endenergie) multipliziert mit dem Wirkfaktor des deutschen Strom-Mix aus Ökobau.dat) [kWh/(m²a)]

PE_{NW} Primärenergiebedarf resultierend aus dem Heizenergiebedarf (Endenergie) während der Nutzung (berechnet gemäß EnEV, multipliziert mit dem Wirkfaktor des gewählten Energieträgers aus Ökobau.dat) [kWh/(m²a)]

Für die Bestimmung des Primärenergiebedarfs während des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren kann das vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) online gestellte Programm eLCA [45] eingesetzt werden. Diese Software greift auf die vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) bereitgestellte Baustoffdatenbank ÖKOBAUDAT [46] zurück, was den automatisierten Abruf von Ökobilanzdaten ermöglicht.

4.2 Gebäude-Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15978

Die DIN EN 15978 [39] beschreibt eine Berechnungsmethode zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden. Diese Norm enthält unter anderem Informationen bzgl. einer möglichen Aufteilung des Lebenszyklus eines Gebäudes in verschiedene Lebenszyklusstadien. Diese Ansätze können hilfreich sein bei der Weiterentwicklung der EnEV.

Insgesamt hält die DIN EN 15978 entsprechend der Abbildung 23 16 Module bereit zur Beschreibung des Gebäudelebenszyklus. Unterschieden wird in der Norm zwischen Herstellungs- (Module A1 bis A3), Errichtungs- (Module A4 und A5), Nutzungs- (Module B1 bis B7) und Entsorgungsphase (Module C1 bis C4).

Ergänzend kann das Modul D verwendet werden, um Vorteile und Belastungen außerhalb des Lebenszyklus eines Gebäudes quantifizieren zu können. Mithilfe von Modul D lässt sich das Potenzial von verbauten Materialien und Gebäudekomponenten bzgl. Wiederverwertung, Recycling und Energierückgewinnung nach Ende des Gebäudelebenszyklus abschätzen [39, 59].

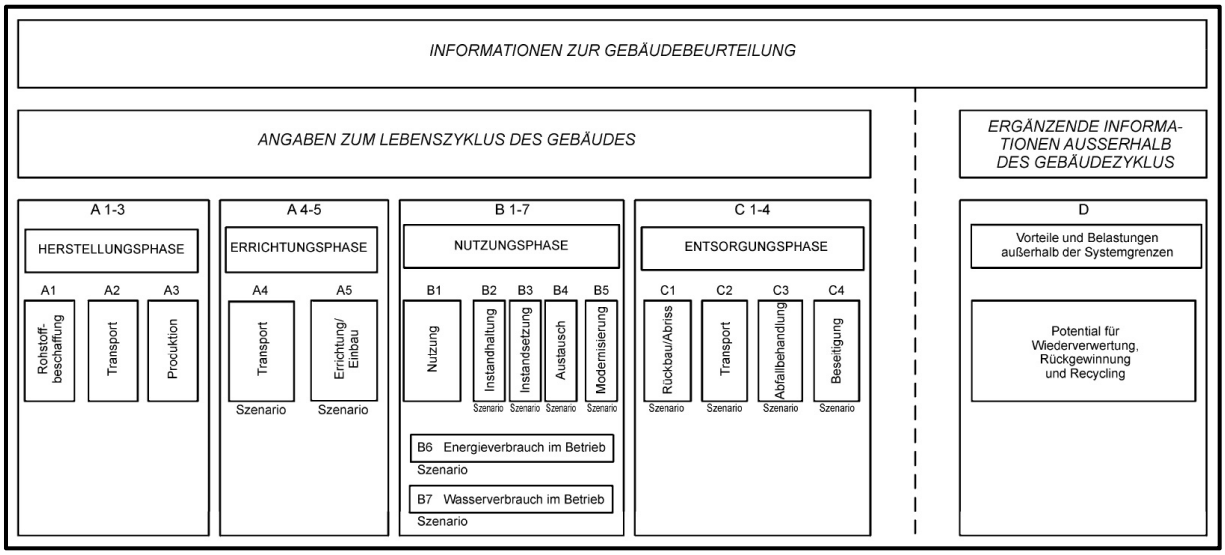


Abbildung 23: Lebenszyklusphasen eines Gebäudes nach DIN EN 15978 [39]

4.3 Datenbank ÖKOBAUDAT

Das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) stellt für die Ökobilanzierung von Bauwerken die Datenbank ÖKOBAUDAT [46] bereit. Diese setzt sich zusammen aus ca. 900 Datensätzen und hält Informationen zu 25 Ökobilanzindikatoren für Baustoffe und Gebäudekomponenten bereit [46]. Es wird unterschieden zwischen generischen, durchschnittlichen, repräsentativen und firmenspezifischen Datensätzen [45, 46].

Um die Datenbank zu veranschaulichen, werden in der Tabelle 19 ausgewählte Werte für einen mit Dämmstoff gefüllten Mauerziegel aufgezeigt.

Tabelle 19: ÖKOBAUDAT-Parameter für den Baustoff "Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt)" nach [60]

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

So ist beispielsweise entsprechend dem rot markierten Datenbankauszug davon auszugehen, dass für die Herstellung (entspricht den Modulen A1-A3 nach DIN EN 15978) von 1 m³ des Baumaterials der Einsatz von 1.783 MJ Primärenergie, nicht erneuerbar erforderlich ist [60].

Die ÖKOBAUDAT bildet eine verbindliche Datengrundlage für die verpflichtende Nachhaltigkeitsbewertung von Bundesgebäuden mithilfe von BNB-Zertifizierungen [35].

4.4 Gebäude-Ökobilanzierungstool eLCA

Das Gebäude-Ökobilanzierungstool eLCA [45] wird vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) kostenlos zur Verfügung gestellt und ermöglicht eine internetbasierte Ökobilanzierung von Gebäuden. Derzeit befindet sich das Programm noch in einem Beta-Stadium. Eine Kopplung mit der Datenbank ÖKOBAUDAT [46] ermöglicht den automatischen Zugriff auf Ökobilanzinformationen

zu Baumaterialien und Gebäudekomponenten. Auch Informationen bzgl. der Nutzungsdauer von Bauteilen und Haustechnikkomponenten sind im Tool automatisiert abrufbar [61].

Auf Grundlage der Eingabe von Mengenangaben zu Gebäudebestandteilen und der Erfassung von Bauteilaufbauten sowie mithilfe des automatischen Rückgriffs auf Ökobilanz- und Lebensdauerdaten ist das eLCA-Tool in der Lage, sowohl für einzelne Gebäudekomponenten, als auch für komplette Häuser unter anderem den Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des Gebäudelebenszyklus zu berechnen.

Zur Veranschaulichung der Möglichkeiten durch das eLCA-Tool soll die Abbildung 24 dienen. Der dargestellte 1 m² große Außenwandquerschnitt bestehend aus beidseitig verputztem 36,5 cm dicken mit Wärmedämmung gefüllten Ziegelmauerwerk wurde mithilfe des Programms über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren berechnet. Dabei wurde als Bezugsfläche 1 m² angegeben. Gemäß der roten Markierung in dem Bild hat das eLCA-Tool ermittelt, dass für die Herstellung und Entsorgung des Außenwandaufbaus ein Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar von 19,37 MJ/a anfällt [45]. Aber das Programm ist in der Lage auch weitere Ökobilanzindikatoren zu berechnen. Die in der Darstellung zu findende Abkürzung "GWP" steht beispielsweise für "Global Warming Potential". Das eLCA-Tool ist also auch in der Lage z. B. das Treibhauspotenzial für den Außenwandquerschnitt zu bestimmen.

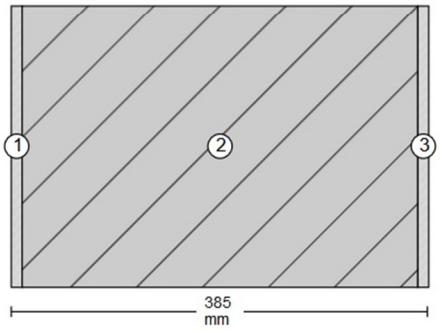
Außenwand

Menge: 1,00 m² Nettogrundfläche: 1,00 m²

Indikator	Einheit	Herstellung / m²NGFa	Entsorgung / m²NGFa	Instandhaltung / m²NGFa	Gesamt / m²NGFa	Rec.potential / m²NGFa
GWP	kg CO2-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 SO2-Äqv.	3,4716944798E-3	1,2894056384E-4	0,0000000000	3,6006350436E-3	-1,4231005425E-4
EP	kg PO4-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*



1 Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm
2 Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt), 365,00mm
3 Kunstharzputz, 10,00mm

Abbildung 24: eLCA-Tool-Ergebnisse für einen Außenwandquerschnitt nach [45]

Aufgrund des Beta-Stadiums des eLCA-Tools wurde sich dazu entschieden ein eigenes Programm unter Verwendung von Microsoft Excel [62] zu schreiben, um damit die richtige Berechnungsweise vom eLCA-Tool zu überprüfen. Zum Vergleich wurde das Einfamilienhaus entsprechend des Kapitels 3.1 herangezogen. Mithilfe des Beispielgebäudes konnte nachgewiesen werden, dass das eLCA-Tool korrekt rechnet [63]. Der Einsatz des eLCA-Tools zur Ermittlung des lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar kann somit empfohlen werden.

5. Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV unter Berücksichtigung des Gebäudelebenszyklus

Nach der ausführlichen Durcharbeitung von nationalen und internationalen Gebäudenachhaltigkeitszertifizierungssystemen ist festzuhalten, dass die in Deutschland wesentlich zur Anwendung kommenden Systeme BNB, DGNB und NaWoh gute Grundlagen zur lebenszyklusbezogenen Weiterentwicklung der im Jahr 2019 gültigen EnEV [5] enthalten. Im Detail erscheint es jedoch sinnvoll, einige Vorgaben anzupassen. Deshalb werden in den folgenden Kapiteln 5.1 bis 5.7 sinnvolle Ansätze zur Ermittlung des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar während des Gebäudelebenszyklus vorgestellt.

5.1 Zu berücksichtigende Lebenswegphasen und -module

In Deutschland regelt die DIN EN 15978 [39] eine Berechnungsmethode zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden. Diese Norm hält zur Beschreibung des Gebäudelebenszyklus insgesamt 17 Module bereit, die sich in die Phasen

Herstellung (Module A1 bis A3),

Errichtung (Module A4 und A5),

Nutzung (Module B1 bis B7),

Entsorgung (Module C1 bis C4) und

Vorteile und Belastungen außerhalb des Gebäudelebenszyklus (Modul D) gliedern lassen.

Die in Deutschland bedeutsamen Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme BNB, DGNB und NaWoh stimmen bezüglich der zu berücksichtigenden Module der Herstellungs-, Errichtungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase entsprechend der Tabelle 20 überein. Zu bilanzieren ist 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). Die Errichtungsphase eines Gebäudes einschließlich des Transports von Baustoffen, des sonstigen Baustellenbetriebs und der Errichtung wird hingegen nicht betrachtet. Nach Bauwerksfertigstellung wird in der Nutzungsphase zum einen der Energiebedarf zur Konditionierung (Beheizung, Kühlung, Belüftung, Warmwasserbereitstellung und ggf. Beleuchtung (nur für Nichtwohngebäude zu bilanzieren)) des Gebäudes entsprechend EnEV (Modul B6) erfasst. Zum anderen ist der Austausch von Gebäudekomponenten aufgrund einer voraussichtlich kürzeren Nutzungsdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum des Bauwerks (Modul B4) zu berücksichtigen. Dabei ist nur die Herstellung von baugleichen Ersatzteilen sowie die Verwertung (Modul C3) und Entsorgung (Modul C4) der veralteten Komponenten zu bilanzieren. Der Austauschprozess selbst wird wie der Bauprozess nicht betrachtet. Auch der nutzerspezifische Strom ist im Gegensatz zur erforderlichen Energie zur Gebäudekonditionierung nicht zu erfassen, weil es sich dabei um einen nicht gebäudespezifischen Energiebedarf handelt. Mit dem Ablauf des angesetzten Betrachtungszeitraums sind die Abfallverwertung (Modul C3) und Entsorgung (Modul C4) aller bilanzierter Baustoffe anzusetzen. Analog zur Errichtungsphase wird der Gebäuderückbau und damit verbundene Transportaufwendungen nicht erfasst. Die im Voraus genannten Systeme zur Bewertung der Nachhaltigkeit unterscheiden sich bezüglich des Ansatzes von Potenzialen für die Wiederverwertungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingfähigkeit (Modul D) der berücksichtigten Materialien. Im DGNB-System wird das

Modul D und somit die mögliche zukünftige Wiederverwendung und das Recycling von Gebäudekomponenten sowie die Energierückgewinnung aus eingesetzten Baustoffen mitberechnet. Bei einer BNB- oder NaWoh-Zertifizierung sind hingegen die Wiederverwertungs-, Recycling- und Rückgewinnungspotenziale der verwendeten Baumaterialien außerhalb des Gebäudelebenszyklus nicht anzurechnen [32–34].

Die Tabelle 20 stellt einen Vergleich der zu bilanzierenden Lebenswegphasen entsprechend BNB, DGNB und NaWoh dar. Im Rahmen der Weiterentwicklung der im Jahr 2019 gültigen EnEV [5] wird es als sinnvoll erachtet, die mit einem Kreuz in der untersten Zeile markierten Module zukünftig bei der Berechnung des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar während des Gebäudelebenszyklus zu berücksichtigen.

Tabelle 20: Zu bilanzierende Lebenswegphasen nach [32–34]

Lebenswegphasen	**Herstellungsphase (A1-3)**			**Errichtungsphase (A4-5)**		**Nutzungsphase (B1-7)**							**Entsorgungsphase (C1-4)**				**außerhalb d. Systemgrenze (D)**
	Rohstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallverwertung	Entsorgung	Potenzial für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Re-
Module gemäß DIN EN 15978	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
BNB-Module	x	x	x	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	x	x	-
DGNB-Module	x	x	x	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	x	x	x
NaWoh-Module	x	x	x	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	x	x	-
empfohlene Module	**X**	**X**	**X**	–	–	–	–	–	**X[1]**	–	**X[2]**	–	–	–	**X**	**X**	–

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

[2] entspricht Energiebedarf für Gebäudekonditionierung gemäß EnEV

Nach intensiver Auseinandersetzung mit den in Deutschland wesentlich zur Anwendung kommenden Nachhaltigkeitsbewertungsverfahren wird empfohlen, sich an diesen Systemen bei der zukünftigen Gestaltung der Anforderungen an die Gebäudeenergieeffizienz zu orientieren. Denn es handelt sich um über Jahre entwickelte, überprüfte und optimierte Nachweisverfahren, die bereits eine Bewertung des lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar von Gebäuden ermöglichen. Außerdem

kann somit auf die etablierte Baustoffdatenbank ÖKOBAUDAT [46] und das bereits existierende Berechnungsprogramm eLCA [45] zurückgegriffen werden.

Es wird deshalb als sinnvoll erachtet im Rahmen einer weiterentwickelten EnEV in Anlehnung an das BNB-, DGNB- und NaWoh-System den Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus Gebäudeherstellung, Austausch von Gebäudekomponenten und Gebäudekonditionierung zu ermitteln. Somit wird auf der einen Seite sichergestellt, dass der zeitliche Mehraufwand für die zukünftige energetische Bewertung eines Bauwerks in einem vertretbaren Rahmen bleibt. Auf der anderen Seite wird durch die zusätzliche Bilanzierung der Module A1, A2, A3, B4, C3 und C4 gemäß DIN EN 15978 [39] ermöglicht, dass neue nachhaltigere Anforderungen an die Energieeffizienz im Gebäudesektor einen positiven Einfluss auf das Erreichen der nationalen Klimaschutzziele haben.

Die Berücksichtigung des Moduls D wird nicht vorgeschlagen, weil dieses Modul lediglich Wiederverwertungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenziale von verbauten Materialien erfasst [39, 59]. Über mehrere Jahrzehnte lässt sich nicht abschätzen, ob diese POTENZIALE in der Realität auch wirklich einmal zukünftig genutzt werden. Deshalb die Empfehlung zu diesem konservativen Ansatz.

5.2 Detaillierungsgrad des Rechenverfahrens

Die in Deutschland wesentlich zur Anwendung kommenden Nachhaltigkeitsbewertungsverfahren BNB, DGNB und NaWoh halten alle die Möglichkeit bereit ein detailliertes oder vereinfachtes Rechenverfahren zur Berechnung des Primärenergiebedarfs während des Gebäudelebenszyklus anzuwenden [32–34].

Allen drei Zertifizierungssystemen ist gleich, dass bei Anwendung des detaillierten Verfahrens alle Bauteile und Komponenten der Kostengruppen 300 (Baukonstruktionen) und 400 (technische Anlagen) entsprechend DIN 276-1 [42] zu bilanzieren sind. Im Rahmen einer Mengenermittlung sind alle Materialien einzubeziehen, die mehr als 1 % der Gebäude-Gesamtmasse ausmachen. Die Summe von nicht berücksichtigten Materialien darf allerdings 5 % der gesamten Masse eines Gebäudes nicht überschreiten. Im BNB sind außerdem auch ausgewählte Teile der Kostengruppe 500 (Baukonstruktionen in Außenanlagen, technische Anlagen in Außenanlagen, Einbauten in Außenanlagen, Pflanz- und Saatflächen) anzurechnen [32–34].

Bei Anwendung des vereinfachten Berechnungsverfahrens sind bei allen drei Zertifizierungssystemen nur

Außenwände, Kellerwände, Innenwände, Stützen,

Fenster, Türen,

Fundamente,

Bodenplatten und Geschossdecken (inklusive Fußbodenaufbauten) sowie

Dächer

zu bilanzieren. Zusätzlich sind im NaWoh-System Wärmeerzeugungsanlagen einzubeziehen. Darüber hinaus sind bei einer DGNB-Zertifizierung auch Kälteerzeugungsanlagen, lufttechnische Anlagen, sonstige Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung sowie nur in der Gebäudenutzungsphase Nutzerausstattungen mit bedeutsamen Energiebedarf anzurechnen [32–34].

Im Vergleich zu einer detaillierten Massenermittlung werden nicht berücksichtigte Gebäudebestandteile im vereinfachten Rechenverfahren unter Verwendung eines Zuschlagsfaktors ausgeglichen. Im BNB ist der ermittelte Primärenergiebedarf resultierend aus Herstellung, Austausch und Entsorgung von Gebäudekomponenten mit einem Faktor von 1,2 zu multiplizieren. Der Zuschlag auf die Ergebnisse der Herstellungs-, Austausch- und Lebensendphase eines Gebäudes beträgt im DGNB-System standardmäßig 20 %. Bei Durchführung einer NaWoh-Zertifizierung ist ein Zuschlagsfaktor von 1,1 auf das Ergebnis für Herstellung, Austausch und Entsorgung von Baustoffen anzuwenden [32–34].

Im Rahmen des Projektes "Analyse der Rechenverfahren für die Ökobilanzierung im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB)" [64] der Forschungsinitiative Zukunft Bau wurde das detaillierte und das vereinfachte Berechnungsverfahren des BNB gegenübergestellt. Im Vergleich zum 2016er BNB-Verfahren wurde zusätzlich auch die technische Gebäudeausrüstung der untersuchten Beispielgebäude mit bilanziert. In dem zugehörigen Endbericht kamen die Forscher zu dem Schluss, dass *„berechtigte Zweifel an einem ausgewogenen Verhältnis zwischen Mehraufwand und Genauigkeitsvorteil respektive Erkenntnisgewinn des [detaillierten Verfahrens bestehen] [64].“* Bei Anwendung des vereinfachten Rechenverfahrens ist ein halber Zeitaufwand für die Bewertung eines Gebäudes realistisch. Außerdem wird eine mangelhafte Praktikabilität des detaillierten Berechnungsverfahrens beschrieben. In Hinblick auf Zuschlagsfaktoren im vereinfachten Verfahren zum Ausgleich von nicht erfassten Baustoffen im Vergleich zu einer detaillierten Berechnung wird für die konstruktiven Bauteile ein Aufschlag von 10 % als ausreichend angesehen. Für anlagentechnische Bestandteile wird hingegen ein Zuschlagsfaktor von 10 % als zu gering eingeschätzt [64].

Im Rahmen der Weiterentwicklung der EnEV wird es als sinnvoll angesehen von einer detaillierten Mengenermittlung abzusehen um insbesondere einen zu hohen Detaillierungsgrad und daraus folgend einen zu hohen Zeitaufwand bei der Bewertung eines Gebäudes zu vermeiden. Damit wird zum einen angestrebt, dass insbesondere Planer positiv gegenüber dem vorgeschlagenen Bilanzierungssystem dieses Berichtes eingestellt sind auf Grund eines überschaubaren zeitlichen Mehraufwandes im Vergleich zu einer EnEV-2014-Berechnung. Zum anderen sollen die Kosten für einen Nachweis der Einhaltung der weiterentwickelten Anforderungen nicht unnötig durch einen zu hohen Gebäudedetaillierungsgrad steigen.

In Anlehnung an das vereinfachte DGNB-Verfahren wird vorgeschlagen die

Außenwände, Kellerwände, Innenwände, Stützen,

Fenster, Außentüren, Innentüren, Tore,

Fundamente,

Bodenplatten, Geschossdecken, Balkone, Treppen (jeweils inklusive Fußbodenaufbauten),

Dächer,

Wärmeerzeuger, Kälteerzeuger, Lüftungszentralen,

Energiespeicher sowie

Wärmeverteilleitungen

von Gebäuden im Rahmen einer Mengenermittlung zu berücksichtigen.

Neben der Erfassung der Innen- und Außenbauteile eines Gebäudes wird insbesondere die Bilanzierung der Hauptbestandteile der technischen Gebäudeausrichtung als sinnvoll angesehen. In Hinsicht auf die Mengenermittlung der anlagentechnischen Komponenten kann festgehalten werden, dass keine zusätzlichen Angaben im Vergleich zu einer EnEV-2014-Bilanzierung mittels der Normenreihe DIN V 18599 [15, 30, 65–73] benötigt werden.

Zum Ausgleich von vernachlässigten Gebäudebestandteilen im Vergleich zu einer vollumfänglichen Mengenermittlung wird unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt [64] ein Zuschlagsfaktor von 1,1 auf die Ergebnisse für Herstellung (Module A1 bis A3 nach DIN EN 15978), Austausch (Modul B4) und Entsorgung (Module C3 und C4) von Gebäudekomponenten als zweckmäßig angesehen. Dieser Wert könnte auf Basis weiterer Untersuchungen noch präzisiert werden. Der ermittelte Energiebedarf zur Gebäudekonditionierung (Modul B6) ist hingegen unverändert zu belassen.

Verglichen zu einer energetischen Gebäudebewertung entsprechend der EnEV bedeutet dieser neue Ansatz einen zeitlichen Mehraufwand insbesondere für die Berücksichtigung des Innenausbaus von Gebäuden. Mit Hilfe der Entwicklung von vereinfachten Ermittlungsverfahren könnte dieser zeitliche Mehraufwand auf ein vertretbares Maß reduziert werden.

5.3 Betrachtungszeitraum

In den in Deutschland im Jahr 2019 bedeutsamen Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen BNB, DGNB und NaWoh wird standardmäßig ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren zugrunde gelegt. Lediglich für Produktions- und Logistikgebäude sind im DGNB-System abweichend 20 Jahre zu berücksichtigen. Der Berechnungszeitraum endet in allen drei Nachhaltigkeitsbewertungen mit dem Ansatz der Abfallverwertung und der Entsorgung der eingesetzten Baustoffe [32–34].

Tatsächlich werden Gebäude in der Regel viel länger genutzt. In dem Artikel "Technische Grundlagen von Wohnimmobilien" [74] im Buch "Wohnimmobilien: Lebenszyklus, Strategie, Transaktion" [75] wird beispielsweise eine Normnutzungsdauer von 80 Jahren für Wohngebäude vorgestellt. Und im Arbeitsblatt "Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte" [76] des Bundes Technischer Experten e.V. wird im Vergleich eine zu erwartende Gebäudelebensdauer von 40 bis 100 Jahren beschrieben.

Im Übrigen widerspricht der standardmäßige Ansatz der Verwertung und Entsorgung aller zuvor bilanzierten Gebäudekomponenten der Abrissquote in Deutschland. Denn im Jahr 2017 wurden nämlich laut dem "Statistischen Bundesamt" [77] und der "Statista GmbH" [78] nur weniger als 0,1 % der bestehenden Wohnbauten abgerissen.

Bei der Definition eines alternativen Ansatzes sollte berücksichtigt werden, dass der Klimaschutzplan 2050 [1] der Bundesregierung nur die klimaschutzpolitischen Grundsätze und Ziele für Deutschland bis ins Jahr 2050 hinein regelt. Darüber hinaus ist nicht absehbar, welche nationalen und internationalen Klimaschutzziele verfolgt werden und welche neuen Technologien zum Erreichen dieser Ziele zur Verfügung stehen werden. Deshalb ist es insgesamt schwierig über das Jahr 2050 hinaus die Entwicklungen im Gebäudesektor abzuschätzen.

Aber auch die im Kapitel 5.5 beschriebene Abschätzung und rechnerische Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung der Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar von Energieträgern lässt sich über das Jahr 2050 hinaus nur eingeschränkt realisieren.

Auf Basis der vorangegangenen Überlegungen wird empfohlen, nur die ersten 30 Jahre des Gebäudelebenszyklus zu betrachten ohne Ansatz eines Gebäuderückbaus.

5.4 Austausch von Gebäudekomponenten

Die Nutzungsdauer von Gebäudekomponenten hat einen wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf während der Nutzungsphase eines Bauwerks. Denn wenn ein Bauteil in der Realität während des Gebäudebetriebs einen Defekt aufweist, muss diese Komponente repariert oder ausgetauscht werden, um die Gebrauchstauglichkeit des Gebäudes wiederherzustellen.

Sofern ein Bauwerksbestandteil eine kürzere Lebensdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum aufweist, ist in den in Deutschland bedeutsamen Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen BNB, DGNB und NaWoh ein Austausch der betroffenen Gebäudekomponente zu bilanzieren. Es ist rechnerisch einmal die erneute Herstellung des gleichen Produkts und einmal die Verwertung und Entsorgung des alten Bauteils zu berücksichtigen [32–34].

Es wird als sinnvoll angesehen diesen Ansatz bei der Weiterentwicklung der EnEV zu berücksichtigen. Eine alternative Abschätzung von zukünftig weiter- oder neuentwickelter Austauschkomponenten über einen Berechnungszeitraum von 30 Jahren wird als schwierig eingeschätzt.

Die Austauschhäufigkeit eines Gebäudebestandteils lässt sich unter Verwendung der Formel (18) bestimmen, wobei das Ergebnis ganzzahlig abzurunden ist.

$$n_{Austausch} = \left(\frac{t_B}{t_N}\right) \tag{18}$$

Darin:

$n_{Austausch}$	Austauschhäufigkeit einer Gebäudekomponente; ganzzahlig abzurunden [-]
t_B	Betrachtungszeitraum [a]
t_N	Nutzungsdauer einer Gebäudekomponente [a]

Im BNB ist die Nutzungsdauer von Gebäudekomponenten der Datenquelle "Nutzungsdauern, Instandhaltungsaufwand, Ökobilanzierung" [43] zu entnehmen. Bei Durchführung einer DGNB- oder NaWoh-Zertifizierung ist im Vergleich dazu auf die Dokumente "Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)" [49] für Baumaterialien und VDI 2067 Blatt 1 [51] für Bestandteile der technischen Gebäudeausrüstung zurückzugreifen. Alternativ können im DGNB-System auch die Referenz-Nutzungsdauern aus Umweltproduktdeklarationen nach DIN EN 15804 [50] verwendet werden [32–34].

Es gibt aber auch noch weitere Veröffentlichungen zu dieser Thematik wie das "Arbeitsblatt der BTE-Arbeitsgruppe: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte" [76] oder die DIN EN 15459-1 [79].

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden die recherchierten Daten entsprechend [43, 49, 51, 76, 79] gegenübergestellt. Dabei konnte festgestellt werden, dass bei bestimmten Gebäudekomponenten zwar Nutzungsdauerabweichungen zu verzeichnen waren. Insgesamt haben die Angaben gemäß [49] für Baustoffe und [51] für Haustechnikbestandteile einen soliden Eindruck gemacht und können für die Ermittlung der Austauschhäufigkeit von Gebäudekomponenten herangezogen werden.

Bei der Anwendung dieser Standarddaten sollte jedoch immer kritisch hinterfragt werden, ob ein Austausch von einzelnen Bauteilschichten in der Baupraxis überhaupt realistisch erscheint? Beispielsweise

ist davon abzusehen den Austausch einer Dämmung zwischen massiver Deckenkonstruktion und schwimmendem Estrich zu bilanzieren, wenn für die dämmschichtumschließenden Bauteilschichten eine längere Nutzungsdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum zu erwarten ist.

5.5 Energiebedarf während des Gebäudebetriebs

Das Berechnungsverfahren der Normenreihe DIN V 18599 [15, 30, 65–73] gemäß der im Jahr 2019 gültigen EnEV [5] wird als gute Grundlage zur Ermittlung des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar resultierend aus dem Gebäudebetrieb angesehen. Für Wohngebäude lässt die EnEV auch noch die Anwendung der DIN V 4108-6 [20] in Kombination mit der DIN V 4701-10 [80] zu. Dieses Rechenverfahren ist jedoch veraltet und im Vergleich zur Normenreihe DIN V 18599 kann die technische Gebäudeausrüstung eines Bauwerks nur begrenzt abgebildet werden. Beispielsweise kann der aus künstlicher Beleuchtung resultierende Energiebedarf nicht bilanziert werden.

Im Rahmen einer EnEV-konformen DIN V 18599-Wohngebäudeberechnung ist der Energiebedarf zur Sicherstellung der Beheizung, Kühlung, Lüftung und Warmwasserversorgung zu bestimmen. Der Energiebedarf während des Gebäudebetriebs kann also mit dem Energieaufwand für die Gebäudekonditionierung gleichgesetzt werden. Dabei haben entsprechend der Formel (19) die anzusetzenden Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar einen wesentlichen Einfluss auf den zu berechnenden Primärenergiebedarf während der Nutzungsphase eines Gebäudes. Es ist nämlich der Endenergieaufwand pro Energieträger mit dem zugehörigen Primärenergiefaktor zu multiplizieren und durch einen Umrechnungsfaktor zu dividieren, um heizwertbezogen zu rechnen. Dieser Umrechnungsfaktor liegt abhängig vom Energieträger im Bereich von 1,00 bis 1,11 gemäß der Tabelle 21 und beeinfluss somit den Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar nur geringfügig.

$$Q_P = \sum_{i=1}^{m} \left(Q_{f,i} \times \left(\frac{f_{p,i}}{f_{HS/HI,i}} \right) \right) \tag{19}$$

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 [-]
$f_{HS/HI,i}$	Verhältnis Brennwert zu Heizwert für den Energieträger i [-]

Tabelle 21: Primärenergiefaktoren und Umrechnungsfaktoren Brennwert zu Heizwert entsprechend EnEV nach [15, 81]

Energieträger	Primärenergiefaktoren		Verhältnis Brennwert zu Heizwert
	insgesamt	nicht erneuerbarer Anteil	
Heizöl	1,1	1,1	1,06
Erdgas	1,1	1,1	1,11
Flüssiggas	1,1	1,1	1,09
Steinkohle	1,1	1,1	1,04
Braunkohle	1,2	1,2	1,07
Biogas	1,5	0,5	1,11
Bioöl	1,5	0,5	1,06
Holz	1,2	0,2	1,08
Nah-/Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (fossil)	0,7	0,7	1,00
Nah-/Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (erneuerbar)	0,7	0,0	1,00
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken (fossil)	1,3	1,3	1,00
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken (erneuerbar)	1,3	0,1	1,00
allgemeiner Strommix	2,8	1,8	1,00
Verdrängungsstrommix	2,8	2,8	1,00
Solarenergie	1,0	0,0	1,00
Erdwärme, Geothermie	1,0	0,0	1,00
Umgebungswärme	1,0	0,0	1,00
Umgebungskälte	1,0	0,0	1,00
Abwärme innerhalb des Gebäudes	1,0	0,0	1,00

Es wird davon ausgegangen, dass die Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar bestimmter Energieträger in Zukunft sinken werden [82–92]. Insbesondere für den Strom-Primärenergiefaktor ist auf Grund des steigenden Anteils von Elektrizität aus erneuerbaren Energien eine erhebliche Reduktion zu erwarten. Auch die Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar der Energieträger Gas und Öl könnten bedingt durch eine Beimischung von bis zu 20 % Biogas bzw. Bioöl zukünftig etwas niedriger werden [82].

Insbesondere für Gebäude mit einem hohen Strombedarf hat diese Entwicklung zur Folge, dass bei gleichbleibendem Wärmedämmniveau der Gebäudehülle und unveränderter technischer Gebäudeausrüstung der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus der Gebäudekonditionierung deutlich sinken wird. Es wird deshalb als sinnvoll angesehen während des Betrachtungszeitraums von 30 Jahren einen mittleren Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus der Gebäudekonditionierung mithilfe der Formel (20) zu ermitteln.

$$\overline{Q}_P = \frac{\sum_{j=1}^{n} Q_{P,j}}{m} \qquad (20)$$

Darin:

$\overline{Q}_P$ 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 [-]

Zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung des Primärenergiefaktors, nicht erneuerbar für den Energieträger "allgemeiner Strommix" in Deutschland wurden die Quellen [82–92] durchgearbeitet. Für die Berichte, die den hilfreichsten Eindruck gemacht haben, wurde die vorausgesagte Entwicklung des Strom-Primärenergiefaktors in der Abbildung 25 festgehalten. Zusätzlich sind die Werte eingetragen, die bisher entsprechend der EnEV [5, 9, 12–14] für Strom bei einer energetischen Gebäudebewertung anzusetzen waren.

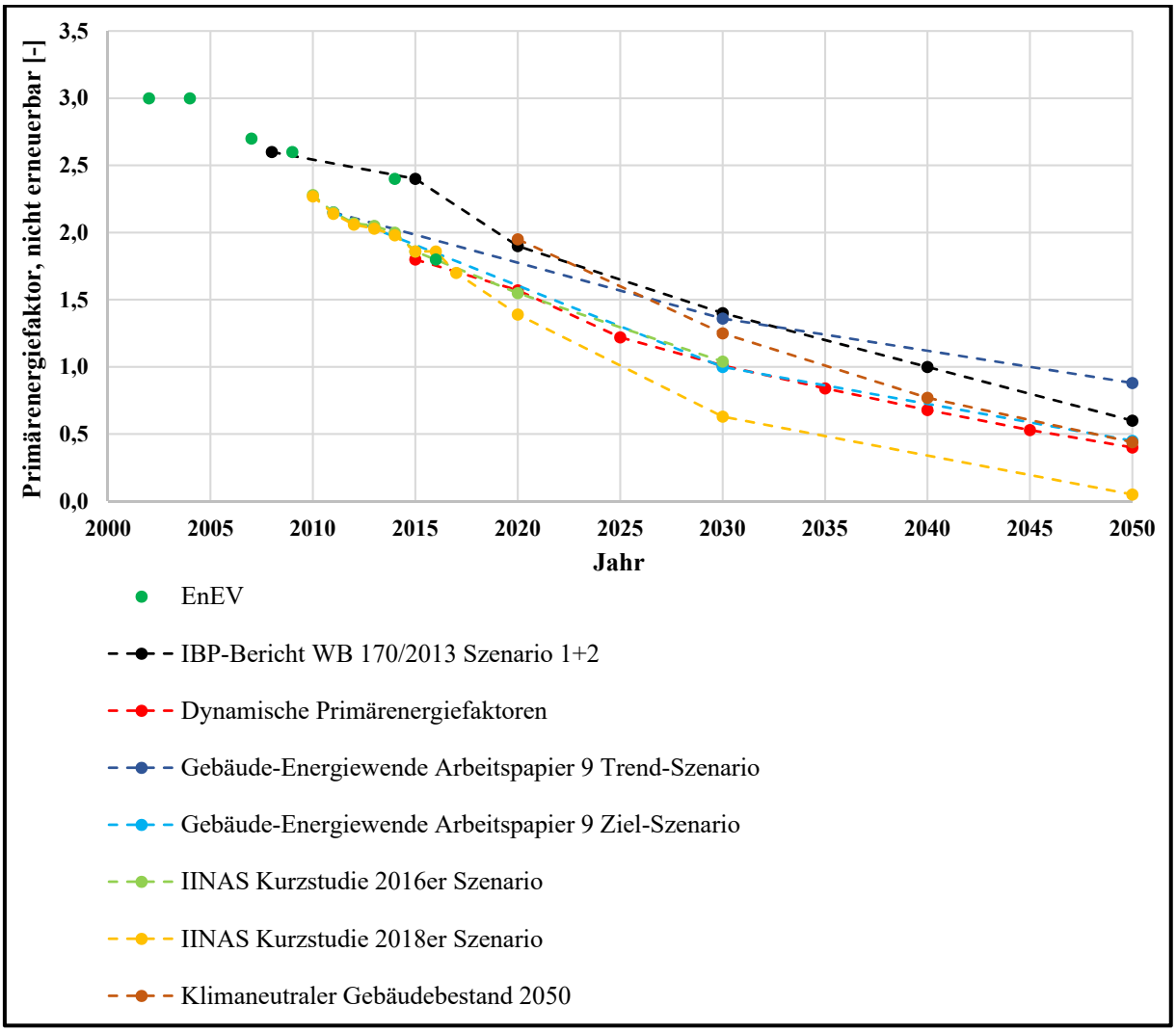


Abbildung 25: Entwicklung des Primärenergiefaktors, nicht erneuerbar von Strom

Für die Literatur "Dynamische Primärenergiefaktoren – Konzept mit einem Stromsystemmodell" [83] hat sich ergeben, dass die vorausgesagte Entwicklung des Primärenergiefaktors, nicht erneuerbar von Strom sehr realistisch erscheint im Vergleich zu den Klimaschutzzielen Deutschlands [1]. Außerdem stimmen die Ausgangswerte des Szenarios gut mit dem nichterneuerbaren kumulierten Energieverbrauch des deutschen Strommix gemäß [90] überein. Insgesamt wird dieses Zukunftsszenario im Vergleich zu den übrigen Quellen am realistischsten eingeschätzt. Es wird deshalb vorgeschlagen auf Basis des Berichts [83] die Strom-Primärenergiefaktoren entsprechend der Tabelle 22 anzusetzen bei der Ermittlung des mittleren Jahres-Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar resultierend aus der Gebäudekonditionierung.

Tabelle 22: Vorausgesagte Entwicklung des Primärenergiefaktors, nicht erneuerbar von Strom

Jahr	2019	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Primärenergiefaktor, nicht erneuerbar	1,80	1,57	1,22	1,01	0,84	0,68	0,53	0,40

Bei Umsetzung der in diesem Bericht vorgestellten Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV sollten die Tabellenwerte in regelmäßigen Zeitabständen überprüft und ggf. angepasst werden. Außerdem sollte verfolgt werden, ob den Energieträgern Gas und Öl in Zukunft wirklich biogene Anteile beigemischt werden. Sollte es dadurch zu einem wesentlichen Absinken der Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar kommen, könnte diese Entwicklung zukünftig auch für diese Energieträger rechnerisch berücksichtigt werden bei der energetischen Bewertung von Gebäuden.

Es bietet sich grundsätzlich an den vorgestellten Ansatz von zukünftig sinkenden Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar auch bei der Bestimmung des Energieaufwands für den Austausch von Gebäudekomponenten mit einer kürzeren Nutzungsdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum von 30 Jahren (Modul B4 entspr. DIN EN 15978) und der Verwertung und Entsorgung dieser veralteten Gebäudebestandteile (Module C3 und C4) anzuwenden. Jedoch ist in der sinnvollerweise einzusetzenden Datenbank ÖKOBAUDAT [46] (siehe Kapitel 4.3) bisher kein solcher Zukunftsansatz enthalten. Dieser Problematik könnte entgegengewirkt werden, indem zukünftig Abschätzungen in die Datensätze eingearbeitet werden, wie sich der aktuelle Energieaufwand für Austausch, Verwertung und Entsorgung veralteter Gebäudekomponenten aufgrund absinkender Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar bis zum Jahr 2050 ändern könnte.

5.6 Energiebezugsfläche

Bei Berechnungen des Energiebedarfs von Wohngebäuden entsprechend der im Jahr 2019 gültigen EnEV [5] sind die Ergebnisse auf die Gebäudenutzfläche A_N der beheizten und/oder gekühlten Räume zu beziehen. Es handelt sich dabei gemäß den Formeln (21) und (22) um eine fiktive Fläche in Abhängigkeit vom beheizten Gebäudevolumen V_e und der durchschnittlichen Geschosshöhe h_G. Beträgt die durchschnittliche Geschosshöhe eines Gebäudes zwischen 2,50 m und 3,00 m, so ist die Formel (21) anzuwenden [5].

$$A_N = 0{,}32\ m^{-1} \times V_e \qquad (21)$$

Darin:

A_N Gebäudenutzfläche der beheizten und/oder gekühlten Räume [m²]
V_e beheiztes Gebäudevolumen [m³]

Bei einer durchschnittlichen Geschosshöhe niedriger als 2,50 m oder höher als 3,00 m ist die Formel (22) zu nutzen [5].

$$A_N = \left(\frac{1}{h_G} - 0{,}04\ m^{-1}\right) \times V_e \qquad (22)$$

Darin:

A_N Gebäudenutzfläche der beheizten und/oder gekühlten Räume [m²]
h_G durchschnittliche Geschosshöhe [m]
V_e beheiztes Gebäudevolumen [m³]

Im BNB sind die ermittelten Primärenergiewerte pro Quadratmeter Netto-Grundfläche NGF aller Räume unabhängig von der Konditionierung auszugeben [32]. Diese Fläche entspricht nach DIN 277-1 [41] der Differenz aus der Innen-Grundfläche IGF und der Innenwand-Konstruktions-Grundfläche IKF gemäß der Formel (23).

$$NGF = IGF - IKF \quad (23)$$

Darin:

NGF	Netto-Grundfläche aller Räume [m²]
IGF	Innen-Grundfläche aller Räume [m²]
IKF	Innenwand-Konstruktions-Grundfläche aller Räume [m²]

Bei Durchführung einer DGNB- oder NaWoh-Zertifizierung ist der Primärenergiebedarf auf die Netto-Raumfläche NRF aller Räume eines Wohngebäudes umzurechnen [33, 34]. Es handelt sich bei dieser Fläche entsprechend DIN 277-1 [41] um die Differenz aus der Netto-Grundfläche NGF und der Trennwand-Grundfläche TGF gemäß der Formel (24). Sie *„[umfasst] sämtliche Grundflächen der nutzbaren Räume aller Grundrissebenen des Bauwerks“* [41]. Die DGNB sieht jedoch vor Fahrgassen von Tiefgaragen nicht mit anzusetzen [33]. Im NaWoh-System erfolgt die Einbeziehung von Tiefgaragenflächen nach eigenem Ermessen [34].

$$NRF = NGF - TGF \quad (24)$$

Darin:

NRF	Netto-Raumfläche aller Räume [m²]
NGF	Netto-Grundfläche aller Räume [m²]
TGF	Trennwand-Grundfläche aller Räume [m²]

Weiterhin ist im Immobiliensektor die Wohnfläche eine bedeutsame Bezugsgröße. Die Berechnungsregeln sind in der Wohnflächenverordnung [93] festgehalten. Demnach gehören zur Wohnfläche einer Wohnung alle Raumgrundflächen, die nur zu dieser Wohneinheit zählen und nicht gemeinschaftlich mit anderen Nutzern geteilt werden. Auf Basis der lichten Maße zwischen Bauteilen ist die Wohnfläche zu bestimmen [93].

„ Die Grundflächen [...]

[...] von Räumen und Raumteilen mit einer lichten Höhe von mindestens einem Meter und weniger als zwei Metern sind zur Hälfte,

[...] von unbeheizbaren Wintergärten, Schwimmbädern und ähnlichen nach allen Seiten geschlossenen Räumen sind zur Hälfte,

[...] von Balkonen, Loggien, Dachgärten und Terrassen sind [nur] in der Regel zu einem Viertel, höchstens jedoch zur Hälfte

anzurechnen [93].“

Aufgrund der vorgenannten Regeln entspricht somit die Wohnfläche von Wohnungen mit Dachschrägen, Balkonen und/oder Loggien nicht immer der Summe der lichten Grundflächen der Räume [93].

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass es vielseitige Optionen für die Festlegung der Energiebezugsfläche gibt. Es wird als sinnvoll erachtet, sich in Zukunft von einer fiktiven Energiebezugsfläche zu lösen, damit auch Laien bei Bedarf die in Energieausweisen angesetzten Flächen unkompliziert nachvollziehen können. Weiterhin wird es zweckmäßig gefunden zukünftig nicht nur die Grundflächen von konditionierten Räumen anzusetzen, weil der lebenszyklusbezogene Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar für

alle Gebäudebereiche zu ermitteln ist. Außerdem könnte durch einen Verzicht der Grundflächenberücksichtigung von Fahrzeugabstellflächen und Fahrgassen in Gebäuden begünstigt werden, dass in Zukunft weniger Ressourcen für den Neubau von Tiefgaragen verbraucht werden und Gebäudenutzer angeregt werden im Sinne des Klimaschutzes vermehrt öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen. Es wird deshalb vorgeschlagen zukünftig für Wohngebäude die Netto-Raumfläche NRF gemäß DIN 277-1 mit Ausnahme von Fahrzeugabstellflächen und Fahrgassen als Energiebezugsfläche heranzuziehen.

Im Sinne der Vergleichbarkeit der Energieeffizienz von Gebäuden könnte übergangsweise in Energieausweisen sowohl der neu einzuführende lebenszyklusbezogene Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar bezogen auf die vorgenannte Grundfläche, als auch der bisherige EnEV-konforme Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (resultierend aus der Gebäudekonditionierung) bezogen auf die Gebäudenutzfläche A_N der beheizten und/oder gekühlten Räume angegeben werden. Damit die Unterschiede zwischen den beiden energetischen Kennwerten zu einem Gebäude auch von Laien verstanden werden können wird angeregt in Energieausweisen Hintergrundinformationen zur Berechnung und zum Grundflächenbezug der Kennzahlen anzugeben.

5.7 Datenbasis, Softwareeinsatz und Berechnungsablauf

Für die Berechnung des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar während des Gebäudelebenszyklus wird empfohlen die Informationen der Datenbank ÖKOBAUDAT [46] zu verwenden. Die ÖKOBAUDAT weist zwar einige Datenlücken auf bzgl. der Abbildung von Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung. Und in Datensätzen fehlen zum Teil Informationen hinsichtlich des Energieaufwands für die Entsorgung von veralteten Gebäudekomponenten. Dennoch ist die Datenbank mit einem Umfang von ca. 900 Datensätzen [46] sehr umfangreich und extrem behilflich bei der Bilanzierung des Energieaufwands für die Herstellung und Entsorgung von Baustoffen und Gebäudekomponenten. Durch eine weitere Fortschreibung der Datenbank könnten vorhandene Informationslücken zukünftig geschlossen werden.

Des Weiteren wird es als sinnvoll erachtet für die Bestimmung des lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar das Bilanzierungstool eLCA [45] einzusetzen. Denn dieses internetbasierte und kostenlos nutzbare Programm ist gekoppelt mit der Datenbank ÖKOBAUDAT und greift zusätzlich auch automatisch auf Nutzungsdauerdaten für Baumaterialien und Haustechnikkomponenten zurück. Auf Basis von Mengenangaben zu Gebäudebestandteilen ist das eLCA-Tool in der Lage sowohl für einzelne Gebäudekomponenten als auch für komplette Häuser unter anderem den Primärenergiebedarf resultierend aus der Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung zu berechnen. Das Tool befindet sich derzeit zwar noch in einem Beta-Stadium. Aber am Beispiel eines Einfamilienhauses konnte nachgewiesen werden, dass das Programm korrekt rechnet [63]. Im Übrigen hat sich während der Forschungsarbeit herausgestellt, dass das Programm bei Bedarf von den Entwicklern kurzfristig optimiert werden kann.

Das eLCA-Tool ist jedoch nicht in der Lage den Energiebedarf resultierend aus der Gebäudekonditionierung zu ermitteln. Zu diesem Zweck ist der Einsatz einer EnEV-Software notwendig. Es kann z. B. das Programm ZUB Helena Ultra [94] verwendet werden, welches im Rahmen dieses Forschungsprojektes eingesetzt wurde.

Hinsichtlich des Berechnungsablaufs bei einer lebenszyklusbezogenen energetischen Gebäudebewertung wird vorgeschlagen zunächst die EnEV-Berechnung anzufertigen und auf diesem Weg den mittleren Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus der Beheizung, Kühlung, Belüftung, Warmwasserversorgung und ggf. Beleuchtung (nur für Nichtwohngebäude zu bilanzieren) zu ermitteln. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass man sich zunächst einmal mit dem Bauwerk vertraut machen kann, ohne dass man direkt alle Gebäudekomponenten erfassen muss. Denn im Rahmen einer EnEV-Berechnung müssen nur konditionierte Gebäudebereiche bilanziert werden [5]. Anschließend ist auf Grundlage einer Mengenermittlung zu den geplanten Baumaterialien und Gebäudekomponenten mithilfe des eLCA-Tools der Energieaufwand für die Gebäudeherstellung und -instandhaltung zu berechnen. Abschließend sind zur Bestimmung des mittleren Jahres-Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar während des untersuchten Gebäudelebenszyklus die Ergebnisse aus der eingesetzten EnEV-Software mit den Resultaten aus dem eLCA-Tool unter Verwendung der Formel (25) zusammenzuführen. Zum Ausgleich von nicht bilanzierten Gebäudebestandteilen sind die Ergebnisse aus der eLCA-Berechnung mit dem im Kapitel 5.5 vorgeschlagenen Zuschlagsfaktor Z von 1,1 zu multiplizieren.

Zur Ergebniszusammenführung kann Microsoft Excel [62] verwendet werden.

$$\overline{Q}_{PENRT} = \left(\frac{\overline{Q}_{PENRT,A1\text{-}A3} + \overline{Q}_{PENRT,Instandhaltung}}{3{,}6}\right) \times Z + \overline{Q}_{PENRT,B6} \qquad (25)$$

Darin:

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

6. Anwendung der weiterentwickelten EnEV-Ansätze

Im Rahmen dieses Kapitels wird zum einen untersucht, ob unterschiedliche Wärmedämmniveaus der Gebäudehülle und baupraxisübliche Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung unter Verwendung des eLCA-Tools und der Datenbank ÖKOBAUDAT erfasst werden können.

Zum anderen wird berechnet, welcher Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar sich für die Beispielgebäude ergibt, wenn die weiterentwickelten EnEV-Ansätze im Rahmen einer Variantenuntersuchung angewandt werden.

6.1 Zu untersuchende Varianten

In der Tabelle 23 sind die untersuchten Varianten beschrieben. Den Ausgangspunkt bildet der EnEV-2014-Referenzgebäudestandard. Das bedeutet, dass bei allen Beispielgebäuden die Wärmedämmstoffdicken der Außenbauteile und die Eigenschaften der Fenster so im eLCA-Tool [45] und in der verwendeten EnEV-Software ZUB Helena Ultra [94] praxisnah angepasst wurden, dass die Beispielgebäude jeweils knapp die Anforderungen an den spezifischen Transmissionswärmeverlust H'_T entsprechend der EnEV [5] erfüllen. Außerdem wurden für die Beispielgebäude im eLCA-Tool und im Programm ZUB Helena Ultra jeweils die Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung gemäß dem EnEV-2014-Referenzgebäudestandard angesetzt. Zusätzlich wurden in den EnEV-Berechnungen zu den Beispielgebäuden jeweils alle weiteren Vorgaben hinsichtlich der Ausführung eines EnEV-2014-Referenzgebäudes eingepflegt.

Auf Basis des EnEV-2014-Referenzgebäudestandards (Variante 1) wurde zum einen das Wärmedämmniveau der Außenbauteile der Beispielgebäude variiert (Variante 2 bis 6). Die Wärmedämmstoffdicken und die Fenstereigenschaften wurden im eLCA-Tool und in der EnEV-Software so praxisnah angepasst, dass der spezifische Transmissionswärmeverlust H'_T in 10-%-Schritten um bis zu 50 % verbessert wurde im Vergleich zur Ausgangsvariante.

Zum anderen wurden die Wärmeerzeuger (Variante 7 bis 12) und die Lüftungsanlagen (Variante 13) der Beispielgebäude variiert. Im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard (Ansatz eines Heizöl-Brennwertkessels in Kombination mit einer Solaranlage zur unterstützenden Trinkwassererwärmung) wurden als alternative Wärmeerzeuger jeweils ein Erdgas-Brennwertkessel (anstatt Heizöl-Brennwertkessel), eine Solaranlage zur unterstützenden Heiz- und Trinkwassererwärmung (anstatt nur zur Trinkwassererwärmung), eine Luft-Wasser-Wärmepumpe (anstatt Heizöl-Brennwertkessel + Solaranlage), eine Sole-Wasser-Wärmepumpe (anstatt Heizöl-Brennwertkessel + Solaranlage), eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe (anstatt Heizöl-Brennwertkessel + Solaranlage) und ein Holzpelletkessel (anstatt Heizöl-Brennwertkessel + Solaranlage) im eLCA-Tool und im EnEV-Programm berücksichtigt. In Abhängigkeit von den angesetzten Wärmeerzeugern wurden auch die Wärmespeicher und die Rohrleitungslängen praxisnah variiert. Als Alternative zur Referenz-Lüftungsanlage (zentrale Abluftanlage) wurde im Rahmen der Variante 13 eine zentrale Zu- und Abluftanlage mit einem Wärmebereitstellungsgrad von 90 % angesetzt.

Zusätzlich wurden die im Voraus beschriebenen einzelnen Variantenmaßnahmen (Variante 2 bis 13) teilweise miteinander kombiniert. Die Variante 14 steht für eine mögliche Kombination von Wärmedämm- und TGA-Maßnahmen, um beispielhaft die Hauptanforderungen der EnEV und des EEWärmeG möglichst knapp und sinnvoll erfüllen zu können.

Im Vergleich dazu zeigen die Varianten 15 bis 18 bzw. 19 bis 21 Möglichkeiten auf, wie die Beispielgebäude den KfW-Effizienzhaus-Standard 55 (Hauptanforderungen: 1. Jahres-Primärenergiebedarf Q_P mindestens 45 % niedriger im Vergleich zum zugehörigen Referenzgebäude; 2. spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T mindestens 30 % niedriger im Vergleich zum zugehörigen Referenzgebäude [95]) bzw. 40 (Hauptanforderungen: 1. Jahres-Primärenergiebedarf Q_P mindestens 60 % niedriger im Vergleich zum zugehörigen Referenzgebäude; 2. spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T mindestens 45 % niedriger im Vergleich zum zugehörigen Referenzgebäude [95]) erreichen können.

Tabelle 23: Zu untersuchende Varianten

Variante	Beschreibung
1	Referenzgebäude entsprechend EnEV 2014
2	spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 10 % verbessert [1)]
3	spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 20 % verbessert [1)]
4	spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 30 % verbessert [1)]
5	spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 40 % verbessert [1)]
6	spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 50 % verbessert [1)]
7	Erdgas-Brennwertkessel [1)]
8	Solaranlage zur Heizungs- und Warmwasserunterstützung [1)]
9	Luft-Wasser-Wärmepumpe [1)]
10	Sole-Wasser-Wärmepumpe [1)]
11	Wasser-Wasser-Wärmepumpe [1)]
12	Holzpelletkessel [1)]
13	Zu- und Abluftanlage mit 90 % Wärmebereitstellungsgrad [1)]
14	Solaranlage zur Heiz- und Warmwasserunterstützung + H'_T 20 % verbessert [1)]
15	KfW-Effizienzhaus 55 [2)] mit Luft-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert [1)]
16	KfW-Effizienzhaus 55 [2)] mit Sole-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert [1)]
17	KfW-Effizienzhaus 55 [2)] mit Wasser-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert [1)]
18	KfW-Effizienzhaus 55 [2)] mit Holzpelletkessel + H'_T 30 % verbessert [1)]
19	KfW-Effizienzhaus 40 mit Sole-Wasser-WP + H'_T 50 % verbessert [1)]
20	KfW-Effizienzhaus 40 mit Wasser-Wasser-WP + H'_T 50 % verbessert [1)]
21	KfW-Effizienzhaus 40 mit Holzpelletkessel + H'_T 50 % verbessert [1)]

[1)] im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäude

[2)] entsprechend rechnerischem Nachweis

6.2 Berechnungsrandbedingungen

Grundsätzlich wurden für die Variantenuntersuchung die im Kapitel 5 erläuterten weiterentwickelten EnEV-Ansätze angewandt, welche nachfolgend in komprimierter Form nochmal vorgestellt werden. Zusätzlich wird erklärt, wie für die Bestandteile der technischen Gebäudeausrüstung die Mengenerfassung erfolgte.

Über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren wurde der mittlere Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar für die Herstellung, Instandhaltung und Konditionierung der vier Beispielgebäude ermittelt.

Die Gebäudeherstellung umfasst den Energieaufwand für die Rohstoffbeschaffung, den Transport dieser Grundstoffe zu den Baustoffherstellern sowie die Produktion von Baumaterialien und Gebäudekomponenten. Für Baustoffe und Gebäudebestandteile mit einer kürzeren Nutzungsdauer im Vergleich zum

Betrachtungszeitraum wird der Energiebedarf für die Herstellung baugleicher Ersatzkomponenten sowie für die Verwertung und Entsorgung der veralteten Bauteile bilanziert, sofern ein Austausch realistisch erscheint. Der Energieaufwand für die Herstellung und Instandhaltung der Beispielgebäude wird mithilfe des eLCA-Tools [45] berechnet, wobei das Programm auf die Datenbank ÖKOBAUDAT [46] zurückgreift. Unter Verwendung des eLCA-Tools werden mögliche Außenwände, Kellerwände, Innenwände, Stützen, Fenster, Türen, Tore, Treppen, Fundamente, Bodenplatten, Geschossdecken, Balkone, Fußbodenaufbauten, Dächer, Wärmeerzeuger, Kälteerzeuger, Lüftungszentralen, Energiespeicher und Wärmeverteilleitungen der Häuser im Rahmen einer Massenermittlung erfasst. Zum Ausgleich für vernachlässigte Gebäudebestandteile (z. B. Stromkabel) werden die Ergebnisse der Gebäudeherstellung und -instandhaltung mit einem Zuschlagsfaktor von 1,1 multipliziert.

Bezüglich der Nutzungsdauern von Gebäudekomponenten wurde im Regelfall auf die im eLCA-Tool hinterlegten Werte gemäß "Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)" [49] und VDI 2067 Blatt 1 [51] zurückgegriffen [61]. Bei jedem im eLCA-Tool erfassten Bauteil wurde kritisch hinterfragt, ob ein Austausch basierend auf den Standardwerten in der Realität sinnvoll erscheint und es wurden ggf. Anpassungen an den Nutzungsdauern vorgenommen. Beispielsweise wurde kein Austausch von Baustoffen zwischen einer Stahlbetondecke und einem schwimmenden Estrich bilanziert. Und es wurde angesetzt, dass alle Fensterbestandteile eine einheitliche Nutzungsdauer von 30 Jahren aufweisen und somit keine einzelnen Fensterkomponenten für sich alleine ausgewechselt werden.

Der Energiebedarf für die Gebäudekonditionierung entspricht bei Wohngebäuden dem Energieaufwand für die Beheizung, Kühlung, Belüftung und Warmwasserversorgung. Bei Nichtwohngebäuden wäre zusätzlich noch der Energiebedarf für die künstliche Beleuchtung zu erfassen [5]. Die Beispielgebäude sind Wohnhäuser, die nicht gekühlt werden. Folglich wird nur die Beheizung, Belüftung und Warmwasserversorgung des Einfamilienhauses, der Doppelhaushälfte, des Reihenhauses und des Mehrfamilienhauses berücksichtigt. Die Berechnung erfolgt mittels der EnEV-Software ZUB Helena Ultra [94] auf Basis der Normenreihe DIN V 18599 [44], wobei im Vergleich zur eLCA-Bilanzierung nur die beheizten Gebäudebereiche erfasst werden. Im Vergleich zu einer EnEV-konformen energetischen Gebäudebewertung wird jedoch für den Energieträger Strom-Mix ein zukünftig sinkender Primärenergiefaktor, nicht erneuerbar angesetzt (siehe Tabelle 22).

Mithilfe von Microsoft Excel [62] können die Ergebnisse aus dem eLCA-Tool und der EnEV-Software zusammengeführt werden, wobei der berechnete mittlere Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des Gebäudelebenszyklus von 30 Jahren bezogen wird auf die Netto-Raumfläche NRF nach DIN 277-1 [41] aller Räume eines Hauses (sowohl konditionierte als auch nicht konditionierte) unter Nichtberücksichtigung von möglichen Fahrzeugabstellflächen und Fahrgassen.

Bei der Anpassung der Wärmeschutzmaßnahmen zu den einzelnen Varianten wurde grundsätzlich angestrebt, die ursprünglichen Konstruktionsaufbauten beizubehalten. Deshalb wurden im Regelfall im eLCA-Tool und in der verwendeten EnEV-Software die Dämmstoffstärken der Außenbauteile der Beispielgebäude praxisnah in 2 cm Schritten erhöht, um einen niedrigeren spezifischen Transmissionswärmeverlust H'_T im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard erreichen zu können. Für das untersuchte Einfamilienhaus und die Doppelhaushälfte wurde beachtet, dass die Außenwände im Ausgangszustand keine zusätzliche Wärmedämmschicht aufweisen. Deshalb wurde beim Einfamilienhaus

bis zu einer Minimierung des Transmissionswärmeverlustes um 30 % die Materialstärke des in der Realität eingesetzten Außenwandmauerwerks entsprechend den in der Baupraxis lieferbaren Produkten angepasst. Bei den Einfamilienhaus-Varianten mit einer Verminderung von H'_T um 40 % bzw. 50 % im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard wurde angesetzt, dass die im realen verbauten 36,5 cm dicken Mauerwerkssteine mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) versehen sind und es wurde die Stärke der Außendämmschicht variiert. Bei den Außenwänden des Beispielgebäudes Doppelhaushälfte wurde vergleichbar vorgegangen, wobei der Ansatz eines WDVS nur für die Varianten mit einer Optimierung des Transmissionswärmeverlustes um 50 % notwendig erschien. Für die Außentüren, Fenster und Tore der Beispielgebäude wurden die Wärmedurchgangskoeffizienten U in Abhängigkeit vom angestrebten Wärmedämmniveau angepasst. Bei einer Verbesserung des Transmissionswärmeverlustes um X % wurden in der EnEV-Software die U-Werte der vorgenannten Bauteile um den gleichen Prozentsatz vermindert im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard. Ab einer angestrebten Optimierung um 30 % wurde für die Fenster im eLCA-Tool anstatt einer 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung eine 3-Fach-Verglasung angesetzt. Im Gegensatz dazu blieben die Wärmedurchgangskoeffizienten von ggf. vorhandenen Dachbodentreppen unverändert, weil in der Baupraxis die Bandbreite an möglichen U-Werten gering ausfällt.

Hinsichtlich der Erfassung der Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung wurden in der verwendeten EnEV-Software die Standardwerte entsprechend der Normenreihe DIN V 18599 angesetzt. Lediglich in den Varianten mit einer Solaranlage wurden die Neigung und die Südabweichung der berücksichtigten Flachkollektoren in Abhängigkeit von den realen Dachflächen der Beispielgebäude angepasst. Im eLCA-Tool wurde die Anzahl der Wärmeerzeuger zu den einzelnen Varianten gemäß den zugehörigen EnEV-Berechnungen genau erfasst. Wurde beispielsweise für eine Variante mit einem Heizöl-Brennwertkessel mit einer Nennleistung von 14,8 kW entsprechend der Normenreihe DIN V 18599 in der EnEV-Software gerechnet, so wurde im eLCA-Tool zunächst nach Möglichkeit ein Brennwertkessel mit einer etwas höheren Kessel-Leistung aus der Datenbank ÖKOBAUDAT herausgesucht. Im Anschluss wurde die Leistung aus der EnEV-Berechnung dividiert durch die Kessel-Nennleistung gemäß des ausgewählten ÖKOBAUDAT-Datensatzes und das Ergebnis wurde als Brennwertkessel-Menge im eLCA-Tool angesetzt. Bei einem Brennwertkessel-Datensatz mit 20 kW wurde somit im eLCA-Tool mit einer Menge von 0,74 Wärmeerzeugern kalkuliert. Vergleichbar wurde vorgegangen bei der Erfassung der Anzahl an Lüftungszentralen im eLCA-Tool, wobei auf der sicheren Seite liegend von einem maximal 2-fachen Luftwechsel (bezogen auf das Nettovolumen) für die konditionierten Bereiche der Beispielgebäude ausgegangen wurde. Die Rohrleitungslängen der Heizwärme- und Warmwasserverteilung wurden in Übereinstimmung mit den EnEV-2014-Referenzgebäudeangaben standardmäßig entsprechend der DIN V 4701-10 [80] in der EnEV-Software und dem eLCA-Tool hinterlegt. Jedoch wurde für die Varianten mit einer Fußbodenheizung die Länge der Heizwärmeanbindeleitungen vernachlässigt auf Basis des Abschnitts 6.3.1.2.3 der DIN V 18599-5 [67]. Über das Gewicht wurde im eLCA-Tool die Menge an Warmwasser- und Pufferspeichern zu den einzelnen Varianten definiert. Dabei wurden die standardmäßigen Speichervolumen-Angaben aus der EnEV-Software in Abhängigkeit von den verfügbaren ÖKOBAUDAT-Datensätzen (200 l, 300 l, 500 l, 600 l, 750 l, 1.000 l, 1.250 l, 1.500 l und 2.000 l [96]) aufgerundet. Beispielsweise wurde bei einem Speichervolumen von 380 l in der EnEV-Software gemäß der Normenreihe DIN V 18599 im eLCA-Tool ein 500 l Wärmespeicher mit einem Gewicht von 88,3 kg entsprechend der ÖKOBAUDAT [96] hinterlegt. Bei den Varianten mit einem Heizöl-Brennwertkessel erfolgte im eLCA-Tool die Erfassung der Anzahl an Öltanks über den jährlichen Heizöl-Endenergiebedarf auf Grundlage der EnEV-Berechnungen. Die Heizöltankmengen wurden so festgelegt, dass damit die Beheizung und Warmwasserversorgung eines Beispielgebäudes über ein Jahr sichergestellt werden könnte.

In den Anhängen L (Einfamilienhaus), M (Doppelhaushälfte), N (Reihenhaus) und O (Mehrfamilienhaus) sind die Änderungen zu den einzelnen Varianten im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard hinterlegt.

6.3 Erfahrungswerte

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass sich mit einem geringen Zeitaufwand Änderungen an einem bestehenden Gebäudemodell im eLCA-Tool [45] und in der verwendeten EnEV-Software ZUB Helena Ultra [94] vornehmen lassen.

Auf Basis der Datenbank ÖKOBAUDAT [46] und der Normenreihe DIN V 18599 [44] ließen sich alle anvisierten 21 Varianten entsprechend der Tabelle 23, sowie die realen Ausführungen der vier Beispielgebäude, ohne größere Probleme rechnerisch abbilden. Lediglich die ursprünglich geplante Bilanzierung von Holzpelletlagern und Holzpelletfördersystemen in den Varianten 12, 18 und 21 konnte nicht realisiert werden, weil keine passenden Datensätze in der ÖKOBAUDAT vorhanden waren. Außerdem wurde anfangs darüber nachgedacht für die Varianten mit einem Heizöl-Brennwertkessel unterirdische dreiwandige Heizöltanks aus glasfaserverstärktem Kunststoff anzusetzen. Da für diesen speziellen Tanktyp jedoch keine Daten in der ÖKOBAUDAT vorhanden waren, wurde sich für die Bilanzierung von in den Beispielgebäuden aufgestellten Öltanks mit Stahlaußenhülle und Innenhülle aus Polyethylen entschlossen.

Bei der Planung der Variantenuntersuchung wurde auch darüber nachgedacht Blockheizkraftwerke rechnerisch zu bilanzieren. In der ÖKOBAUDAT war dafür jedoch kein Datensatz verfügbar, weshalb sich gegen eine Bewertung von BHKW-Anlagen entschieden wurde.

Während der Recherche von Batteriedatensätzen ist aufgefallen, dass bei der Suche im eLCA-Tool keine Infos zu finden waren, währenddessen direkt in der ÖKOBAUDAT ein passender Datensatz auftauchte. Die Problematik ist darauf zurückzuführen, dass im eLCA-Tool nicht die neuesten ÖKOBAUDAT-Daten abrufbar sind. Bei der Anlegung eines neuen Projektes im eLCA-Tool kann man zwischen einer 2009er, 2011er oder 2016er Version der ÖKOBAUDAT als Baustoffdatengrundlage wählen [45]. Mittlerweile wurden aber schon in den Jahren 2017, 2019 und 2020 neuere Datensätze veröffentlicht [97]. Aufgrund des Rückgriffs auf die 2016er Version der ÖKOBAUDAT sind die verwendeten Datensätze teilweise im Jahr 2020 nicht mehr gültig.

Auffällig bei den im eLCA-Tool angesetzten ÖKOBAUDAT-Datensätzen war, dass diese regelmäßig keine Informationen bzgl. des Energieaufwands für die Entsorgung von veralteten Gebäudekomponenten enthielten. Somit muss davon ausgegangen werden, dass die Instandhaltungsergebnisse der Variantenuntersuchung in Wirklichkeit etwas höher ausfallen. Dieser Sachverhalt wird jedoch unkritisch gesehen, weil für den überwiegenden Teil der bilanzierten Baustoffe und Gebäudekomponenten eine längere Nutzungsdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum von 30 Jahren realistisch ist.

Weiterhin hat die Variantenuntersuchung zu der Erkenntnis geführt, dass es wichtig ist bei einer lebenszyklusbezogenen energetischen Gebäudebewertung mithilfe des eLCA-Tools mindestens die technischen Beschreibungen zu den verwendeten ÖKOBAUDAT-Datensätzen anzuschauen. Denn nur so ist man in der Lage zu wissen, welche Gebäudebestandteile im Detail rechnerisch wirklich berücksichtigt werden. Zum Beispiel weiß man durch die ÖKOBAUDAT-Informationen, dass der Datensatz "Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 20 kW" die Komponenten Kälteträgerkreis, Heizungskreis,

Elektronik, Gehäuse und Ausdehnungsgefäß umfasst. Nicht enthalten ist hingegen eine Erdsonde [98]. Diese muss separat über den Datensatz "Rohre für Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 20 kW" im eLCA-Tool erfasst werden. Durch das Lesen der technischen Beschreibungen steigt auch die Wahrscheinlichkeit festzustellen, dass bei Wärmeerzeugern die Leistungszahl im Datensatznamen nicht zwangsläufig der eigentlichen Leistung des abgebildeten Wärmeerzeugers entspricht. Der Datensatz "Pelletkessel < 20 kW" etwa spiegelt nicht einen Holzpelletkessel mit einer Leistung um die 20 kW wieder, sondern einen 14,9-kW-Wärmeerzeuger [99]. Solche Informationen sind wichtig, wenn man die genaue Anzahl von Gebäudekomponenten im eLCA-Tool erfassen möchte.

Außerdem hat die Variantenuntersuchung gezeigt, dass die Berücksichtigung einer Lüftungszentrale ohne Wärmerückgewinnung für die Beispielgebäude Einfamilienhaus, Doppelhaushälfte und Reihenhaus nicht ideal möglich war. Denn die im eLCA-Tool verfügbaren ÖKOBAUDAT-Datensätze begonnen erst mit einem Volumenstrom von 5.000 m³/h und waren damit eigentlich sehr überdimensioniert für die drei Gebäude. Auch in der neuesten Version der ÖKOBAUDAT (Version 2020-II) sind keine kleineren Lüftungszentralen ohne Wärmerückgewinnung verfügbar [46]. Bei Ansatz einer Anlage mit Wärmerückgewinnung begonnen die Datensätze hingegen schon mit einem Volumenstrom von 1.000 m³/h. Um alle Varianten trotz der Problematik so realistisch wie möglich abbilden zu können, wurde die Lüftungszentrale jeweils über die Mengenauswahl im eLCA-Tool einheitlich runterskaliert.

Des Weiteren hat die Variantenuntersuchung bestätigt, dass durch die Kombination des Einsatzes von eLCA-Tool (zur Berechnung des Energieaufwands für Gebäudeherstellung und -instandhaltung), EnEV-Software (zur Ermittlung des Energiebedarfs für Gebäudekonditionierung) und Microsoft Excel (zur Zusammenführung der Ergebnisse aus eLCA-Tool und EnEV-Software) zum einen der Zeitaufwand für die lebenszyklusbezogene energetische Bewertung eines Gebäudes steigt. Zum anderen nehmen die Fehlerquellen mit jedem zusätzlich verwendeten Rechenprogramm zu. Beispielsweise fordert das eLCA-Tool die Hinterlegung der Netto-Grundfläche NGF bei dem Anlegen eines neuen Projektes unabhängig von der Gebäudekonditionierung [45]. Im Gegensatz dazu basiert eine EnEV-Berechnung für ein Wohngebäude auf der Gebäudenutzfläche A_N der beheizten und/oder gekühlten Räume [5]. Die beiden verwendeten Programme arbeiten also mit einem unterschiedlichen Grundflächenbezug. Erschwerend kommt außerdem hinzu, dass das eLCA-Tool die Ergebnisse in der Einheit MJ ausgibt [45], währenddessen eine EnEV-Software den Energiebedarf eines Gebäudes standardmäßig in kWh berechnet [5, 94]. Bei dem Zusammenführen der Resultate aus eLCA-Tool und EnEV-Software muss deshalb zwingend der richtige Umrechnungsfaktor für die beiden Einheiten verwendet werden.

6.4 Ergebnisauswertung

In den Abbildungen 26 bis 37 sind die Ergebnisse der Variantenuntersuchung am Beispiel des Einfamilienhauses (Abbildungen 26-28), der Doppelhaushälfte (Abbildungen 29-31), des Reihenhauses (Abbildungen 32-34) und des Mehrfamilienhauses (Abbildungen 35-37) grafisch zusammengefasst.

Die Y-Achse in den Diagrammen bildet der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus der Herstellung, Instandhaltung und Konditionierung der Beispielgebäude während eines Betrachtungszeitraums von 30 Jahren. Der Energiebedarf für die Gebäudeherstellung ist in den Abbildungen blau markiert und umfasst den Energieaufwand für die Beschaffung von Rohstoffen, den Transport dieser Grundstoffe zu den Baustoffherstellern sowie die Produktion von Gebäudekomponenten. Die roten Balkenabschnitte spiegeln den Energiebedarf für den Austausch, die Verwertung und die Entsorgung von Gebäu-

debestandteilen mit einer kürzeren Nutzungsdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum wieder (Gebäudeinstandhaltung). Der grün gekennzeichnete Energieaufwand für die Beheizung, Belüftung und Warmwasserversorgung der Beispielgebäude entspricht dem Energiebedarf resultierend aus der Gebäudekonditionierung unter Ansatz von einem zukünftig sinkenden Primärenergiefaktor, nicht erneuerbar für den Energieträger Strom-Mix (Erklärung siehe Kapitel 5.5). Der berechnete Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar wird bezogen auf die Netto-Raumfläche NRF nach DIN 277-1 [41] aller Räume eines Gebäudes (sowohl konditionierte als auch nicht konditionierte) unter Nichtberücksichtigung von Fahrzeugabstellflächen und Fahrgassen.

Die X-Achse in den Abbildungen dient der Zuordnung der untersuchten Varianten. Um den Vergleich der Variantenergebnisse untereinander zu erleichtern, entspricht der linke Balken in den Diagrammen immer dem EnEV-2014-Referenzgebäudestandard.

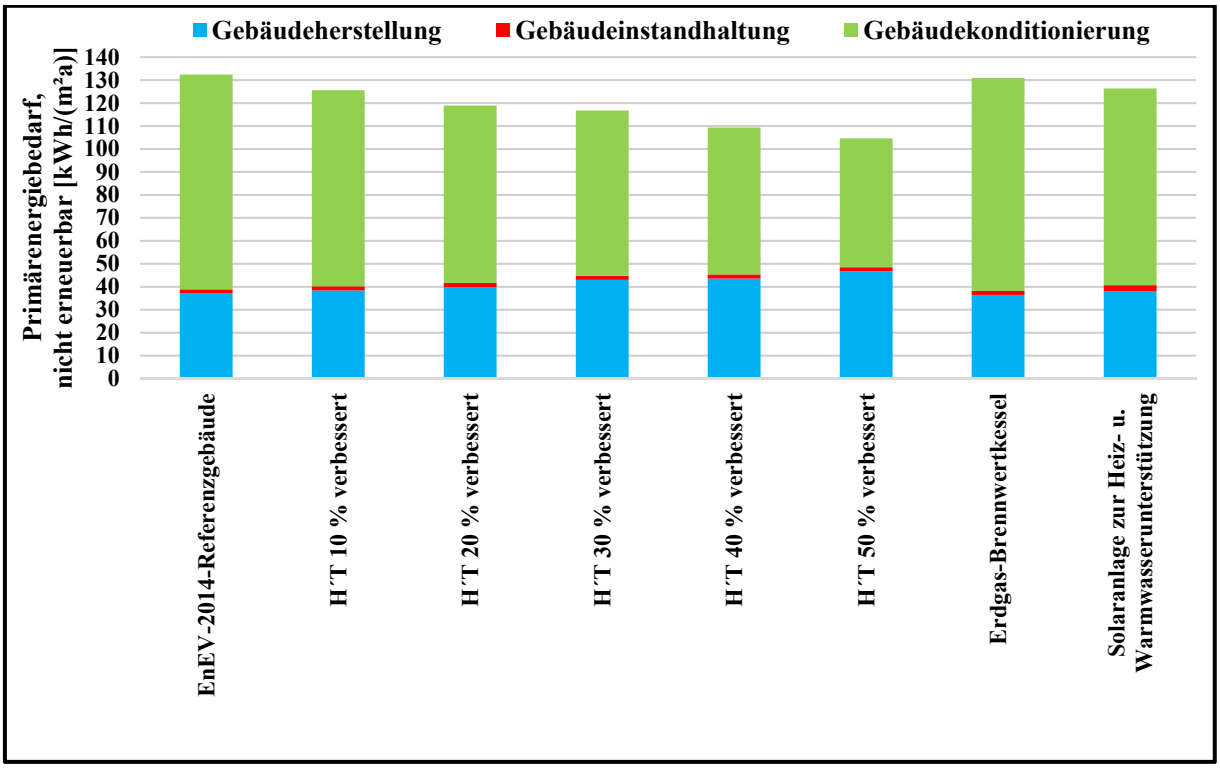


Abbildung 26: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Einfamilienhaus

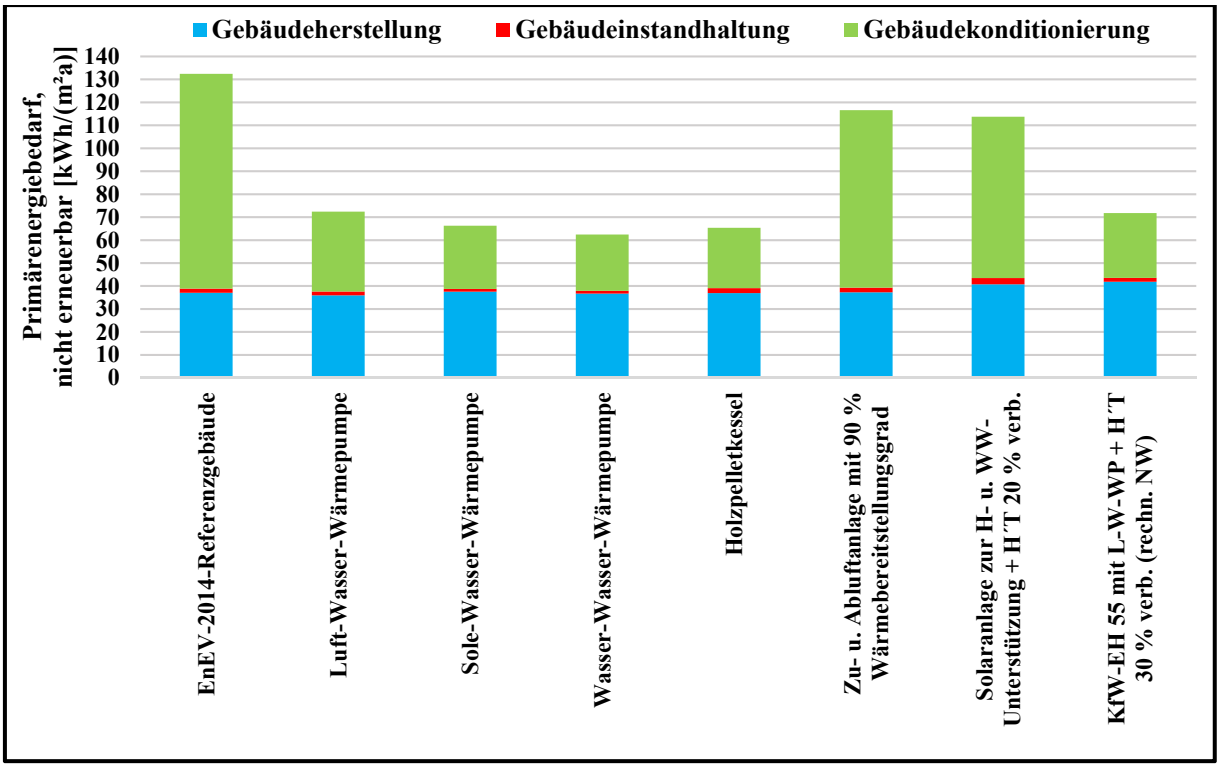


Abbildung 27: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Einfamilienhaus

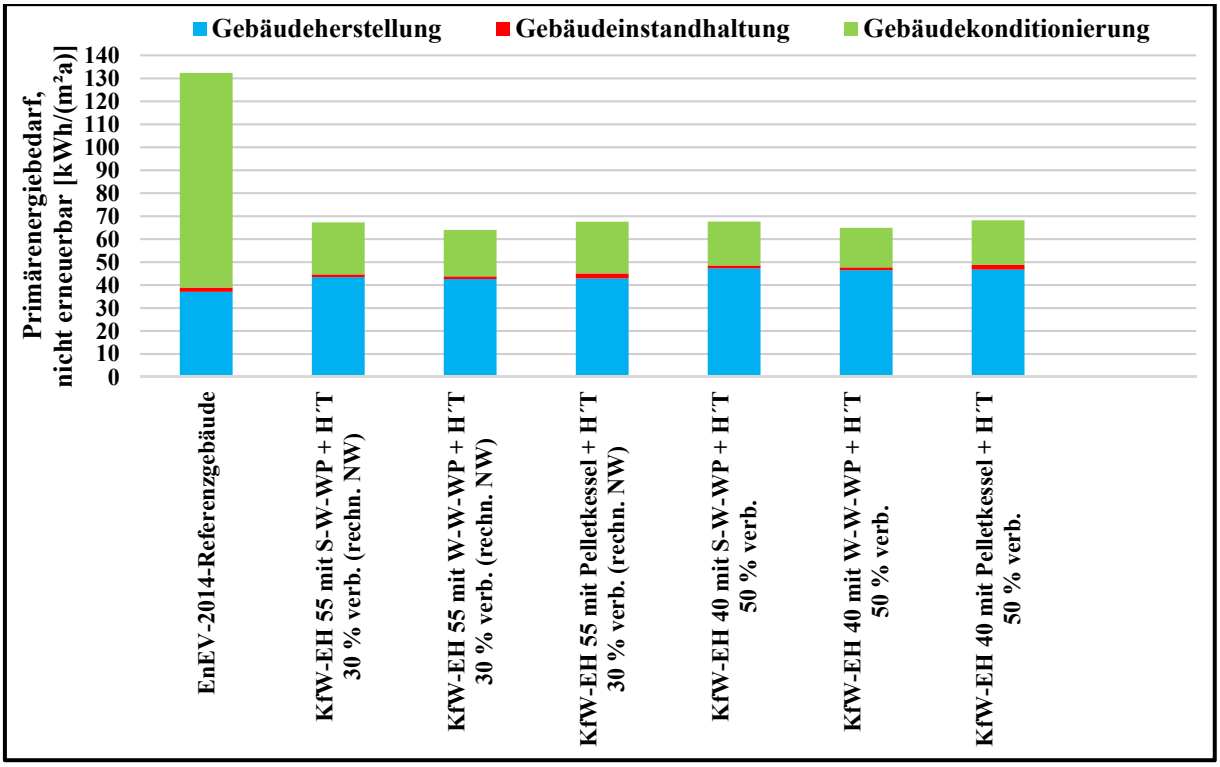


Abbildung 28: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Einfamilienhaus

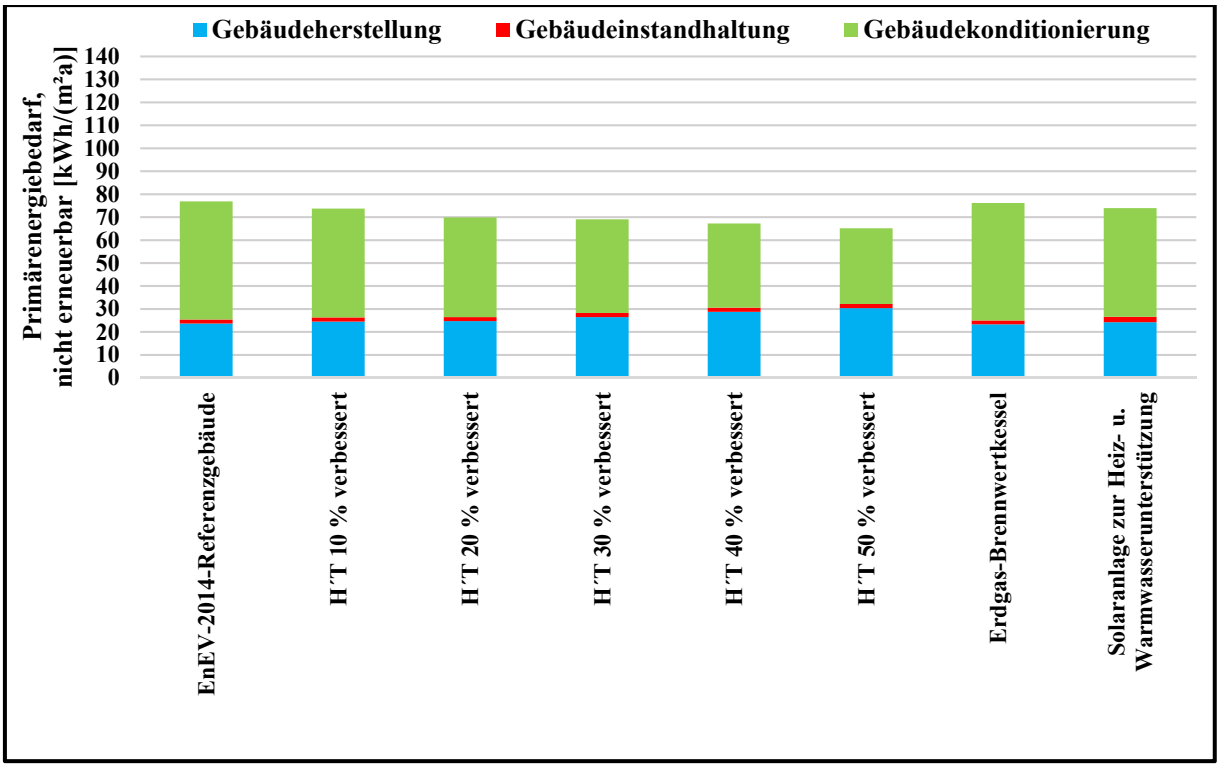


Abbildung 29: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Doppelhaushälfte

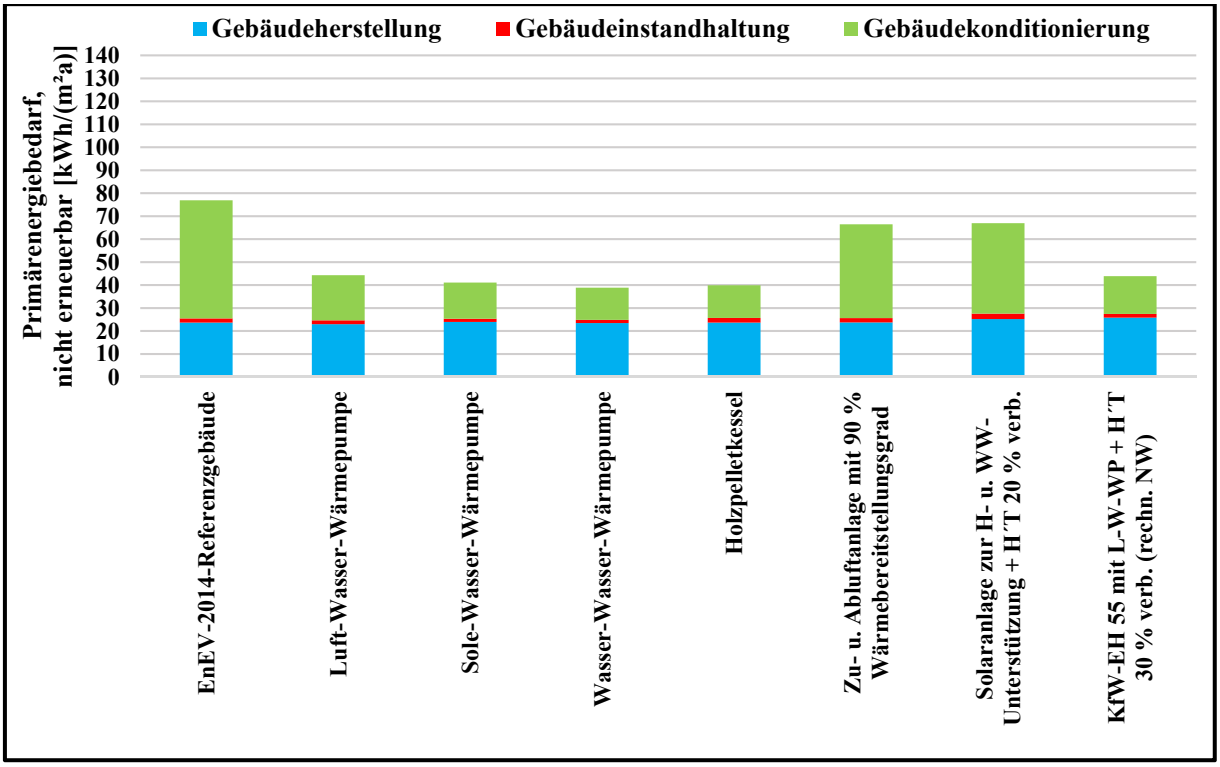


Abbildung 30: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Doppelhaushälfte

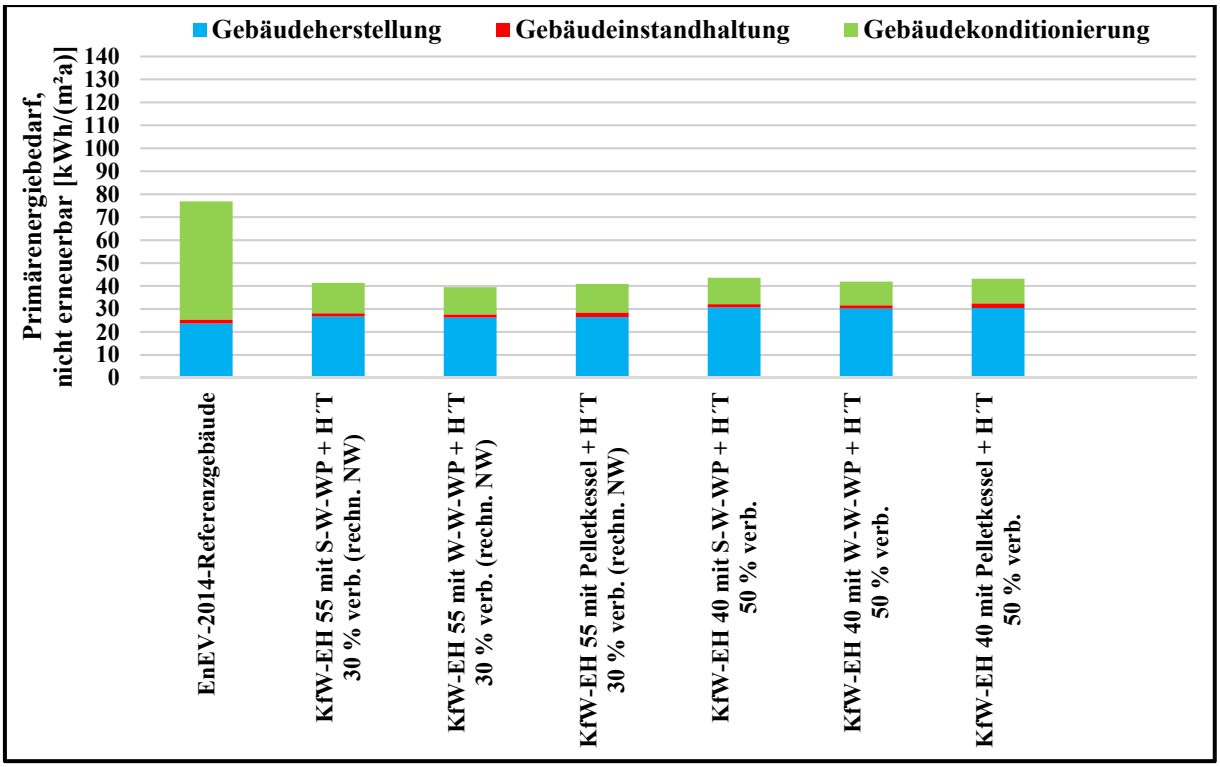


Abbildung 31: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Doppelhaushälfte

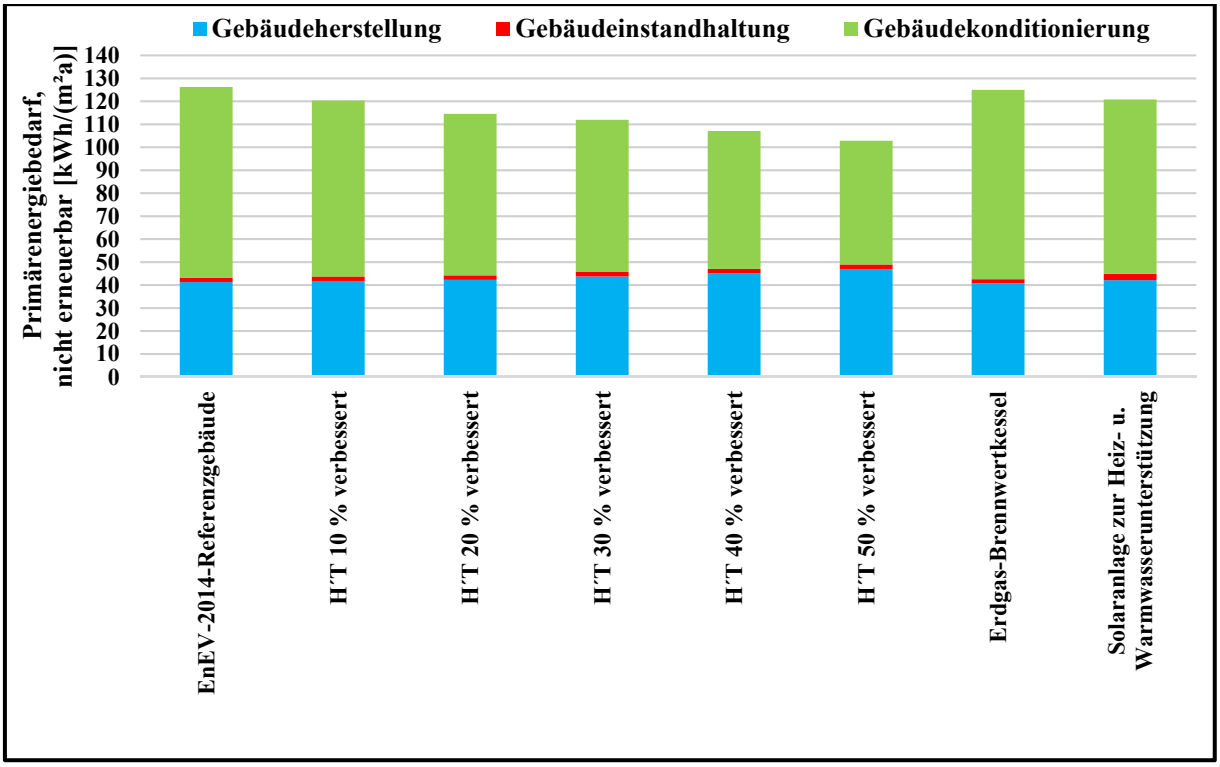


Abbildung 32: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Reihenhaus

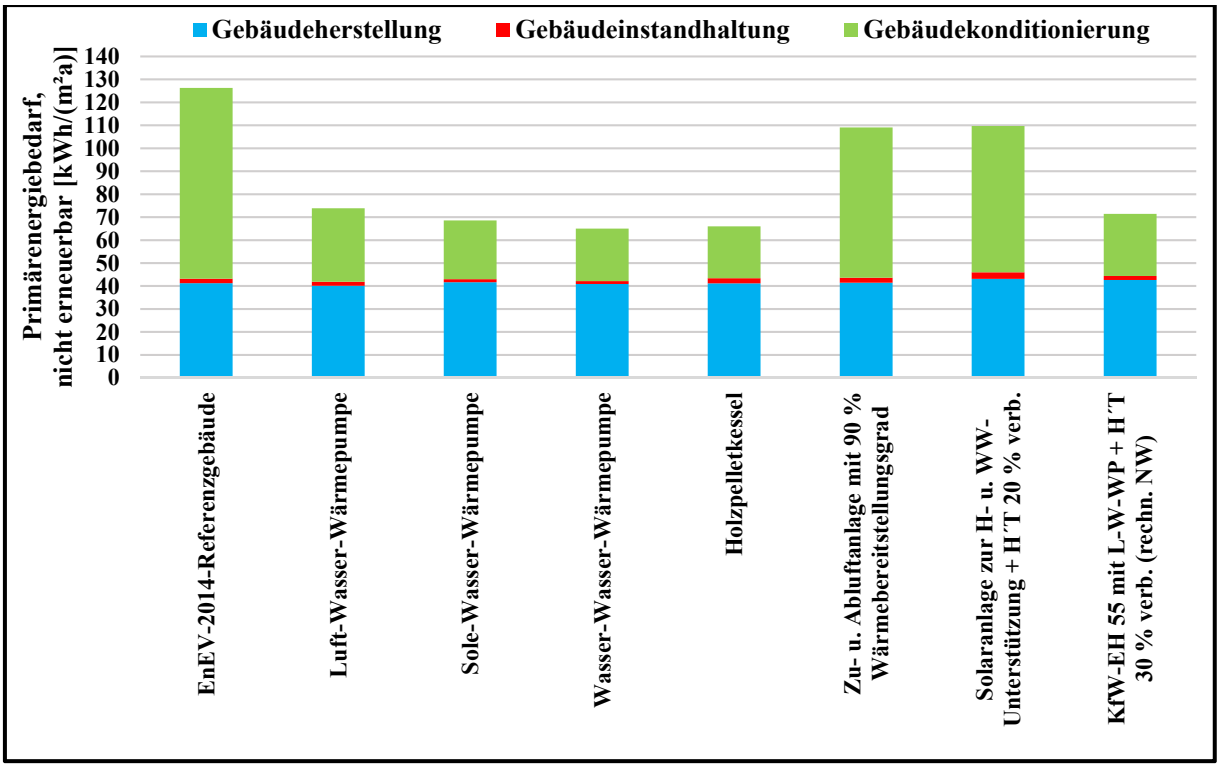


Abbildung 33: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Reihenhaus

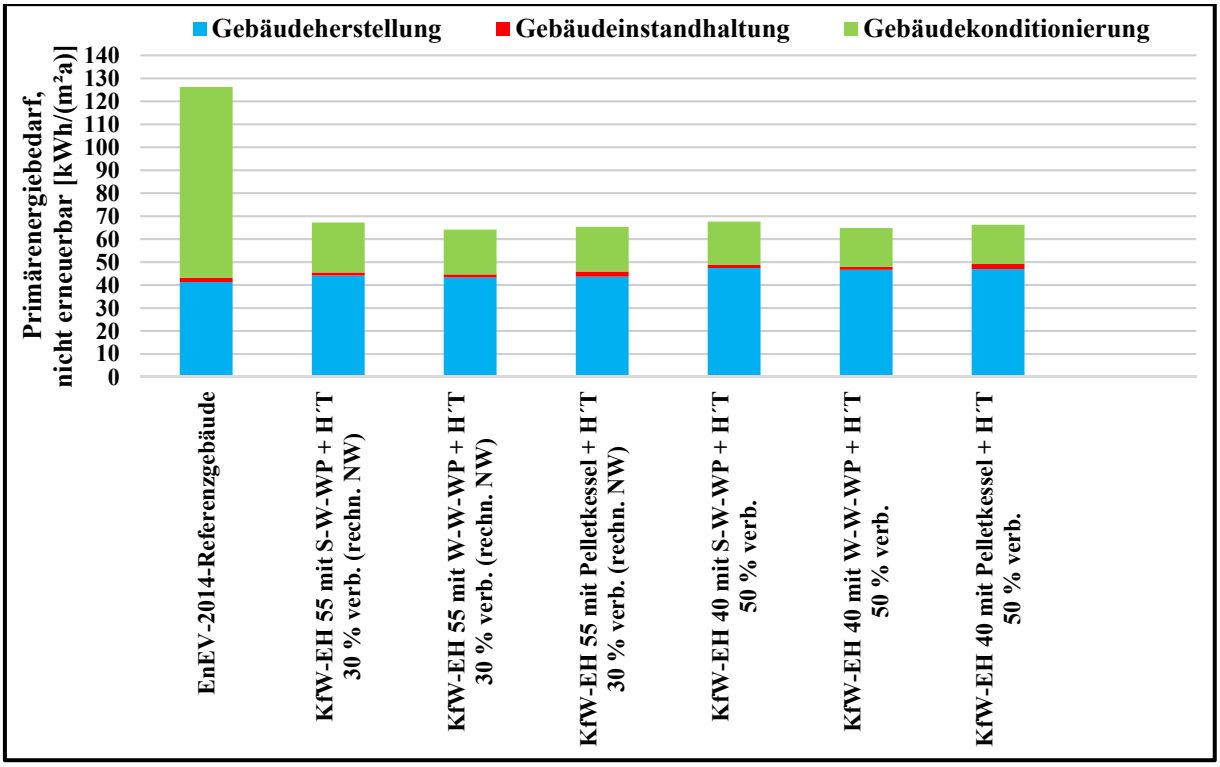


Abbildung 34: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Reihenhaus

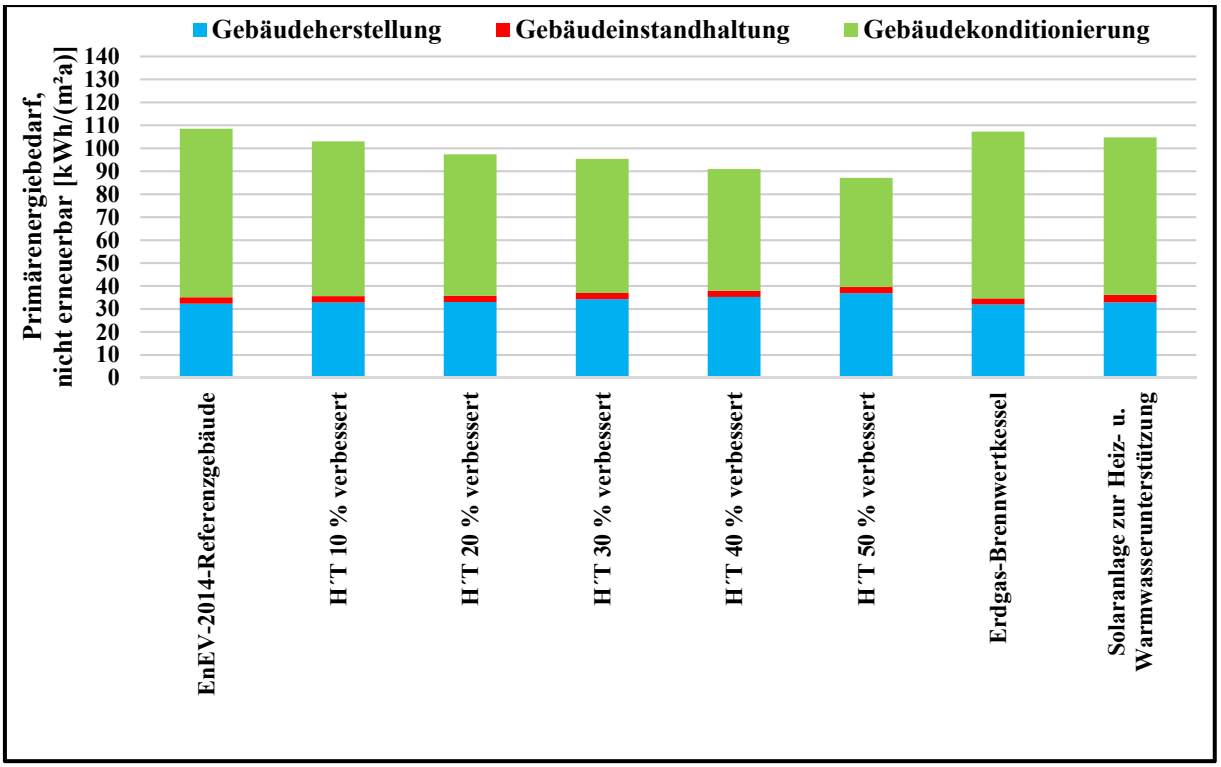


Abbildung 35: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Mehrfamilienhaus

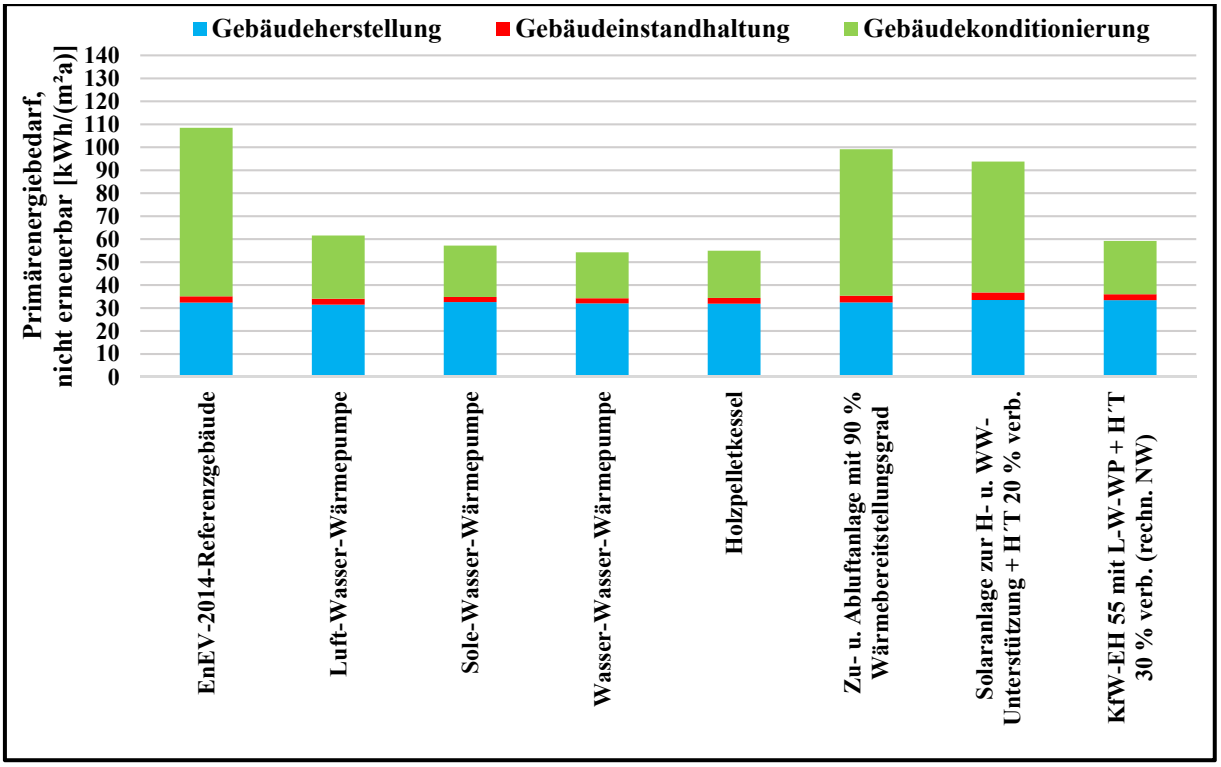


Abbildung 36: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Mehrfamilienhaus

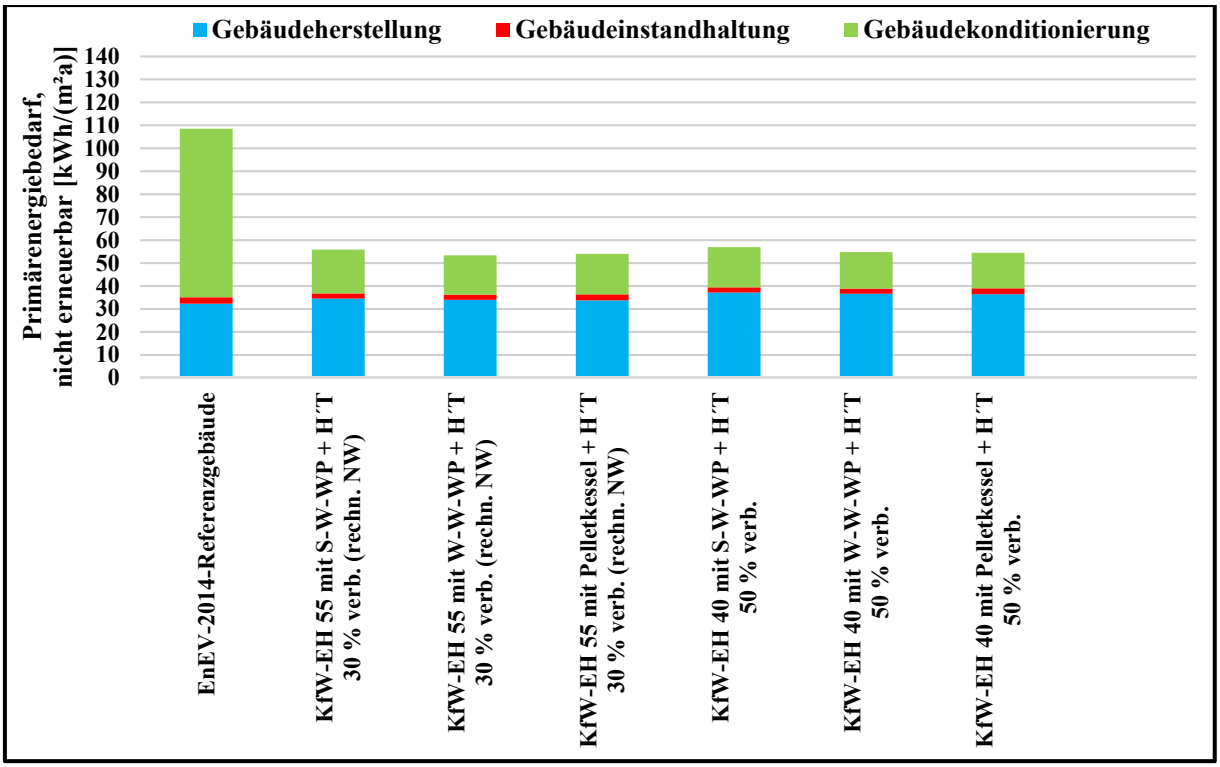


Abbildung 37: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Mehrfamilienhaus

Alle berechneten Varianten haben grundsätzlich ergeben, dass die Gebäudeinstandhaltung im Vergleich zur Herstellung und Konditionierung der Beispielgebäude nur einen sehr geringen Anteil am Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des betrachteten Gebäudelebenszyklus ausmacht. Dieser niedrige Anteil wird begünstigt durch den angesetzten Betrachtungszeitraum von 30 Jahren. Bei Untersuchung eines längeren Gebäudelebenszyklus würde sich eine höhere Austauschhäufigkeit für bestimmte Gebäudekomponenten ergeben, sodass der Energieaufwand für die Gebäudeinstandhaltung steigen würde. Mit 5,1 % hat sich der höchste Anteil der Instandhaltung am gesamten Energiebedarf während des Betrachtungszeitraums für die Variante "Holzpelletkessel" des Beispielgebäudes Doppelhaushälfte ergeben. Absolut gesehen weisen die Varianten "Solaranlage zur Heiz- u. Warmwasserunterstützung" und "Solaranlage zur H- u. WW-Unterstützung + H´T 20 % verbessert" des Beispielgebäudes Mehrfamilienhaus mit je 3,3 kWh/(m²a) den höchsten Energiebedarf resultierend aus der Instandhaltung auf.

Die Ergebnisse in den Abbildungen 26, 29, 32 und 35 zeigen, dass bei allen untersuchten Beispielgebäuden ein verbesserter Wärmedämmstandard zu einem erhöhten Primärenergieaufwand, nicht erneuerbar resultierend aus der Gebäudeherstellung führt. Beispielsweise steigt der Energieaufwand für die Herstellung des Beispielgebäudes Mehrfamilienhaus von 32,4 kWh/(m²a) um 5,9 % auf 34,3 kWh/(m²a), wenn das Gebäude verglichen zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard einen um 30 % verbesserten spezifischen Transmissionswärmeverlust H'_T aufweist.

Auf der anderen Seite sinkt durch die Optimierung des Transmissionswärmeverlusts durch die Gebäudehülle der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar für die Beheizung, Belüftung und Warmwasserversorgung der Beispielgebäude. Bei dem Beispielgebäude Mehrfamilienhaus fällt der Energiebedarf resultierend aus der Gebäudekonditionierung von 73,4 kWh/(m²a) um 20,4 % auf 58,4 kWh/(m²a), sofern der spezifische Transmissionswärmeverlust H'_T im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard um 30 % optimiert wird.

Insgesamt führt die Verbesserung der Wärmedämmqualität bei allen Beispielgebäuden zu einem verminderten Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar über den berechneten Gebäudelebenszyklus von 30 Jahren. Zum Beispiel sinkt der Energiebedarf des Beispielgebäudes Mehrfamilienhaus über den Betrachtungszeitraum von 108,5 kWh/(m²a) um insgesamt 12,0 % auf 95,4 kWh/(m²a), wenn das Gebäude verglichen zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard einen 30 % niedrigeren spezifischen Transmissionswärmeverlust H'_T aufweist.

Die Variierung der Transmissionswärmeverluste der Gebäudehüllen hat zu der Erkenntnis geführt, dass eine optimierte Wärmedämmung im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard im Neubausektor aus primärenergetischer, nicht erneuerbarer Sicht sinnvoll erscheint. Der energetische Mehraufwand für die Realisierung einer verbesserten Wärmedämmqualität kann durch die Energieeinsparung während der Gebäudekonditionierung mehr als ausgeglichen werden. Über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren kann der berechnete Energiebedarf im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard gesenkt werden.

Wird im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard ein Erdgas-Brennwertkessel (Variante 7) bzw. eine Solaranlage zur Heizungs- und Warmwasserunterstützung (Variante 8) bei den Berechnungen berücksichtigt, ändern sich die Ergebnisse für die Beispielgebäude entsprechend den Abbildungen 26, 29, 32 und 35 geringfügig.

Bei der Erdgas-Brennwertkessel-Variante sinkt beispielsweise der während des Betrachtungszeitraums ermittelte Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar des untersuchten Reihenhauses von 126,2 kWh/(m²a) um 1,0 % auf 125,0 kWh/(m²a), wenn anstatt eines Heizöl-Brennwertkessels ein Erdgas-Brennwertkessel bilanziert wird. Die Ursachen sind auf der einen Seite, dass beide Wärmeerzeuger eine vergleichbare Energieeffizienz aufweisen und die Primärenergiefaktoren der angesetzten Energieträger Heizöl bzw. Erdgas identisch sind [15]. Auf der anderen Seite hat Erdgas verglichen zu Heizöl einen ca. 5 % höheren Brennwert [15].

Wird am Beispiel des berechneten Reihenhauses anstatt einer Solaranlage zur unterstützenden Trinkwassererwärmung eine Solaranlage zur zusätzlichen Heizungsunterstützung berücksichtigt, sinkt der insgesamt ermittelte Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar von 126,2 kWh/(m²a) um 4,3 % auf 120,8 kWh/(m²a). Durch den Ansatz einer verdoppelten Kollektorfläche und eines zusätzlichen Pufferspeichers, im Vergleich zur Ausgangsvariante, kommt es einerseits zu einem Anstieg des Energieaufwands für die Herstellung und Instandsetzung des Beispielgebäudes um zusammen 1,7 kWh/(m²a). Andererseits bewirkt der Einsatz einer Solaranlage zur zusätzlichen Heizungsunterstützung, dass der Energiebedarf zur Gebäudekonditionierung um 7,1 kWh/(m²a) gesenkt werden kann, weil weniger nicht erneuerbares Heizöl zur Sicherstellung eines behaglichen Raumklimas während der Heizperiode verfeuert werden muss.

Entsprechend den Abbildungen 27, 30, 33 und 36 ändert sich der Primärenergieaufwand, nicht erneuerbar für die Herstellung und Instandhaltung der Beispielgebäude nur geringfügig im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard, wenn als Wärmeerzeuger anstatt eines Heizöl-Brennwertkessels in Kombination mit einer Solaranlage (zur unterstützenden Trinkwassererwärmung) eine Wärmepumpe angesetzt wird. Der Energieaufwand resultierend aus der Herstellung und Instandhaltung des berechne-

ten Einfamilienhauses sinkt beispielsweise verglichen zur Ausgangsvariante (EnEV-2014-Referenzgebäude) von 38,9 kWh/(m²a) um 0,4 % auf 38,7 kWh/(m²a), wenn als Wärmeerzeuger eine Sole-Wasser-Wärmepumpe berücksichtigt wird.

Im Gegensatz dazu führt der Ansatz einer Wärmepumpe im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard zu einer erheblichen Reduktion des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar für die Beheizung, Belüftung und Warmwasserversorgung der Beispielgebäude. Durch die rechnerische Berücksichtigung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe anstatt einer Wärmeerzeugerkombination aus Heizöl-Brennwertkessel und Solaranlage (zur unterstützenden Trinkwassererwärmung) sinkt der Energiebedarf des Beispielgebäudes Einfamilienhaus resultierend aus der Gebäudekonditionierung von 93,5 kWh/(m²a) um 70,5 % auf 27,5 kWh/(m²a).

Der starke Rückgang des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar für die Gebäudekonditionierung bei Berücksichtigung einer Wärmepumpe beruht zum einen auf der erhöhten Energieeffizienz einer Wärmepumpe verglichen zu einem Brennwertkessel. Zum anderen ist die erhebliche Reduktion auf den im Kapitel 5.5 vorgestellten Berechnungsansatz eines zukünftig sinkenden Primärenergiefaktors, nicht erneuerbar für den Energieträger Strom-Mix zurückzuführen. Somit wird bei den EnEV-2014-Referenzgebäudevarianten Heizöl als Hauptenergieträger mit einem über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren gleichbleibenden Primärenergiefaktor, nicht erneuerbar von 1,10 bilanziert [15]. Im Gegensatz dazu wird bei den Wärmepumpenvarianten nur Strom als nicht erneuerbarer Energieträger zur Gebäudekonditionierung berücksichtigt mit einem Anfangswert von 1,80 im Ausgangsjahr der Berechnungen und einem Endwert von 0,53 nach einem Gebäudelebenszyklus von 30 Jahren [83].

Betrachtet man die Abbildungen 27, 30, 33 und 36 weiter, wird deutlich, dass aus dem Ansatz eines Holzpelletkessels anstatt eines Heizöl-Brennwertkessels in Kombination mit einer Solaranlage (zur unterstützenden Trinkwassererwärmung) ähnliche Ergebnisse resultieren, wie bei der Bilanzierung einer Wärmepumpe. Wird z. B. für das untersuchte Reihenhaus als Wärmeerzeuger ein Holzpelletkessel im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard berücksichtigt, ergibt sich ein Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar von 41,2 kWh/(m²a) für die Gebäudeherstellung, von 2,2 kWh/(m²a) für die Gebäudeinstandhaltung und von 22,6 kWh/(m²a) für die Gebäudekonditionierung. Bei Ansatz einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe betragen die Ergebnisse 40,9 kWh/(m²a) (für Herstellung), 1,3 kWh/(m²a) (für Instandhaltung) bzw. 22,8 kWh/(m²a) (für Konditionierung).

Trotz der vergleichbaren primärenergetischen Ergebnisse ist zu beachten, dass die Varianten mit einem Holzpelletkessel verglichen zu den Wärmepumpenvarianten aus endenergetischer Sicht wesentlich schlechter abschneiden. Das bedeutet, dass für die Beheizung und Warmwasserversorgung der Beispielgebäude wesentlich mehr Endenergie aufgewendet werden muss, wenn anstatt einer Wärmepumpe ein Holzpelletkessel als Wärmeerzeuger eingesetzt wird. Andererseits wurde für Holzpellets mit einem Wert von 0,20 ein viel geringerer Primärenergiefaktor, nicht erneuerbar angesetzt für die Bilanzierung der Gebäudekonditionierung im Vergleich zum Energieträger Strom-Mix [15]. Insgesamt gleicht sich der endenergetische Nachteil des Einsatzes eines Holzpelletkessels anstatt einer Wärmepumpe mit dem Vorteil des niedrigeren Primärenergiefaktors von Holz in etwa aus.

Bei dem rechnerischen Ansatz einer zentralen Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftfunktion inklusive Wärmerückgewinnung (Variante 13) anstatt einer zentralen Abluftanlage entsprechend dem EnEV-2014-Referenzgebäudestandard haben sich alle Beispielgebäude gleich verhalten. Wie in den Abbildungen 27, 30, 33 und 36 zu sehen ist, kommt es durch eine materialmäßig umfangreichere Zu- und Abluftanlage verglichen zu einer Abluftanlage zu einem minimalen Anstieg des Primärenergieaufwands, nicht erneuerbar für die Gebäudeherstellung und -instandhaltung. Beispielsweise nimmt der Energieaufwand für die Herstellung und Instandhaltung des Beispielgebäudes Einfamilienhaus von zusammen 38,9 kWh/(m²a) um 1,0 % auf 39,3 kWh/(m²a) zu, wenn im Vergleich zur Ausgangsvariante eine zentrale Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftfunktion rechnerisch berücksichtigt wird.

Durch den Ansatz einer Wärmerückgewinnung mit einem Wärmebereitstellungsgrad von 90 % kann der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar resultierend aus der Gebäudekonditionierung und somit auch der gesamte Energiebedarf während des untersuchten Betrachtungszeitraums von 30 Jahren wesentlich gesenkt werden. Für das berechnete Einfamilienhaus hat sich insgesamt eine Reduktion von 132,4 kWh/(m²a) um 11,9 % auf 116,6 kWh/(m²a) während des bilanzierten Gebäudelebenszyklus ergeben. Diese Energieeinsparung kann zurückgeführt werden auf eine deutliche Minimierung der Lüftungswärmeverluste während des Gebäudebetriebs durch den Einsatz einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnungsfunktion.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich der Ansatz der untersuchten Einzelmaßnahmen (Varianten 2 bis 13) mit Ausnahme der Erdgas-Brennwertkessel-Variante jeweils bei allen untersuchten Beispielgebäuden aus primärenergetischer, nicht erneuerbarer Sicht gerechnet hat. Der energetische Mehraufwand für die Realisierung einer Einzelmaßnahme kann durch die Energieeinsparung während der Gebäudekonditionierung mehr als kompensiert werden. Über den betrachteten Gebäudelebenszyklus von 30 Jahren kann der berechnete Energiebedarf im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard gesenkt werden, wenn eine Einzelmaßnahme umgesetzt wird.

Betrachtet man die Einzelvarianten mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe, einer Sole-Wasser-Wärmepumpe, einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe bzw. einem Holzpelletkessel als Wärmeerzeuger der Beispielgebäude im Vergleich zu den zugehörigen KfW-Effizienzhaus-55-Varianten, sind bei dem Einfamilienhaus und der Doppelhaushälfte teilweise Auffälligkeiten bei den Ergebnissen zu entdecken.

Entsprechend den Abbildungen 27 und 28 (für das Einfamilienhaus) bzw. 30 und 31 (für die Doppelhaushälfte) weisen die KfW-Effizienzhaus-55-Varianten mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe (Variante 10), einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe (Variante 11) bzw. einem Holzpelletkessel (Variante 12) einen geringfügig höheren Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des betrachteten Gebäudelebenszyklus von 30 Jahren auf, verglichen zu den Einzelmaßnahmen-Varianten mit Ansatz dieser Wärmeerzeuger aber ohne Berücksichtigung einer verbesserten Wärmedämmqualität der Außenbauteile im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard (Variante 16, 17 bzw. 18). Für die Variante 12 des Beispielgebäudes Doppelhaushälfte (Holzpelletkessel als Einzelmaßnahme) hat sich beispielsweise rechnerisch ein Primärenergieaufwand, nicht erneuerbar von 39,9 kWh/(m²a) für die Gebäudeherstellung, -instandhaltung und -konditionierung über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ergeben. Wird entsprechend der Variante 18 zusätzlich eine Minimierung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H'_T (durch Wärmedämmmaßnahmen) zum Erreichen des KfW-Effizienzhaus-55-Standards angesetzt, erhöht sich der Energieaufwand der Doppelhaushälfte um 2,5 % auf 40,9 kWh/(m²a).

Bei Bilanzierung des Energieaufwands für die Beheizung, Belüftung und Warmwasserversorgung der Beispielgebäude gemäß der EnEV (unter Vernachlässigung der Gebäudeherstellung und -instandhaltung) würde sich hingegen für die Varianten mit einer Kombination aus den im Voraus genannten Wärmeerzeugern mit einer optimierten Gebäudehülle immer ein niedrigerer Energiebedarf ergeben, verglichen zu Berechnungen ohne eine verbesserte Wärmedämmqualität.

Bei den Beispielgebäuden Reihenhaus und Mehrfamilienhaus sind diese Auffälligkeiten nicht aufgetreten. Wurde in den Berechnungen zusätzlich zu den Wärmeerzeugern Luft-Wasser-Wärmepumpe, Sole-Wasser-Wärmepumpe, Wasser-Wasser-Wärmepumpe bzw. Holzpelletkessel eine Verminderung der Transmissionswärmeverluste um 30 % berücksichtigt, konnte der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des untersuchten Gebäudelebenszyklus geringfügig gesenkt werden, im Vergleich zum Verzicht auf Maßnahmen für eine verbesserte Wärmedämmqualität.

Führt man einen Vergleich durch zwischen den KfW-Effizienzhaus-55- und den KfW-Effizienzhaus-40-Varianten mit jeweils gleich angesetzten Wärmeerzeuger (Variante 16 geg. 19, Variante 17 geg. 20 und Variante 18 geg. 21) ergibt sich für die 55er Varianten überraschenderweise bei allen Beispielgebäuden entsprechend den Abbildungen 28, 31, 34 und 37 ein etwas geringerer Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des untersuchten Betrachtungszeitraums von 30 Jahren. Zum Beispiel beträgt der Energiebedarf der Doppelhaushälfte unter Ansatz einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe und einer Verbesserung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H'_T um 30 % (Variante 17 – KfW-Effizienzhaus-55) im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard 39,5 kWh/(m²a). Bei Berücksichtigung des gleichen Wärmeerzeugers und einer weiteren Optimierung des Transmissionswärmeverlusts durch Dämmmaßnahmen zum Erreichen des KfW-Effizienzhaus-40-Standards (Variante 20) steigt der Energieaufwand für die Herstellung, Instandhaltung und Konditionierung des Beispielgebäudes über 30 Jahre um 6,2 % auf 41,9 kWh/(m²a).

Die Ursache liegt darin, dass für den Schritt vom KfW-Effizienzhaus-55- zum KfW-Effizienzhaus-40-Standard mehr Primärenergie, nicht erneuerbar für die Herstellung von dickeren Wärmedämmstoffen aufgebracht werden muss, als was durch einen niedrigeren Energiebedarf während der Gebäudekonditionierung eingespart werden kann.

Auf Basis der Erkenntnisse aus der Variantenuntersuchung sollte in Zukunft das Effizienzhaus-Fördersystem der KfW-Bank kritisch hinterfragt und ggf. optimiert werden. Derzeit richten sich die Förderkonditionen für die Errichtung eines Neubaus nach der primärenergetischen, nicht erneuerbaren Energieeffizienz während des Gebäudebetriebs. Der Energieaufwand für die Herstellung und Instandhaltung von Gebäuden wird komplett vernachlässigt. Somit könnte aktuell ein Neubau mit einem höheren (schlechteren) Energiebedarf während des Gebäudelebenszyklus finanziell besser gefördert werden im Vergleich zu einem Gebäude mit einer besseren lebenszyklusbezogenen Energieeffizienz.

Die Tabellen 24 bis 27 sollen dem Vergleich dienen zwischen dem entsprechend der EnEV ermittelten Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar und dem auf Basis der weiterentwickelten EnEV-Ansätze berechneten Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des Gebäudelebenszyklus von 30 Jahren.

In der linken Spalte findet man jeweils die Variantennummerierung, wobei die zugehörigen Beschreibungen in Tabelle 23 zusammengestellt sind. Die zweite Spalte von links aus betrachtet enthält jeweils für jede Variante den Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar, der EnEV-konform aus Basis der Normenreihe DIN V 18599 [44] bestimmt wurde. In der dritten Spalte von links findet man die prozentuale Abweichung des Energiebedarfs der einzelnen Varianten im Vergleich zur Ausgangsvariante 1 "Referenzgebäude entsprechend EnEV 2014". Die vierte Spalte von links aus gesehen listet für jedes Beispielgebäude die Variantenreihenfolge hinsichtlich des Primärenergiebedarfs von hoch zu niedrig auf. Die drei rechten Spalten orientieren sich an den drei vorangestellten Spalten und enthalten jedoch Daten bzgl. des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar resultierend aus Gebäudeherstellung, -instandhaltung und -konditionierung während eines Betrachtungszeitraums von 30 Jahren.

Tabelle 24: Ergebnisvergleich für das Beispielgebäude Einfamilienhaus

Variante	EnEV			Weiterentwickelte EnEV		
	Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar Q'_P [kWh/(m²a)]	**Abweichung im Vergl. zu Variante 1 [%]**	**Rangfolge Q'_P (von hoch zu niedrig) [-]**	**Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar $\bar{Q}'_P$ [kWh/(m²a)]**	**Abweichung im Vergl. zu Variante 1 [%]**	**Rangfolge $\bar{Q}'_P$ (von hoch zu niedrig) [-]**
1	90,3	± 0,0	1	132,4	± 0,0	1
2	82,6	− 8,5	4	125,6	− 5,1	4
3	74,9	− 17,0	6	118,9	− 10,2	5
4	69,9	− 22,5	7	116,8	− 11,8	6
5	62,4	− 30,8	9	109,4	− 17,4	9
6	55,0	− 39,1	11	104,6	− 21,0	10
7	89,6	− 0,8	2	130,9	− 1,1	2
8	83,5	− 7,5	3	126,4	− 4,6	3
9	57,4	− 36,4	10	72,4	− 45,3	11
10	45,5	− 49,6	13	66,3	− 49,9	17
11	40,5	− 55,1	14	62,4	− 52,8	21
12	27,5	− 69,5	19	65,4	− 50,6	18
13	77,3	− 14,3	5	116,6	− 11,9	7
14	68,9	− 23,6	8	113,7	− 14,1	8
15	46,7	− 48,3	12	71,8	− 45,8	12
16	37,3	− 58,7	15	67,3	− 49,2	16
17	33,4	− 63,1	16	64,0	− 51,6	20
18	23,7	− 73,8	20	67,6	− 49,0	15
19	31,6	− 65,0	17	67,7	− 48,9	14
20	28,4	− 68,5	18	64,9	− 51,0	19
21	20,4	− 77,4	21	68,2	− 48,5	13

Tabelle 25: Ergebnisvergleich für das Beispielgebäude Doppelhaushälfte

Variante	EnEV			Weiterentwickelte EnEV		
	Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar Q'_P [kWh/(m²a)]	**Abweichung im Vergl. zu Variante 1 [%]**	**Rangfolge Q'_P (von hoch zu niedrig) [-]**	**Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar $\bar{Q}'_P$ [kWh/(m²a)]**	**Abweichung im Vergl. zu Variante 1 [%]**	**Rangfolge $\bar{Q}'_P$ (von hoch zu niedrig) [-]**
1	71,5	± 0,0	1	76,9	± 0,0	1
2	66,1	− 7,6	4	73,7	− 4,1	4
3	60,6	− 15,3	5	69,9	− 9,1	5
4	57,1	− 20,1	7	69,1	− 10,1	6
5	51,5	− 28,0	9	67,3	− 12,5	7
6	46,6	− 34,9	11	65,2	− 15,2	10
7	71,1	− 0,6	2	76,2	− 1,0	2
8	66,4	− 7,2	3	73,9	− 3,9	3
9	46,7	− 34,7	10	44,3	− 42,4	11
10	37,3	− 47,8	13	41,1	− 46,6	17
11	33,3	− 53,5	14	38,8	− 49,5	21
12	21,5	− 70,0	19	39,9	− 48,1	19
13	59,4	− 17,0	6	66,5	− 13,5	9
14	55,7	− 22,1	8	67,0	− 12,9	8
15	38,9	− 45,6	12	43,8	− 43,0	12
16	31,5	− 56,0	15	41,4	− 46,1	16
17	28,1	− 60,7	16	39,5	− 48,6	20
18	18,8	− 73,8	20	40,9	− 46,8	18
19	27,2	− 61,9	17	43,6	− 43,3	13
20	24,5	− 65,8	18	41,9	− 45,5	15
21	16,4	− 77,1	21	43,2	− 43,8	14

Tabelle 26: Ergebnisvergleich für das Beispielgebäude Reihenhaus

Variante	EnEV			Weiterentwickelte EnEV		
	Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar Q'_P [kWh/(m²a)]	Abweichung im Vergl. zu Variante 1 [%]	Rangfolge Q'_P (von hoch zu niedrig) [-]	Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar $\bar{Q}'_P$ [kWh/(m²a)]	Abweichung im Vergl. zu Variante 1 [%]	Rangfolge $\bar{Q}'_P$ (von hoch zu niedrig) [-]
1	70,3	± 0,0	1	126,2	± 0,0	1
2	65,0	− 7,5	3	120,3	− 4,7	4
3	59,8	− 15,0	5	114,5	− 9,3	5
4	56,5	− 19,6	7	112,0	− 11,3	6
5	51,4	− 26,9	9	107,1	− 15,2	9
6	46,2	− 34,2	10	102,8	− 18,5	10
7	69,8	− 0,7	2	125,0	− 1,0	2
8	64,9	− 7,8	4	120,8	− 4,3	3
9	46,2	− 34,3	11	73,8	− 41,5	11
10	37,0	− 47,4	13	68,6	− 45,7	13
11	33,0	− 53,0	14	65,0	− 48,5	19
12	20,7	− 70,6	19	66,0	− 47,7	17
13	58,1	− 17,4	6	109,1	− 13,6	8
14	54,8	− 22,1	8	109,7	− 13,1	7
15	39,1	− 44,4	12	71,4	− 43,4	12
16	31,5	− 55,2	15	67,2	− 46,7	15
17	28,2	− 59,9	16	64,1	− 49,2	21
18	17,9	− 74,5	20	65,4	− 48,2	18
19	27,3	− 61,2	17	67,6	− 46,4	14
20	24,5	− 65,1	18	64,9	− 48,6	20
21	15,8	− 77,6	21	66,3	− 47,5	16

Tabelle 27: Ergebnisvergleich für das Beispielgebäude Mehrfamilienhaus

Variante	EnEV			Weiterentwickelte EnEV		
	Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar Q'_P [kWh/(m²a)]	Abweichung im Vergl. zu Variante 1 [%]	Rangfolge Q'_P (von hoch zu niedrig) [-]	Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar $\overline{Q}'_P$ [kWh/(m²a)]	Abweichung im Vergl. zu Variante 1 [%]	Rangfolge $\overline{Q}'_P$ (von hoch zu niedrig) [-]
1	71,5	± 0,0	1	108,5	± 0,0	1
2	65,8	− 8,1	4	103,0	− 5,1	4
3	60,2	− 15,8	6	97,4	− 10,3	6
4	57,2	− 20,1	7	95,4	− 12,0	7
5	52,1	− 27,2	9	91,0	− 16,2	9
6	46,8	− 34,6	10	87,1	− 19,7	10
7	70,7	− 1,1	2	107,2	− 1,2	2
8	67,2	− 6,0	3	104,8	− 3,4	3
9	46,2	− 35,4	11	61,5	− 43,3	11
10	37,6	− 47,5	13	57,2	− 47,3	13
11	33,6	− 53,0	14	54,3	− 50,0	19
12	21,2	− 70,3	19	54,9	− 49,4	16
13	64,8	− 9,4	5	99,2	− 8,6	5
14	56,1	− 21,6	8	93,8	− 13,6	8
15	39,1	− 45,4	12	59,2	− 45,4	12
16	32,0	− 55,2	15	55,9	− 48,5	15
17	28,8	− 59,8	17	53,3	− 50,8	21
18	18,3	− 74,4	20	54,0	− 50,3	20
19	29,4	− 58,9	16	56,9	− 47,5	14
20	26,7	− 62,6	18	54,8	− 49,5	17
21	16,2	− 77,4	21	54,5	− 49,8	18

Schaut man sich in den Tabellen 24 bis 27 jeweils die Reihenfolge der Varianten mit einem verbesserten Wärmedämmniveau der Außenbauteile im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard an (Varianten 2 bis 6), fällt auf, dass es nur geringe Unterschiede zwischen den EnEV-konformen Ergebnissen und den Resultaten auf Basis der weiterentwickelten EnEV-Ansätze gibt.

Bei den Varianten 11 und 17 sind hingegen bei allen Beispielgebäuden deutliche Änderungen der Positionen in den Ranglisten zu verzeichnen, wenn abweichend zur EnEV der Primärenergieaufwand, nicht erneuerbar für Herstellung, Instandhaltung und Konditionierung der Häuser bilanziert wird.

Im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard wurde in der Variante 11 eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt eines Heizöl-Brennwertkessels in Kombination mit einer Solaranlage (zur unterstützenden Trinkwassererwärmung) als Wärmeerzeuger angesetzt. Beispielsweise nimmt diese Variante im EnEV-konformen Ranking der Doppelhaushälfte den 14. Platz ein mit einem Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar von 33,3 kWh/(m²a). Unter Anwendung der standardmäßigen EnEV-Berechnungsrandbedingungen haben somit 7 Varianten einen niedrigeren Energiebedarf im Vergleich zur Variante 11. Wird hingegen der Energieaufwand während des Gebäudelebenszyklus von 30 Jahren bewertet, weist die Variante 11 mit 38,8 kWh/(m²a) den geringsten Wert aller untersuchten Varianten der Doppelhaushälfte auf. Bei Anwendung der weiterentwickelten EnEV-Ansätze überholt die Variante 11 zum einen begünstigt durch die Berücksichtigung eines zukünftig sinkenden Primärenergiefaktors, nicht erneuerbar für den Energieträger Strom-Mix die Variante 12 mit einem Holzpelletkessel als

Wärmeerzeuger. Zum anderen überholt die Variante 11 alle KfW-Effizienzhaus-55- und KfW-Effizienzhaus-40-Varianten des Beispielgebäudes Doppelhaushälfte. Die Ursache ist, dass für das Erreichen eines KfW-Effizienzhaus-Standards mehr Primärenergie, nicht erneuerbar für die Herstellung von dickeren Wärmedämmstoffen und von Fenstern mit einer dritten Verglasungsschicht aufgewendet werden muss, als was durch einen niedrigeren Energiebedarf während der Gebäudekonditionierung eingespart werden kann.

Bei der Variante 17 handelt es sich um die KfW-Effizienzhaus-55-Berechnungen mit Ansatz einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe und eines durch Wärmedämmmaßnahmen um 30 % verminderten spezifischen Transmissionswärmeverlusts H'_T im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard. Bei allen Beispielgebäuden hat sich die Position dieser Variante in der Rangliste des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar um mindestens 4 Plätze geändert, wenn nicht mehr EnEV-konform, sondern mit den weiterentwickelten Ansätzen gerechnet wurde. Im EnEV-konformen Ranking des Beispielgebäudes Einfamilienhaus hat diese Variante ursprünglich den 16. Platz belegt mit einem Energiebedarf von 33,4 kWh/(m²a). Unter Berücksichtigung der Gebäudeherstellung, -instandhaltung und -konditionierung weist die Variante mit 64,0 kWh/(m²a) den zweitniedrigsten Energieaufwand auf und überholt somit fünf Varianten (Variante 19, 20, 12, 18 und 21). Drei dieser Varianten erfüllen den KfW-Effizienzhaus-40-Standard (Variante 19, 20 und 21). Somit konnte auch am Beispiel des Einfamilienhauses nachgewiesen werden, dass sich der Mehraufwand an Primärenergie, nicht erneuerbar zum Erreichen eines höheren energetischen Gebäudestandards nicht immer rechnet, wenn zusätzlich zur Gebäudekonditionierung auch der Energieaufwand für die Gebäudeherstellung und -instandhaltung bilanziert wird.

Aufgrund der mithilfe der Varianten 11 und 17 aufgezeigten Problematik wird empfohlen, in Zukunft das Effizienzhaus-Fördersystem der KfW-Bank kritisch zu hinterfragen und ggf. zu optimieren.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Mit diesem Forschungsprojekt wurde das Ziel verfolgt, das Berechnungsverfahren der EnEV sinnvoll weiterzuentwickeln, sodass zusätzlich zum Energiebedarf resultierend aus dem Gebäudebetrieb auch der Energieaufwand für die Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung von Gebäudekomponenten berücksichtigt werden kann. Dieses Verfahren soll sich an die im Jahr 2019 gültige EnEV anlehnen und den bisherigen primärenergetischen, nicht erneuerbaren Ansatz beibehalten.

Im Rahmen dieses Forschungsberichtes wurden zunächst die derzeit in Deutschland umzusetzenden Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden beschrieben. Es wurde eingegangen auf die EnEV [5] und das EEWärmeG [6].

Dann wurden vier reale Beispielgebäude präsentiert, die von den Praxispartnern für die Bearbeitung des Projektes zur Verfügung gestellt wurden. Es handelt sich dabei um ein Einfamilienhaus, eine Doppelhaushälfte, ein Reihenhaus und ein Mehrfamilienhaus.

Im Anschluss wurden bereits existierende Grundlagen für die Weiterentwicklung der EnEV vorgestellt. Neben den nationalen Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen BNB [35], DGNB [33] und NaWoh [54], welche Ansätze zur Berechnung des lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarfs enthalten, wurde die Norm DIN EN 15978 [39] beschrieben, die sich mit einer möglichen Aufteilung des Gebäudelebenszyklus in unterschiedliche Lebenszyklusstadien befasst. Außerdem wurde die Datenbank ÖKOBAUDAT [46] präsentiert, welche aus ca. 900 Datensätzen besteht und unter anderem Informationen bzgl. des Energieaufwands für die Herstellung und Entsorgung von Baustoffen und Gebäudekomponenten bereithält. Des Weiteren wurde das Gebäude-Ökobilanzierungstool eLCA [45] vorgestellt, das auf Grundlage der Eingabe von Mengenangaben zu Gebäudebestandteilen und der Erfassung von Bauteilaufbauten in der Lage ist unter anderem den Primärenergiebedarf während des Lebenszyklus eines Gebäudes zu berechnen.

Aufbauend auf dieses Grundlagenwissen wurden im Projektverlauf Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV unter Berücksichtigung des Gebäudelebenszyklus entwickelt und in diesem Bericht erläutert. Über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ist der mittlere Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar für die Gebäudeherstellung, -instandhaltung und -konditionierung zu berechnen. Dabei umfasst die Gebäudeherstellung den Energieaufwand für die Rohstoffbeschaffung, den Transport dieser Grundstoffe zu den Baustoffherstellern sowie die Produktion von Baumaterialien und Gebäudekomponenten. Für Baustoffe und Gebäudebestandteile mit einer kürzeren Nutzungsdauer im Vergleich zum Betrachtungszeitraum ist der Energiebedarf für die Herstellung baugleicher Ersatzkomponenten sowie für die Verwertung und Entsorgung der veralteten Bauteile zu bilanzieren, sofern ein Austausch realistisch erscheint. Der Energieaufwand für die Herstellung und Instandhaltung von Gebäuden kann mithilfe des eLCA-Tools berechnet werden, wobei das Programm auf die Datenbank ÖKOBAUDAT zurückgreift. Es sind unter Verwendung des Tools mögliche Außenwände, Kellerwände, Innenwände, Stützen, Fenster, Türen, Tore, Fundamente, Bodenplatten, Geschossdecken, Balkone, Treppen, Fußbodenaufbauten, Dächer, Wärmeerzeuger, Kälteerzeuger, Lüftungszentralen, Energiespeicher und Wärmeverteilleitungen von Häusern im Rahmen einer Mengenermittlung zu erfassen. Zum Ausgleich für vernachlässigte Gebäudebestandteile sind die Ergebnisse der Gebäudeherstellung und -instandhaltung mit einem Zuschlagsfaktor von 1,1 zu multiplizieren. Unter Verwendung einer EnEV-Software wie z. B. ZUB Helena Ultra [94] ist der Energiebedarf für die Gebäudekonditionierung auf Basis der Normenreihe DIN V 18599 [44] zu berechnen, wobei im Vergleich zur eLCA-Bilanzierung nur die beheizten Gebäu-

debereiche zu erfassen sind. Der Energiebedarf für die Gebäudekonditionierung entspricht bei Wohngebäuden dem Energieaufwand für die Beheizung, Kühlung, Belüftung und Warmwasserversorgung. Bei Nichtwohngebäuden ist zusätzlich noch der Energiebedarf für künstliche Beleuchtung zu erfassen [5]. Im Vergleich zu einer standardmäßigen DIN-V-18599-Bilanzierung ist jedoch für den Energieträger Strom-Mix ein zukünftig sinkender Primärenergiefaktor, nicht erneuerbar anzusetzen. Mithilfe von Microsoft Excel [62] können die Ergebnisse aus dem eLCA-Tool und einer EnEV-Software zusammengeführt werden, wobei der berechnete mittlere Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des Gebäudelebenszyklus zu beziehen ist auf die Netto-Raumfläche NRF entsprechend DIN 277-1 [41] aller Räume eines Hauses unter Nichtberücksichtigung von möglichen Fahrzeugabstellflächen und Fahrgassen.

Am Beispiel der von den Praxispartnern zur Verfügung gestellten realen Gebäuden wurden diese neuen Ansätze angewandt. Zum einen wurde untersucht, ob unterschiedliche baupraxisübliche Ausführungsvarianten der Beispielgebäude unter Berücksichtigung der weiterentwickelten EnEV-Ansätze rechnerisch abgebildet werden können. Das Ergebnis war, dass sich alle anvisierten 21 Varianten grundsätzlich bilanzieren ließen. Lediglich die ursprünglich geplante Berücksichtigung von Holzpelletlagern, Holzpelletfördersystemen und Blockheizkraftwerken konnte nicht realisiert werden, weil keine passenden Datensätze in der Datenbank ÖKOBAUDAT vorhanden waren. Und alternativ zu unterirdischen Heizöltanks wurden im Gebäude aufgestellte Öltanks angesetzt. Außerdem hat sich gezeigt, dass die Berücksichtigung von Lüftungszentralen ohne Wärmerückgewinnung nicht für alle Beispielgebäude ideal möglich war, weil die im eLCA-Tool verfügbaren ÖKOBAUDAT-Datensätze überdimensioniert für kleine Wohngebäude waren. Des Weiteren ist während der Recherche von Batteriedatensätzen aufgefallen, dass bei der Suche im eLCA-Tool keine Infos auffindbar waren, währenddessen direkt in der ÖKOBAUDAT ein passender Datensatz auftauchte. Diese Problematik konnte darauf zurückgeführt werden, dass im eLCA-Tool nicht die neuesten ÖKOBAUDAT-Daten abrufbar sind. Auffällig bei den angesetzten ÖKOBAUDAT-Datensätzen war weiterhin, dass diese regelmäßig keine Informationen bzgl. des Energieaufwands für die Entsorgung von veralteten Gebäudekomponenten enthielten.

Zum anderen wurde am Beispiel der Häuser berechnet und ausgewertet, wie sich der lebenszyklusbezogene mittlere Jahres-Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar ändert, wenn das Wärmedämmniveau der Gebäudehüllen und die technische Gebäudeausrüstung variiert wird.

Alle berechneten Varianten haben grundsätzlich ergeben, dass die Gebäudeinstandhaltung im Vergleich zur Herstellung und Konditionierung der Beispielgebäude nur einen geringen Anteil am Energiebedarf während des Gebäudelebenszyklus ausmacht. Dieses Ergebnis ist darauf zurückzuführen, dass während des Betrachtungszeitraums von 30 Jahren nur wenig Gebäudekomponenten ausgetauscht werden müssen.

Die Variierung der Wärmedämmqualität der Gebäudehüllen der Beispielhäuser hat zu der Erkenntnis geführt, dass eine optimierte Wärmedämmung im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard im Neubausektor aus primärenergetischer, nicht erneuerbarer Sicht sinnvoll erscheint. Der energetische Mehraufwand für die Realisierung einer verbesserten Wärmedämmqualität kann durch die Energieeinsparung während der Gebäudekonditionierung mehr als ausgeglichen werden. Der berechnete lebenszyklusbezogene Energiebedarf kann im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard gesenkt werden.

Wurde im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard als Wärmeerzeuger anstatt eines Heizöl-Brennwertkessels in Kombination mit einer Solaranlage zur Warmwasserunterstützung eine

Luft-Wasser-Wärmepumpe, eine Sole-Wasser-Wärmepumpe, eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe, ein Holzpelletkessel oder eine Solaranlage zur Heiz- und Warmwasserunterstützung angesetzt, so konnte der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des untersuchten Gebäudelebenszyklus insgesamt gesenkt werden.

Speziell bei der Berücksichtigung einer Wärmepumpe war zu beobachten, dass sich der Energieaufwand für die Herstellung und Instandhaltung der Beispielgebäude nur geringfügig im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard geändert hat. Im Gegensatz dazu ist der Energiebedarf für die Gebäudekonditionierung erheblich gesunken. Der starke Rückgang beruht zum einen auf der erhöhten Energieeffizienz einer Wärmepumpe verglichen zu einem Brennwertkessel. Zum anderen ist die starke Reduktion auf den Ansatz eines zukünftig sinkenden Primärenergiefaktors, nicht erneuerbar für den Energieträger Strom-Mix zurückzuführen.

Aus der Berücksichtigung eines Holzpelletkessels resultierten vergleichbare primärenergetische Ergebnisse, wie bei der Bilanzierung einer Wärmepumpe. Aus endenergetischer Sicht schneiden die Varianten mit einem Holzpelletkessel jedoch wesentlich schlechter ab. Das bedeutet, dass für die Beheizung und Warmwasserversorgung der Beispielgebäude wesentlich mehr Endenergie aufgewendet werden muss, wenn anstatt einer Wärmepumpe ein Holzpelletkessel als Wärmeerzeuger eingesetzt wird. Andererseits wurde für Holzpellets mit einem Wert von 0,20 ein viel geringerer Primärenergiefaktor, nicht erneuerbar angesetzt für die Bilanzierung der Gebäudekonditionierung im Vergleich zum Energieträger Strom-Mix. Insgesamt gleicht sich der endenergetische Nachteil des Einsatzes eines Holzpelletkessels anstatt einer Wärmepumpe mit dem Vorteil des niedrigen Primärenergiefaktors von Holz in etwa aus.

Wurde anstatt einer Solaranlage zur unterstützenden Trinkwassererwärmung eine Solaranlage zur zusätzlichen Heizungsunterstützung mit verdoppelter Kollektorfläche angesetzt, kam es einerseits zu einem Anstieg des Primärenergieaufwands, nicht erneuerbar für die Herstellung und Instandsetzung der Beispielgebäude. Andererseits bewirkte der Einsatz einer Solaranlage zur zusätzlichen Heizungsunterstützung, dass der Energiebedarf zur Gebäudekonditionierung gesenkt werden konnte, weil weniger nicht erneuerbares Heizöl zur Sicherstellung eines behaglichen Raumklimas während der Heizperiode verfeuert werden muss. Die Energieeinsparung als Folge der Heizungsunterstützung ist größer als der energetische Mehraufwand für die Verdopplung der Kollektorfläche und einen zusätzlichen Pufferspeicher, sodass der Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des betrachteten Lebenszyklus der Beispielgebäude im einstelligen Prozentbereich gesenkt werden konnte.

Bei dem rechnerischen Ansatz einer zentralen Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftanlage inklusive Wärmerückgewinnung anstatt einer zentralen Abluftanlage entsprechend dem EnEV-2014-Referenzgebäudestandard kam es bedingt durch Materialmehraufwand zu einem minimalen Anstieg des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar für die Gebäudeherstellung und -instandhaltung. Durch die Berücksichtigung einer Wärmerückgewinnung mit einem Wärmebereitstellungsgrad von 90 % konnte der Energieaufwand für die Gebäudekonditionierung und somit auch der gesamte Energiebedarf während des Gebäudelebenszyklus wesentlich gesenkt werden. Diese Energieeinsparung war zurückzuführen auf eine deutliche Minimierung der Lüftungswärmeverluste während des Gebäudebetriebs durch den Einsatz einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnungsfunktion.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich der Ansatz der betrachteten Einzelmaßnahmen mit Ausnahme der Erdgas-Brennwertkessel-Variante jeweils bei allen untersuchten Beispielgebäuden aus primärenergetischer, nicht erneuerbarer Sicht gerechnet hat. Der energetische Mehraufwand für die Realisierung einer Einzelmaßnahme kann durch die Energieeinsparung während der Gebäudekonditionierung mehr

als kompensiert werden. Über den betrachteten Gebäudelebenszyklus von 30 Jahren konnte der berechnete Energiebedarf im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard gesenkt werden, wenn eine Einzelmaßnahme umgesetzt wurde.

Ein Vergleich zwischen den KfW-Effizienzhaus-55- und den KfW-Effizienzhaus-40-Varianten mit jeweils gleich angesetzten Wärmeerzeuger hat ergeben, dass die 55er Varianten überraschenderweise bei allen Beispielgebäuden einen etwas niedrigeren Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar während des Gebäudelebenszyklus aufweisen. Die Ursache liegt darin, dass für den Schritt vom KfW-Effizienzhaus-55- zum KfW-Effizienzhaus-40-Standard mehr Primärenergie, nicht erneuerbar für die Herstellung von dickeren Wärmedämmstoffen aufgebracht werden muss, als was durch einen niedrigeren Energiebedarf resultierend aus der Gebäudekonditionierung eingespart werden kann.

Außerdem haben die Berechnungen gezeigt, dass Varianten nur mit einer Wärmepumpe bzw. einem Holzpelletkessel als Wärmeerzeuger verglichen zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard teilweise einen niedrigeren lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar aufgewiesen haben, im Vergleich zu KfW-EH-55- und KfW-EH-40-Varianten mit gleichem Wärmeerzeuger aber zusätzlicher Wärmedämmung. Eine Kombination aus alternativem Wärmeerzeuger und verbesserter Wärmedämmung im Vergleich zum EnEV-2014-Referenzgebäudestandard rechnet sich also nicht automatisch.

Auf Basis der Erkenntnisse aus der Variantenuntersuchung sollte in Zukunft das Effizienzhaus-Fördersystem der KfW-Bank kritisch hinterfragt und ggf. optimiert werden. Derzeit richten sich die Förderkonditionen nach der primärenergetischen, nicht erneuerbaren Energieeffizienz während des Gebäudebetriebs. Der Energieaufwand für die Herstellung und Instandhaltung von Gebäuden wird komplett vernachlässigt. Somit könnte derzeit ein Neubau mit einem höheren (schlechteren) Energiebedarf während des Gebäudelebenszyklus finanziell besser gefördert werden im Vergleich zu einem Gebäude mit einer besseren lebenszyklusbezogenen Energieeffizienz.

Das Forschungsprojekt hat bestätigt, dass der Energieaufwand für die Herstellung und Instandhaltung von Gebäuden einen großen Anteil am lebenszyklusbezogenen Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar ausmacht. Hinsichtlich des Energiebedarfs für die Gebäudeherstellung und -instandhaltung sind im Moment jedoch noch keine gesetzlichen Vorgaben zu erfüllen. Und auch mit der geplanten Einführung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) [100] wird sich an dieser Problematik nichts ändern. Es sind somit große Energieeinsparpotenziale im Gebäudesektor vorhanden, die im Sinne des Klimaschutzes gesteuert durch neue energetische Anforderungen erschlossen werden können. Durch Anwendung des in diesem Bericht vorgestellten Verfahrens zur Berechnung des lebenszyklusbezogenen Gebäudeenergiebedarfs kann ein wichtiger Beitrag zur Aktivierung dieser bisher ungenutzten Potenziale und zur Senkung der CO_2-Emissionen im Gebäudesektor geleistet werden.

Aber aus Sicht der Autoren sind noch weitere Forschungsaktivitäten notwendig, um lebenszyklusbezogene energetische Gebäudeanforderungen in Deutschland gesetzlich einführen zu können. So müssen sinnvolle Anforderungswerte auf Basis von Kostenoptimalitätsberechnungen entsprechend den Vorgaben der Europäischen Gebäuderichtlinie [26, 101–103] festgelegt werden. Und für energetisch zu sanierende Gebäude könnte das in diesem Bericht erläuterte Verfahren noch angepasst werden.

Außerdem könnten weitere Forschungsarbeiten dabei helfen, die Praxistauglichkeit der beschriebenen Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV zu optimieren. So könnte die Entwicklung einer Methode zur vereinfachten Bilanzierung des Innenausbaus erstrebenswert sein, um bei Sicherstellung einer ausreichenden Berechnungsgenauigkeit den Aufwand für eine lebenszyklusbezogene energetische Gebäudebewertung erheblich zu reduzieren.

Auch mithilfe einer Weiterentwicklung des eLCA-Tools könnte der Berechnungsaufwand minimiert werden. Durch die Möglichkeit des Ansatzes von zukünftig sinkenden Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar von Energieträgern und der Berücksichtigung eines frei wählbaren Zuschlagsfaktors zum Ausgleich von vernachlässigen Gebäudekomponenten könnte auf den Einsatz von Microsoft Excel zur Ergebniszusammenführung verzichtet werden. Des Weiteren könnte der Zeitaufwand für die Bilanzierung eines Gebäudes optimiert werden, wenn die Gesamtheit der Fensterflächen unter Zugrundelegung von Verglasungs- und Rahmeneigenschaften vereinfacht erfasst werden könnte. Außerdem wird vorgeschlagen im eLCA-Tool den Rückgriff auf aktuelle ÖKOBAUDAT-Datensätze zu ermöglichen.

Aber auch in der Datenbank ÖKOBAUDAT selbst wird Optimierungspotenzial gesehen. Auf der einen Seite könnte die Datenbasis für die Abbildung von Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung noch ausgebaut werden. Auf der anderen Seite könnte die Datenbank unter Umständen ausgedünnt werden, um doppelte Materialdatensätze zu vermeiden. Weiterhin wird in Zukunft vorrausichtlich der Energieaufwand, nicht erneuerbar für die Herstellung und Entsorgung von Gebäudebestandteilen sinken durch den vermehrten Einsatz von erneuerbaren Energien. Diese Entwicklung könnte man bei der Bilanzierung des Austausches und der Entsorgung von veralteten Gebäudekomponenten berücksichtigen, sofern der Ansatz von zukünftig sinkenden Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar in die ÖKOBAUDAT eingearbeitet wird.

Der Ansatz von in Zukunft sinkenden Primärenergiefaktoren, nicht erneuerbar könnte aber auch in bestehende EnEV-Programme implementiert werden. Im Idealfall könnte der Bearbeitungsaufwand noch weiter reduziert werden, indem eine neue Software entwickelt wird, welche die in diesem Bericht vorgestellten Ansätze zur Weiterentwicklung der EnEV umsetzt und es somit ermöglicht, mit nur noch einem Programm den Energiebedarf während des Gebäudelebenszyklus berechnen zu können.

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass die Umstellung der energetischen Gebäudebewertung von Betrachtung der Gebäudekonditionierung hin zu einer zusätzlichen Bilanzierung des Energieaufwands für die Herstellung und Instandhaltung von Gebäuden die zentrale Basis für Weiterentwicklungen darstellt. Denn das in diesem Forschungsprojekt entwickelte Verfahren kann sehr einfach adaptiert werden, um die CO_2-Emissionen während des Gebäudelebenszyklus zu ermitteln.

Anhang

A Kriterientabelle zum Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)

Tabelle 28: Kriterientabelle für Büro- und Verwaltungsgebäude im BNB [35]

ÖKOLOGISCHE QUALITÄT			**22,5%**
Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt			
1.1.1	Treibhauspotenzial (GWP)	3	3,750%
1.1.2	Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	1	1,250%
1.1.3	Ozonbildungspotenzial (POCP)	1	1,250%
1.1.4	Versauerungspotenzial (AP)	1	1,250%
1.1.5	Überdüngungspotenzial (EP)	1	1,250%
1.1.6	Risiken für die lokale Umwelt	3	3,750%
1.1.7	Nachhaltige Materialgewinnung / Biodiversität	1	1,250%
Ressourceninanspruchnahme			
1.2.1	Primärenergiebedarf	3	3,750%
1.2.3	Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen	2	2,500%
1.2.4	Flächeninanspruchnahme	2	2,500%
ÖKONOMISCHE QUALITÄT			**22,5%**
Lebenszykluskosten			
2.1.1	Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus	3	11,250%
Wirtschaftlichkeit und Wertstabilität			
2.2.1	Flächeneffizienz	1	3,750%
2.2.2	Anpassungsfähigkeit	2	7,500%
SOZIOKULTURELLE UND FUNKTIONALE QUALITÄT			**22,5%**
Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit			
3.1.1	Thermischer Komfort	3	2,935%
3.1.3	Innenraumlufthygiene	3	2,935%
3.1.4	Akustischer Komfort	1	0,978%
3.1.5	Visueller Komfort	3	2,935%
3.1.6	Einflussnahmemöglichkeiten durch Nutzer	2	1,957%
3.1.7	Aufenthaltsqualitäten	1	0,978%
3.1.8	Sicherheit	1	0,978%
Funktionalität			
3.2.1	Barrierefreiheit	2	1,957%
3.2.4	Zugänglichkeit	2	1,957%
3.2.5	Mobilitätsinfrastruktur	1	0,978%
Sicherung der Gestaltungsqualität			
3.3.1	Gestalterische und städtebauliche Qualität	3	2,935%
3.3.2	Kunst am Bau	1	0,978%
TECHNISCHE QUALITÄT			**22,5%**
Technische Ausführung			
4.1.1	Schallschutz	2	4,500%
4.1.2	Wärme- und Tauwasserschutz	2	4,500%
4.1.3	Reinigungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit	2	4,500%
4.1.4	Rückbau, Trennung und Verwertung	2	4,500%
4.1.5	Widerstandsfähigkeit gegen Naturgefahren	1	2,250%
4.1.6	Bedienungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit der TGA	1	2,250%
PROZESSQUALITÄT			**10,0%**
Planung			
5.1.1	Projektvorbereitung	3	1,429%
5.1.2	Integrale Planung	3	1,429%
5.1.3	Komplexität und Optimierung der Planung	3	1,429%
5.1.4	Ausschreibung und Vergabe	2	0,952%
5.1.5	Voraussetzungen für eine optimale Bewirtschaftung	2	0,952%
Bauausführung			
5.2.1	Baustelle / Bauprozess	2	0,952%
5.2.2	Qualitätssicherung der Bauausführung	3	1,429%
5.2.3	Systematische Inbetriebnahme	3	1,429%
STANDORTMERKMALE			
Standortmerkmale			
6.1.1	Risiken am Mikrostandort	2	–
6.1.2	Verhältnisse am Mikrostandort	2	–
6.1.3	Quartiersmerkmale	2	–
6.1.4	Verkehrsanbindung	3	–
6.1.5	Nähe zu nutzungsrelevanten Einrichtungen	2	–
6.1.6	Anliegende Medien / Erschließung	2	–

B Kriterientabelle zum Zertifizierungssystem der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)

Tabelle 29: Kriterientabelle zum DGNB-Zertifizierungssystem nach [33]

THEMENFELD	KRITERIEN-GRUPPE	KRITERIUM	BÜRO		BILDUNG		WOHNEN		HOTEL		VERBRAUCHER-MARKT		SHOPPING-CENTER		GESCHÄFTS-HAUS		LOGISTIK		PRODUKTION	
ÖKOLOGISCHE QUALITÄT (ENV)	WIRKUNGEN AUF GLOBALE UND LOKALE UMWELT (ENV1)	ENV1.1	8	9,5%	8	9,5%	8	9,5%	8	9,5%	8	9,5%	8	9,0%	8	9,5%	8	9,5%	8	9,5%
		ENV1.2	4	4,7%	4	4,7%	4	4,7%	4	4,7%	4	4,7%	4	4,5%	4	4,7%	4	4,7%	4	4,7%
		ENV1.3	2	2,4%	2	2,4%	2	2,4%	2	2,4%	2	2,4%	2	2,3%	2	2,4%	2	2,4%	2	2,4%
	RESSOURCEN-INANSPRUCH-NAHME UND ABFALL-AUFKOMMEN (ENV2)	ENV2.2	2	2,4%	2	2,4%	2	2,4%	2	2,4%	2	2,4%	2	2,3%	2	2,4%	2	2,4%	2	2,4%
		ENV2.3	2	2,4%	2	2,4%	2	2,4%	2	2,4%	2	2,4%	3	3,4%	2	2,4%	2	2,4%	2	2,4%
		ENV2.4	1	1,2%	1	1,2%	1	1,2%	1	1,2%	1	1,2%	1	1,1%	1	1,2%	1	1,2%	1	1,2%
ÖKONOMISCHE QUALITÄT (ECO)	LEBENS-ZYKLUSKOS-TEN (ECO1)	ECO1.1	4	10,0%	4	10,0%	4	10,0%	4	10,0%	4	10,0%	4	10,0%	4	10,0%	4	10,0%	4	12,9%
	WERTENT-WICKLUNG (ECO2)	ECO2.1	3	7,5%	3	7,5%	3	7,5%	3	7,5%	3	7,5%	3	7,5%	3	7,5%	3	7,5%	3	9,6%
		ECO2.2	2	5,0%	2	5,0%	2	5,0%	2	5,0%	2	5,0%	2	5,0%	2	5,0%	2	5,0%	0	0%
SOZIOKULTURELLE UND FUNKTIONALE QUALITÄT (SOC)	GESUNDHEIT, BEHAGLICH-KEIT UND NUTZERZU-FRIEDENHEIT (SOC1)	SOC1.1	4	4,1%	4	3,6%	4	4,3%	4	3,9%	4	4,5%	4	4,5%	4	4,5%	4	4,3%	4	4,3%
		SOC1.2	5	5,1%	5	4,5%	5	5,4%	5	4,9%	4	4,5%	4	4,5%	4	4,5%	5	5,4%	5	5,4%
		SOC1.3	2	2,0%	3	2,7%	0	0%	3	2,9%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
		SOC1.4	3	3,1%	3	2,7%	3	3,2%	2	2,0%	3	3,4%	3	3,4%	3	3,4%	3	3,2%	3	3,2%
		SOC1.5	2	2,0%	2	1,8%	2	2,1%	2	2,0%	2	2,3%	2	2,3%	2	2,3%	0	0%	0	0%
		SOC1.6	2	2,0%	2	1,8%	2	2,1%	2	2,0%	2	2,3%	2	2,3%	2	2,3%	5	5,4%	5	5,4%
		SOC1.7	1	1,0%	2	1,8%	1	1,1%	2	2,0%	1	1,1%	1	1,1%	1	1,1%	4	4,3%	4	4,3%
	FUNKTIONA-LITÄT (SOC2)	SOC2.1	3	3,1%	4	3,6%	4	4,3%	3	2,9%	4	4,5%	4	4,5%	4	4,5%	0	0%	0	0%
TECHNISCHE QUALITÄT (TEC)	QUALITÄT DER TECHNISCHEN AUSFÜHRUNG (TEC1)	TEC1.2	3	2,3%	3	2,3%	3	2,3%	3	2,3%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
		TEC1.3	4	3,0%	4	3,0%	4	3,0%	4	3,0%	3	2,6%	3	2,6%	3	2,6%	4	3,3%	4	3,3%
		TEC1.4	3	2,3%	3	2,3%	3	2,3%	3	2,3%	3	2,6%	3	2,6%	3	2,6%	3	2,5%	3	2,5%
		TEC1.5	2	1,5%	2	1,5%	2	1,5%	2	1,5%	2	1,8%	2	1,8%	2	1,8%	2	1,7%	2	1,7%
		TEC1.6	4	3,0%	4	3,0%	4	3,0%	4	3,0%	4	3,5%	4	3,5%	4	3,5%	4	3,3%	4	3,3%
		TEC1.7	1	0,8%	1	0,8%	1	0,8%	1	0,8%	2	1,8%	2	1,8%	2	1,8%	2	1,7%	2	1,7%
		TEC3.1	3	2,3%	3	2,3%	3	2,3%	3	2,3%	3	2,6%	3	2,6%	3	2,6%	3	2,5%	3	2,5%
PROZESSQUALITÄT (PRO)	QUALITÄT DER PLANUNG (PRO1)	PRO1.1	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%
		PRO1.4	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%
		PRO1.5	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%
		PRO1.6	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%
	QUALITÄT DER BAUAUSFÜH-RUNG (PRO2)	PRO2.1	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%
		PRO2.2	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%
		PRO2.3	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%	3	1,6%
		PRO2.4	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%
		PRO2.5	1	0,5%	1	0,5%	1	0,5%	1	0,5%	1	0,5%	1	0,5%	1	0,5%	1	0,5%	1	0,5%
STANDORT-QUALITÄT (SITE)	STANDORT-QUALITÄT (SITE1)	SITE1.1	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%
		SITE1.2	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%
		SITE1.3	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%	2	1,1%
		SITE1.4	3	1,7%	3	1,7%	3	1,7%	3	1,7%	3	1,7%	3	1,7%	3	1,7%	3	1,7%	3	1,7%

Bedeutungsfaktor
Anteil an der Gesamtbewertung

C Kriterientabellen zum Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh)

1. Wohnqualität

Tabelle 30: Kriterientabelle Wohnqualität zum Qualitätssiegel NaWoh nach [104]

Nummer	Steckbrief mit Teilindikatoren
3-stufig	
1.1.1	**Funktionale Qualität der Wohnungen**
1.1.1-1	Funktionalität der Wohnbereiche
1.1.1-2	Funktionalität der Koch- und Essbereiche
1.1.1-3	Funktionalität der Sanitärbereiche
1.1.1-4	Vorhandensein von Stau- und Trockenraum
1.1.2	**Freisitze / Außenraum**
	Vorhandensein von Balkon, Terrasse, Mietergärten
1.1.3	**Barrierefreiheit - Zugang und Wohnungen**
1.1.3-1	Barrierefreiheit des Zugangs zum Gebäude
1.1.3-2	Barrierefreiheit des Zugangs zu Wohnungen
1.1.3-3	Grad der Barrierefreiheit innerhalb der Wohnungen
1.1.4	**Stellplätze**
1.1.4-1	Stellplätze für Fahrräder
1.1.4-2	Stellplätze für Kinderwagen / Rollatoren
1.1.4-3	Stellplätze für PKW / Mobilitätskonzept
1.1.5	**Freiflächen**
1.1.5-1	Freiflächen für die Allgemeinheit
1.1.5-2	Freiflächen für Kinder
1.1.5-3	Freiflächen für Jugendliche
1.1.6	**Thermischer Komfort**
	Thermische Behaglichkeit im Sommer
beschreibend	
1.2.1	**Visueller Komfort / Tageslichtversorgung**
1.2.2	**Raumluftqualität**
1.2.3	**Sicherheit**
1.2.4	**Flächenverhältnisse**
1.2.5	**Einrichtungen zum Müllsammeln und -trennen**
1.2.6	**Gestalterische und städtebauliche Qualität**

2. Technische Qualität

Tabelle 31: Kriterientabelle Technische Qualität zum Qualitätssiegel NaWoh nach [104]

Nummer	Steckbrief mit Teilindikatoren
3-stufig	
2.1.1	**Schallschutz**
2.1.1-1	Schallschutz gegen Außenlärm
2.1.1-2	Luft- und Trittschallschutz
2.1.1-3	Schallschutz gegen Körperschall / Installationen
2.1.2	**Energetische Qualität**
	Effizienzniveau
2.1.3	**Effizienz der Haustechnik**
	Effizienz der Haustechnik
2.1.4	**Lüftung**
	Lüftung
beschreibend	
2.2.1	**Brandschutz**
2.2.2	**Feuchteschutz**
2.2.3	**Luftdichtheit der Gebäudehülle**
2.2.4	**Reaktion auf standortbezogene Gegebenheiten**
2.2.4-1	Reaktion auf erhöhtes Radon-Vorkommen
2.2.4-2	Reaktion auf erhöhtes Hochwasser-Risiko
2.2.4-3	Reaktion auf erhöhtes Sturm-Risiko
2.2.5	**Dauerhaftigkeit**
2.2.6	**Wartungsfreundlichkeit / Nachrüstbarkeit TGA**
2.2.7	**Rückbau- / Recyclingfreundlichkeit der Baukonstruktion**

3. Ökologische Qualität

Tabelle 32: Kriterientabelle Ökologische Qualität zum Qualitätssiegel NaWoh nach [104]

Nummer	Steckbrief mit Teilindikatoren
3-stufig	
3.1.1	**Ökobilanz – Teil 1**
	Treibhauspotenzial
3.1.2	**Primärenergiebedarf**
3.1.2-1	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar
3.1.2-2	Primärenergiebedarf erneuerbar
3.1.3	**Flächeninanspruchnahme und Flächenversiegelung**
3.1.3-1	Flächeninanspruchnahme
3.1.3-2	Flächenversiegelung
beschreibend	
3.2.1	**Ökobilanz – Teil 2**
3.2.2	**Energiegewinnung für Mieter und Dritte**
3.2.3	**Trinkwasserbedarf**
3.2.4	**Vermeidung von Schadstoffen**
3.2.5	**Einsatz von zertifiziertem Holz**

4. Ökonomische Qualität

Tabelle 33: Kriterientabelle Ökonomische Qualität zum Qualitätssiegel NaWoh nach [104]

Nummer	Steckbrief mit Teilindikatoren
3-stufig	
4.1.1	Lebenszykluskosten
	Ausgewählte Kosten im Lebenszyklus
4.1.2	Werthaltigkeit der Investition
	Investitionskosten / Marktwert
beschreibend	
4.2.1	Langfristige Wertstabilität

5. Prozessqualität

Tabelle 34: Kriterientabelle Prozessqualität zum Qualitätssiegel NaWoh nach [104]

Nummer	Steckbrief mit Teilindikatoren
3-stufig	
5.1.1	Qualität der Bauausführung / Messungen
	Qualität der Bauausführung / Messungen
beschreibend	
5.2.1	Qualität der Projektvorbereitung
5.2.1-1	Integraler Prozess
5.2.1-2	Bedarfsplanung
5.2.2	Dokumentation
5.2.2-1	Objektdokumentation
5.2.2-2	Produktdokumentation
5.2.3	Übergabe / Einweisung
5.2.3-1	Einweisung Personal
5.2.3-2	Bereitstellung von Informationen für Nutzer
5.2.4	Inbetriebnahme / Einregulierung
5.2.5	Voraussetzung für Bewirtschaftung
5.2.6	Reinigungs- / Wartungs- / Instandhaltungsplan

D Bauzeichnungen zum Beispielgebäude Einfamilienhaus

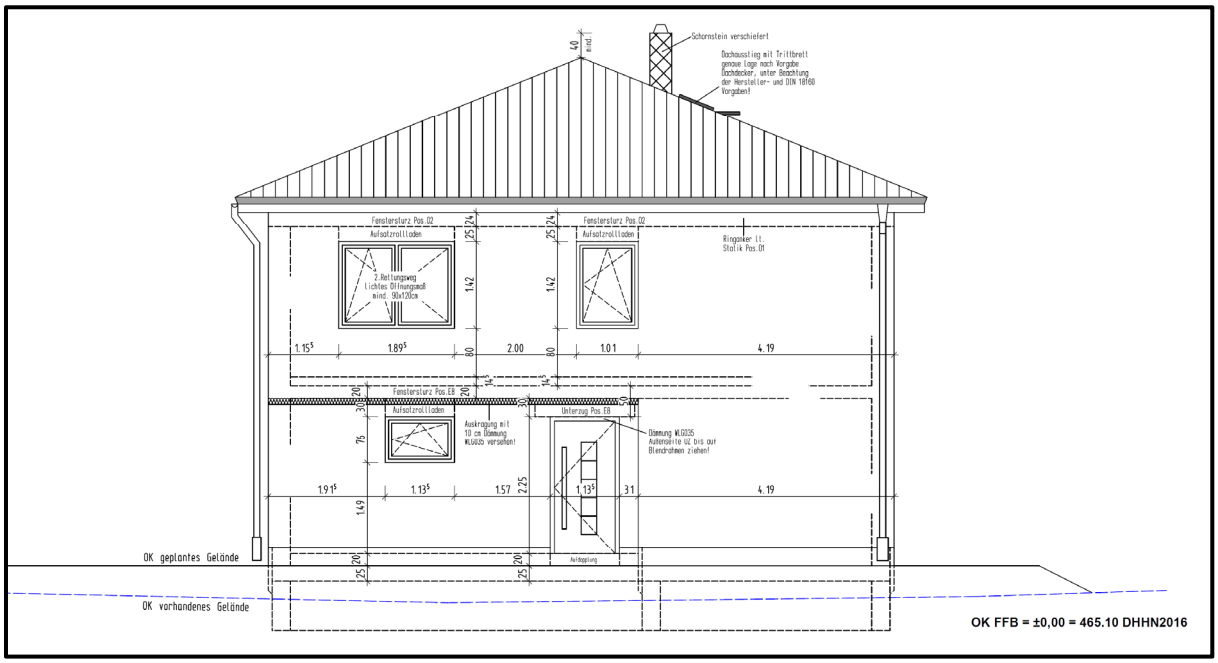


Abbildung 38: Ansicht Nord zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27]

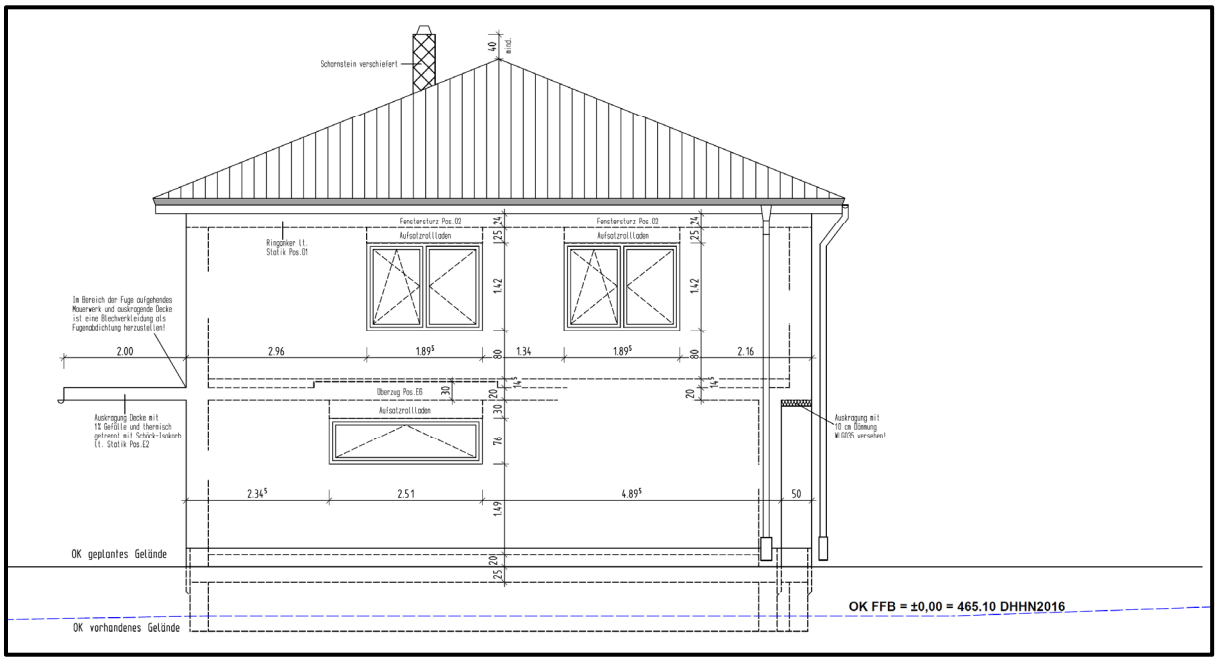


Abbildung 39: Ansicht Ost zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27]

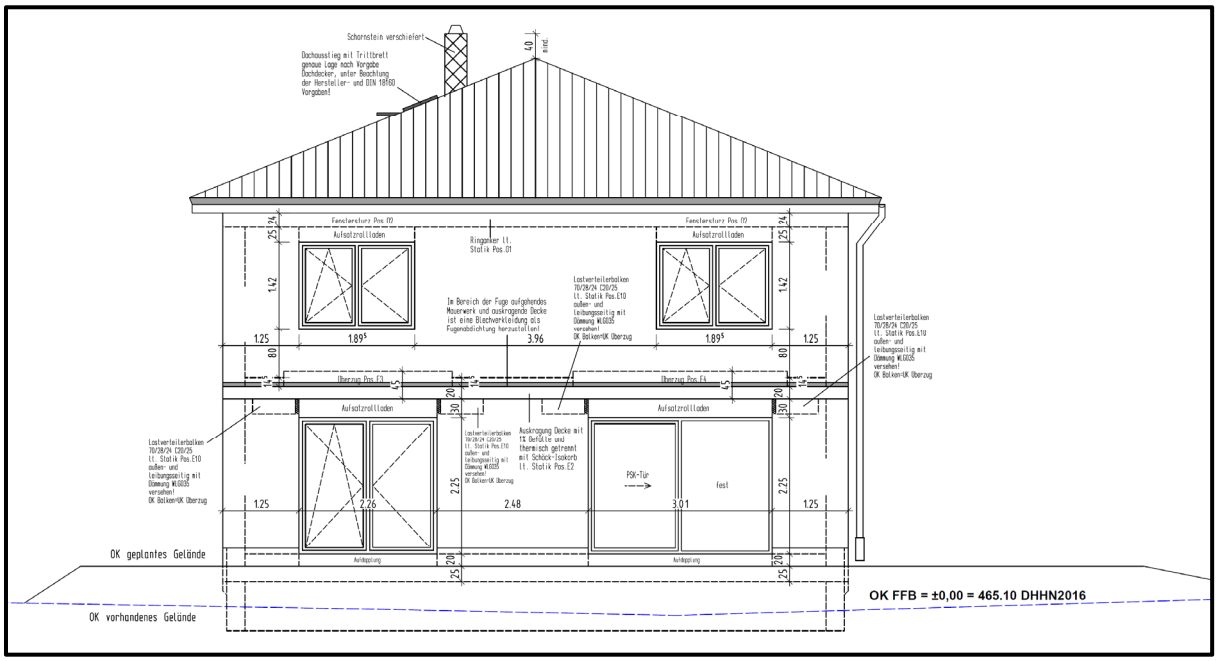


Abbildung 40: Ansicht Süd zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27]

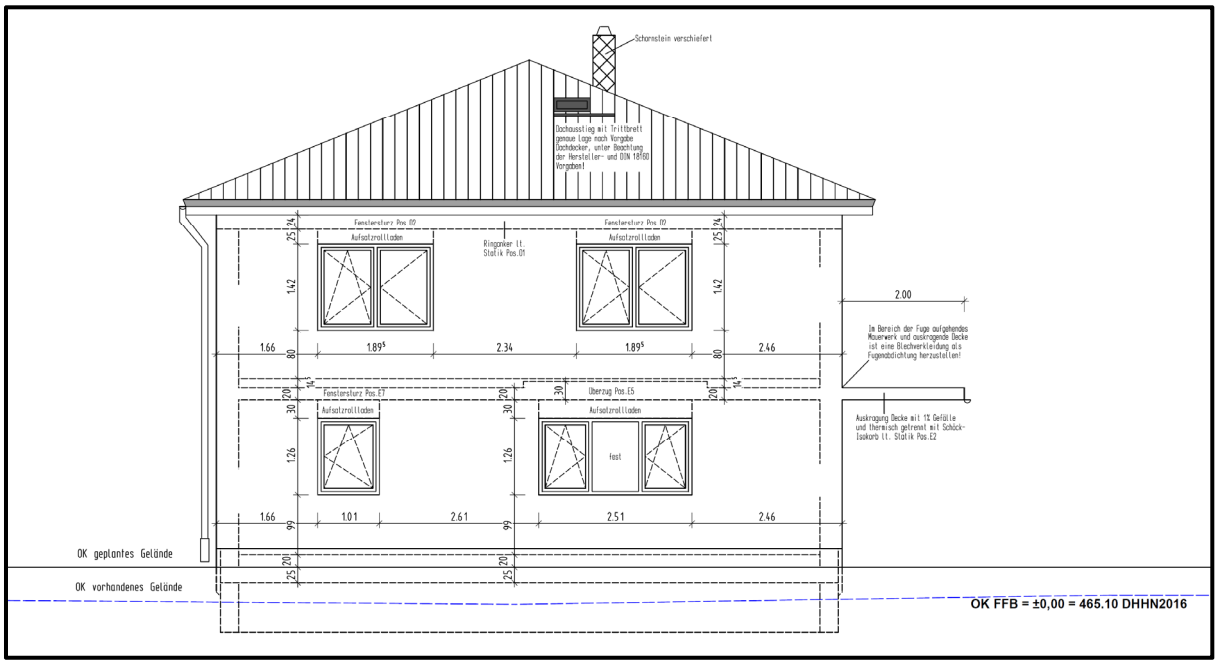


Abbildung 41: Ansicht West zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27]

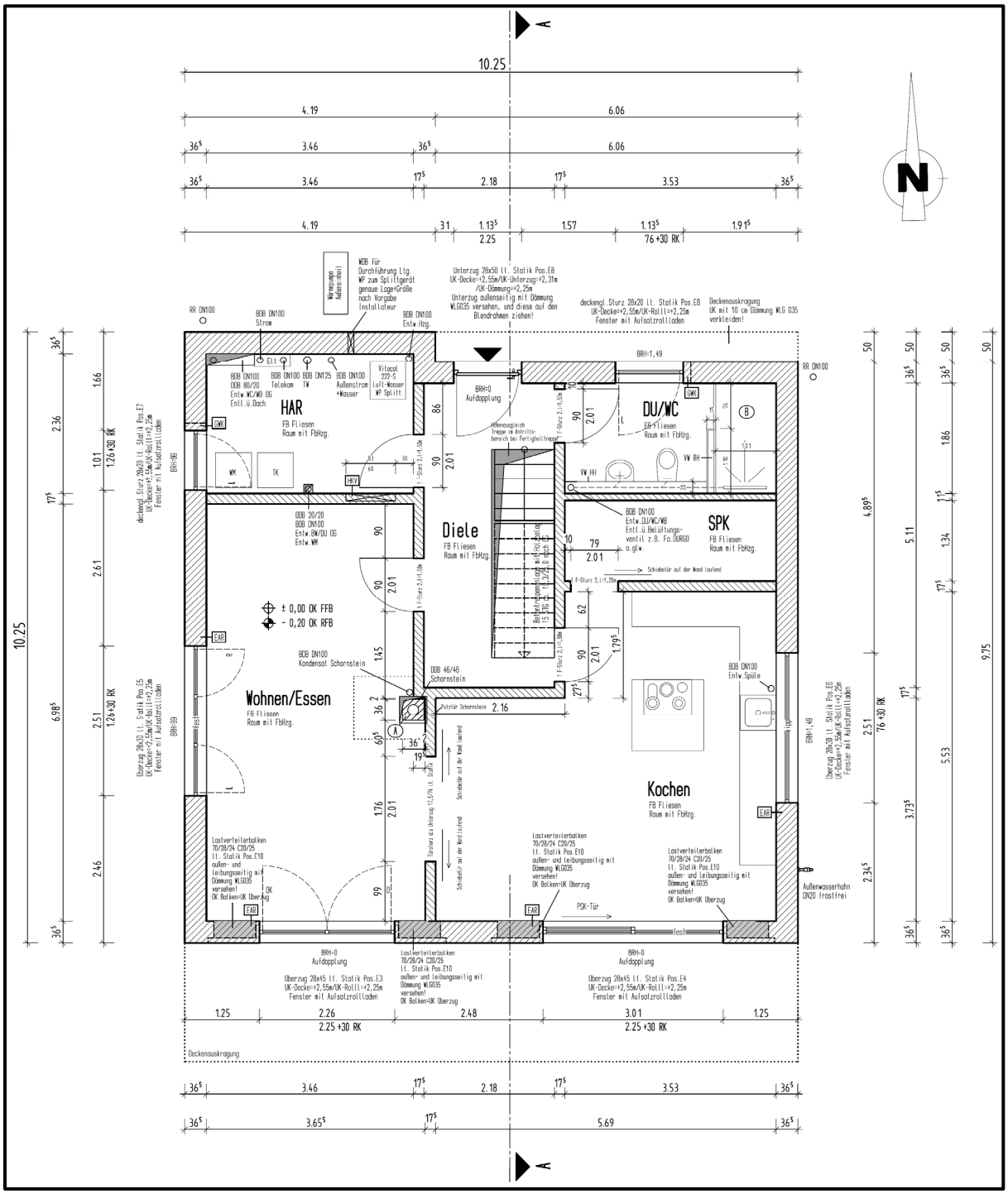


Abbildung 42: Grundriss Erdgeschoss zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27]

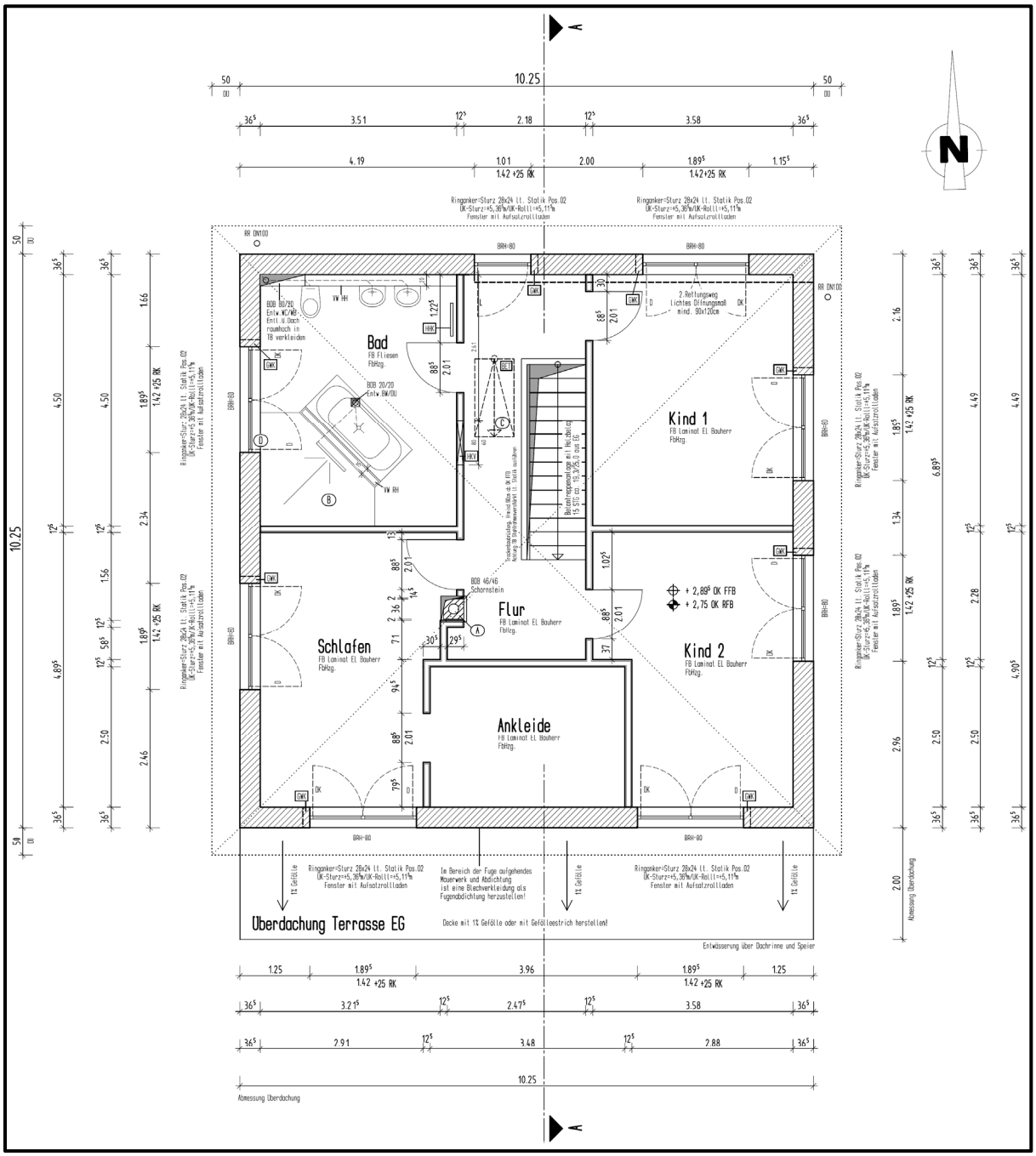


Abbildung 43: Grundriss Obergeschoss zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27]

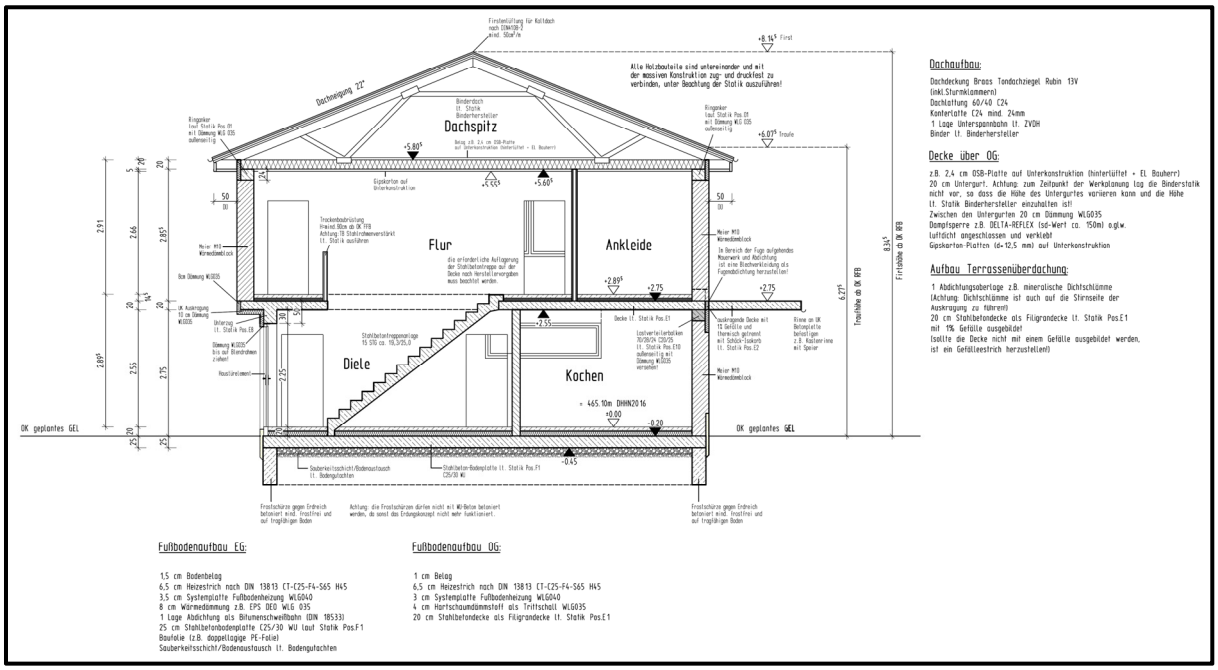


Abbildung 44: Schnitt zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27]

E Bauzeichnungen zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte

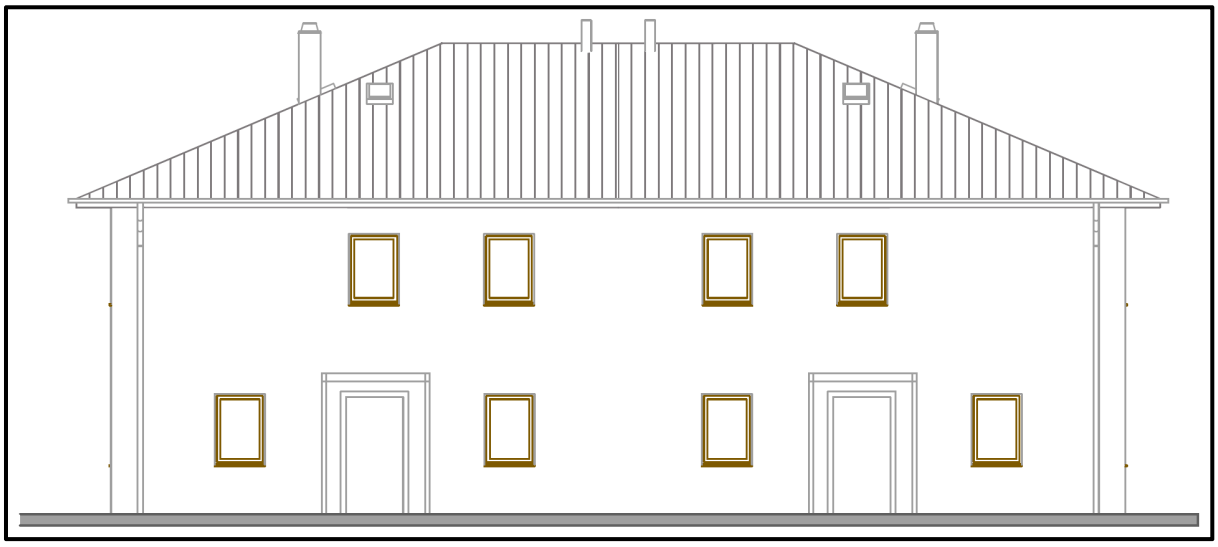


Abbildung 45: Ansicht Südost zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28]

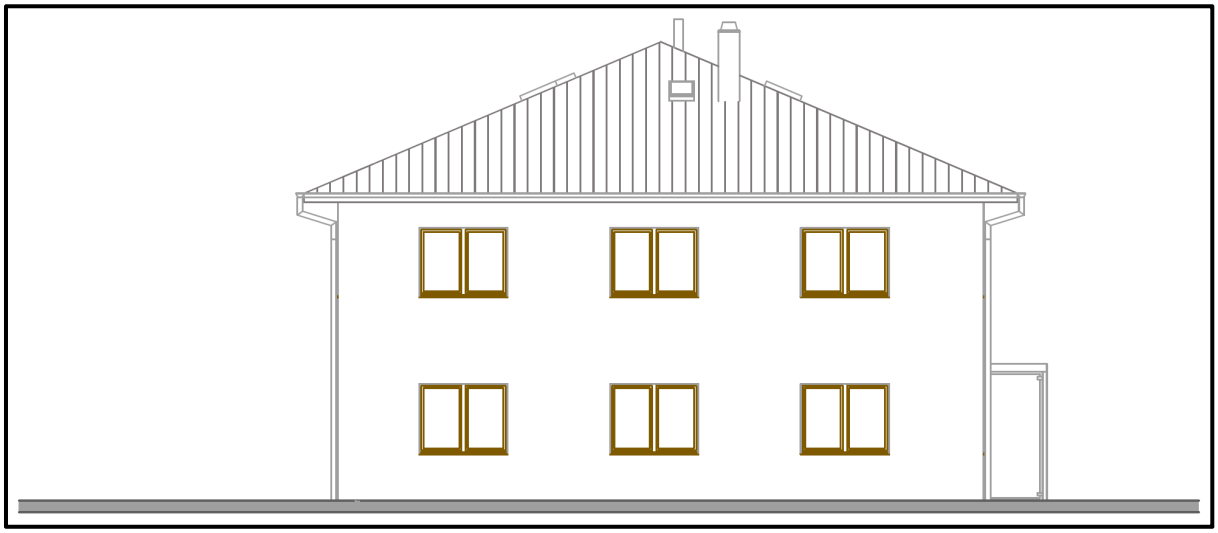


Abbildung 46: Ansicht Südwest zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28]

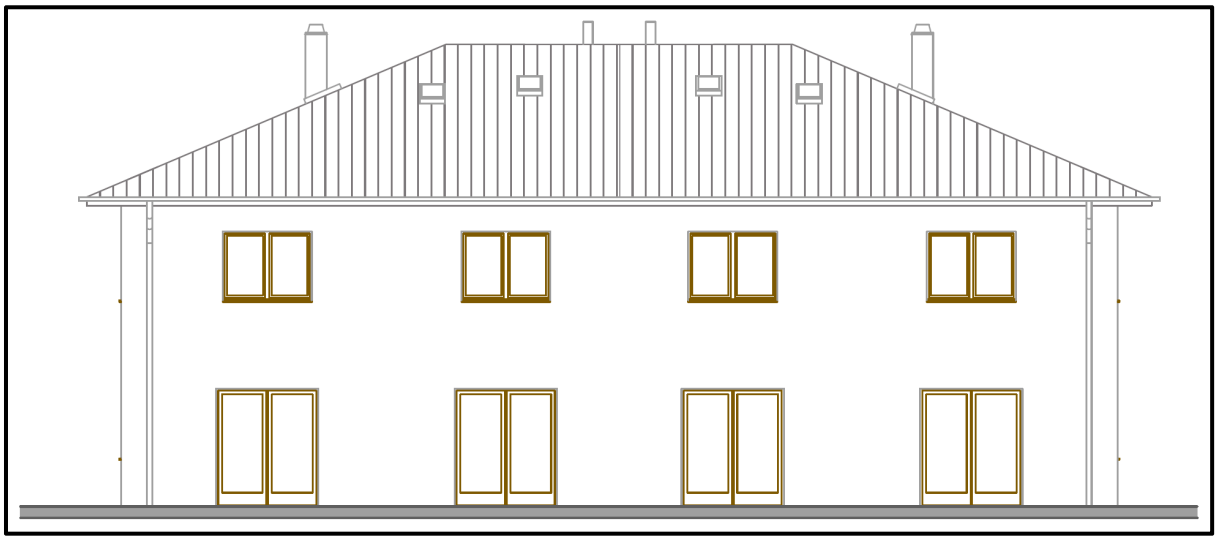


Abbildung 47: Ansicht Nordwest zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28]

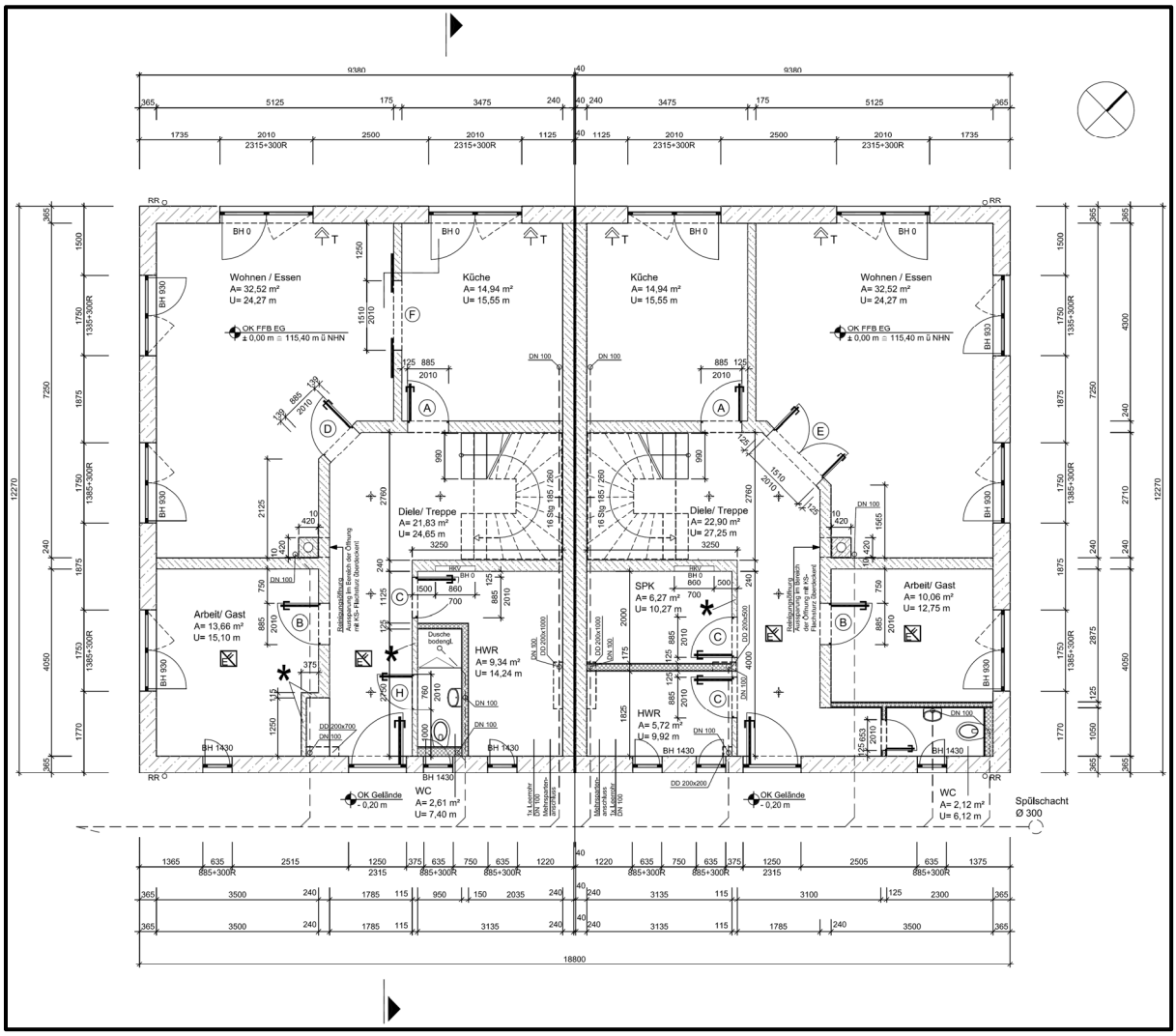


Abbildung 48: Grundriss Erdgeschoss zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28]

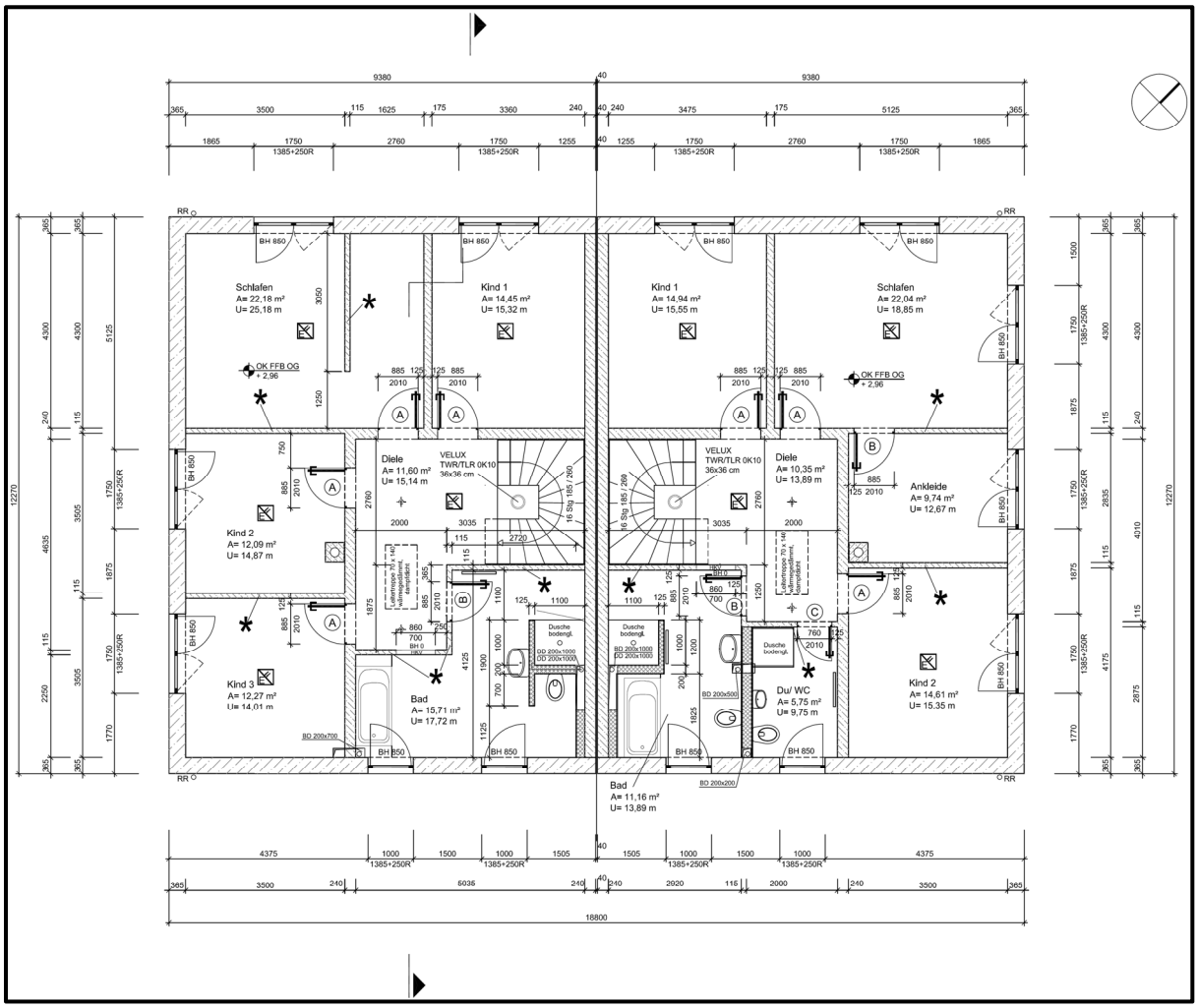


Abbildung 49: Grundriss Obergeschoss zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28]

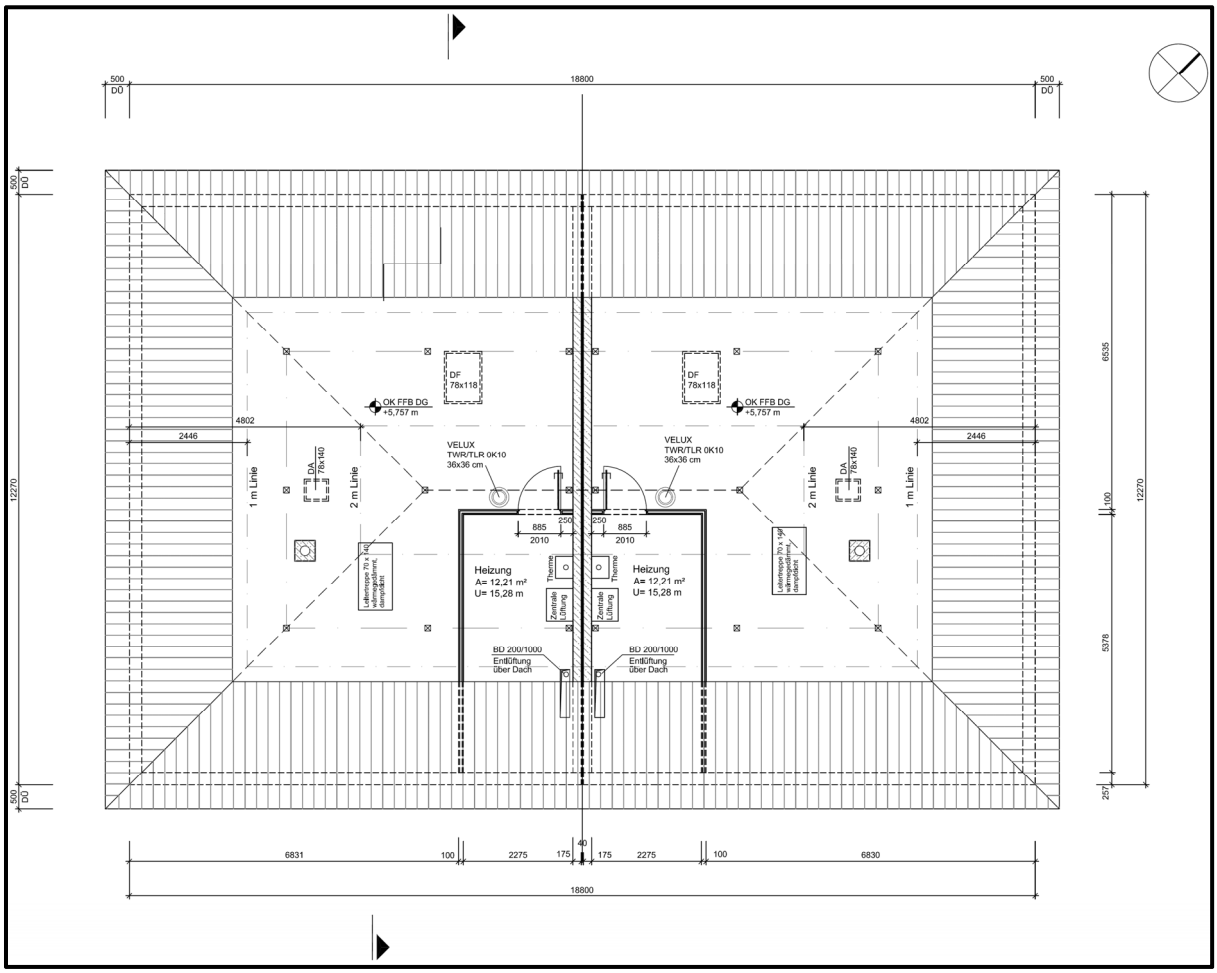


Abbildung 50: Grundriss Dachgeschoss zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28]

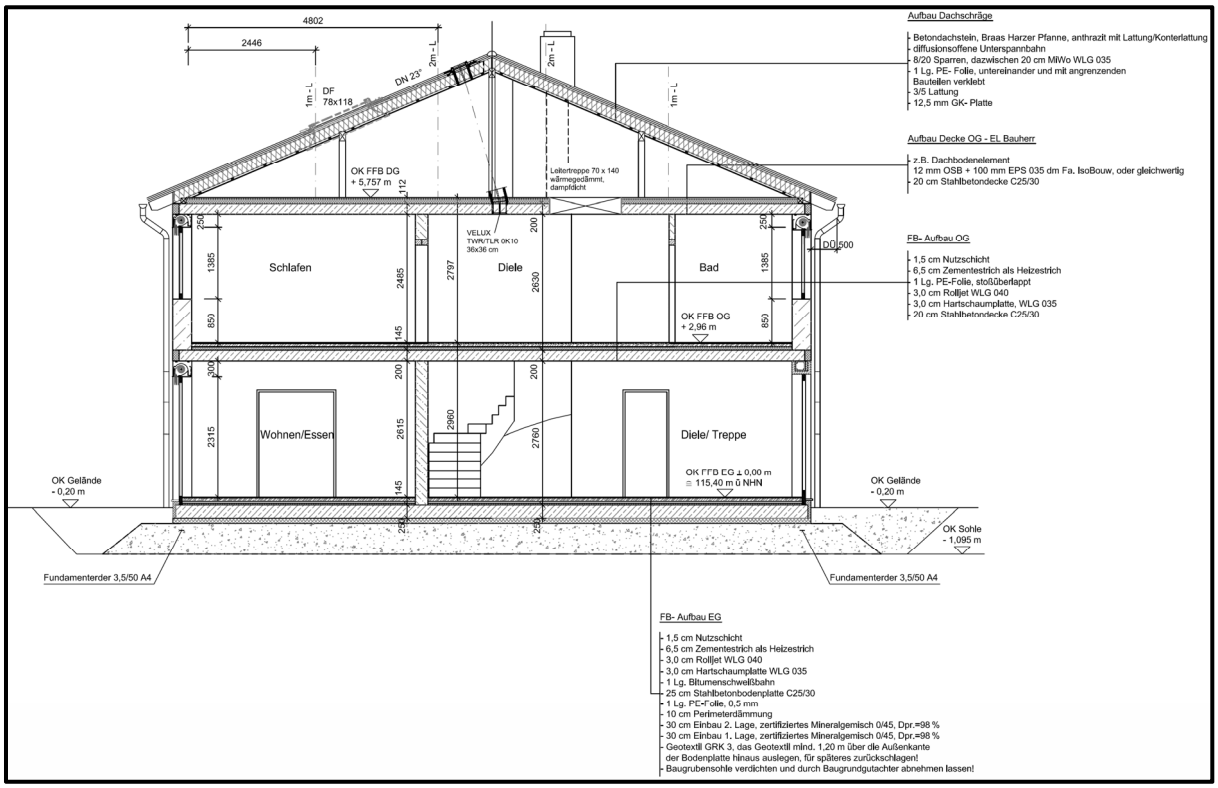


Abbildung 51: Schnitt zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28]

F Bauzeichnungen zum Beispielgebäude Reihenhaus

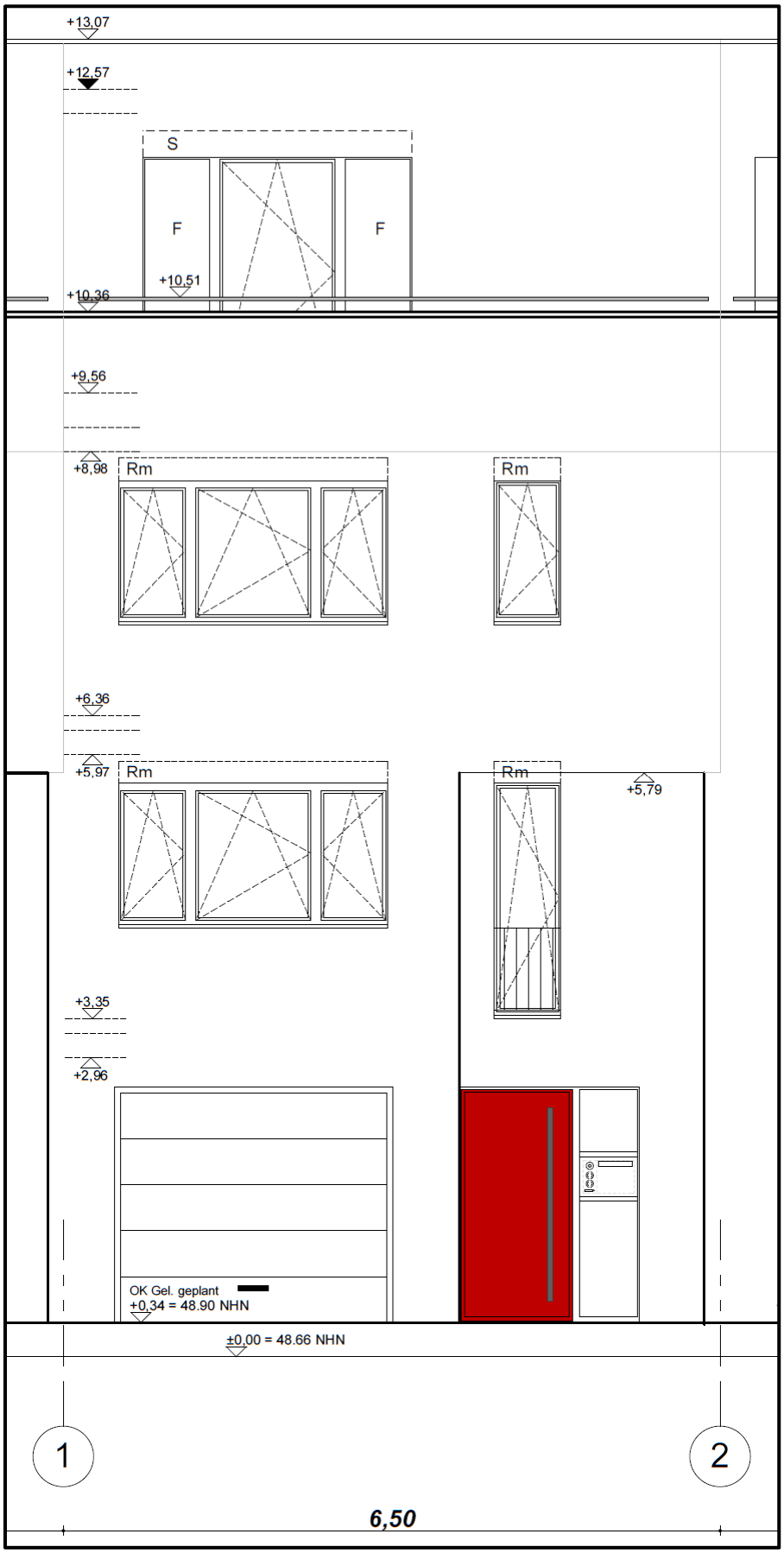


Abbildung 52: Ansicht Ost zum Beispielgebäude Reihenhaus [29]

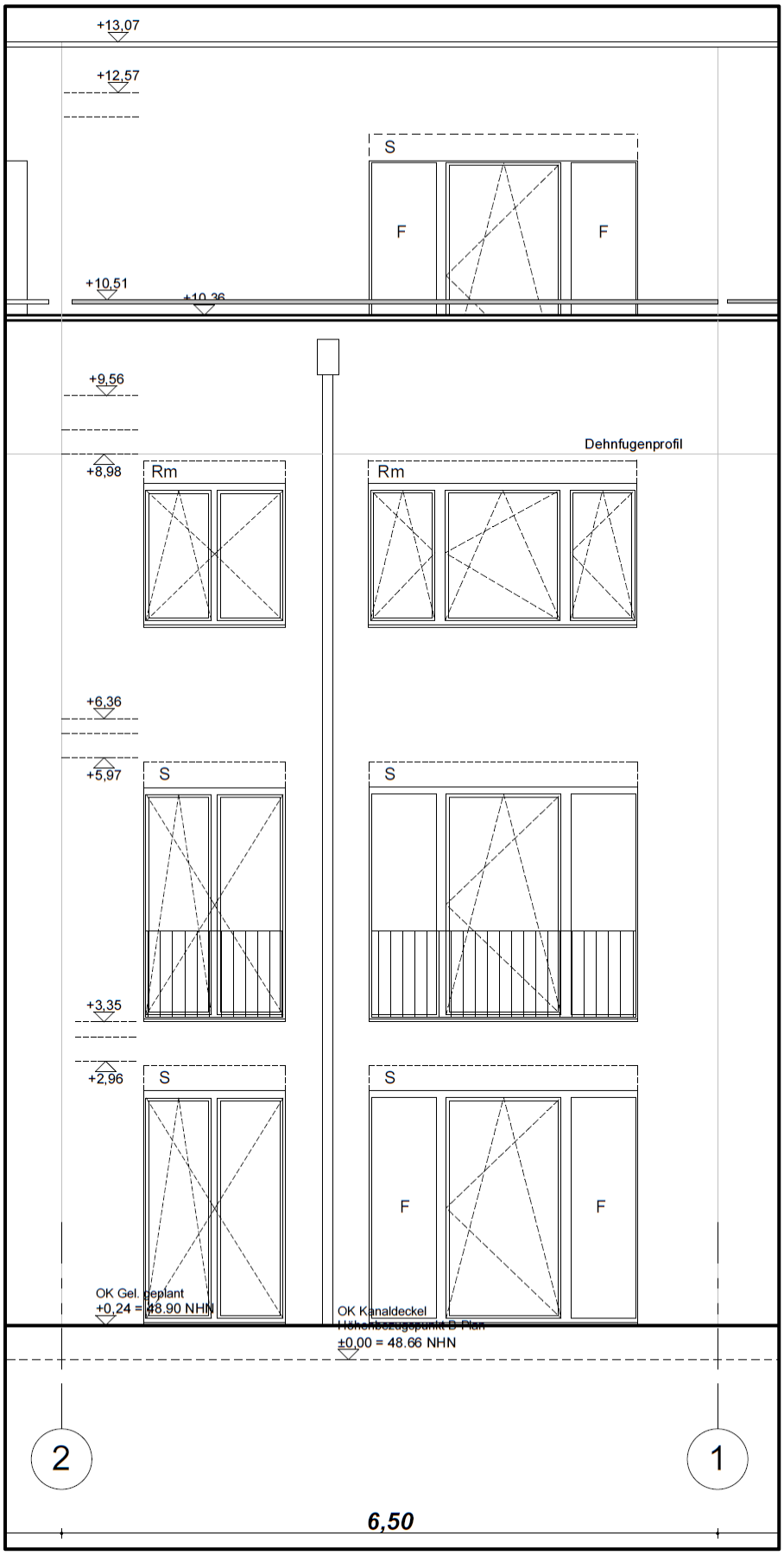


Abbildung 53: Ansicht West zum Beispielgebäude Reihenhaus [29]

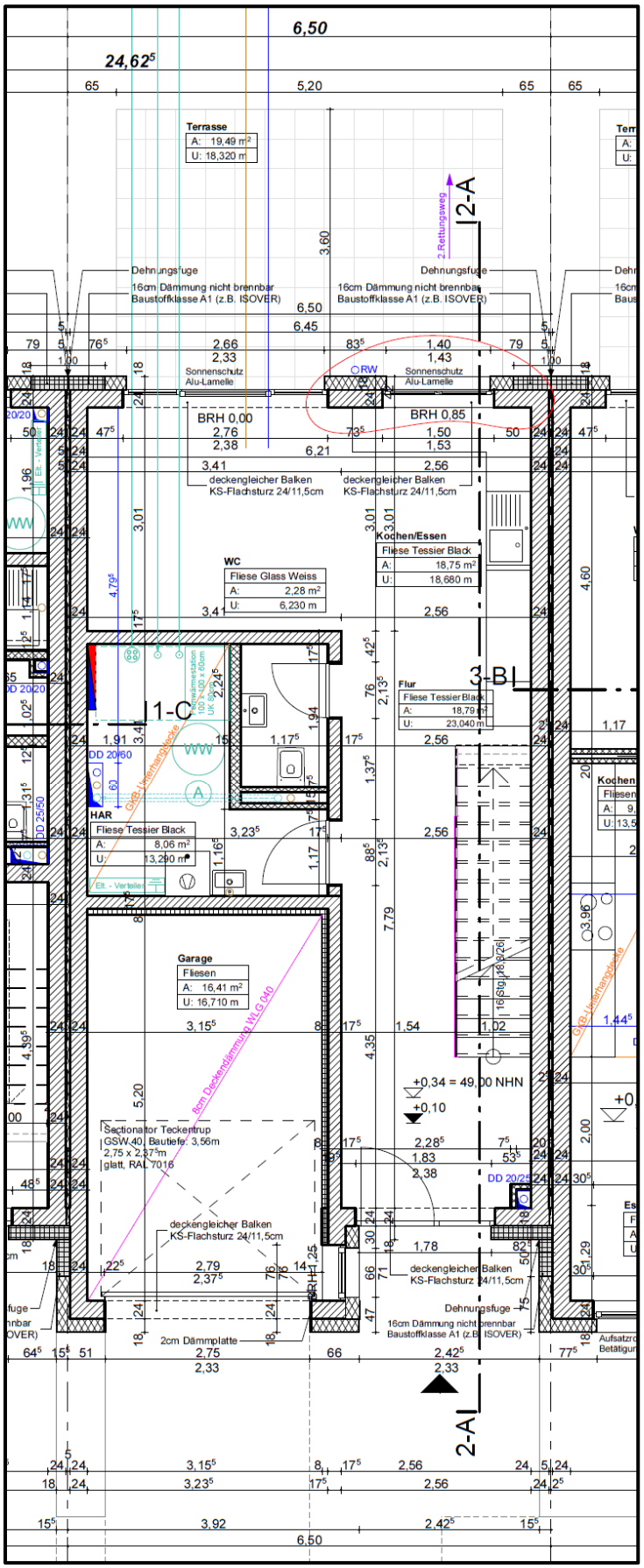


Abbildung 54: Grundriss Erdgeschoss zum Beispielgebäude Reihenhaus [29]

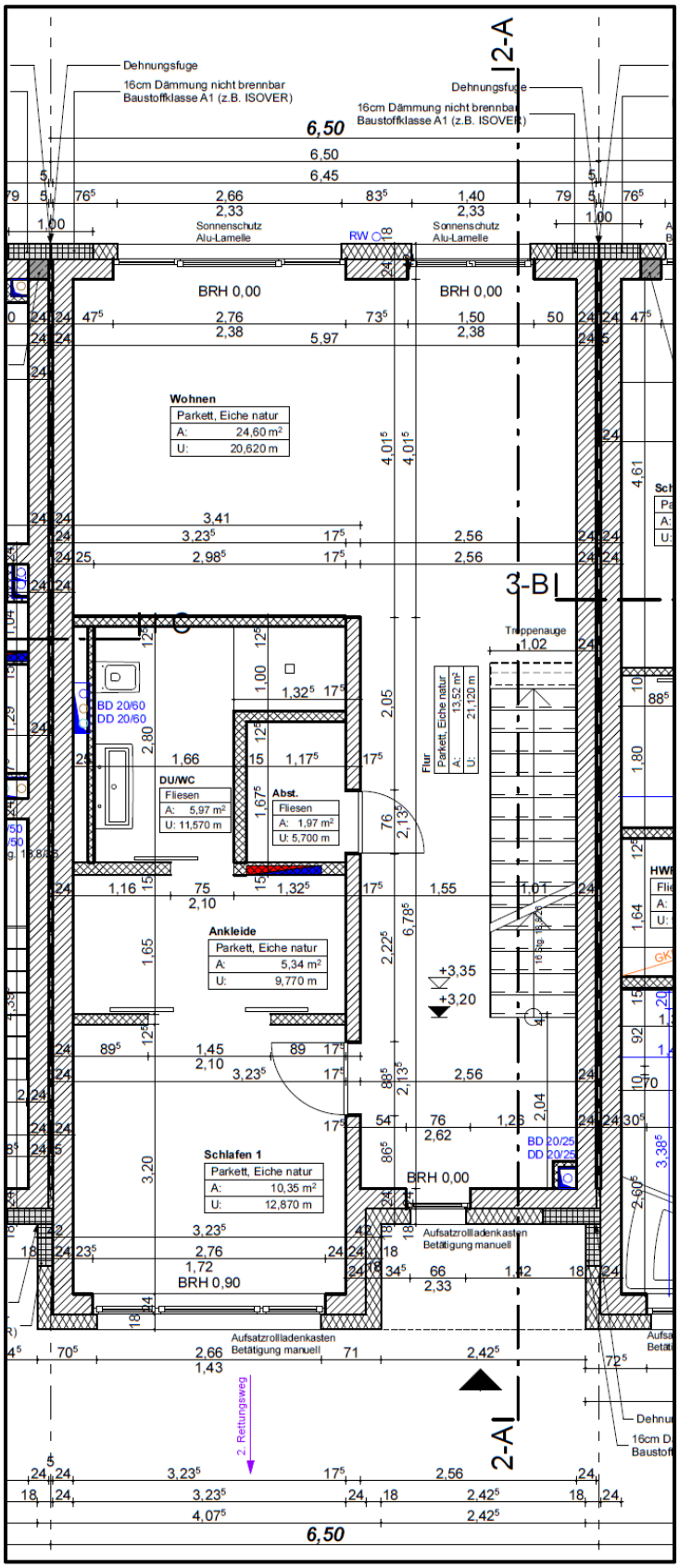


Abbildung 55: Grundriss 1.Obergeschoss zum Beispielgebäude Reihenhaus [29]

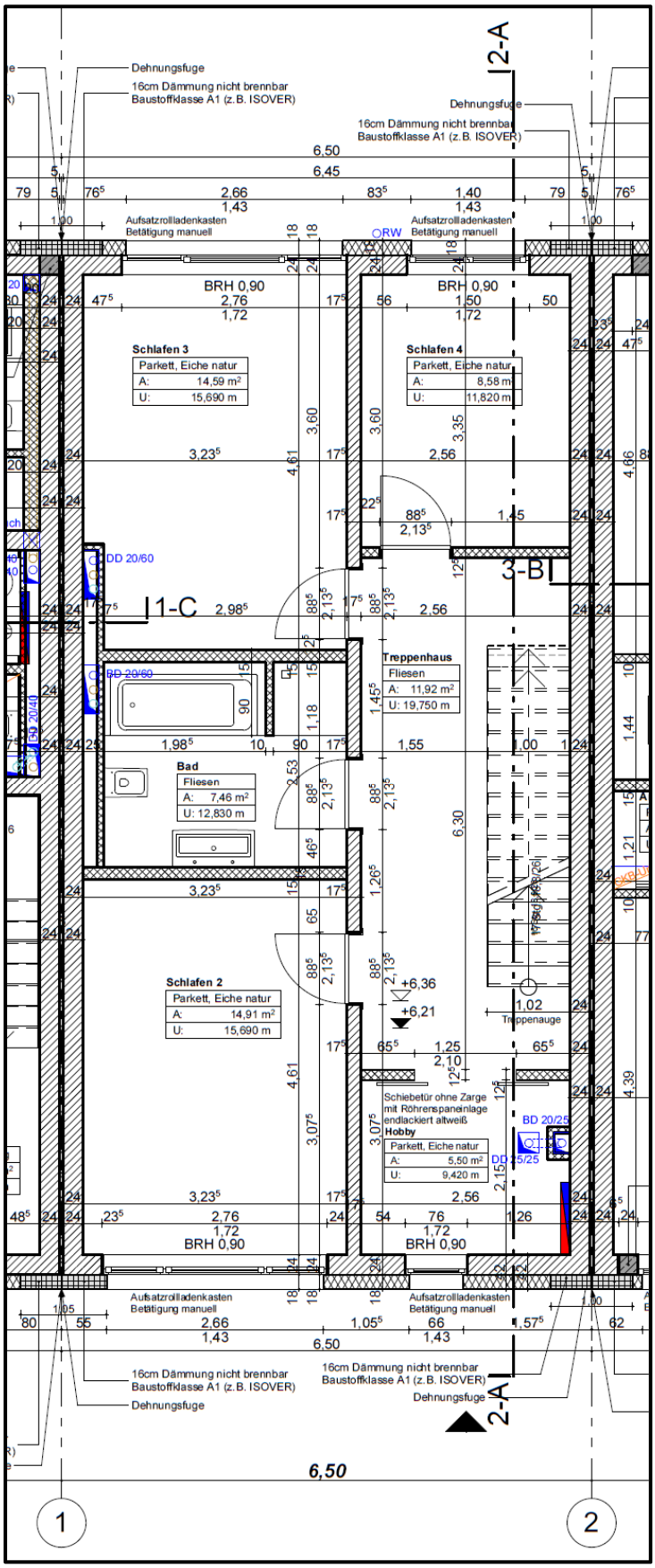


Abbildung 56: Grundriss 2.Obergeschoss zum Beispielgebäude Reihenhaus [29]

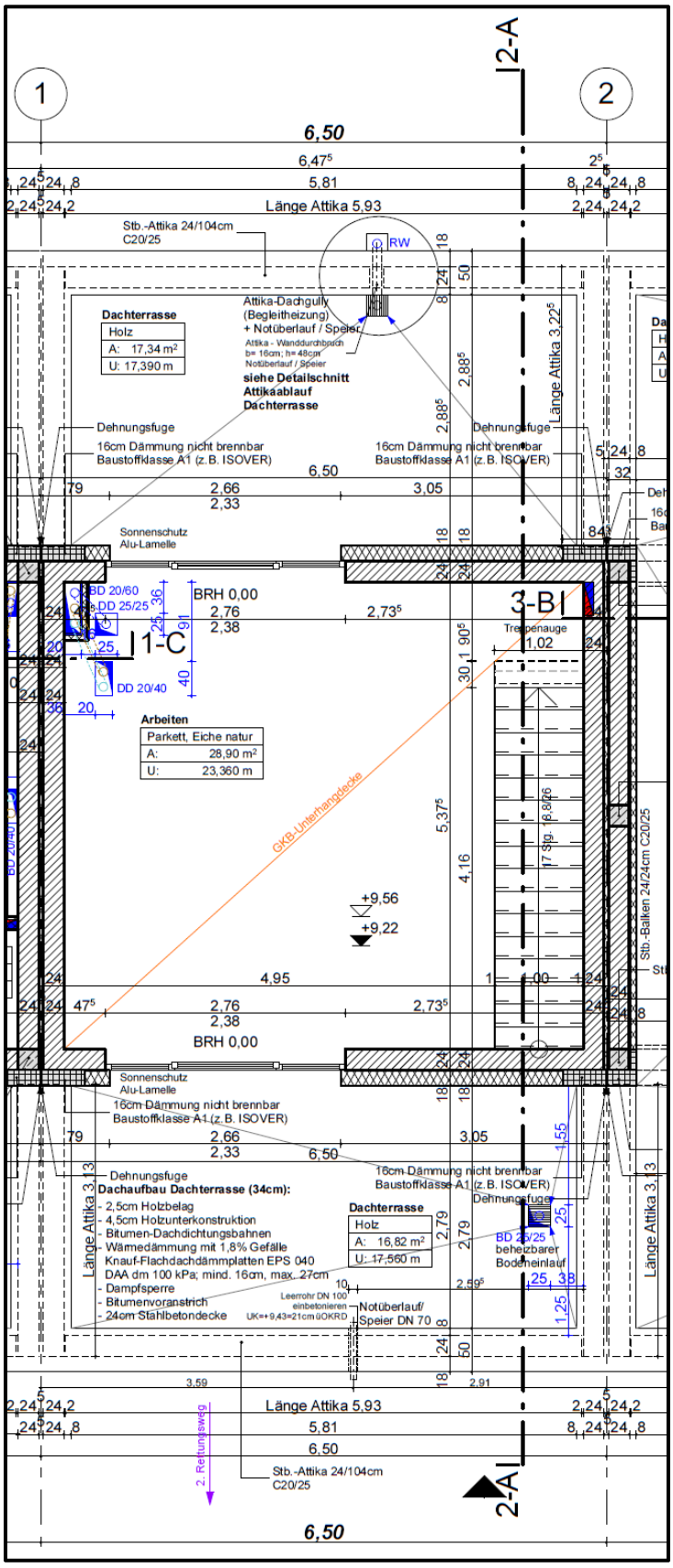


Abbildung 57: Grundriss Staffelgeschoss zum Beispielgebäude Reihenhaus [29]

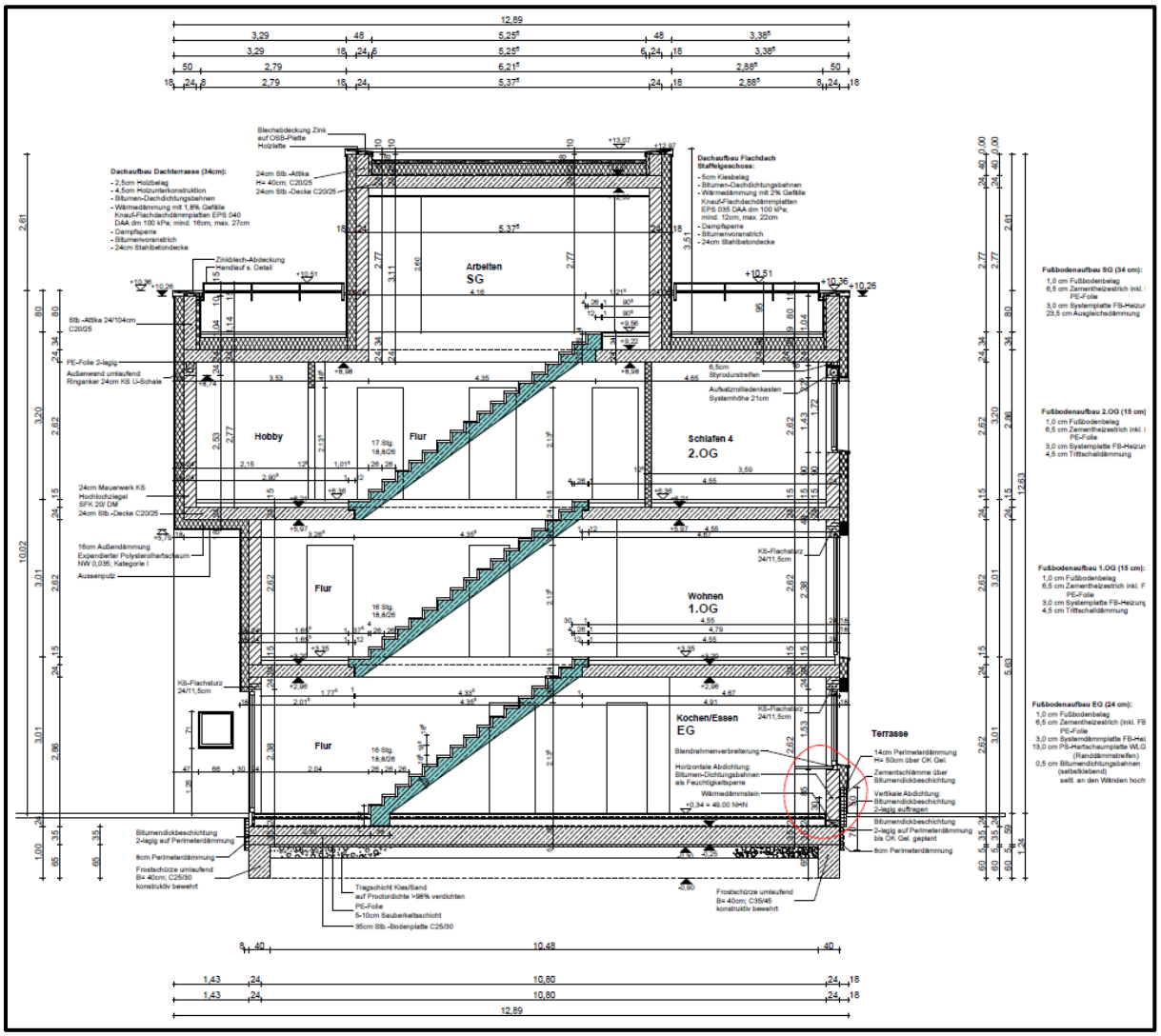


Abbildung 58: Schnitt zum Beispielgebäude Reihenhaus [29]

G Bauzeichnungen zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus

Abbildung 59: Ansicht Ost zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

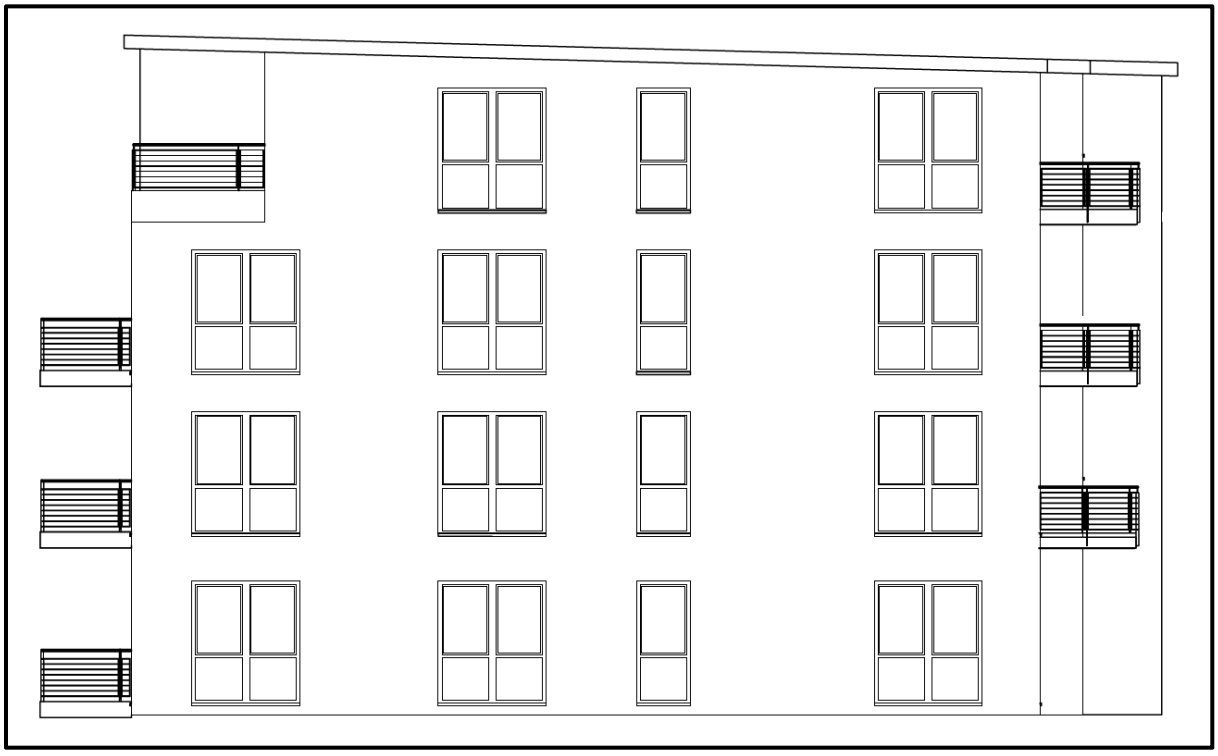


Abbildung 60: Ansicht Süd zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

Abbildung 61: Ansicht West zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

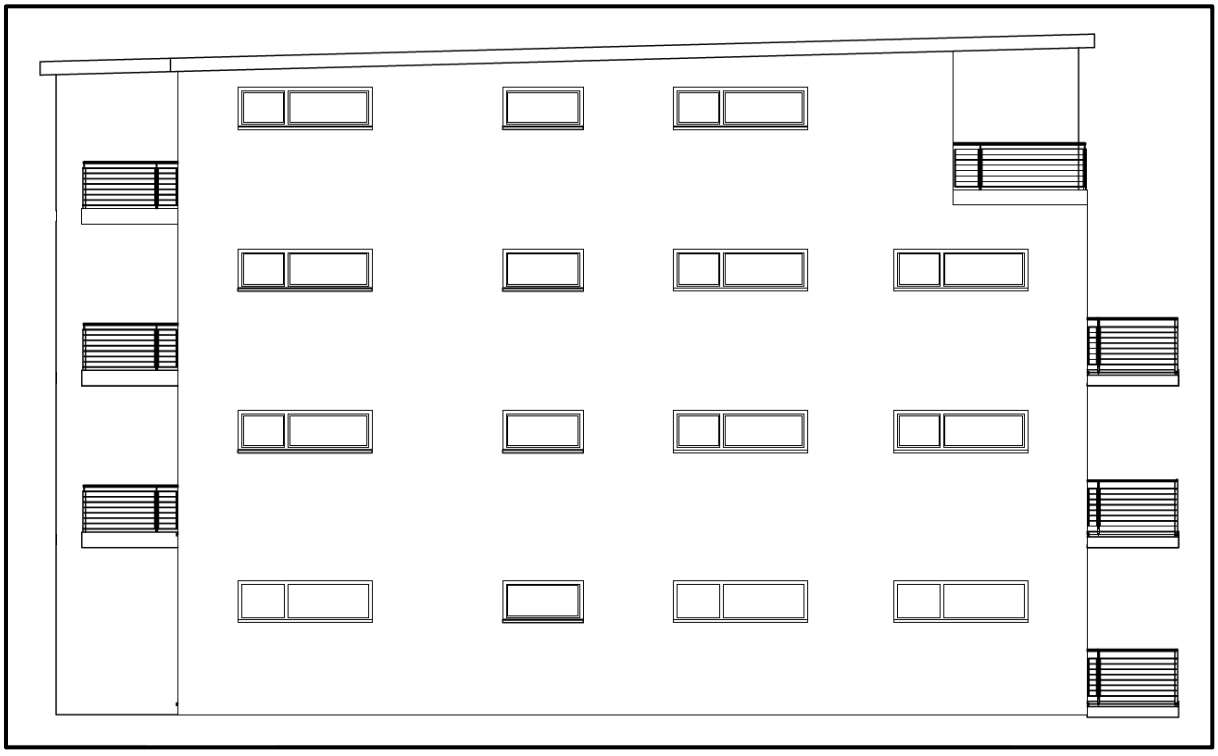


Abbildung 62: Ansicht Nord zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

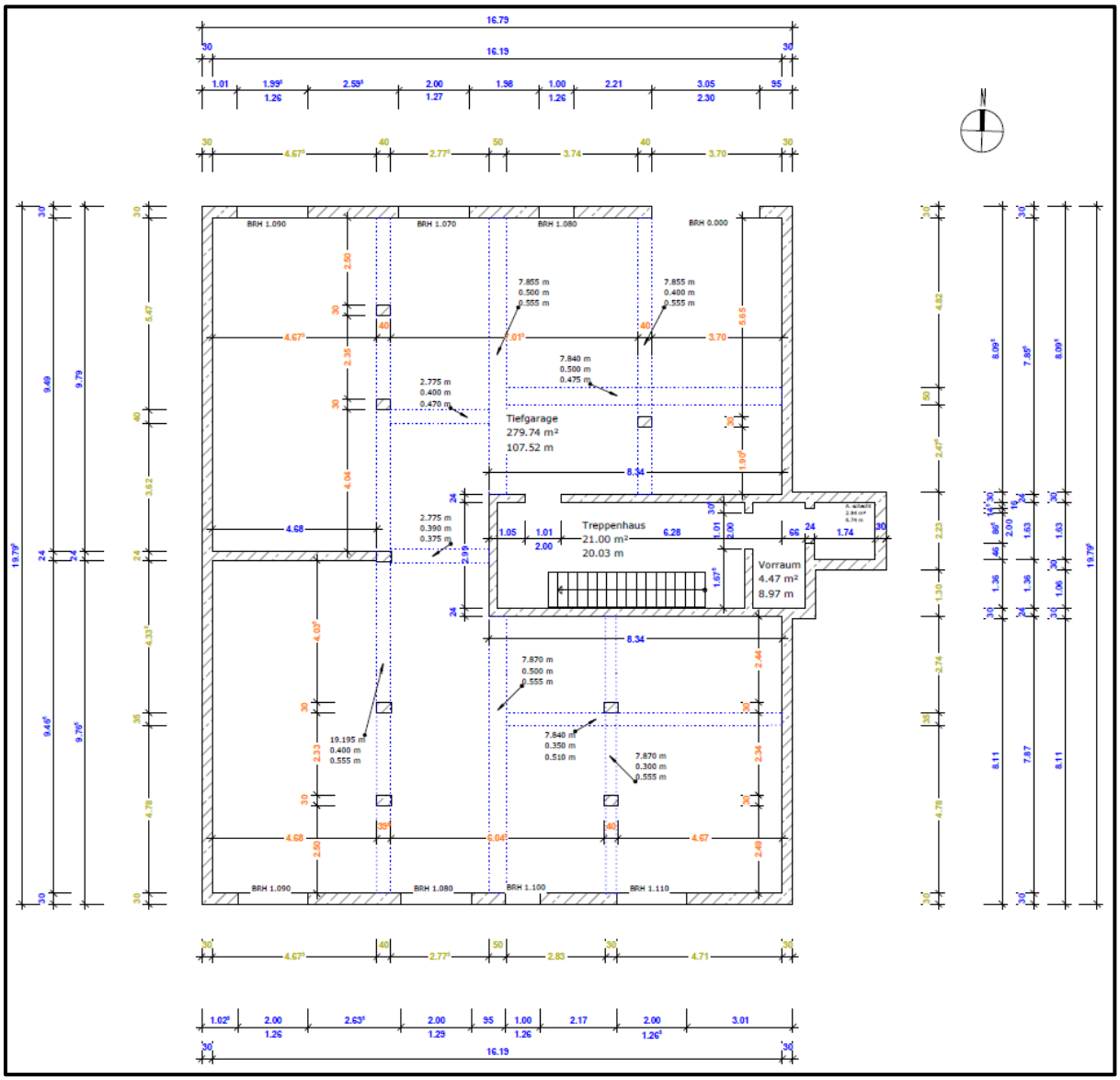


Abbildung 63: Grundriss Kellergeschoss zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

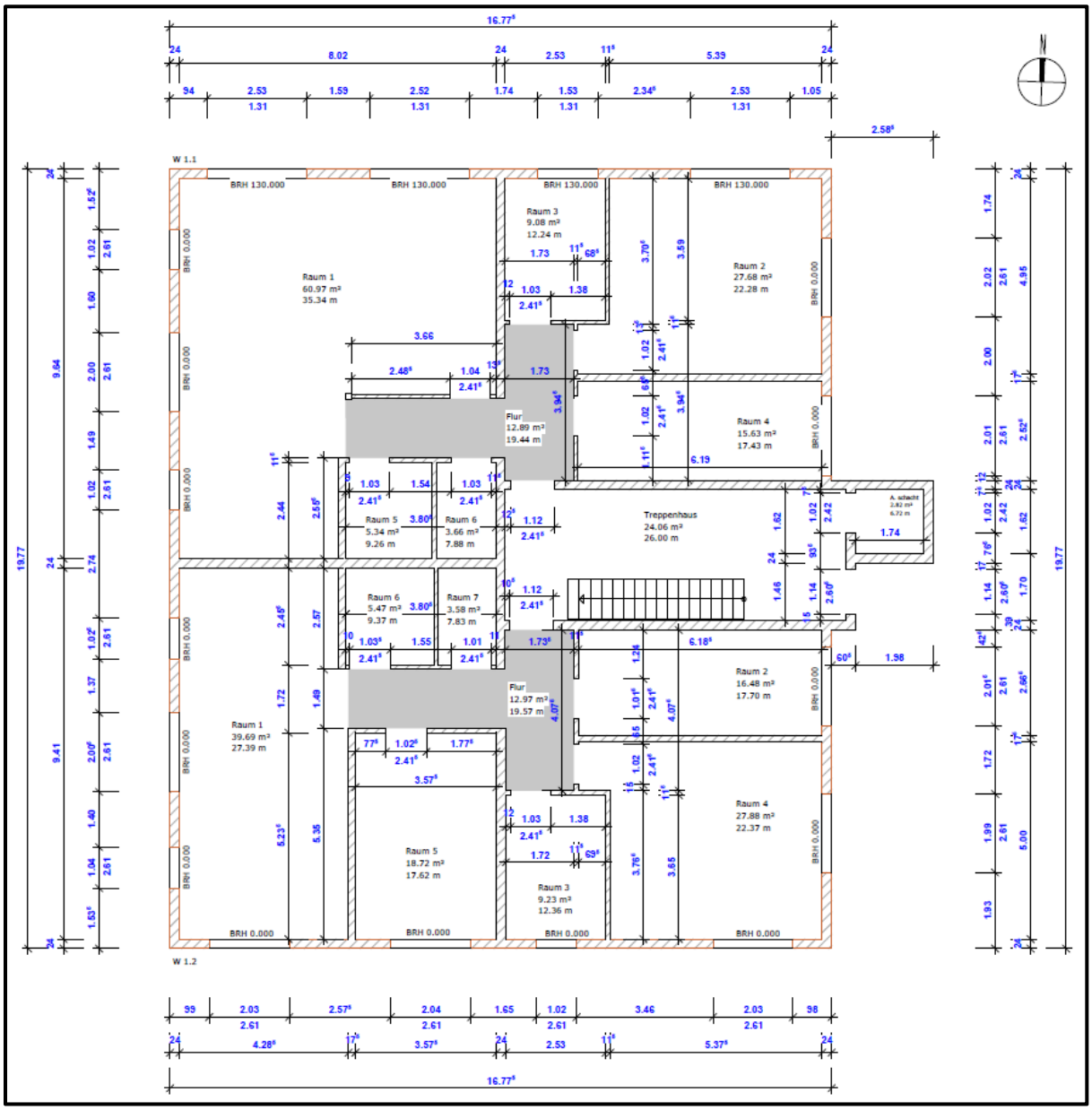


Abbildung 64: Grundriss Erdgeschoss zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

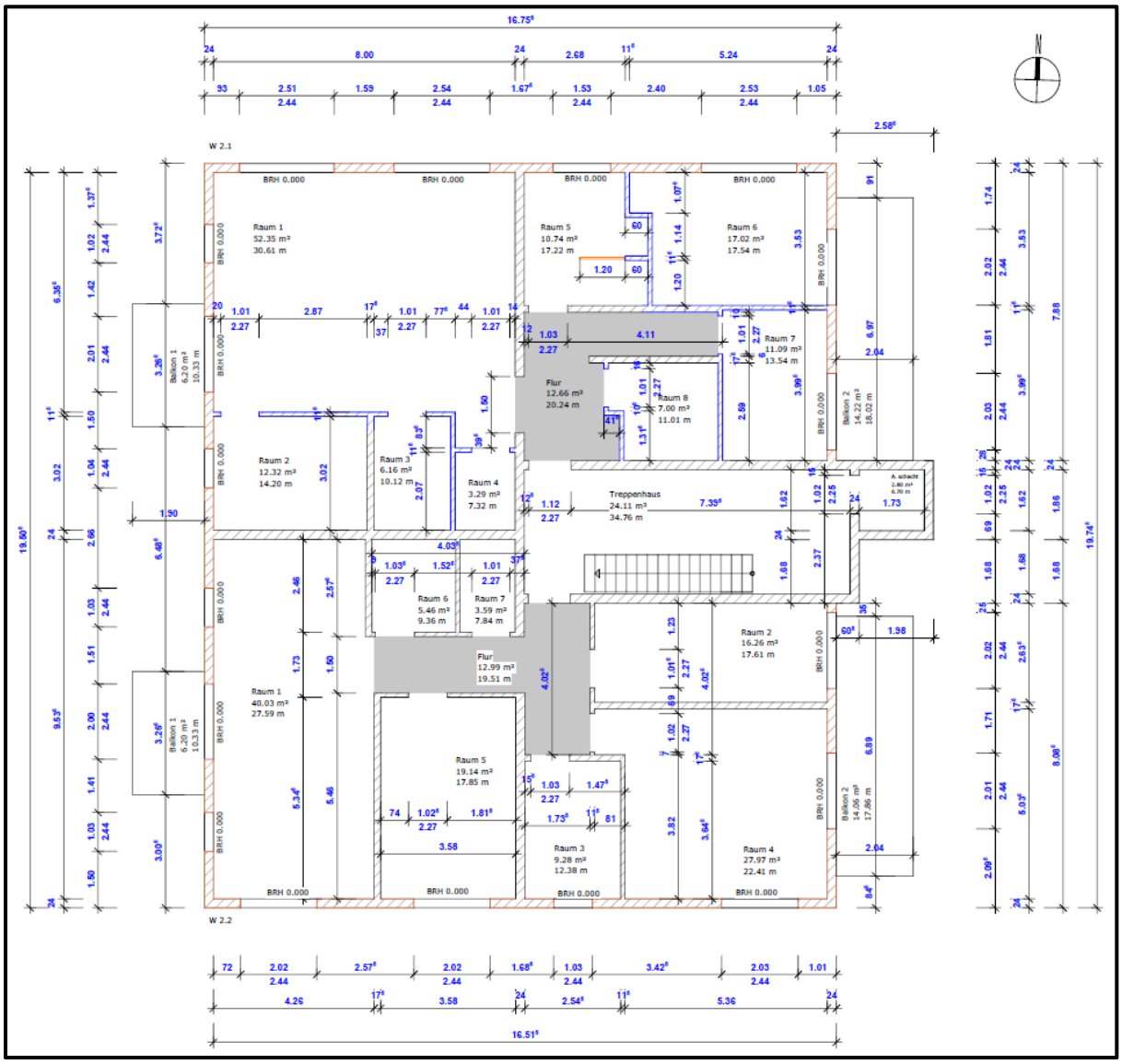


Abbildung 65: Grundriss 1.Obergeschoss zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

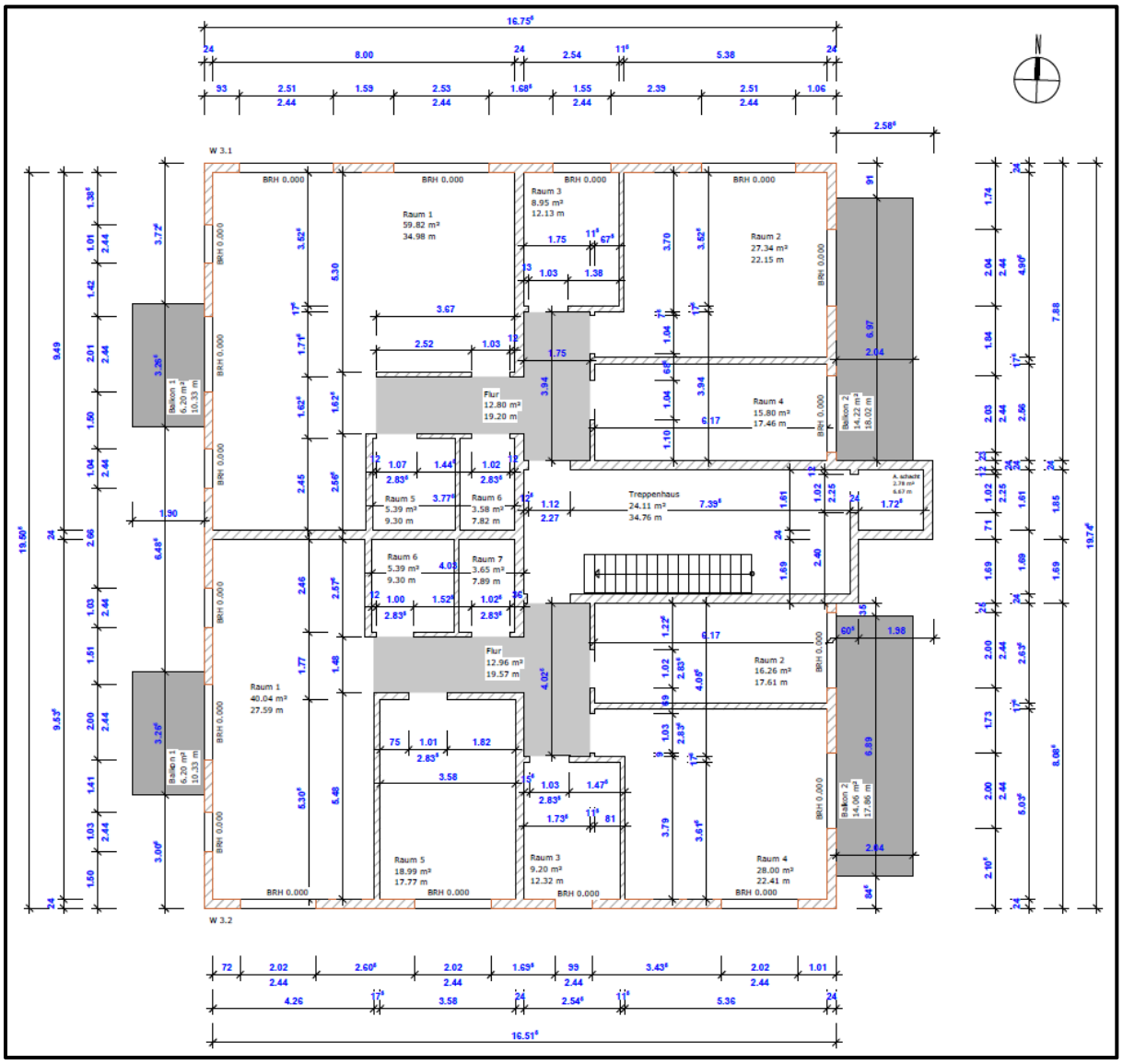


Abbildung 66: Grundriss 2.Obergeschoss zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

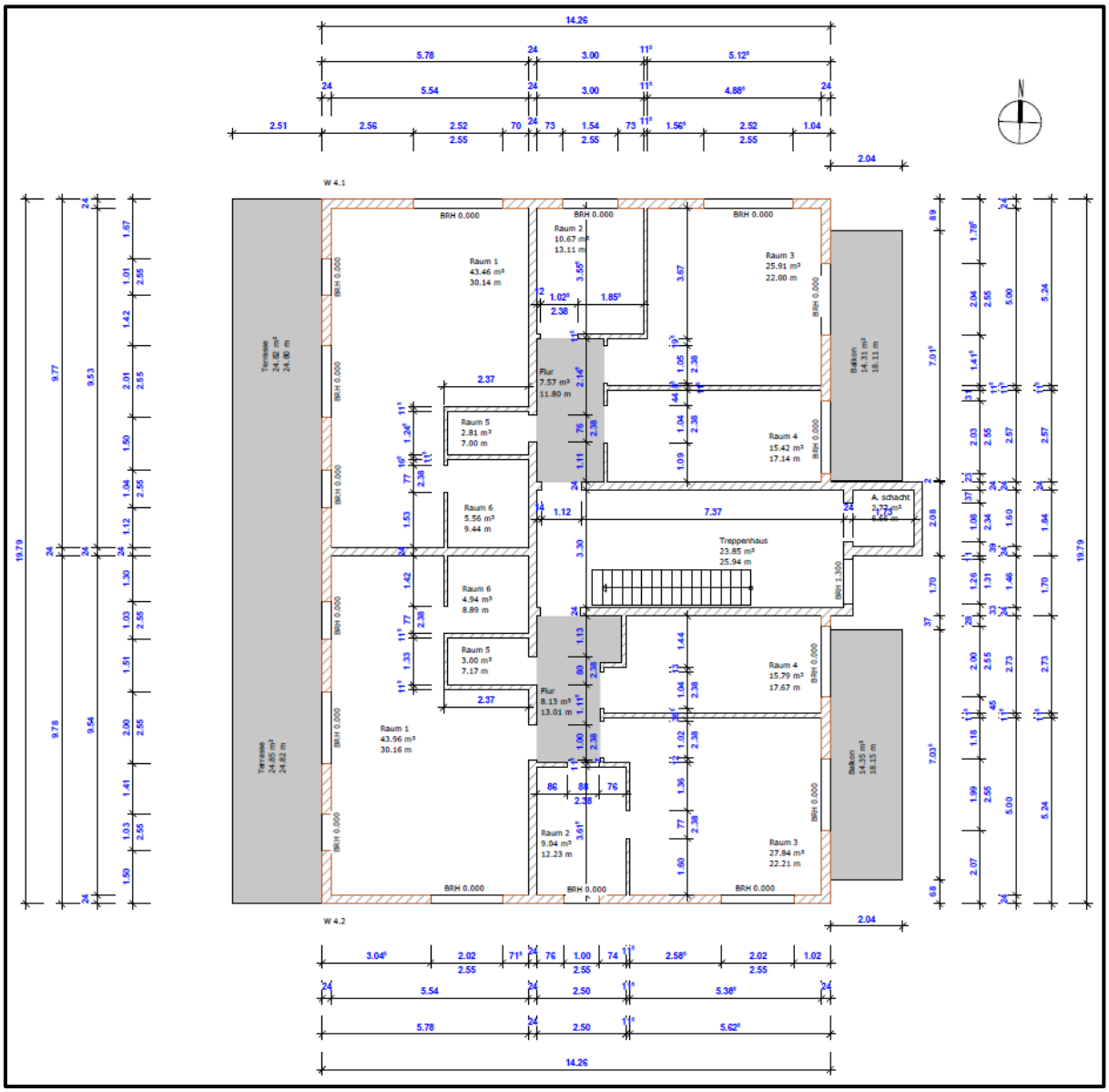


Abbildung 67: Grundriss 3.Obergeschoss zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

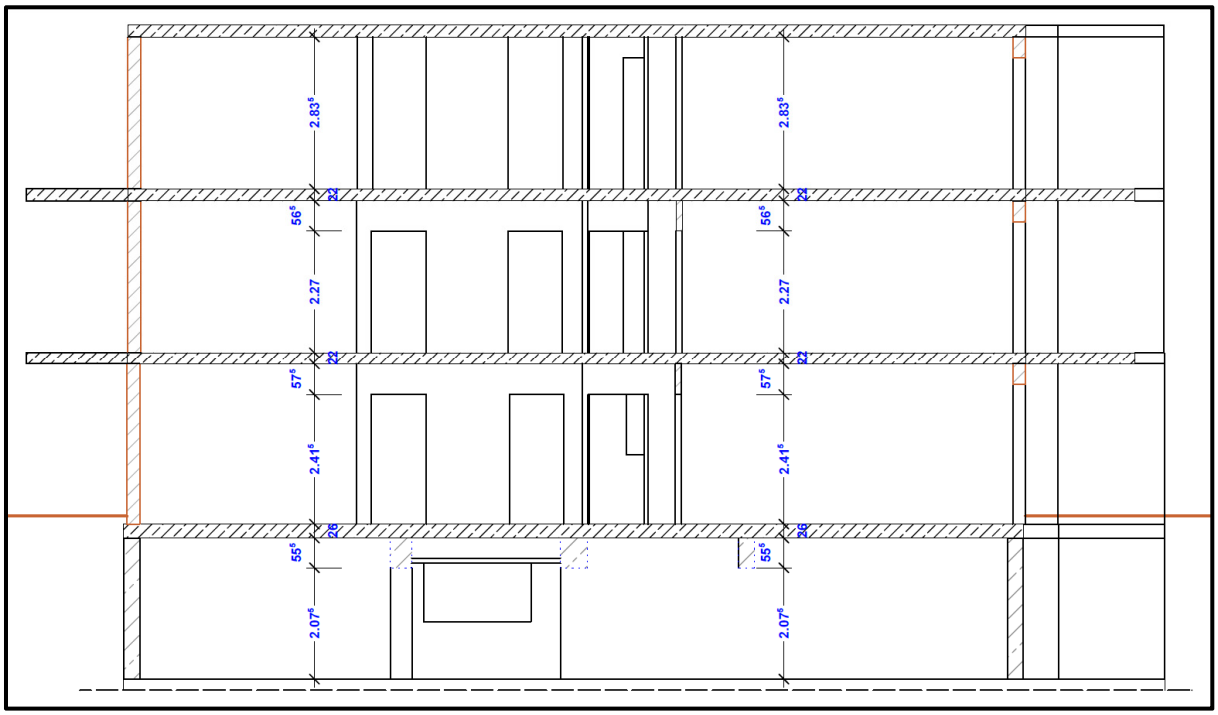


Abbildung 68: Schnitt 1 zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

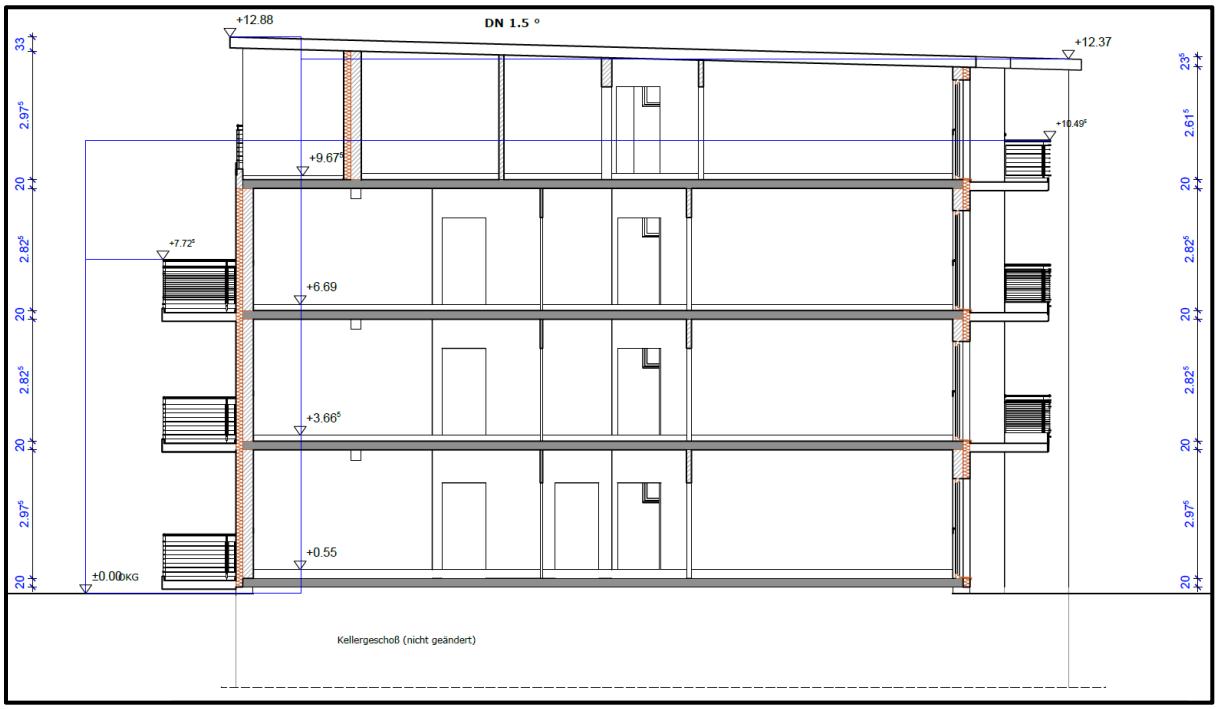
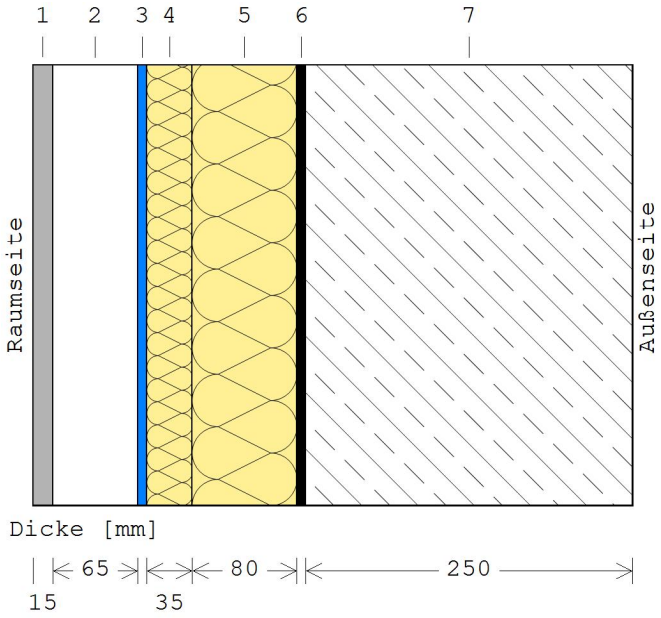


Abbildung 69: Schnitt 2 zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31]

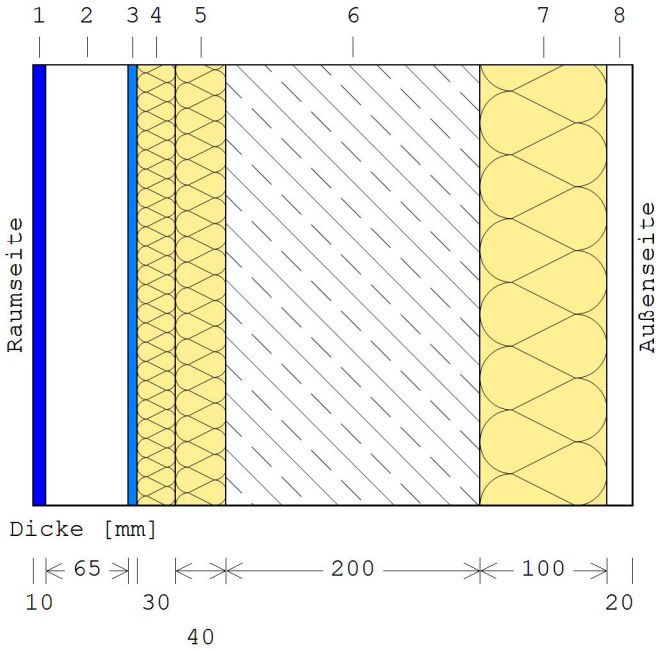
H Außenkonstruktionen reales Beispielgebäude Einfamilienhaus

Bodenplatte:



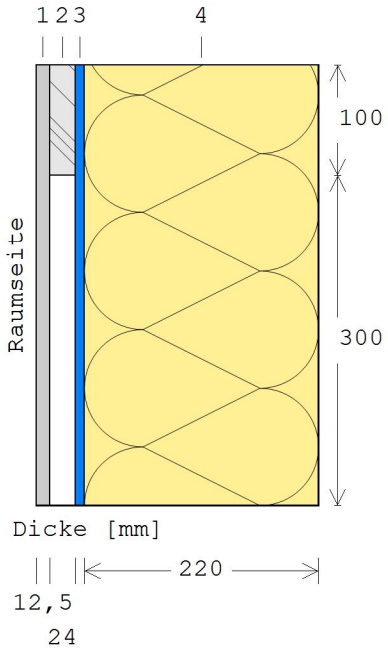
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	Fliesen	15	1,300
2	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	65	1,400
3	PE-Folie	0,1	2,300
4	EPS-Dämmung (Lambda = 0,040 W/(mK))	35	0,040
5	EPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	80	0,035
6	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	4	0,230
7	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	250	2,300
	gesamt	**449,1**	

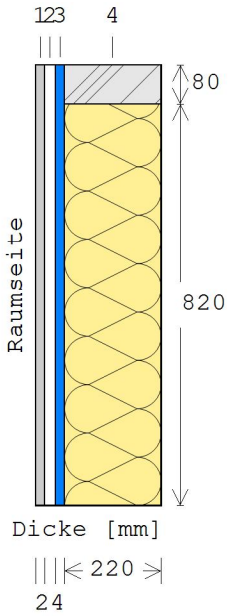
Decke über Erdgeschoss (nach unten gegen Außenluft):



Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	Laminat	10	0,250
2	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	65	1,400
3	PE-Folie	0,1	2,300
4	EPS-Dämmung (Lambda = 0,040 W/(mK))	30	0,040
5	EPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	40	0,035
6	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	200	2,300
7	EPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	100	0,035
8	Außenputz	20	0,380
	gesamt	**465,1**	

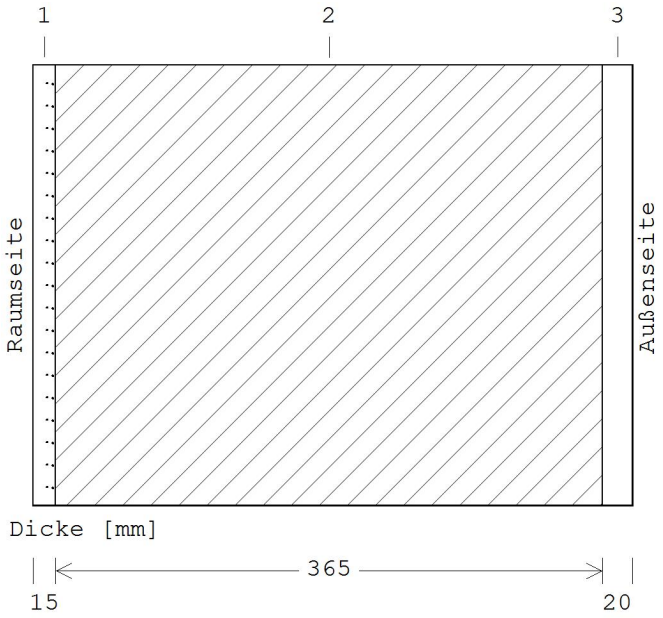
Decke über Obergeschoss (nach oben gegen unbeheizt):





Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]	Breite [mm]
1	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 700	12,5	0,210	
2	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 450	24	0,120	100 (25,0%)
	EN ISO 6946 Luftschicht 25 mm (Wärmestrom aufwärts - nicht belüftet)	24	R = 0,179 m²K/W	300 (75,0%)
3	Dampfbremse (sd = 150 m)	0,5	2,300	
4	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 450	220	0,120	80 (8,9%)
	Mineralwolle-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	220	0,035	820 (91,1%)
	gesamt	**257**		

Außenwände:



Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	Innenputz	15	0,700
2	M10 Wärmedämmblock	365	0,100
3	Außenputz	20	0,380
	gesamt	**400**	

Fenster:

Beschreibung	Wert
Anzahl Verglasungen	3
Wärmedurchgangskoeffizient U_W	0,92 W/(m²K)
Gesamtenergiedurchlassgrad g	0,50

Außentür:

Beschreibung	Wert
Wärmedurchgangskoeffizient U	1,40 W/(m²K)

Dachbodentreppe:

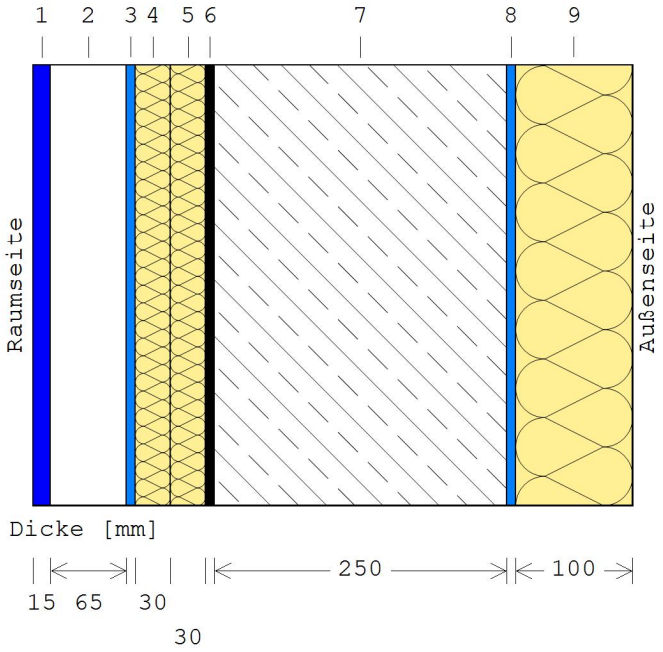
Beschreibung	Wert
Wärmedurchgangskoeffizient U	0,80 W/(m²K)

Wärmebrückenzuschlag:

Beschreibung	Wert
Wärmedurchgangskoeffizient U_{WB}	0,10 W/(m²K) – pauschal angesetzt

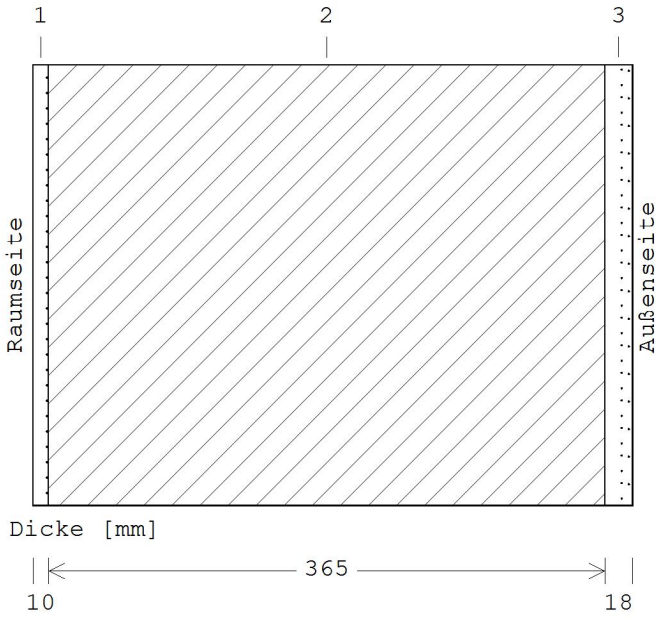
I Außenkonstruktionen reales Beispielgebäude Doppelhaushälfte

Bodenplatte:



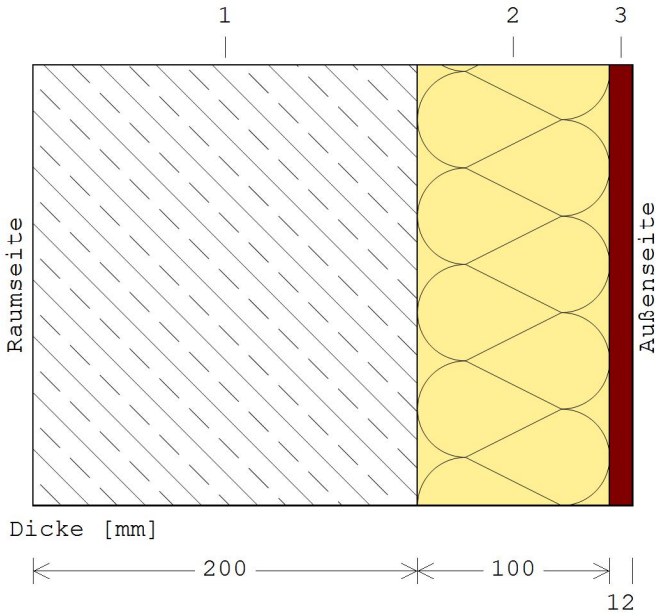
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	Laminat	15	0,250
2	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	65	1,400
3	PE-Folie	0,1	2,300
4	EPS-Dämmung (Lambda = 0,040 W/(mK))	30	0,040
5	EPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	30	0,035
6	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	4	0,230
7	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	250	2,300
8	PE-Folie	0,5	2,300
9	XPS-Dämmung (Lambda = 0,038 W/(mK))	100	0,038
	gesamt	**494,6**	

Außenwände:



Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit	10	0,700
2	Porenbeton-Mauerwerk (Lambda = 0,080 W/(mK))	365	0,080
3	faserarmierter Kalkzement-Leichtputz	18	0,250
	gesamt	**393**	

Decke über Obergeschoss:



Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	200	2,300
2	EPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	100	0,035
3	DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	12	0,130
	gesamt	**312**	

Fenster:

Beschreibung	Wert
Anzahl Verglasungen	3
Wärmedurchgangskoeffizient U_W	0,95 W/(m²K)
Gesamtenergiedurchlassgrad g	0,50

Außentür:

Beschreibung	Wert
Wärmedurchgangskoeffizient U	1,10 W/(m²K)

Dachbodentreppe:

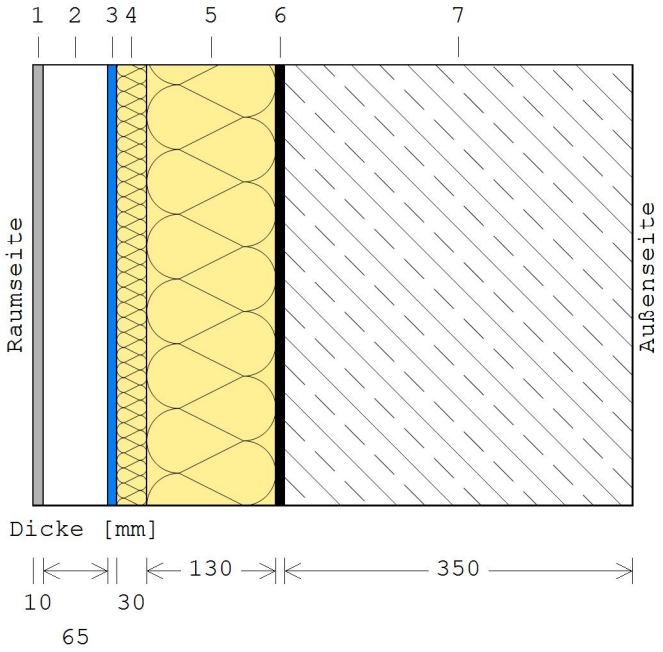
Beschreibung	Wert
Wärmedurchgangskoeffizient U	0,80 W/(m²K)

Wärmebrückenzuschlag:

Beschreibung	Wert
Wärmedurchgangskoeffizient U_{WB}	0,026 W/(m²K) – detailliert ermittelt

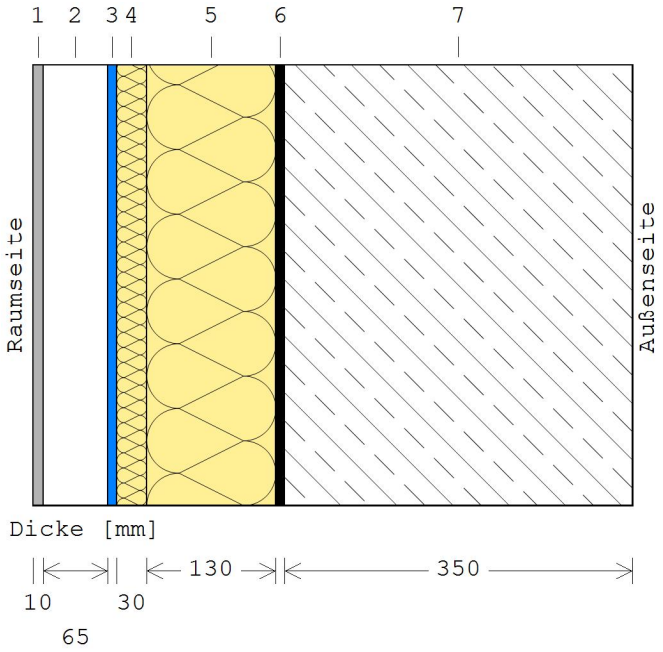
J Außenkonstruktionen reales Beispielgebäude Reihenhaus

Bodenplatte (Wohnbereich):



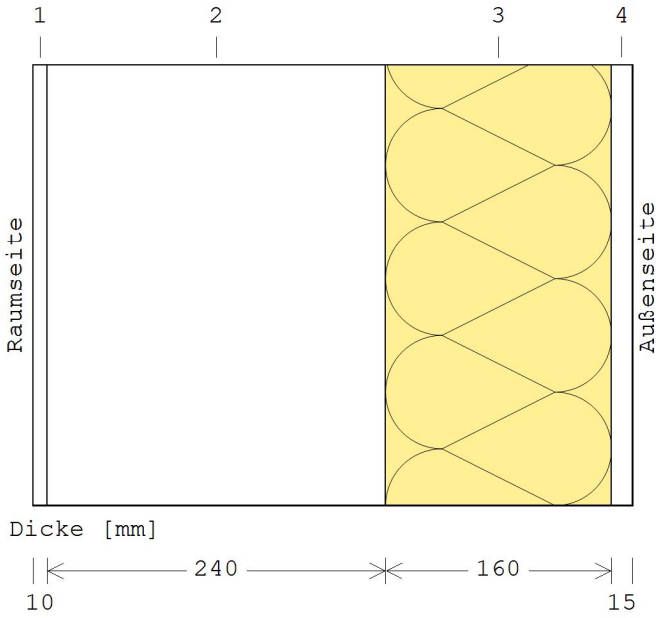
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	Fliesen	10	1,300
2	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	65	1,400
3	PE-Folie	0,2	2,300
4	Systemplatte für Fußbodenheizung (aus Holzfaserdämmung)	30	0,044
5	XPS-Dämmung (Lambda = 0,037 W/(mK))	130	0,037
6	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,230
7	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	350	2,300
	gesamt	**590,2**	

Bodenplatte (Garagenbereich):



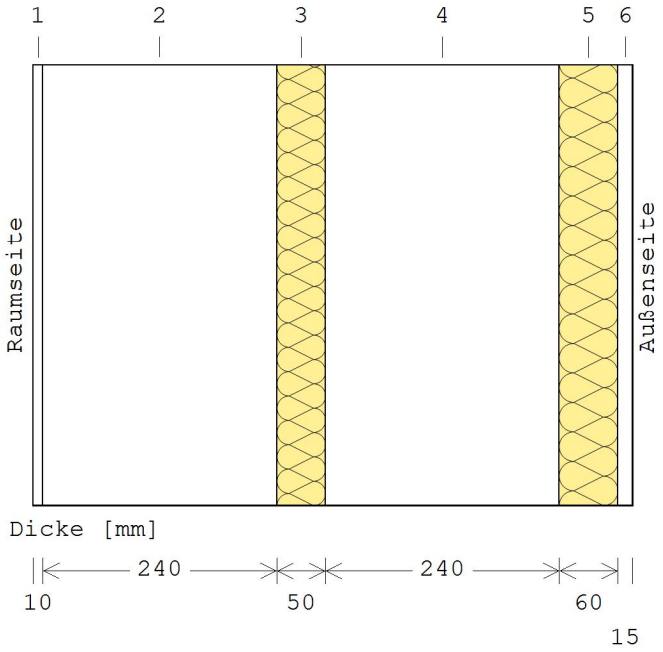
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	Fliesen	10	1,300
2	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	65	1,400
3	PE-Folie	0,2	2,300
4	Systemplatte für Fußbodenheizung (aus Holzfaserdämmung)	30	0,044
5	XPS-Dämmung (Lambda = 0,037 W/(mK))	130	0,037
6	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,230
7	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	350	2,300
	gesamt	**590,2**	

Außenwände (mit Wärmedämmverbundsystem):



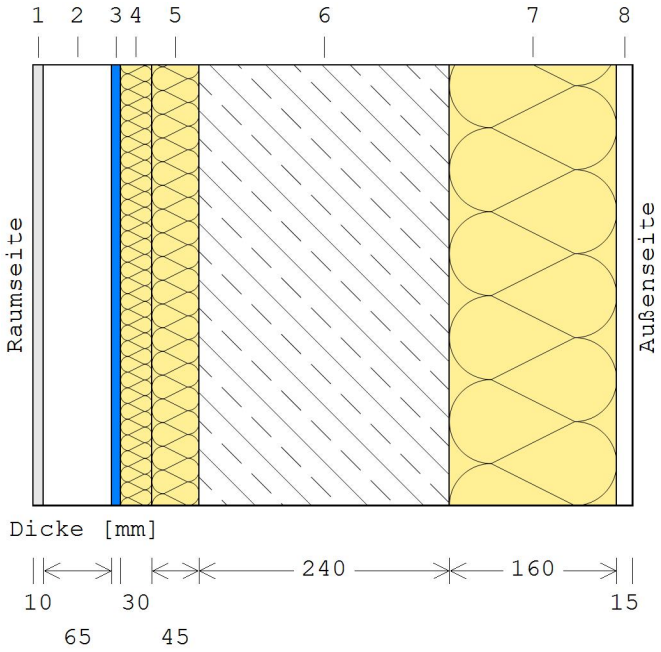
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700
2	DIN 4108 4.2 Mauerwerk aus Kalksandsteinen 1800	240	0,990
3	EPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	160	0,035
4	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1,000
	gesamt	**425**	

Außenwand (Doppelwand):



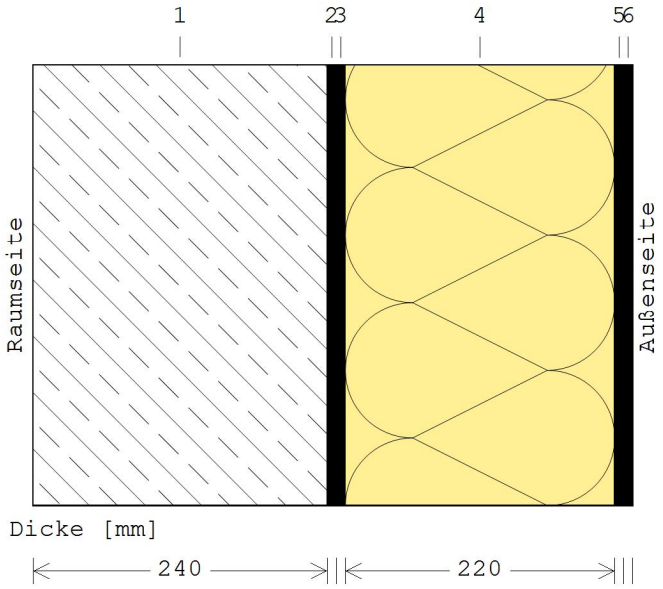
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700
2	DIN 4108 4.2 Mauerwerk aus Kalksandsteinen 1800	240	0,990
3	Mineralwolle-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	50	0,035
4	DIN 4108 4.2 Mauerwerk aus Kalksandsteinen 1800	240	0,990
5	EPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	60	0,035
6	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1,000
	gesamt	**615**	

Decke über 1. Obergeschoss (nach unten gegen Außenluft):



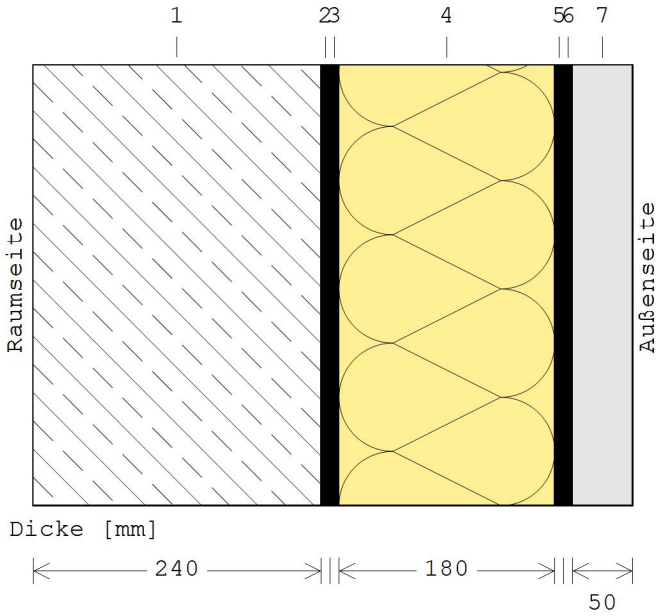
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	Parkett	10	0,180
2	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	65	1,400
3	PE-Folie	0,2	2,300
4	Systemplatte für Fußbodenheizung (aus Holzfaserdämmung)	30	0,044
5	EPS-Dämmung (Lambda = 0,045 W/(mK))	45	0,045
6	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	240	2,300
7	EPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	160	0,035
8	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	15	1,000
	gesamt	**565,2**	

Dachterrasse:



Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	240	2,300
2	Bitumenvoranstrich	4	0,170
3	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	4	0,230
4	EPS-Dämmung (Lambda = 0,040 W/(mK))	220	0,040
5	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	4	0,230
6	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,230
	gesamt	**477**	

Dach über Staffelgeschoss:



Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	240	2,300
2	Bitumenvoranstrich	4	0,170
3	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	4	0,230
4	EPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	180	0,035
5	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	4	0,230
6	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	5	0,230
7	Kies	50	0,700
	gesamt	**487**	

Fenster:

Beschreibung	Wert
Anzahl Verglasungen	2
Wärmedurchgangskoeffizient U_W	1,30 W/(m²K)
Gesamtenergiedurchlassgrad g	0,60

Außentür:

Beschreibung	Wert
Wärmedurchgangskoeffizient U	1,70 W/(m²K)

Garagentor:

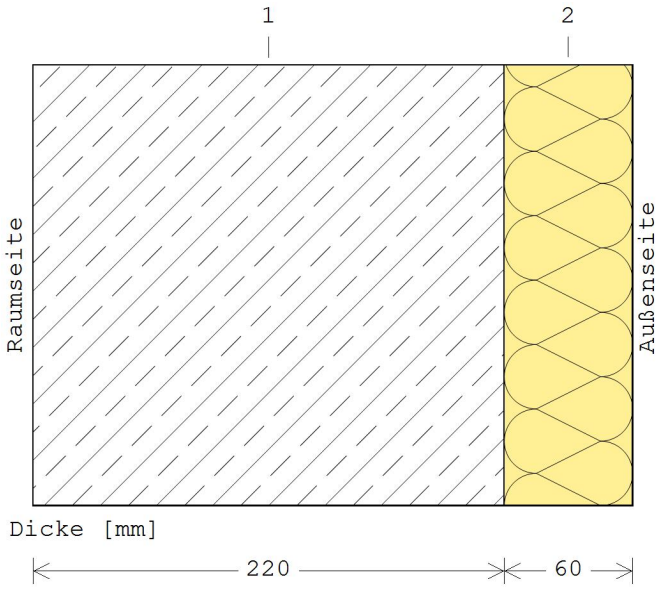
Beschreibung	Wert
Wärmedurchgangskoeffizient U	2,50 W/(m²K)

Wärmebrückenzuschlag:

Beschreibung	Wert
Wärmedurchgangskoeffizient U_{WB}	0,05 W/(m²K) – pauschal angesetzt

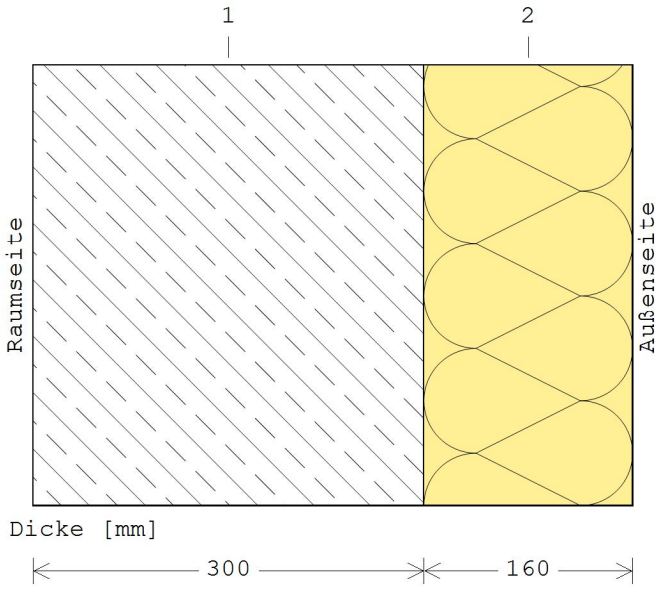
K Außenkonstruktionen reales Beispielgebäude Mehrfamilienhaus

Bodenplatte Kellergeschoss (beheizter Bereich):



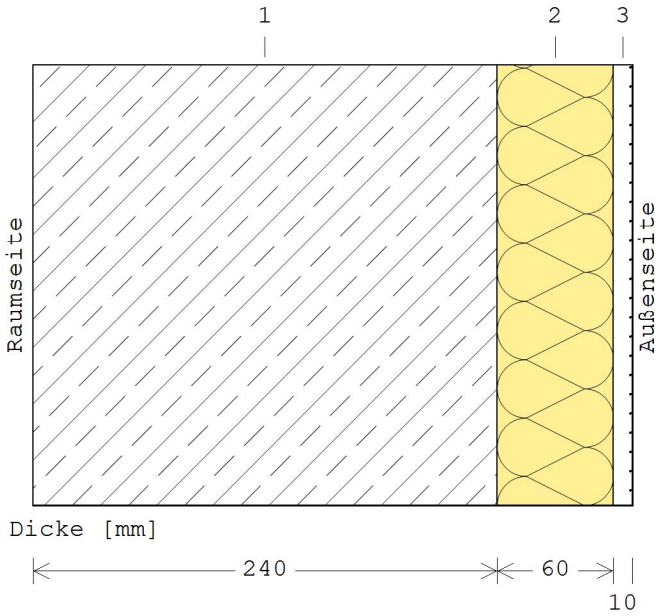
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	220	2,300
2	XPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	60	0,035
	gesamt	**280**	

Außenwände (gegen Erdreich):



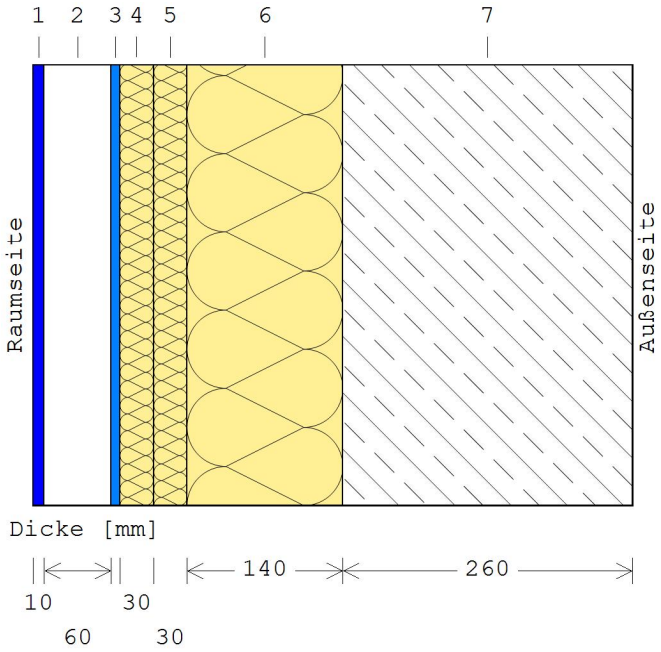
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	300	2,300
2	XPS-Dämmung (Lambda = 0,037 W/(mK))	160	0,037
	gesamt	**460**	

Kellerwände (gegen unbeheizt):



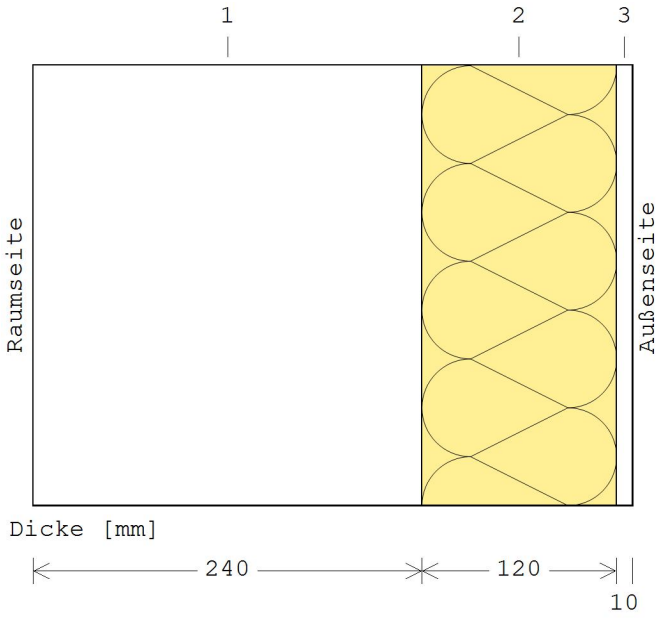
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	240	2,300
2	Mineralwolle-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	60	0,035
3	Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkan-hydrit	10	0,700
	gesamt	**310**	

Decke über Kellergeschoss (nach unten gegen unbeheizt):



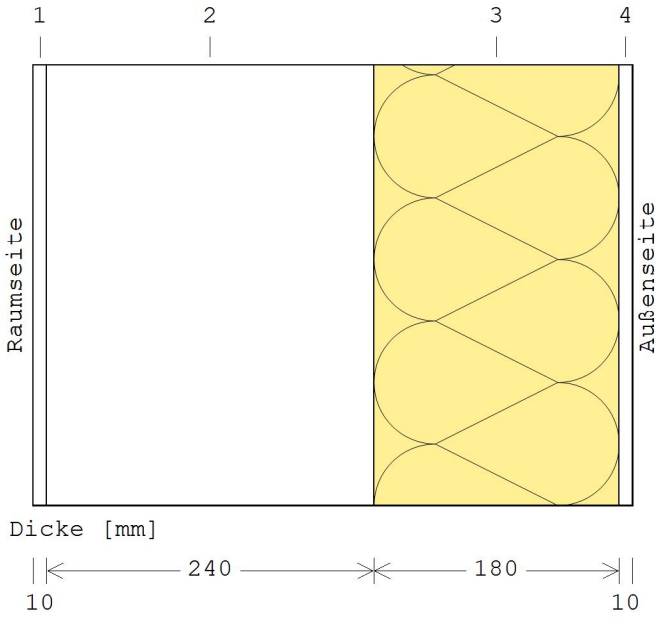
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	Laminat	10	0,250
2	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	60	1,400
3	PE-Folie	1	2,300
4	Systemplatte für Fußbodenheizung (aus EPS)	30	0,040
5	EPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	30	0,035
6	EPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	140	0,035
7	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	260	2,300
	gesamt	**531**	

Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich):



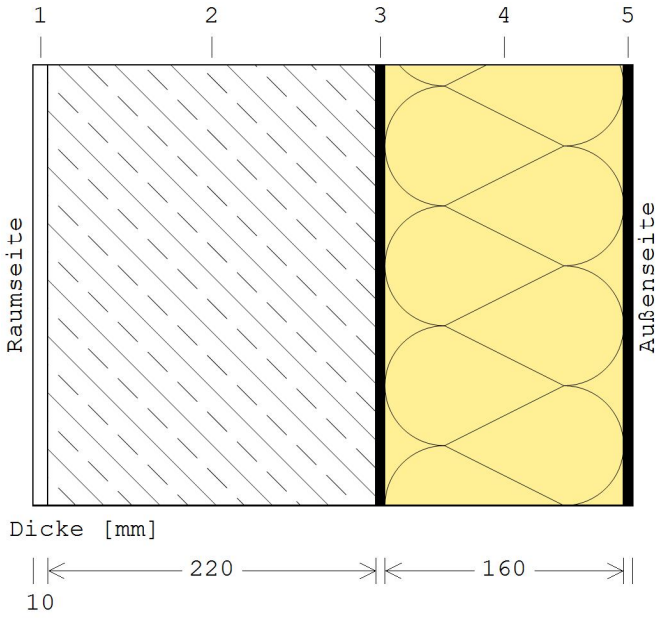
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	DIN 4108 4.2 Mauerwerk aus Kalksandsteinen 2000	240	1,100
2	Mineralwolle-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	120	0,035
3	DIN 4108 1.1.7 Kunstharzputz	10	0,700
	gesamt	**370**	

Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich):



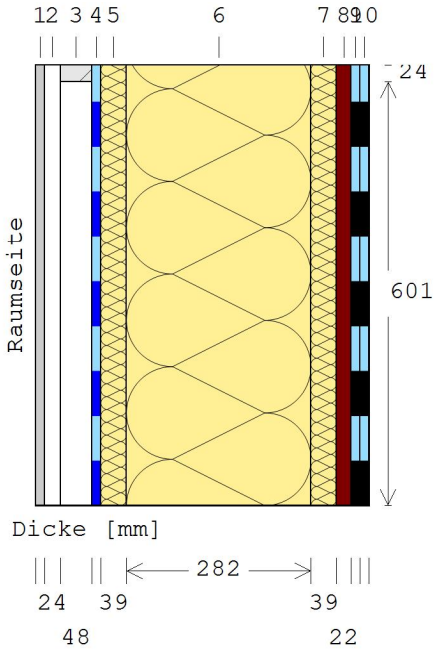
Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit	10	0,700
2	DIN 4108 4.2 Mauerwerk aus Kalksandsteinen 2000	240	1,100
3	Mineralwolle-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	180	0,035
4	DIN 4108 1.1.7 Kunstharzputz	10	0,700
	gesamt	**440**	

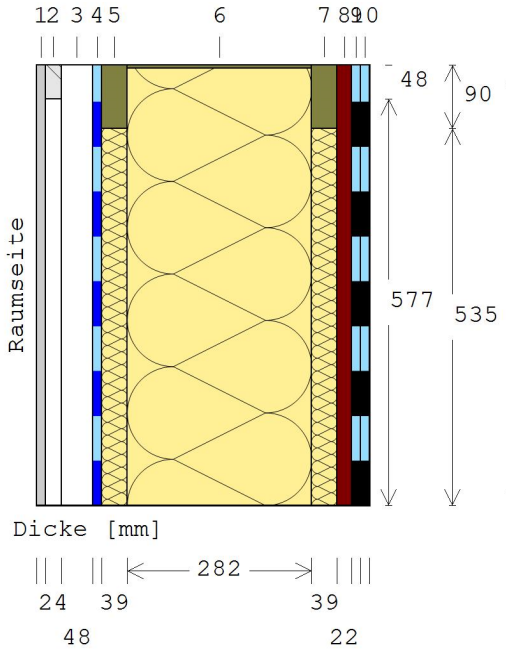
Dachterrasse über 2. Obergeschoss:



Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]
1	Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkan-hydrit	10	0,700
2	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1 % Stahl) 2300	220	2,300
3	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	4	0,230
4	EPS-Dämmung (Lambda = 0,035 W/(mK))	160	0,035
5	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	4	0,230
	gesamt	**398**	

Dach über 3. Obergeschoss:





Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]	Breite [mm]
1	Gipskartonplatten (Rohdichte = 800 kg/m³)	12,5	0,250	
2	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 450	24	0,120	48 (7,7%)
	DIN EN ISO 6946 Luftschicht 25 mm (R = 0,16 m²K/W Wärmestrom aufwärts - nicht belüftet)	24	0,156	577 (92,3%)
3	DIN EN ISO 10456 Nutzholz 450	48	0,120	24 (3,8%)
	DIN EN ISO 6946 Luftschicht 50 mm (R = 0,16 m²K/W Wärmestrom aufwärts - nicht belüftet)	48	0,313	601 (96,2%)
4	Feuchtevariable Dampfbremsbahn (aus PP-Vlies)	0,1	0,220	
5	Furnierschichtholz	39	0,130	90 (14,4%)
	Holzfaser-Dämmung (Lambda = 0,040 W/(mK))	39	0,040	535 (85,6%)
6	Furnierschichtholz	282	0,130	5 (0,8%)
	Holzfaser-Dämmung (Lambda = 0,040 W/(mK))	282	0,040	620 (99,2%)

Schicht	Material	Dicke [mm]	λ [W/mK]	Breite [mm]
7	Furnierschichtholz	39	0,130	90 (14,4%)
	Holzfaser-Dämmung (Lambda = 0,040 W/(mK))	39	0,040	535 (85,6%)
8	DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	22	0,130	
9	DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	3,5	0,170	
10	DIN 4108 7.3.1 Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	5,2	0,170	
	gesamt	**475,3**		

Fenster (mit normaler Verglasung):

Beschreibung	Wert
Anzahl Verglasungen	3
Wärmedurchgangskoeffizient U_W	0,90 W/(m²K)
Gesamtenergiedurchlassgrad g	0,50

Fenster (mit Sonnenschutzverglasung):

Beschreibung	Wert
Anzahl Verglasungen	3
Wärmedurchgangskoeffizient U_W	0,90 W/(m²K)
Gesamtenergiedurchlassgrad g	0,42

Kellertür (gegen unbeheizt):

Beschreibung	Wert
Wärmedurchgangskoeffizient U	2,00 W/(m²K)

Außentür (gegen Außenluft):

Beschreibung	Wert
Wärmedurchgangskoeffizient U	1,10 W/(m²K)

Wärmebrückenzuschlag:

Beschreibung	Wert
Wärmedurchgangskoeffizient U_{WB}	0,10 W/(m²K)

L Variantenuntersuchung Beispielgebäude Einfamilienhaus

Variante 1: Referenzgebäude entsprechend EnEV 2014

Im Vergleich zum realen Gebäude geändert:

→ Bodenplatte: 60 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 20 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,80 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 1,30 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

→ Wärmebrückenzuschlag: ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K)

→ Heizöl-Brennwertkessel + Solaranlage anstatt Luft-Wasser-Wärmepumpe

→ Heizkörper mit 55/45 °C anstatt Fußbodenheizung mit 35/28 °C

→ bivalenter Solarspeicher anstatt indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher

→ kein Pufferspeicher

→ veränderte Heizwärme-Leitungslängen

→ Ansatz von Heizöltanks

→ zentrale Abluftanlage anstatt keine Lüftungsanlage

Variante 2: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 10 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 20 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 240 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 100 (Mauerwerk)

→ Außentür: U = 1,62 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 1,17 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

Variante 3: spezifischer Transmissionswärmeverlust H´$_T$ 20 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 20 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 260 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 425 mm / WLS 100 (Mauerwerk)

→ Außentür: U = 1,44 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 1,04 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

Variante 4: spezifischer Transmissionswärmeverlust H´$_T$ 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 60 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 320 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 490 mm / WLS 100 (Mauerwerk)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

Variante 5: spezifischer Transmissionswärmeverlust H´$_T$ 40 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 80 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 360 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 100 (Mauerwerk)
+ WDVS mit 120 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,08 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,78 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

Variante 6: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 240 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 420 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 100 (Mauerwerk)
+ WDVS mit 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 0,90 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

Variante 7: Erdgas-Brennwertkessel

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Erdgas-Brennwertkessel anstatt Heizöl-Brennwertkessel

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 8: Solaranlage zur Heizungs- und Warmwasserunterstützung

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Solaranlage mit doppelter Kollektorfläche zur Heiz- und Warmwasserunterstützung anstatt nur zur Warmwasserunterstützung

→ zusätzlicher Pufferspeicher

Variante 9: Luft-Wasser-Wärmepumpe

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Luft-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 10: Sole-Wasser-Wärmepumpe

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 11: Wasser-Wasser-Wärmepumpe

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 12: Holzpelletkessel

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Holzpelletkessel anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 13: Zu- und Abluftanlage mit 90 % Wärmebereitstellungsgrad

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Zu- und Abluftanlage mit 90 % Wärmebereitstellungsgrad anstatt zentraler Abluftanlage

Variante 14: Solaranlage zur Heiz- und Warmwasserunterstützung + H'_T 20 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 20 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 260 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 425 mm / WLS 100 (Mauerwerk)

→ Außentür: U = 1,44 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 1,04 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

→ Solaranlage mit doppelter Kollektorfläche zur Heiz- und Warmwasserunterstützung anstatt nur zur Warmwasserunterstützung

→ zusätzlicher Pufferspeicher

Variante 15: KfW-Effizienzhaus 55 mit Luft-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 60 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 320 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 490 mm / WLS 100 (Mauerwerk)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Luft-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 16: KfW-Effizienzhaus 55 mit Sole-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 60 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 320 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 490 mm / WLS 100 (Mauerwerk)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 17: KfW-Effizienzhaus 55 mit Wasser-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 60 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 320 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 490 mm / WLS 100 (Mauerwerk)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 18: KfW-Effizienzhaus 55 mit Holzpelletkessel + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 60 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 320 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 490 mm / WLS 100 (Mauerwerk)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Holzpelletkessel anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 19: KfW-Effizienzhaus 40 mit Sole-Wasser-WP + H'_T 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 240 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 420 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 100 (Mauerwerk)
+ WDVS mit 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 0,90 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 20: KfW-Effizienzhaus 40 mit Wasser-Wasser-WP + H´$_T$ 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 240 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 420 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 100 (Mauerwerk)
+ WDVS mit 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 0,90 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 21: KfW-Effizienzhaus 40 mit Holzpelletkessel + H´$_T$ 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 240 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über EG: 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 420 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 100 (Mauerwerk)
+ WDVS mit 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 0,90 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Holzpelletkessel anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ kein Ansatz von Heizöltanks

M Variantenuntersuchung Beispielgebäude Doppelhaushälfte

Variante 1: Referenzgebäude entsprechend EnEV 2014

Im Vergleich zum realen Gebäude geändert:

→ Bodenplatte: 40 mm / WLS 034 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 100 (Mauerwerk)

→ Decke über OG: 120 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,80 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 1,30 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

→ Wärmebrückenzuschlag: ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K)

→ Heizöl-Brennwertkessel + Solaranlage anstatt Erdgas-Brennwertkessel + Kaminofen

→ Heizkörper mit 55/45 °C anstatt Fußbodenheizung mit 35/28 °C

→ bivalenter Solarspeicher anstatt indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher

→ veränderte Heizwärme-Leitungslängen

→ Ansatz von Heizöltanks

→ zentrale Abluftanlage anstatt Zu- und Abluftanlage mit 90 % Wärmebereitstellungsgrad

Variante 2: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 10 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 60 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,62 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 1,17 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

Variante 3: spezifischer Transmissionswärmeverlust H´$_T$ 20 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 60 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 080 (Mauerwerk)

→ Decke über OG: 220 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,44 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 1,04 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

Variante 4: spezifischer Transmissionswärmeverlust H´$_T$ 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 120 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 425 mm / WLS 080 (Mauerwerk)

→ Decke über OG: 280 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

Variante 5: spezifischer Transmissionswärmeverlust H´$_T$ 40 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 240 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 480 mm / WLS 080 (Mauerwerk)

→ Decke über OG: 360 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,08 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,78 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

Variante 6: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 280 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 080 (Mauerwerk)
+ WDVS mit 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 360 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 0,90 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

Variante 7: Erdgas-Brennwertkessel

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Erdgas-Brennwertkessel anstatt Heizöl-Brennwertkessel

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 8: Solaranlage zur Heizungs- und Warmwasserunterstützung

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Solaranlage mit doppelter Kollektorfläche zur Heiz- und Warmwasserunterstützung anstatt nur zur Warmwasserunterstützung

→ zusätzlicher Pufferspeicher

Variante 9: Luft-Wasser-Wärmepumpe

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Luft-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 10: Sole-Wasser-Wärmepumpe

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 11: Wasser-Wasser-Wärmepumpe

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 12: Holzpelletkessel

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Holzpelletkessel anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 13: Zu- und Abluftanlage mit 90 % Wärmebereitstellungsgrad

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Zu- und Abluftanlage mit 90 % Wärmebereitstellungsgrad anstatt zentraler Abluftanlage

Variante 14: Solaranlage zur Heiz- und Warmwasserunterstützung + H'_T 20 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 60 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 080 (Mauerwerk)

→ Decke über OG: 220 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,44 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 1,04 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

→ Solaranlage mit doppelter Kollektorfläche zur Heiz- und Warmwasserunterstützung anstatt nur zur Warmwasserunterstützung

→ zusätzlicher Pufferspeicher

Variante 15: KfW-Effizienzhaus 55 mit Luft-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 120 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 425 mm / WLS 080 (Mauerwerk)

→ Decke über OG: 280 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Luft-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 16: KfW-Effizienzhaus 55 mit Sole-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 120 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 425 mm / WLS 080 (Mauerwerk)

→ Decke über OG: 280 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 17: KfW-Effizienzhaus 55 mit Wasser-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 120 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 425 mm / WLS 080 (Mauerwerk)

→ Decke über OG: 280 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 18: KfW-Effizienzhaus 55 mit Holzpelletkessel + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 120 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 425 mm / WLS 080 (Mauerwerk)

→ Decke über OG: 280 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Holzpelletkessel anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 19: KfW-Effizienzhaus 40 mit Sole-Wasser-WP + H'_T 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 280 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 080 (Mauerwerk)
+ WDVS mit 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 360 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 0,90 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 20: KfW-Effizienzhaus 40 mit Wasser-Wasser-WP + H´$_T$ 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 280 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 080 (Mauerwerk)
+ WDVS mit 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 360 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 0,90 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 21: KfW-Effizienzhaus 40 mit Holzpelletkessel + H´$_T$ 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte: 280 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände: 365 mm / WLS 080 (Mauerwerk)
+ WDVS mit 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über OG: 360 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 0,90 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Holzpelletkessel anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ kein Ansatz von Heizöltanks

N Variantenuntersuchung Beispielgebäude Reihenhaus

Variante 1: Referenzgebäude entsprechend EnEV 2014

Im Vergleich zum realen Gebäude geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 60 mm / WLS 034 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 60 mm / WLS 034 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 120 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 20 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 40 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 180 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,80 W/(m²K)

→ Heizöl-Brennwertkessel + Solaranlage anstatt Fernwärme

→ Heizkörper mit 55/45 °C im gesamten Gebäude anstatt Heizkörper in Garage und Fußbodenheizung im sonstigen Gebäude mit 35/28 °C

→ bivalenter Solarspeicher anstatt indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher

→ veränderte Heizwärme-Leitungslängen

→ Ansatz von Heizöltanks

Variante 2: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 10 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 80 mm / WLS 036 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 80 mm / WLS 036 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 60 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 80 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 220 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,62 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 2,25 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 1,17 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

Variante 3: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 20 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 120 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 120 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 240 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 220 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,44 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 2,00 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 1,04 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

Variante 4: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 140 mm / WLS 038 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 140 mm / WLS 038 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 320 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 280 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 1,75 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

Variante 5: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 40 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 180 mm / WLS 034 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 180 mm / WLS 034 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 240 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 400 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 340 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,08 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 1,50 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,78 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

Variante 6: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 240 mm / WLS 036 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 240 mm / WLS 036 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 360 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 300 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 300 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 440 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 380 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 0,90 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 1,25 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

Variante 7: Erdgas-Brennwertkessel

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Erdgas-Brennwertkessel anstatt Heizöl-Brennwertkessel

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 8: Solaranlage zur Heizungs- und Warmwasserunterstützung

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Solaranlage mit doppelter Kollektorfläche zur Heiz- und Warmwasserunterstützung anstatt nur zur Warmwasserunterstützung

→ zusätzlicher Pufferspeicher

Variante 9: Luft-Wasser-Wärmepumpe

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Luft-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 10: Sole-Wasser-Wärmepumpe

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 11: Wasser-Wasser-Wärmepumpe

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 12: Holzpelletkessel

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Holzpelletkessel anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 13: Zu- und Abluftanlage mit 90 % Wärmebereitstellungsgrad

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Zu- und Abluftanlage mit 90 % Wärmebereitstellungsgrad anstatt zentraler Abluftanlage

Variante 14: Solaranlage zur Heiz- und Warmwasserunterstützung + H'_T 20 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 120 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 120 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 240 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 220 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,44 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 2,00 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 1,04 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

→ Solaranlage mit doppelter Kollektorfläche zur Heiz- und Warmwasserunterstützung anstatt nur zur Warmwasserunterstützung

→ zusätzlicher Pufferspeicher

Variante 15: KfW-Effizienzhaus 55 mit Luft-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 140 mm / WLS 038 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 140 mm / WLS 038 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 320 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 280 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 1,75 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Luft-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 16: KfW-Effizienzhaus 55 mit Sole-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 140 mm / WLS 038 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 140 mm / WLS 038 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 320 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 280 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 1,75 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 17: KfW-Effizienzhaus 55 mit Wasser-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 140 mm / WLS 038 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 140 mm / WLS 038 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 320 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 280 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 1,75 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 18: KfW-Effizienzhaus 55 mit Holzpelletkessel + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 140 mm / WLS 038 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 140 mm / WLS 038 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 320 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 280 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 1,26 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 1,75 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Holzpelletkessel anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 19: KfW-Effizienzhaus 40 mit Sole-Wasser-WP + H'_T 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 240 mm / WLS 036 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 240 mm / WLS 036 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 360 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 300 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 300 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 440 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 380 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 0,90 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 1,25 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 20: KfW-Effizienzhaus 40 mit Wasser-Wasser-WP + H'_T 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 240 mm / WLS 036 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 240 mm / WLS 036 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 360 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 300 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 300 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 440 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 380 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 0,90 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 1,25 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 21: KfW-Effizienzhaus 40 mit Holzpelletkessel + H'_T 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte (Wohnbereich): 240 mm / WLS 036 (Wärmedämmung)

→ Bodenplatte (Garagenbereich): 240 mm / WLS 036 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (WDVS): 360 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwand (Doppelwand): 300 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über 1.OG (nach unten gegen Außenluft): 300 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse: 440 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Dach über SG: 380 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außentür: U = 0,90 W/(m²K)

→ Garagentor: U = 1,25 W/(m²K)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Holzpelletkessel anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ kein Ansatz von Heizöltanks

O Variantenuntersuchung Beispielgebäude Mehrfamilienhaus

Variante 1: Referenzgebäude entsprechend EnEV 2014

Im Vergleich zum realen Gebäude geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 100 mm / WLS 038 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 100 mm / WLS 036 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 80 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 20 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 120 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 180 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 1,30 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

→ Türen: U = 1,80 W/(m²K)

→ Wärmebrückenzuschlag: ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K)

→ Heizöl-Brennwertkessel + Solaranlage anstatt Luft-Wasser-Wärmepumpe

→ Heizkörper mit 55/45 °C anstatt Fußbodenheizung mit 45/35 °C

→ bivalenter Solarspeicher anstatt indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher

→ kein Pufferspeicher

→ veränderte Heizwärme-Leitungslängen

→ Ansatz von Heizöltanks

Variante 2: spezifischer Transmissionswärmeverlust H´$_T$ 10 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 120 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 120 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 40 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 120 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 220 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 1,17 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

→ Türen: U = 1,62 W/(m²K)

Variante 3: spezifischer Transmissionswärmeverlust H´$_T$ 20 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 120 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 120 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 60 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 120 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 220 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 1,04 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

→ Türen: U = 1,44 W/(m²K)

Variante 4: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 160 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 160 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 240 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 260 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Türen: U = 1,26 W/(m²K)

Variante 5: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 40 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 200 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 200 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 180 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 220 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 260 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 300 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 320 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 0,78 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Türen: U = 1,08 W/(m²K)

Variante 6: spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_T 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 280 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 280 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 260 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 220 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 320 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 340 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 380 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 420 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Türen: U = 0,90 W/(m²K)

Variante 7: Erdgas-Brennwertkessel

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Erdgas-Brennwertkessel anstatt Heizöl-Brennwertkessel

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 8: Solaranlage zur Heizungs- und Warmwasserunterstützung

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Solaranlage mit doppelter Kollektorfläche zur Heiz- und Warmwasserunterstützung anstatt nur zur Warmwasserunterstützung

→ zusätzlicher Pufferspeicher

Variante 9: Luft-Wasser-Wärmepumpe

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Luft-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 10: Sole-Wasser-Wärmepumpe

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 11: Wasser-Wasser-Wärmepumpe

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 12: Holzpelletkessel

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Holzpelletkessel anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 13: Zu- und Abluftanlage mit 90 % Wärmebereitstellungsgrad

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Zu- und Abluftanlage mit 90 % Wärmebereitstellungsgrad anstatt zentraler Abluftanlage

Variante 14: Solaranlage zur Heiz- und Warmwasserunterstützung + H'_T 20 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 120 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 120 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 60 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 120 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 220 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 1,04 W/(m²K) / g = 0,60 (2-fach Verglasung)

→ Türen: U = 1,44 W/(m²K)

→ Solaranlage mit doppelter Kollektorfläche zur Heiz- und Warmwasserunterstützung anstatt nur zur Warmwasserunterstützung

→ zusätzlicher Pufferspeicher

Variante 15: KfW-Effizienzhaus 55 mit Luft-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 160 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 160 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 240 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 260 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Türen: U = 1,26 W/(m²K)

→ Luft-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 16: KfW-Effizienzhaus 55 mit Sole-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 160 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 160 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 240 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 260 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Türen: U = 1,26 W/(m²K)

→ Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 17: KfW-Effizienzhaus 55 mit Wasser-Wasser-WP + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 160 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 160 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 240 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 260 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Türen: U = 1,26 W/(m²K)

→ Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 18: KfW-Effizienzhaus 55 mit Holzpelletkessel + H'_T 30 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 160 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 160 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 140 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 100 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 160 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 200 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 240 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 260 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 0,91 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Türen: U = 1,26 W/(m²K)

→ Holzpelletkessel anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 19: KfW-Effizienzhaus 40 mit Sole-Wasser-WP + H'_T 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 280 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 280 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 260 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 220 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 320 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 340 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 380 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 420 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Türen: U = 0,90 W/(m²K)

→ Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden) anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 20: KfW-Effizienzhaus 40 mit Wasser-Wasser-WP + H'_T 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 280 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 280 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 260 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 220 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 320 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 340 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 380 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 420 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Türen: U = 0,90 W/(m²K)

→ Wasser-Wasser-Wärmepumpe anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ Fußbodenheizung mit 35/28 °C anstatt Heizkörper mit 55/45 °C

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ Länge Heizwärme-Anbindeleitung: 0,1 m

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Variante 21: KfW-Effizienzhaus 40 mit Holzpelletkessel + H'_T 50 % verbessert

Im Vergleich zur EnEV-2014-Referenzgebäude-Variante geändert:

→ Bodenplatte KG (beheizter Bereich): 280 mm / WLS 039 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Erdreich): 280 mm / WLS 037 (Wärmedämmung)

→ Kellerwände (gegen unbeheizt): 260 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Decke über KG (nach unten gegen unbeheizt): 220 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; Aufzugsbereich): 320 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Außenwände (gegen Außenluft; kein Aufzugsbereich): 340 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dachterrasse über 2.OG: 380 mm / WLS 035 (Wärmedämmung)

→ Dach über 3.OG: 420 mm / WLS 040 (Wärmedämmung)

→ Fenster: U_W = 0,65 W/(m²K) / g = 0,50 (3-fach Verglasung)

→ Türen: U = 0,90 W/(m²K)

→ Holzpelletkessel anstatt Brennwertkessel + Solaranlage

→ indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher anstatt bivalenter Solarspeicher

→ zusätzlicher Pufferspeicher

→ kein Ansatz von Heizöltanks

Literaturverzeichnis

[1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 2016.

[2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 2017.

[3] Umweltbundesamt (UBA): Klimaschutzziele Deutschlands. https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/klimaschutzziele-deutschlands (Abruf: 01.08.2018).

[4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Energieeffizienz in Zahlen. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Frankfurt, 2017.

[5] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Energieeinsparverordnung - EnEV, 2014.

[6] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich. Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG, 2009.

[7] Feist, W.: Graue Energie und Passivhaus - welche Bedeutung hat der Energieaufwand für die Herstellung? https://passiv.de/former_conferences/Passivhaus_D/Graue_Energie_und_Passivhaus_2007.htm (Abruf: 23.06.2016).

[8] Schöndube, T.; Beecken, C.; Becker, S. et al.: Primärenergiebedarf resultierend aus Herstellungs-, Nutzungs- und Instandhaltungsphase von Gebäuden in Abhängigkeit vom energetischen Gebäudestandard. In: Völker, C.; Kornadt, O.; Jentsch, M. et al. (Hrsg.): Bauphysiktage 2019 in Weimar. Bauphysik in Forschung und Praxis. Schriftenreihe der Professur Bauphysik, Bauhaus-Universität Weimar, S. 82–87, 2019.

[9] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Energieeinsparverordnung - EnEV 2002, 2002.

[10] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden. Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV, 1995.

[11] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Warmwasseranlagen. Heizungsanlagen-Verordnung - HeizAnlV, 1998.

[12] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Energieeinsparverordnung - EnEV 2004, 2004.

[13] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Energieeinsparverordnung - EnEV 2007, 2007.

[14] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung. Energieeinsparverordnung - EnEV 2009, 2009.

[15] DIN V 18599-1:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger.

[16] Schild, K.; Brück, H.: Energie-Effizienzbewertung von Gebäuden. Anforderungen und Nachweisverfahren gemäß EnEV 2009. Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2010.

[17] Gesundheits- und Umweltdepartement der Stadt Zürich: Primärenergie: Der Energiewert. https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/umwelt_energie/2000-watt-gesellschaft/hintergrund/Konzept.html (Abruf: 26.11.2018).

[18] Henning, S.; Jagnow, K.: Anwendungsleitfaden zur DIN V 18599 Ausgabe 2011-12. Erklärungen zur strukturierten Vorgehensweise bei der energetischen Gebäudebilanzierung. Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2016.

[19] ift Rosenheim GmbH: EnEV. https://www.baunetzwissen.de/glossar/e/enev-49267/gallery-1/1 (Abruf: 17.12.2018).

[20] DIN V 4108-6:2003-06: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.

[21] DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.

[22] DIN EN 13829:2001-02: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert); Deutsche Fassung EN 13829:2000.

[23] Klauß, S.; Maas, A.: Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2010.

[24] Offermann, M.; Manteuffel, B. von; Hermelink, A.: Begleituntersuchung zur europäischen Berichterstattung „Cost-Optimal-Level“ - Modellrechnungen. BMVBS-Online-Publikation, 26/2013. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 2013.

[25] Statistisches Bundesamt: Zensus 2011. Gebäude und Wohnungen sowie Wohnverhältnisse der Haushalte, Ergebnisse des Zensus 2011. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2011.

[26] Europäische Kommission: Delegierte Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten, 2012.

[27] OSTRAUER Baugesellschaft mbH: Planungsunterlagen zum Beispielgebäude "Einfamilienhaus", 2018.

[28] OSTRAUER Baugesellschaft mbH: Planungsunterlagen zum Beispielgebäude "Doppelhaushälfte", 2017-2018.

[29] A.R.T. GmbH: Planungsunterlagen zum Beispielgebäude "Reihenhaus", 2009-2011.

[30] DIN V 18599-2:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen.

[31] bow ingenieure gmbh: Planungsunterlagen zum Beispielgebäude "Mehrfamilienhaus", 2016-2019.

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

[33] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB): DGNB System. Kriterienkatalog Gebäude Neubau. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), 2018.

[34] Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V. (NaWoh): Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau Mehrfamilienhäuser - Neubau. Hauptkriteriengruppe Ökologische Qualität. http://www.nawoh.de/uploads/pdf/kriterien/v_3_1/3-Oekologische_Qualitaet_3_1.pdf (Abruf: 02.12.2018).

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

[36] BauNetz Media GmbH: BNB: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude. https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/nachweise-zertifikate/bnb-bewertungssystem-nachhaltiges-bauen-fuer-bundesgebaeude-2402695 (Abruf: 14.08.2018).

[37] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Anlagen zum Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).

[38] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Büro- und Verwaltungsgebäude. Kriterium Primärenergiebedarf. https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neubau/v_2015/BNB_BN2015_121.pdf (Abruf: 21.08.2018).

[39] DIN EN 15978:2012-10: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011.

[40] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Büro- und Verwaltungsgebäude. Kriterium Treibhauspotential (GWP). https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neubau/v_2015/BNB_BN2015_111.pdf (Abruf: 22.08.2018).

[41] DIN 277-1:2016-01: Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen - Teil 1: Hochbau.

[42] DIN 276-1:2008-12: Kosten im Bauwesen - Teil 1: Hochbau.

[43] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Nutzungsdauern, Instandhaltungsaufwand, Ökobilanzierung. https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/anlagen/2015/Anlage_1_Nutzungsdauern_Instandhaltung_%C3%96kobilanzierung.pdf (Abruf: 24.08.2018).

[44] DIN V 18599:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.

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

[46] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI): ÖKOBAUDAT. Informationsportal Nachhaltiges Bauen. https://www.oekobaudat.de/ (Abruf: 30.04.2020).

[47] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB): Die DGNB. Die Historie der DGNB. https://www.dgnb.de/de/verein/die_dgnb/?pk_campaign=evbox_dgnb (Abruf: 19.09.2018).

[48] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB): DGNB bringt nachhaltiges Bauen voran. https://www.dgnb.de/dgnb-ev/de/aktuell/pressemitteilungen/detail.php?we_objectID=4288 (Abruf: 19.09.2018).

[49] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauededaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf (Abruf: 10.12.2018).

[50] DIN EN 15804:2014-07: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A1:2013.

[51] VDI 2067 Blatt 1:2012-09: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung.

[52] Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V. (NaWoh): Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau (NaWoh) gegründet. Berlin, 2012.

[53] Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V. (NaWoh): Der Verein NaWoh. http://www.nawoh.de/der-verein-nawoh (Abruf: 26.11.2018).

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

[55] DIN 4109:1989-11: Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise.

[56] Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V. (NaWoh): Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau Mehrfamilienhäuser - Neubau. Wichtige Hinweise / Vorbemerkungen. http://www.nawoh.de/uploads/pdf/kriterien/v_3_1/0-0-1-Wichtige_Hinweise_Vorbemerkung_V_3_1.pdf (Abruf: 26.11.2018).

[57] Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V. (NaWoh): Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau Mehrfamilienhäuser - Neubau. Hauptkriteriengruppe Technische Qualität. http://www.nawoh.de/uploads/pdf/kriterien/v_3_1/2-Technische_Qualitaet_V_3_1.pdf (Abruf: 27.11.2018).

[58] BauNetz Media GmbH: NaWoh: Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau. https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/nachweise-zertifikate/nawoh-qualitaetssiegel-nachhaltiger-wohnungsbau-5295000/gallery-1/1 (Abruf: 25.09.2018).

[59] CAALA: Was ist das Modul D der Lebenszyklusanalyse? https://caala.de/knowledgebase/faq/recyclingpotential-modul-d-der-lebenszyklusanalyse (Abruf: 16.12.2019).

[60] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI): ÖKOBAUDAT. Prozess-Datensatz: Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt) (de). https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=8a7bcf84-f0a1-46fe-a146-4af9a182edfe&stock=OBD_2019_III&lang=de (Abruf: 20.12.2019).

[61] Rössig, S.: eLCA Starter-Handbuch. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2014.

[62] Microsoft Excel. Microsoft, Redmond, 1985.

[63] Blum, T.: 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, 2019.

[64] Pohl, S.: Analyse der Rechenverfahren für die Ökobilanzierung im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB). Gegenüberstellung von detailliertem und vereinfachtem Rechenverfahren. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2014.

[65] DIN V 18599-3:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung.

[66] DIN V 18599-4:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung.

[67] DIN V 18599-5:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen.

[68] DIN V 18599-6:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 6: Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsystemen für den Wohnungsbau.

[69] DIN V 18599-7:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau.

[70] DIN V 18599-8:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen.

[71] DIN V 18599-9:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen.

[72] DIN V 18599-10:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten.

[73] DIN V 18599-11:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 11: Gebäudeautomation.

[74] Herr, T.: Technische Grundlagen von Wohnimmobilien. In: Arnold, D.; Rottke, N. B.; Winter, R. (Hrsg.): Wohnimmobilien. Lebenszyklus, Strategie, Transaktion, S. 419–456. Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2017.

[75] Arnold, D.; Rottke, N. B.; Winter, R. (Hrsg.): Wohnimmobilien. Lebenszyklus, Strategie, Transaktion. Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2017.

[76] Bund Technischer Experten e.V. (BTE): Arbeitsblatt der BTE-Arbeitsgruppe: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte. Bund Technischer Experten e.V. (BTE).

[77] Statistisches Bundesamt: Gebäude und Wohnungen. Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden, Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden, Lange Reihen ab 1969-2017. Statistisches Bundesamt, 2018.

[78] Statista GmbH: Abriss von Wohngebäuden in Deutschland nach Gebäudeart in den Jahren 2002 bis 2017. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/198175/umfrage/abriss-von-wohngebaeuden-in-deutschland-seit-2002-nach-wohnungsanzahl/ (Abruf: 04.12.2018).

[79] DIN EN 15459:2017-09: Energetische Bewertung von Gebäuden - Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Energieanlagen in Gebäuden - Teil 1: Berechnungsverfahren, Modul M1-14; Deutsche Fassung EN 15459-1:2017.

[80] DIN V 4701-10:2003-08: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung.

[81] Schoch, T.: EnEV 2014 und DIN V 18599 Wohnbau. Kompaktdarstellung, Kommentar, Praxisbeispiele. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2014.

[82] Hoier, A.; Erhorn, H.: Energetische Gebäudesanierung in Deutschland – Studie Teil I: Entwicklung und energetische Bewertung alternativer Sanierungsfahrpläne. IBP-Bericht WB 170/2013. Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), 2013.

[83] Dornmair, R.; Kuhn, P.: Dynamische Primärenergiefaktoren – Konzept mit einem Stromsystemmodell. Berechnungsvorschrift und erste Ergebnisse. Technische Universität München, 2017.

[84] Öko-Institut e.V.; Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI): Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht. Öko-Institut e.V.; Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), 2015.

[85] Weiß, J.; Bost, M.; Dunkelberg, E.: Regionale Sanierungsszenarien und deren Bewertung. Transformation kleinerer Wohngebäude in den Regionen Spreewald-Lausitz und Potsdam/Potsdam-Mittelmark, Gebäude-Energiewende Arbeitspapier 9. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (iöw), Berlin, 2017.

[86] Oschatz, B.; Pehnt, M.; Schüwer, D.: Weiterentwicklung der Primärenergiefaktoren im neuen Energiesparrecht für Gebäude. Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden GmbH (ITG); Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu); Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, 2016.

[87] Schneider, C.; Schüwer, D.: Technologiebericht 6.4 Low-carbon und ressourceneffiziente Industrie innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energiewende. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, 2018.

[88] Schüwer, D.; Hanke, T.; Luhmann, H.-J.: Konsistenz und Aussagefähigkeit der Primärenergie-Faktoren für Endenergieträger im Rahmen der EnEV, Diskussionspapier. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, 2015.

[89] Fritsche, U. R.; Greß, H.-W.: Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2015 sowie Ausblicke auf 2020 und 2030. Bericht für die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V. (HEA), Kurzstudie. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien GmbH (IINAS), Darmstadt, 2016.

[90] Fritsche, U. R.; Greß, H.-W.: Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2017 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050. Bericht für die HEA - Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V., Kurzstudie. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien GmbH (IINAS), Darmstadt, 2018.

[91] Bürger, V.; Hesse, T.; Quack, D. et al.: Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. Climate Change, 06/2016. Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau, 2016.

[92] Bürger, V.; Hesse, T.; Palzer, A. et al.: Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. Energieeffizienzpotentiale und die Auswirkungen des Klimawandels auf den Gebäudebestand. Climate Change, 26/2017. Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau, 2017.

[93] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Verordnung zur Berechnung der Wohnfläche. Wohnflächenverordnung - WoFIV, 2004.

[94] ZUB Helena Ultra. ZUB Systems GmbH, Kassel, o. J.

[95] Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW): Anlagen zum Merkblatt Energieeffizient Bauen. Technische Mindestanforderungen. https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000003465_M_153_EEB_TMA_2018_04.pdf (Abruf: 19.07.2019).

[96] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI): ÖKOBAUDAT. Quellen-Datensatz: Construction_Gewichte Speicher.jpg (de). https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/source.xhtml?uuid=64b27704-4f63-4b3d-bc5d-e453c637e0c3&version=27.00.000 (Abruf: 13.05.2020).

[97] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI): Archiv zur Datenbank ÖKOBAUDAT. https://www.oekobaudat.de/datenbank/archiv.html (Abruf: 29.04.2020).

[98] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI): ÖKOBAUDAT. Prozess-Datensatz: Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 20 kW (de). https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=2af8a919-15c5-4709-bc6c-276d1e0951d5&stock=OBD_2020_II&lang=de (Abruf: 29.04.2020).

[99] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI): ÖKOBAUDAT. Prozess-Datensatz: Pelletkessel < 20 kW (de). https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=0e03a1c1-0aa9-4e94-bbc5-653d967b0d8d&version=01.00.073&lang=de (Abruf: 30.04.2020).

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

[101] Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union: Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010, 2010.

[102] Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union: 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, 2018.

[103] Europäische Kommission: Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten, 2012.

[104] Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V. (NaWoh): NaWoh Steckbriefe - Inhaltsverzeichnis. http://www.nawoh.de/uploads/pdf/kriterien/v_3_1/0-0-0-Inhaltsverzeichnis_V_3_1.pdf (Abruf: 26.11.2018).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Primär-, End- und Nutzenergie nach [17] 8

Abbildung 2: Wohn-Referenzgebäude entsprechend EnEV 2014 [19] 9

Abbildung 3: Ansicht Nord zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27] 13

Abbildung 4: Ansicht Ost zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27] 13

Abbildung 5: Ansicht Süd zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27] 14

Abbildung 6: Ansicht West zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27] 14

Abbildung 7: Ansicht Südost zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28] 15

Abbildung 8: Ansicht Südwest zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28] 15

Abbildung 9: Ansicht Nordwest zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28] 16

Abbildung 10: Ansicht Ost zum Beispielgebäude Reihenhaus [29] 17

Abbildung 11: Ansicht West zum Beispielgebäude Reihenhaus [29] 18

Abbildung 12: Ansicht Ost zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 19

Abbildung 13: Ansicht Süd zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 20

Abbildung 14: Ansicht West zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 20

Abbildung 15: Ansicht Nord zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 21

Abbildung 16: Aufbau des BNB [35] 23

Abbildung 17: Gewichtung der Hauptkriterien im BNB [35] 24

Abbildung 18: Bewertungsskala im BNB [35] 24

Abbildung 19: Gewichtung der Themenfelder im DGNB-Zertifizierungssystem [33] 31

Abbildung 20: Bewertungsskala im DGNB-Zertifizierungssystem [33] 32

Abbildung 21: Hauptkriterien im NaWoh-Zertifizierungssystem [54] 39

Abbildung 22: Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau [58] 40

Abbildung 23: Lebenszyklusphasen eines Gebäudes nach DIN EN 15978 [39] 44

Abbildung 24: eLCA-Tool-Ergebnisse für einen Außenwandquerschnitt nach [45] 46

Abbildung 25: Entwicklung des Primärenergiefaktors, nicht erneuerbar von Strom 56

Abbildung 26: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Einfamilienhaus 67

Abbildung 27: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Einfamilienhaus 68

Abbildung 28: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Einfamilienhaus.....68

Abbildung 29: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Doppelhaushälfte....69

Abbildung 30: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Doppelhaushälfte....69

Abbildung 31: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Doppelhaushälfte....70

Abbildung 32: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Reihenhaus 70

Abbildung 33: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Reihenhaus 71

Abbildung 34: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Reihenhaus 71

Abbildung 35: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Mehrfamilienhaus...72

Abbildung 36: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Mehrfamilienhaus...72

Abbildung 37: Ergebnisse zur Variantenuntersuchung für das Beispielgebäude Mehrfamilienhaus...73

Abbildung 38: Ansicht Nord zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27] 93

Abbildung 39: Ansicht Ost zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27] 93

Abbildung 40: Ansicht Süd zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27] 94

Abbildung 41: Ansicht West zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27] 94

Abbildung 42: Grundriss Erdgeschoss zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27] 95

Abbildung 43: Grundriss Obergeschoss zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27] 96

Abbildung 44: Schnitt zum Beispielgebäude Einfamilienhaus [27].....97

Abbildung 45: Ansicht Südost zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28].....98

Abbildung 46: Ansicht Südwest zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28] 98

Abbildung 47: Ansicht Nordwest zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28] 99

Abbildung 48: Grundriss Erdgeschoss zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28] 100

Abbildung 49: Grundriss Obergeschoss zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28] 101

Abbildung 50: Grundriss Dachgeschoss zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28].....102

Abbildung 51: Schnitt zum Beispielgebäude Doppelhaushälfte [28].....103

Abbildung 52: Ansicht Ost zum Beispielgebäude Reihenhaus [29].....104

Abbildung 53: Ansicht West zum Beispielgebäude Reihenhaus [29].....105

Abbildung 54: Grundriss Erdgeschoss zum Beispielgebäude Reihenhaus [29].....106

Abbildung 55: Grundriss 1.Obergeschoss zum Beispielgebäude Reihenhaus [29].....107

Abbildung 56: Grundriss 2.Obergeschoss zum Beispielgebäude Reihenhaus [29] 108

Abbildung 57: Grundriss Staffelgeschoss zum Beispielgebäude Reihenhaus [29] 109

Abbildung 58: Schnitt zum Beispielgebäude Reihenhaus [29] 110

Abbildung 59: Ansicht Ost zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 111

Abbildung 60: Ansicht Süd zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 111

Abbildung 61: Ansicht West zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 112

Abbildung 62: Ansicht Nord zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 112

Abbildung 63: Grundriss Kellergeschoss zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 113

Abbildung 64: Grundriss Erdgeschoss zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 114

Abbildung 65: Grundriss 1.Obergeschoss zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 115

Abbildung 66: Grundriss 2.Obergeschoss zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 116

Abbildung 67: Grundriss 3.Obergeschoss zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 117

Abbildung 68: Schnitt 1 zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 118

Abbildung 69: Schnitt 2 zum Beispielgebäude Mehrfamilienhaus [31] 119

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Höchstwerte des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts nach [5] 9

Tabelle 2: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche von Nichtwohngebäuden nach [5] 10

Tabelle 3: Mindestanteile erneuerbarer Energien für neue Gebäude 11

Tabelle 4: Wohngebäude- und Wohnungsverteilung in Deutschland im Jahr 2011 nach [25] 12

Tabelle 5: Mindesterfüllungsgrade für Bundesbauten im BNB nach [37] 25

Tabelle 6: Bewertungspunkte im BNB für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von Büro- und Verwaltungsgebäuden nach [38] 25

Tabelle 7: Bewertungspunkte im BNB für den Gesamtprimärenergiebedarf von Büro- und Verwaltungsgebäuden nach [38] 26

Tabelle 8: Bewertungspunkte im BNB für den Anteil erneuerbarer Primärenergie von Büro- und Verwaltungsgebäuden nach [38] 26

Tabelle 9: Bewertungspunkte im BNB für den Primärenergiebedarf von Büro- und Verwaltungsgebäuden nach [38] 26

Tabelle 10: Lebenswegphasen und -module im BNB nach [32] 27

Tabelle 11: Teilpunkte im DGNB-Zertifizierungssystem für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von Wohngebäuden nach [33] 33

Tabelle 12: Teilpunkte im DGNB-Zertifizierungssystem für den Gesamtprimärenergiebedarf von Wohngebäuden nach [33] 33

Tabelle 13: Teilpunkte im DGNB-Zertifizierungssystem für den Anteil erneuerbarer Primärenergie von Wohngebäuden nach [33] 33

Tabelle 14: Gewichtung der Ökobilanzindikatoren im DGNB-Zertifizierungssystem nach [33] ...34

Tabelle 15: Lebenswegphasen und -module im DGNB-Zertifizierungssystem nach [33] 35

Tabelle 16: Bewertungsstufen im NaWoh-Zertifizierungssystem für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von Wohngebäuden nach [34] 40

Tabelle 17: Bewertungsstufen im NaWoh-Zertifizierungssystem für den Anteil erneuerbarer Primärenergie bei Wohngebäuden nach [34] 41

Tabelle 18: Lebenswegphasen und -module im NaWoh-Zertifizierungssystem nach [32, 34] 41

Tabelle 19: ÖKOBAUDAT-Parameter für den Baustoff "Mauerziegel (Dämmstoff gefüllt)" nach [60] 45

Tabelle 20: Zu bilanzierende Lebenswegphasen nach [32–34] 49

Tabelle 21: Primärenergiefaktoren und Umrechnungsfaktoren Brennwert zu Heizwert entsprechend EnEV nach [15, 81] 55

Tabelle 22: Vorausgesagte Entwicklung des Primärenergiefaktors, nicht erneuerbar von Strom...57

Tabelle 23: Zu untersuchende Varianten 62

Tabelle 24: Ergebnisvergleich für das Beispielgebäude Einfamilienhaus....78

Tabelle 25: Ergebnisvergleich für das Beispielgebäude Doppelhaushälfte....79

Tabelle 26: Ergebnisvergleich für das Beispielgebäude Reihenhaus 80

Tabelle 27: Ergebnisvergleich für das Beispielgebäude Mehrfamilienhaus 81

Tabelle 28: Kriterientabelle für Büro- und Verwaltungsgebäude im BNB [35] 88

Tabelle 29: Kriterientabelle zum DGNB-Zertifizierungssystem nach [33]....89

Tabelle 30: Kriterientabelle Wohnqualität zum Qualitätssiegel NaWoh nach [104] 90

Tabelle 31: Kriterientabelle Technische Qualität zum Qualitätssiegel NaWoh nach [104]....91

Tabelle 32: Kriterientabelle Ökologische Qualität zum Qualitätssiegel NaWoh nach [104]....91

Tabelle 33: Kriterientabelle Ökonomische Qualität zum Qualitätssiegel NaWoh nach [104]....92

Tabelle 34: Kriterientabelle Prozessqualität zum Qualitätssiegel NaWoh nach [104]....92