Fachbereich 1 – Life Sciences and Engineering

Studiengang Umweltschutz

Gesamtenergetische Bewertung eines Neubau-Nichtwohngebäudes unter besonderer Berücksichtigung der detaillierten Wärmebrückenberechnung

Bachelorarbeit

vorgelegt am 26.02.2020

von

Wendy Bäumer

Department 1 – Life Sciences and Engineering

Bachelor Programme Environmental Protection

Overall energetic assessment of a new non-residential building with special consideration of the detailed thermal bridge calculation

Bachelor Thesis

Date: 26.02.2020

presented by

Wendy Bäumer

Abgabedatum	26.02.2020
abgegeben bei:	_____
Arbeit angenommen: Bingen, den	_____
Betreuer (TH)	Prof. Andreas Winkels
Zweitkorrektor (TH)	Prof. Dr.-Ing. Frieder Kunz
Betreuer (extern)	Dr. Julian Schwark Ingenieurbüro Schwark Dorfstr. 76 99444 Blankenhain

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis 3

Abbildungsverzeichnis 4

Tabellenverzeichnis 6

Zusammenfassung 7

Abstract 9

1 Einleitung 11

2 Grundlagen 13

2.1 Nichtwohngebäude in Deutschland 13

2.2 Energiesparendes Bauen 15

2.3 Funktionsweisen der einzelnen Energieerzeuger 17

2.4 Wärmebrücken 21

3 Vorgehensweise 30

3.1 Verwendete Software 30

3.2 Rechtliche Rahmenbedingungen 31

3.3 Gebäudeerfassung 36

3.4 Erfassung der Anlagentechnik 45

3.5 Detaillierte Wärmebrückenberechnung 48

3.6 Erfassung des Hotels als Wohngebäude 57

4 Ergebnisdarstellung und Diskussion 58

4.1 Bewertung der Gebäudehülle 58

4.2 Zwischenergebnisse 59

4.3 Zwischenfazit 64

4.4 Endergebnisse 64

5 Fazit 68

Quellenverzeichnis 70

Anhang 73

Abkürzungsverzeichnis

AW	Außenwand
Bbl	Beiblatt
BHKW	Blockheizkraftwerk
BRH	Brüstungshöhe
CAD	computer-aided design
dena	Deutsche Energie-Agentur
EnEV	Energieeinsparverordnung
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
IW	Innenwand
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kWh	Kilowattstunde
LED	light-emitting diodes
NWG	Nichtwohngebäude
PV	Photovoltaik
Ref	Referenz
RLT	Raumlufttechnik
TWh	Terrawattstunde
TWW	Trinkwarmwasser
WG	Wohngebäude

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Endenergiebezogener Gebäudeenergieverbrauch 14
Abbildung 2 Funktionsprinzip eines Gas-Brennwertkessels 18
Abbildung 3 Funktionsprinzip einer Wärmepumpe 19
Abbildung 4 Funktionsprinzip eines Blockheizkraftwerks 20
Abbildung 5 Funktionsprinzip eines Pelletheizkessel 21
Abbildung 6 Außenecke eines Gebäudes 22
Abbildung 7 Geschossdeckeneinbindung ohne stirnseitige Dämmung 23
Abbildung 8 Taupunktkurve 25
Abbildung 9 Inhalte der DIN V 18599:2011-12 33
Abbildung 10 Grundriss Erdgeschoss 36
Abbildung 11 Grundriss 1. Obergeschoss 37
Abbildung 12 Grundriss 2. Obergeschoss 37
Abbildung 13 Grundriss Dachgeschoss 37
Abbildung 14 Vorder- und Rückansicht des Nichtwohngebäudes 38
Abbildung 15 Seitenansichten des Nichtwohngebäudes 38
Abbildung 16 Gebäudeschnitt mit Angaben über die Geschosshöhen 39
Abbildung 17 Vorderansicht des 3D-Modells 41
Abbildung 18 Rückansicht des 3D-Modells 42
Abbildung 19 Zonierung im Grundriss des Erdgeschosses 43
Abbildung 20 Zonierung im Grundriss des 1. Obergeschosses 43
Abbildung 21 Zonierung im Grundriss des 2. Obergeschosses 43
Abbildung 22 Zonierung im Grundriss des Dachgeschosses 44
Abbildung 23 Legende für die Zonen 44
Abbildung 24 Längenangaben der Zone Einzelbüro 52
Abbildung 25 Fensterlaibung nach DIN 4108 Bbl 2:2019-06 54
Abbildung 26 Detaillierte Berechnung der Fensterlaibung 54
Abbildung 27 Anschluss einer Innenwand auf die Bodenplatte nach DIN 4108 Bbl 2:2019-06 55
Abbildung 28 Detaillierte Berechnung des Anschlusses Innenwand auf Bodenplatte 56
Abbildung 29 Aufteilung der Transmissionswärmeverluste über die verschiedenen Bauteile der Gebäudehülle 59

Abbildung 30 Endenergiebedarf für Variante 1 und 2 der verschiedenen Anlagentechnik 60
Abbildung 31 CO_2-Emissionen für Variante 1 und 2 der verschiedenen Anlagentechnik 61
Abbildung 32 Jahres-Primärenergiebedarf für Variante 1 und 2 der verschiedenen Anlagentechnik 62
Abbildung 33 Endergebnis Jahres-Primärenergiebedarf 65
Abbildung 34 Jahres-Primärenergiebedarf bei der Betrachtung als Wohngebäude 67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Effizienzgebäude-Standard (KfW) bezogen auf den Primärenergiebedarf Q_P in % von $Q_{P,Ref}$ 16
Tabelle 2 Effizienzgebäude-Standard bezogen auf den Wärmedurchgangskoeffizienten wärmeübertragender Außenbauteile 17
Tabelle 3 Temperaturrandbedingungen zur Ermittlung der Oberflächentemperatur und des Wärmestroms 26
Tabelle 4 Temperaturkorrekturfaktor F_x nach DIN 4108 Bbl 2:2006-03 für an Außenluft angrenzende Bauteile 27
Tabelle 5 Wärmeübergangswiderstände für Wärmeströme und Oberflächentemperaturen 28
Tabelle 6 Bauteilaufbauten mit Schichtdicken und Angaben über die Wärmeleitfähigkeit 39
Tabelle 7 Fortsetzung Bauteilaufbauten mit Schichtdicken und Angaben über die Wärmeleitfähigkeit 40
Tabelle 8 Vorgegebene U-Werte für Fenster und Türen 40
Tabelle 9 Flächen und Konditionierung der einzelnen Zonen 44
Tabelle 10 Fortsetzung Flächen und Konditionierung der einzelnen Zonen 45
Tabelle 11 Angaben zum Heizungsbereich für die verschiedenen Anlagenvarianten 46
Tabelle 12 Angaben zur Warmwasserversorgung der verschiedenen Anlagenvarianten 47
Tabelle 13 Angaben zur Kühlung der verschiedenen Anlagenvarianten 48
Tabelle 14 Wärmebrückenübersicht – Bodenanschlüsse 49
Tabelle 15 Wärmebrückenübersicht – Außenwandanschlüsse 50
Tabelle 16 Wärmebrückenübersicht – Dachanschlüsse 50
Tabelle 17 Wärmebrückenübersicht – Fenster- und Türenanschlüsse 51
Tabelle 18 Längenermittlung ausgewählter Wärmebrückendetails in der Zone Einzelbüro 53
Tabelle 19 Gesamtwärmedurchgang je Zone 56
Tabelle 20 U-Werte der einzelnen Bauteile im Vergleich zu den Anforderungen von EnEV und KfW 58
Tabelle 21 Wärmebrückenzuschlag je Zone 64

Zusammenfassung

In Zeiten des Klimawandels spielt energieeffizientes Bauen eine große Rolle, wenn es um Ressourcenschonung und Energieeinsparungen geht. Vor allem dem Gebäudebereich können hohe Anteile am Energieverbrauch und an Treibhausgasemissionen zugeteilt werden. Auf Nichtwohngebäude entfallen aufgrund ihrer Fläche 36 % des Endenergieverbrauchs im gesamten Gebäudebestand. [1]
Um den Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) gerecht zu werden, müssen Gebäude technische Mindeststandards in Bezug auf eingesetzter Anlagentechnik für die Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser und den baulichen Wärmeschutz einhalten. [2] Zusätzliche Wärmeverluste über Wärmebrücken fallen bei der Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs deutlich ins Gewicht.

Bei der Beantragung von Fördergeldern für energieeffizientes Bauen können Wärmebrücken auf Basis von drei verschiedenen Pauschal- und Berechnungsansätzen berücksichtigt werden. [2] Ihre Bewertung spielt demnach eine entscheidende Rolle, wenn es um das Erreichen eines Effizienz-Standards geht.

Da die detaillierte Wärmebrückenberechnung für Wohngebäude mittlerweile im Gegensatz zu Nichtwohngebäuden sehr häufig angewendet wird, basiert diese Arbeit auf der Analyse einer energetischen Gesamtbewertung eines Neubau-Nichtwohngebäudes unter besonderer Berücksichtigung der detaillierten Wärmebrückenberechnung nach DIN 4108:2006-03.
Hierfür wurden vier verschiedene Energieversorgungskonzepte hinsichtlich Endenergiebedarf, CO_2-Emissionen, Transmissionswärmeverlusten und Jahres-Primärenergiebedarf nach DIN V 18599:2011-12 untersucht.
Das Hauptaugenmerk lag hierbei auf dem Einfluss des berechneten Wärmebrückenzuschlags auf den Jahres-Primärenergiebedarf. Dieser wurde über umfangreiche Einzelberechnungen aller Wärmebrücken des Gebäudes und einer Ermittlung ihrer Längen herausgefunden.

Die Analyse hat ergeben, dass die Berechnungen der einzelnen Wärmebrücken im Nichtwohngebäudebereich kaum Auswirkungen auf den wichtigsten Kennwert der energetischen Analyse, den Jahres-Primärenergiebedarf, hat. Dies ist, wie sich nach einer Ermittlung dieses Wertes anhand der Berechnung für Wohngebäude herausgestellt hat, den verschiedenen Berechnungsverfahren zu verschulden.

Abstract

In times of climate change, energy-efficient building plays a major role when it comes to conserving resources and saving energy. Especially the building sector can be allocated high proportions of energy consumption and greenhouse gas emissions. Due to their area, non-residential buildings account for 36 % of the final energy demand in the entire building stock. [1]
In order to meet the requirements of the Energieeinsparverordnung (Energy Saving Ordinance), or EnEV, buildings must comply with minimum technical standards with regard to system technology used for the provision of heating and hot water and structural thermal insulation. [2] Additional heat losses via thermal bridges are significant when determining the annual primary energy demand.

When applying for funding for energy-efficient construction, thermal bridges can be considered on the basis of three different flat-rate and calculation approaches. [2] Their rating therefore plays a crucial role when it comes to achieving an efficiency standard.

Since the detailed thermal bridge calculation for residential buildings is now very often used in contrast to non-residential buildings, this work is based on the analysis of an overall energetic assessment of a new non-residential building with special consideration of the detailed thermal bridge calculation according to DIN 4108:2006-03.
For this purpose, four different energy supply concepts with regard to final energy demand, CO_2 emissions, transmission heat losses and annual primary energy demand according to the counting rules of DIN V 18599:2011-12 were examined.
The main focus was on the influence of the calculated thermal bridge surcharge on the annual primary demand. This was found out through extensive individual calculations of all thermal bridges in the building and a determination of their lengths.

The analysis has shown that the calculations of the individual thermal bridges in the non-residential area have hardly any impact on the most important characteristic of the energetic analysis, the annual primary energy demand. This is caused by the various calculation methods, as it turned out after a determination of this value based on the calculation for residential buildings.

1 Einleitung

Mit der Energieeffizienzstrategie 2050 verfolgt die Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland die Umsetzung verschiedener Konzepte, um den Klimaschutz voranzutreiben und mehr Nachhaltigkeit in die Energieversorgung zu bringen. Sie hat sich dementsprechend zum Ziel gesetzt, bis 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen, indem der Energiebedarf und Treibhausgasemissionen drastisch reduziert werden. Um sich diesem Ziel zu nähern, müssen Strom und Wärme effizienter genutzt werden. [3]

Nichtwohngebäude besitzen ein hohes Potenzial nicht nur CO_2, sondern auch Kosten einzusparen. Die derzeit 2,7 Millionen Nichtwohngebäude in Deutschland machen zwar zahlenmäßig nur einen sehr kleinen Teil im gesamten Gebäudebestand aus, mit einem Endenergieverbrauch von 36 % liegen sie dennoch an zweiter Stelle. Der Verbrauch für Raumwärme und Beleuchtung nimmt hier den größten Anteil ein. [1]

Neben der Gebäudenutzung haben auch die energetischen Eigenschaften der Gebäudehülle einen ausschlaggebenden Einfluss auf den gebäudebezogenen Energieverbrauch. Aufgrund dessen müssen bei einer energetischen Bewertung der thermischen Gebäudehülle zusätzliche Wärmeverluste über Wärmebrücken berücksichtigt werden. Die Energiebilanz der Gebäudehülle wirkt sich auf den Bedarf an Primärenergie aus, welcher maßgebend für die Bereitstellung von Fördermitteln durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau ist.
Die zusätzlichen Wärmeverluste durch die thermischen Schwachstellen werden den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile über einen Zuschlag angerechnet. Hier besteht die Möglichkeit, einen pauschalen Wärmebrückenzuschlag von $\Delta U_{WB} = 0{,}1$ W/(m²K) zu verwenden oder diesen zu halbieren, indem ein Gleichwertigkeitsnachweis nach DIN 4108 Bbl 2:2019-06 veranlasst wird. Durch eine detaillierte Einzelberechnung lassen sich jedoch viel bessere Ergebnisse erzielen.
Demnach ist die Wärmebrückenberechnung ein entscheidender Faktor, wenn es um das Erreichen eines Effizienzhaus-Standards für Wohngebäude nach

KfW geht. [3] [4] Aufgrund dieser Erkenntnis stellt sich die Frage, ob eine detaillierte Berechnung auch im Nichtwohngebäudebereich sinnvoll ist.
Gegenwärtige Praxis ist, eine detaillierte Wärmebrückenberechnung nur für Wohngebäude auszuführen. Eine ausführliche Berechnung der Wärmebrücken findet im Nichtwohngebäudebereich bislang nicht statt.

Während Wohngebäude mit Bilanzierungsverfahren nach DIN 4108 und DIN V 4701 berechnet werden, hat im Nichtwohngebäudebereich nur das Verfahren nach DIN V 18599 Bedeutung. Dies könnte Auswirkungen auf den Arbeitsaufwand und das Endergebnis der energetischen Analyse eines Gebäudes haben.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich aufgrund dessen mit der gesamtenergetischen Bewertung eines Neubau-Nichtwohngebäudes unter besonderer Berücksichtigung der detaillierten Wärmebrückenberechnung und ihrer Auswirkung auf den Jahres-Primärenergiebedarf eines Nichtwohngebäudes.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Aspekte in Bezug auf Nichtwohngebäude dargestellt, um die Relevanz dieser Arbeit zu begründen. Es soll insbesondere das Grundverständnis zum Nachvollziehen der Inhalte gelegt werden. In den Grundlagen werden folgende Bereiche betrachtet:

- Nichtwohngebäude in Deutschland
- Energiesparendes Bauen
- Funktionsweise einzelner Energieerzeuger
- Wärmebrücken

2.1 Nichtwohngebäude in Deutschland

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit dem Bestand an Nichtwohngebäuden in Deutschland sowie deren Bedarf an Primärenergie und dem Endenergieverbrauch nach den verschiedenen Anwendungen, wie z. B. Beleuchtung und Raumwärme. Er behandelt zudem den besonderen Aspekt der Energieeffizienz von Hotelimmobilien.

2.1.1 Definition Nichtwohngebäude

Um Nichtwohngebäude klar von Wohngebäuden abzugrenzen, gibt die Energieeinsparverordnung (EnEV) eine genaue Definition sowie Anforderungen vor, nach denen ein Nichtwohngebäude zu betrachten ist.

In § 2 Satz 1 und 2 EnEV werden Nichtwohngebäude von Wohngebäuden unterschieden. Demnach sind alle Gebäude, die vornehmlich dem Wohnen dienen Wohngebäude. Dazu gehören zudem Alten- und Pflegeheime. Alle Gebäude, die nicht unter diese Bestimmung fallen, sind Nichtwohngebäude.
Die Anforderungen an Nichtwohngebäude werden in § 4 der Energieeinsparverordnung präzisiert. Demzufolge muss ein zu errichtendes Nichtwohngebäude so ausgeführt werden, dass der Jahresprimärenergiebedarf den eines Referenzgebäudes nicht überschreitet. Ebenso dürfen die mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten nach Anlage 2 Tabelle 2 nicht überschritten werden.

Der Jahresprimärenergiebedarf muss für das zu errichtende NWG und das Referenzgebäude nach demselben vorgegebenen Verfahren berechnet werden. [2]

2.1.2 Gebäudebestand

In Deutschland gibt es derzeit 21,7 Mio. Wohn- und Nichtwohngebäude. Davon sind 2,7 Mio. beheizte Nichtwohngebäude. Damit machen sie zwar zahlenmäßig die kleinste Gruppe aus, liegen jedoch beim Gebäudeenergieverbrauch mit 36 % an zweiter Stelle, was der großen Fläche je Gebäude und den damit verbundenen höheren quadratmeterbezogenen Verbräuchen geschuldet ist. Die beheizte Nettogrundfläche von NWG liegt bei 1,35 Mrd. m². Werden Gebäude industrieller Nutzung berücksichtigt, sind es 1,65 Mrd. Quadratmeter.

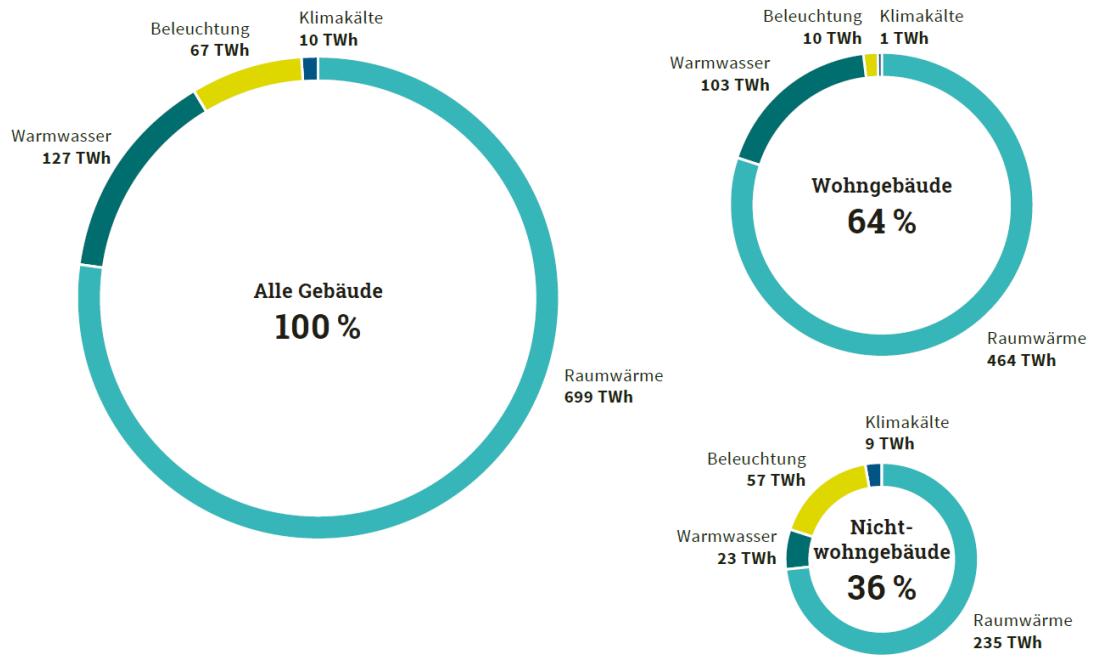

Abbildung 1 Endenergiebezogener Gebäudeenergieverbrauch (Quelle: [1])

Abbildung 1 stellt den Gebäudeenergieverbrauch nach verschiedenen Anwendungen dar. Mit 36 % tragen NWG bedeutend zum gebäudebezogenen Endenergieverbrauch bei. Der größte Anteil, ca. 73 %, wird hier für Raumwärme aufgebracht. Daneben hat vor allem die Beleuchtung (ca. 18 %) einen großen

Anteil am Endenergieverbrauch. Im Vergleich zu Wohngebäuden ist der Energieverbrauch für Warmwasser mit 7 % sehr viel geringer. Die aufgebrachte Energie für Klimakälte spielt sowohl im Bereich Wohngebäude als auch Nichtwohngebäude nur eine geringe Rolle. [1]
Bei einer primärenergetischen Betrachtung liegt der Anteil am Energieverbrauch deutlich höher. Im Jahr 2015 hatten NWG einen primärenergiebezogenen Energieverbrauch von 43 %. Vor allem der Bereich Beleuchtung fällt hier deutlich mehr ins Gewicht als bei der Betrachtung des Endenergieverbrauchs. Dies ist den hohen Verlusten bei der Erzeugung und Übertragung von Strom geschuldet. [6]

2.1.4 Stand – Energieeffizienz Hotellerie

Laut einer Analyse der dena (Deutsche Energie-Agentur) gibt es zurzeit etwa 44.000 Beherbergungsbetriebe in Deutschland. Diese belegen 10 % der Fläche aller Nichtwohngebäude und sind damit innerhalb des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für knapp 16 % des gesamten Gebäudeenergieverbrauchs verantwortlich. [7]

2.2 Energiesparendes Bauen

Beim energiesparenden Bauen von Gebäuden geht es um einen verringerten Wärmebedarf und die Bereitstellung der Wärme durch energieeffiziente Anlagentechnik. Somit werden nicht nur die Energieressourcen geschont, sondern auch Emissionen vermindert und damit ein erheblicher Beitrag zum Klimaschutz geleistet. [8]

Energieeffizientes Bauen wird in Deutschland beispielsweise durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) gefördert. Die bereitgestellten Fördergelder hängen vom berechneten primären Energiebedarf ab, weshalb sich eine detaillierte Berechnung der Wärmebrücken anbietet, da die Wärmebrückenwirkung deutlich unter dem pauschalen Ansatz liegen kann und damit ein höheres Förderniveau ermöglicht wird. Des Weiteren können durch die Einzelberechnungen Kosten für Dämmmaterial eingespart werden, da die Dämmschichtdicken gezielt angepasst werden können.

Um bis 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen, müssen Strom und Wärme effizienter genutzt werden. Nichtwohngebäude besitzen ein hohes Potenzial nicht nur CO_2, sondern auch Kosten einzusparen.

2.2.1 Anforderungen an ein KfW-Effizienzgebäude

Soll der energetische Standard eines KfW-Effizienzgebäudes erreicht werden, sind technische Mindestanforderungen einzuhalten, die die Kreditanstalt für Wiederaufbau stellt. Dieser Standard dient als Orientierungsmaßstab für energiesparende Gebäude. Welcher Effizienzgebäude-Standard erreicht werden kann, ist abhängig vom Primärenergiebedarf und den Mittelwerten der Wärmedurchgangskoeffizienten. Der Jahresprimärenergiebedarf Q_P eines Effizienzgebäudes darf den prozentualen Maximalwert aus Tabelle 1, der im Verhältnis zum Primärenergiebedarf eines entsprechenden Referenzgebäudes ($Q_{P,Ref}$) steht, nicht überschreiten.

Tabelle 1 Effizienzgebäude-Standard (KfW) bezogen auf den Primärenergiebedarf Q_P in % von $Q_{P,Ref}$ (Quelle: [4], eigene Darstellung)

Effizienzgebäude-Standard	**Primärenergiebedarf Q_P in % von $Q_{P,Ref}$**
Effizienzgebäude 55	55 %
Effizienzgebäude 70	70 %

Der Mittelwert der Wärmedurchgangskoeffizienten für die in Tabelle 2 angegebenen wärmeübertragenden Außenbauteile darf für Zonen, die auf eine Raum-Solltemperatur ≥ 19 °C bzw. von 12 °C bis 19 °C beheizt werden, nicht überschritten werden.

Tabelle 2 Effizienzgebäude-Standard bezogen auf den Wärmedurchgangskoeffizienten wärmeübertragender Außenbauteile (Quelle: [4], eigene Darstellung)

KfW-Effizienzgebäude mit einer Raum-Solltemperatur ≥ 19 °C	**KfW-EG 55 in W/(m²K)**	**KfW-EG 70 in W/(m²K)**
Opake Außenbauteile	0,22	0,26
Transparente Außenbauteile/Vorhangfassaden	1,2	1,4
Glasdächer/Lichtbänder/Lichtkuppeln	2,0	2,4
KfW-Effizienzgebäude mit einer Raum-Solltemperatur von 12 °C bis 19 °C		
Opake Außenbauteile	0,35	0,43
Transparente Außenbauteile/Vorhangfassaden	2,2	2,4
Glasdächer/Lichtbänder/Lichtkuppeln	2,2	2,6

Bei einer energetischen Bewertung der Gebäudehülle müssen die zusätzlichen Wärmeverluste über Wärmebrücken berücksichtigt werden. Die Energiebilanz der Gebäudehülle hat Einfluss auf den Jahres-Primärenergiebedarf, der den Effizienzgebäude-Standard vorgibt. Demnach ist die Wärmebrückenberechnung ein entscheidender Faktor, wenn es um das Erreichen eines dieser Standards geht. [4]

2.3 Funktionsweisen der einzelnen Energieerzeuger

Dieser Abschnitt dient der Vorstellung der in der Arbeit zu bewertenden Wärmeerzeuger und deren Funktionsprinzip.

2.3.1 Gas-Brennwertkessel mit Photovoltaikanlage

Wird Gas verbrannt, entstehen Heizwärme und Abgase. Diese Abgase bestehen größtenteils aus heißem Wasserdampf, der Wärmeenergie enthält. Die Energie in Form von Kondensationswärme wird wie in Abbildung 2 dargestellt in einem zusätzlichen Wärmetauscher gewonnen und dem Heizsystem zugeführt. [9]

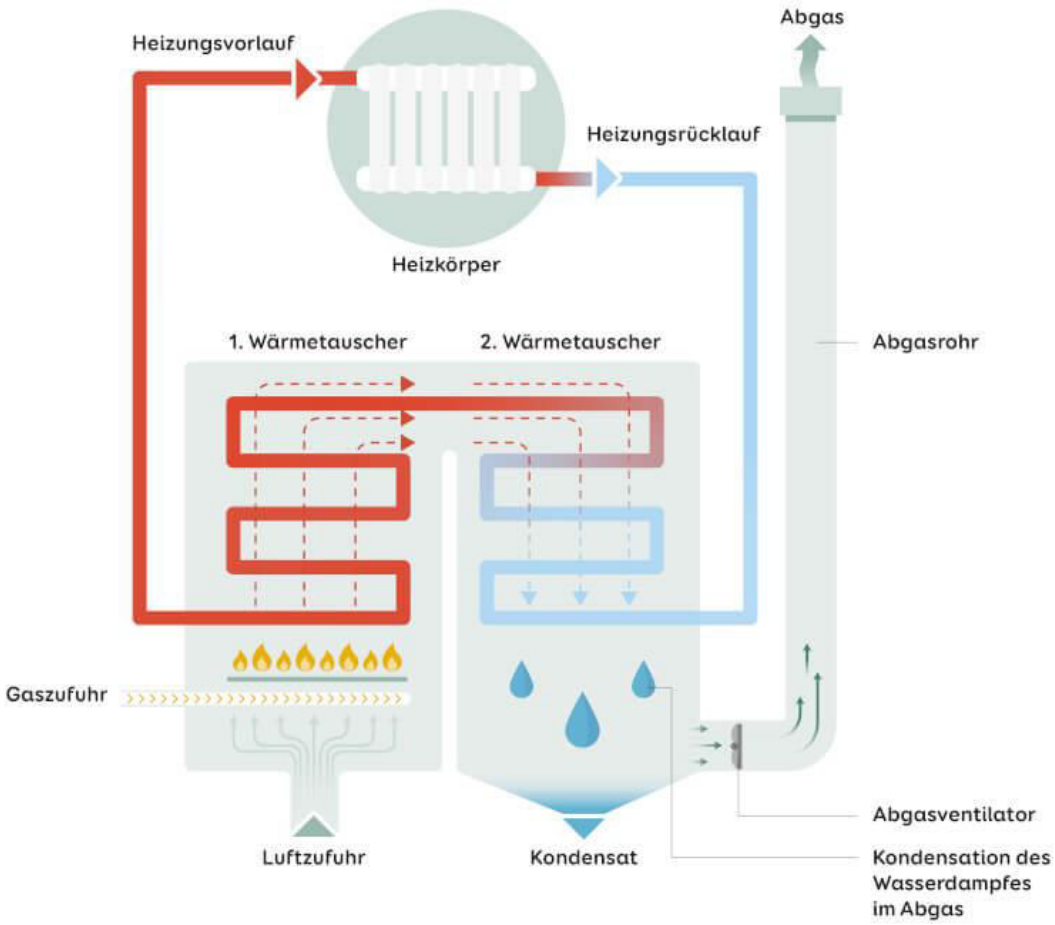

Abbildung 2 Funktionsprinzip eines Gas-Brennwertkessels (Quelle: [10])

In einer Photovoltaikanlage werden Solarzellen zu Modulen zusammengeschlossen, in denen Gleichstrom erzeugt wird. Dieser muss vor der Nutzung mit Hilfe eines Wechselrichters in Wechselstrom umgewandelt werden. [11] Die Nutzung einer PV-Anlage dient in diesem Fall der Reduzierung des Primärenergiebedarfs.

2.3.2 Luft-Wasser-Wärmepumpe

Wärmepumpen nutzen die Umweltwärme aus der Luft, dem Grundwasser oder der Erde und geben sie als Heizenergie an Gebäude ab. Ein Wärmepumpensystem besteht aus drei Teilen: Der Wärmequellenanlage, der Wärmepumpe selbst und einem Wärmeverteil- und Speichersystem. Abbildung 3 verdeutlicht das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe in einem technischen Prozess aus drei Schritten.

Im 1. Schritt, der Gewinnung der Umweltwärme, saugt die Wärmequellenanlage Außenluft über einen Ventilator an und führt sie der Wärmepumpe zu. Im Verdampfer wird nun die Energie aus der Umwelt auf das in der Wärmepumpe zirkulierende Kältemittel übertragen, indem die Außenluft dieses Kältemittel erhitzt. Der entstandene Kältemitteldampf wird zu einem Verdichter weitergeleitet, wobei sich das gasförmige Kältemittel noch weiter erhitzt. Im Verflüssiger wird das heiße, unter hohem Druck stehende Kältemittelgas kondensiert und gibt dadurch seine Wärme wieder ab. Das verflüssigte Kältemittel wird zu einer Drossel geleitet, in der der Druck verringert wird und anschließend zum Verdampfer zurückgeführt. Im letzten Schritt wird das Gebäude beheizt, indem das in dem Wärmeverteil- und Speichersystem zirkulierende Wasser die Wärme, die das Kältemittel abgibt, aufnimmt und zu einem Verteilersystem oder Heizungspuffer- bzw. Warmwasserspeicher weiterleitet. [12]

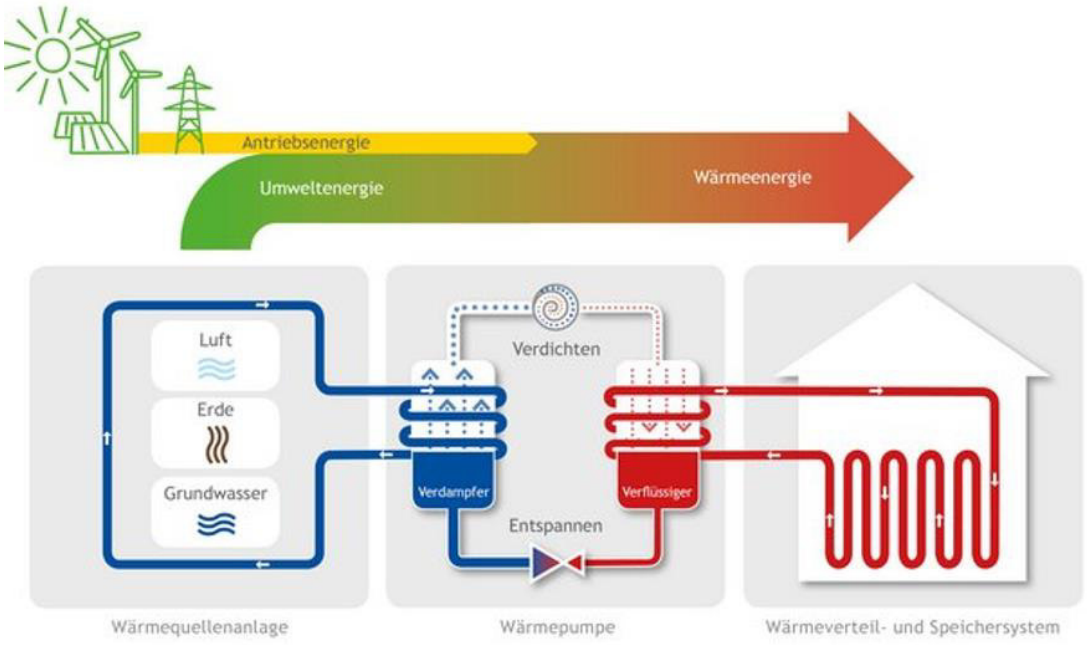

Abbildung 3 Funktionsprinzip einer Wärmepumpe (Quelle: [12])

2.3.3 Nahwärme (fossil) über ein Blockheizkraftwerk

Ein Blockheizkraftwerk nutzt das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung. Es wandelt chemisch gebundene Energie aus einem Brennstoff in thermische und elektrische Energie um. Wie in Abbildung 4 zu sehen, treibt die Verbrennungskraftmaschine, der Motor, den Generator an, wobei Strom entsteht. Das

Kaltwasser, das den Motor kühlt, erhitzt sich bei diesem Prozess. Zudem fallen bei der Verbrennung Abgase an, die wiederum Wärme abgeben. Diese Abwärme wird in einen Wärmetauscher weitergeleitet und in nutzbare Wärmeenergie umgewandelt, die dann in ein Nahwärmenetz eingespeist wird. [13]

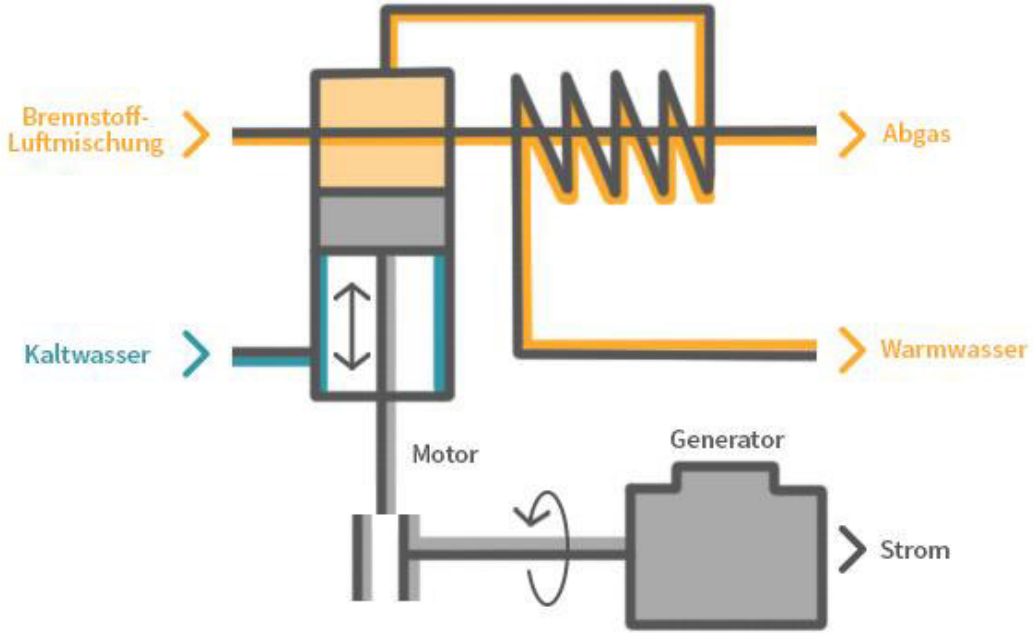

Abbildung 4 Funktionsprinzip eines Blockheizkraftwerks (Quelle: [14])

2.3.4 Pelletheizkessel

Eine Pelletheizung nutzt Brennstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in Form von Holzpellets aus Sägemehl und Holzspänen zur Wärmegewinnung. Die gewonnene Wärme wird dazu genutzt, das Wasser in einem Heizungskreislauf zu erwärmen. Erzeugt wird diese Wärme in einem Verbrennungsvorgang. Über eine Förderschnecke oder pneumatisch über Schläuche wird die Brennkammer des Ofens vollautomatisch mit Holzpellets aus einem Lager beschickt. Die Verbrennung wird durch einen automatischen Zündvorgang gestartet und der Brennvorgang von einem Thermostat geregelt. In einem gekoppelten Pufferspeicher wird das Wasser auf einem konstanten Temperaturniveau gehalten und so Emissionen gesenkt und der Wirkungsgrad erhöht. Abbildung 5 stellt dieses Prinzip vereinfacht dar. [15]

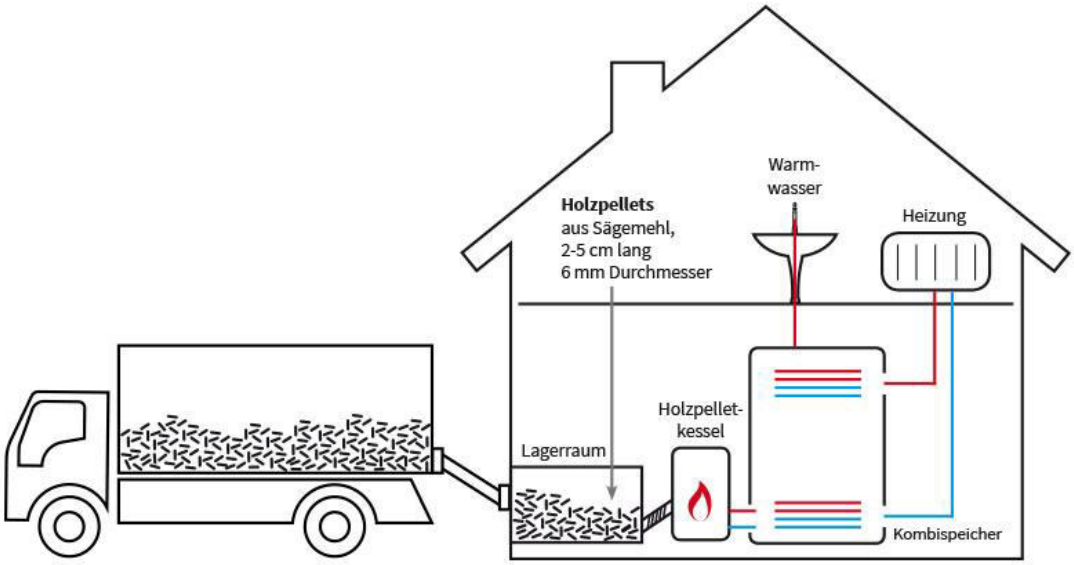

Abbildung 5 Funktionsprinzip eines Pelletheizkessel (Quelle: [16])

2.4 Wärmebrücken

Da Wärmebrücken einen erheblichen Anteil am Transmissionswärmeverlust haben können, sind sie aus energetischen Gründen genau zu betrachten. Dieses Kapitel informiert über die verschiedenen Arten von Wärmebrücken und deren Auswirkungen. Da die detaillierte Wärmebrückenberechnung in dieser Arbeit im Vordergrund steht, widmet sich dieses Kapitel im Besonderen den Randbedingungen für die Berechnung einzelner Wärmebrückendetails.

2.4.1 Bedeutung von Wärmebrücken

Dringt Wärme aus beheizten Räumen nach außen, nimmt sie den Weg des geringsten Widerstands. Wärmebrücken sind örtlich begrenzte Bereiche der Gebäudehülle, wo ein erhöhter Wärmefluss von innen nach außen stattfindet. Hier kommt es zu einer Abkühlung des Bauteils auf der Rauminnenseite, was dazu führen kann, dass die Oberflächentemperatur absinkt und der Taupunkt des Wasserdampfs in der Raumluft unterschritten wird. Kondenswasser fällt aus und begünstigt Schäden durch Feuchte und Schimmelbildung.
Zudem führt der erhöhte Wärmefluss zu einem höheren Heizenergieverbrauch durch vergrößerte Transmissionswärmeverluste.

2.4.2 Arten von Wärmebrücken

Es werden vier verschiedene Arten von Wärmebrücken unterschieden.

1) Geometrisch bedingte Wärmebrücken entstehen an Stellen, die aufgrund der Geometrie der Bauteile eine größere äußere Oberfläche gegenüber der Innenoberfläche besitzen. Abbildung 6 verdeutlicht dies am Beispiel einer Außenecke eines Gebäudes.

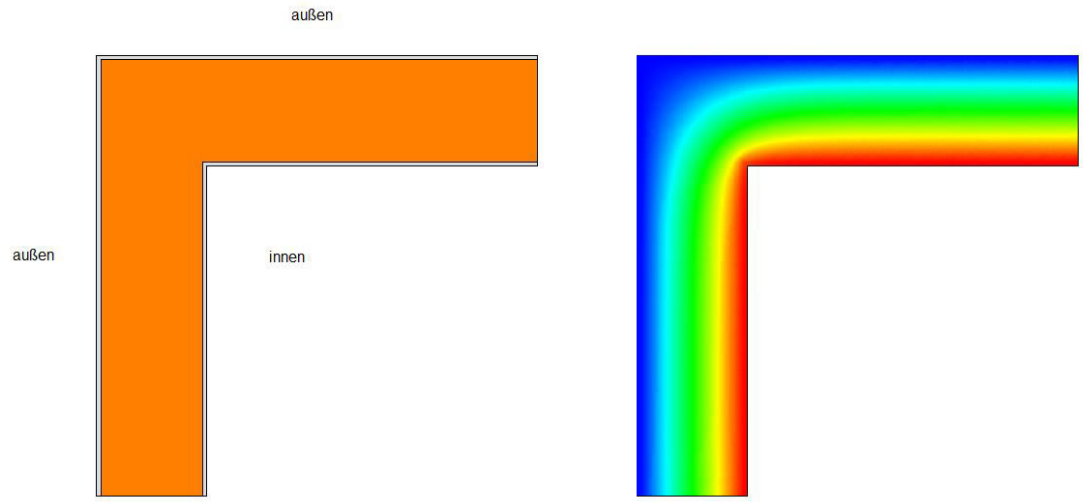

Abbildung 6 Außenecke eines Gebäudes

2) Material- oder stofflich bedingte Wärmebrücken werden durch verringerte Dicken der Wärmedämmung verursacht oder entstehen dort, wo gut wärmeleitende Materialien eingesetzt werden, wie die Stahlbetondecke in der in Abbildung 7 dargestellten Geschossdeckeneinbindung.

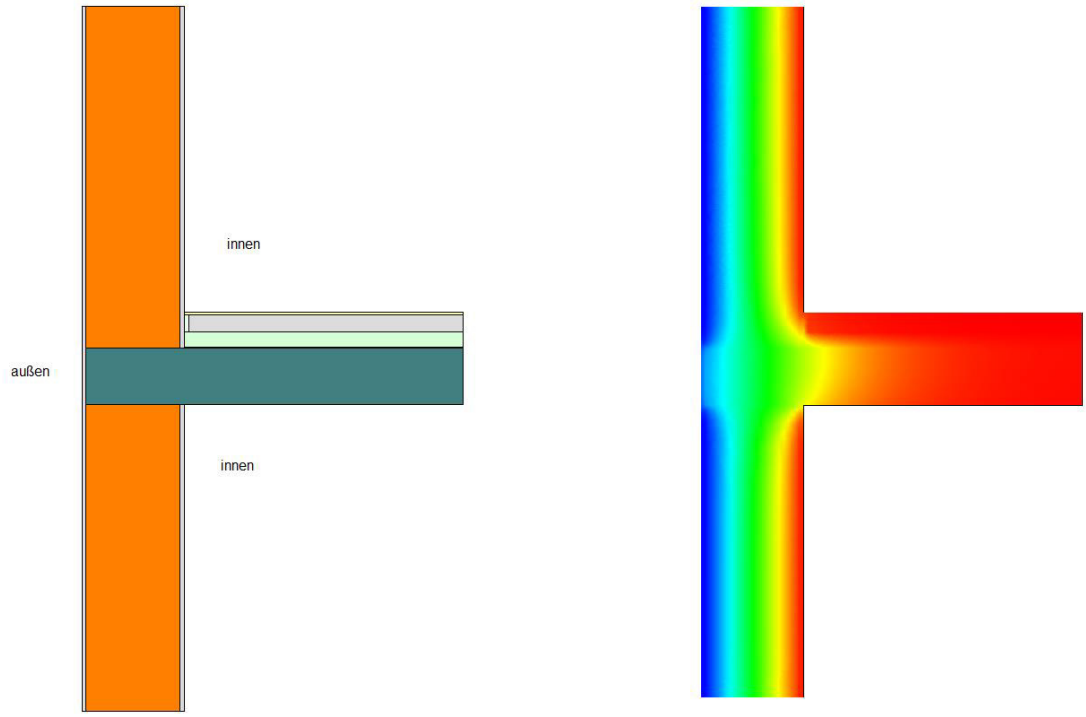

Abbildung 7 Geschossdeckeneinbindung ohne stirnseitige Dämmung

3) Umgebungsbedingte Wärmebrücken sind z. B. Heizkörpernischen, da es dort zu einer Temperaturerhöhung der Innenoberfläche kommt, was wiederum zu einem größeren Wärmestrom durch die Wand führt.
Weitere umgebungsbedingte Wärmebrücken entstehen durch abgehängte Decken, aber auch Möbel und Gardinen, die an der bedeckten Stelle einen optimalen Luftaustausch mit der Raumluft verhindern. Ein dadurch verursachtes Absinken der Temperatur an der Wandoberfläche bedingt ein höheres Risiko für Kondenswasser- und Schimmelpilzbildung.

4) Findet an bestimmten Stellen eine erhöhte Wärmeabfuhr über ein strömendes Medium statt, handelt es sich hierbei um massestrombedingte Wärmebrücken. Das kann beispielsweise eine Wasserleitung sein, die in einer Außenwand verlegt wurde. Wahrscheinlicher sind jedoch Leckagen in der Gebäudehülle, durch die kalte Außenluft hineingelangt und eine Auskühlung angrenzender Bauteile bewirkt. [8]

2.4.3 Auswirkungen von Wärmebrücken

Um die Auswirkungen von Wärmebrücken gering zu halten, sollten sie schon in der Planungsphase berücksichtigt und so weit wie möglich vermieden werden. Durch die erhöhten Transmissionswärmeverluste entsteht im Laufe des Jahres ein höherer Heizenergieverbrauch und damit fallen auch die Energiekosten höher aus. Auch das Entstehen von örtlich niedrigeren Innenoberflächentemperaturen zieht Konsequenzen nach sich. So kann sich z. B. die thermische Behaglichkeit und damit der Wohnkomfort vermindern, was durch Erhöhung der Raumtemperatur ausgeglichen wird und zu einem Anstieg des Heizenergiebedarfs führt. Weitreichendere Folgen haben die Bildung von Kondenswasser und Schimmelpilzen auf den feuchten Oberflächen, da diese oft gesundheitsschädlich sind. Zudem treten bei längerer Durchfeuchtung Bauschäden auf. [8]

2.4.4 Berechnung von Wärmebrücken

Um Wärmebrücken quantitativ bewerten zu können, werden numerische Rechenprogramme verwendet, die nach der Finite-Elemente-Methode arbeiten, einem Lösungsverfahren für Differenzialgleichungen. Hierbei wird ein Berechnungsgebiet in eine beliebig große Anzahl von Elementen unterteilt, die endlich („finit“) sind und sich mit einer endlichen Zahl von Parametern beschreiben lassen. Für die Beurteilung werden die minimale Oberflächentemperatur sowie der zusätzliche Transmissionswärmeverlust benötigt.

Die minimale Oberflächentemperatur lässt sich für jegliche Kombinationen von Raumlufttemperatur und Außenlufttemperatur mit Hilfe des Temperaturfaktors f_{Rsi} berechnen. Sie gibt Auskunft über die Gefahr von Kondenswasser- und Schimmelpilzbildung. Das Diagramm in Abbildung 8 verdeutlicht, bei welcher relativen Raumluftfeuchte für eine bestimmte Innenoberflächentemperatur Gefahren bestehen. Bei einer Innenlufttemperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 % liegt die Taupunkttemperatur demnach bei 9,3 °C. Die schimmelpilzkritische Temperatur ist bei 12,6 °C erreicht. Würde also die Innenlufttemperatur auf weniger als 12,6 °C abkühlen, würde die Luftfeuchtigkeit auf über 80 % ansteigen und es besteht die Gefahr der Schimmelbildung.

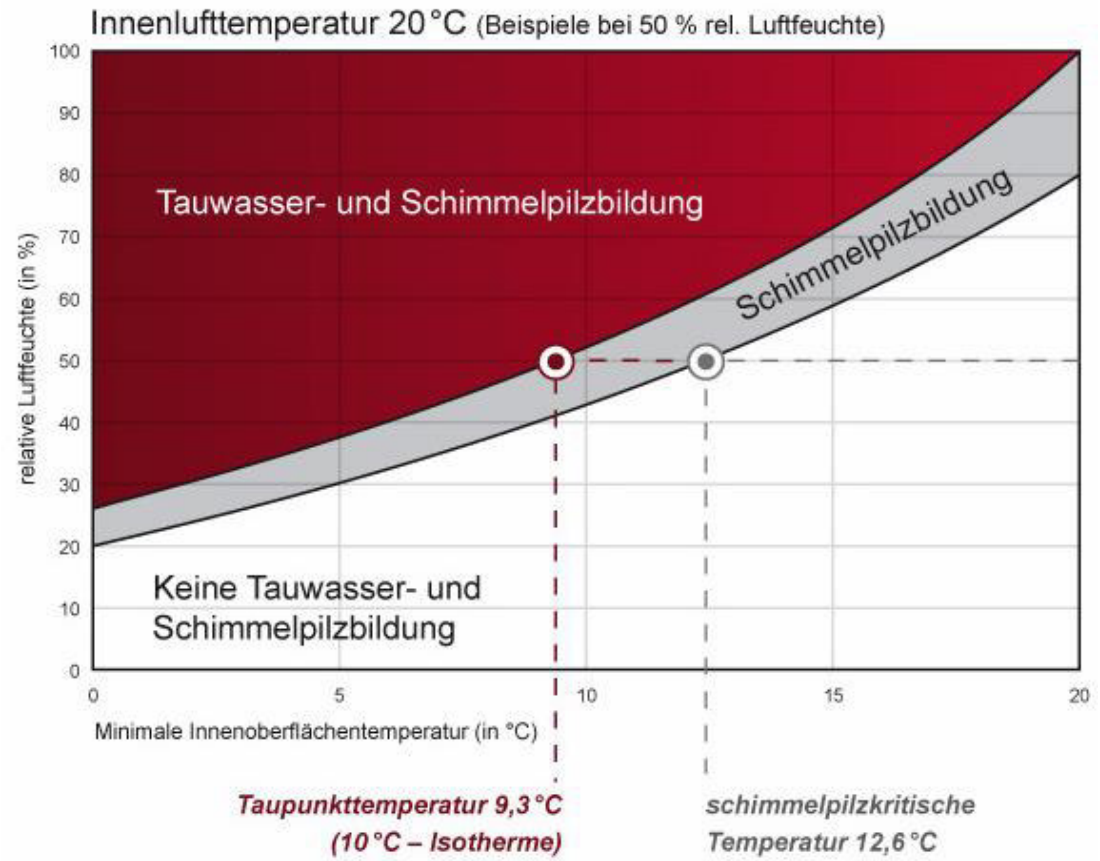

Abbildung 8 Taupunktkurve (Quelle: [17])

Die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz im Bereich von Wärmebrücken werden in DIN 4108-2:2006-03 aufgeführt.

Der zusätzliche Transmissionswärmeverlust in Watt wird auf 1 m Wärmebrückenlänge und 1 K Temperaturdifferenz zwischen innen und außen bezogen und in W/(mK) angegeben.

Diese zusätzlichen Wärmeverluste an den thermischen Schwachstellen werden zum mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten U durch einen Zuschlag ΔU_{WB} an der gesamten wärmeübertragenden Umfassungsfläche berücksichtigt, denn Wärmebrücken haben Auswirkungen auf den Jahres-Heizwärmebedarf. [8] Zu errichtende Gebäude sind laut § 7 Abs. 2 EnEV so auszuführen, dass dieser Einfluss möglichst gering ist. [2]

Werden Wärmebrücken nicht im Detail berücksichtigt, muss nach DIN 4108-6:2006-03 ein pauschaler Zuschlag von $\Delta U_{WB} = 0{,}1$ W/(m²K) zum U-Wert aller Bauteile dazugerechnet werden. Werden die Wärmebrücken entsprechend den Vorgaben in DIN 4108 Bbl 2:2019-06 ausgeführt, wird ein Zuschlag von

ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K) angesetzt. Durch eine genaue Simulation der Wärmebrücken mit Hilfe eines Computerprogramms lassen sich die zu erwartenden Energieverluste relativ präzise bestimmen. Oftmals kann dadurch ein wesentlich geringerer Wert angesetzt werden, der zudem realistischer ist. [18]

2.4.4.1 Berechnungsrandbedingungen

Um Wärmebrücken berechnen zu können, müssen der DIN 4108 Bbl 2:2006-03 Randbedingungen für Temperaturen und Wärmeübergangswiderstände sowie zu berücksichtigende Konstruktionsabmessungen entnommen werden.

Temperatur-Randbedingungen

In der Norm werden feste Temperaturrandbedingungen angesetzt, da es sich bei der Darstellung von Wärmebrücken um eine stationäre Simulation handelt, in der Temperaturschwankungen unberücksichtigt bleiben. Eine Zusammenstellung der Temperaturen zur Ermittlung von Oberflächentemperatur und Wärmestrom sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3 Temperaturrandbedingungen zur Ermittlung der Oberflächentemperatur und des Wärmestroms (Quelle: [18], eigene Darstellung)

Lage	Oberflächentemperatur in °C	Wärmestrom in °C
innen		
allgemein	20	20
unbeheizte Räume	10	10
im Unbeheizten	-5	0
außen		
Außenluft	-5	-5
Erdreich	10	5

Da es sich hierbei nur um grobe Abschätzungen von realistischen Temperaturdifferenzen handelt, wird mit Hilfe des Temperaturfaktors f_{Rsi} die minimale Oberflächentemperatur für beliebige Differenzen berechnet. [18]

Bauteile, die nicht direkt an die Außenluft grenzen, werden mit Hilfe des Temperaturkorrekturfaktors F_x berücksichtigt. An die Außenluft angrenzende Bauteile haben einen Temperaturkorrekturfaktor von $F_x = 1$. Für die Anpassung der Bauteile ohne direkten Kontakt zur Außenluft (ohne unteren Gebäudeabschluss) gelten die in Tabelle 4 dargestellten Werte.

Tabelle 4 Temperaturkorrekturfaktor F_x nach DIN 4108 Bbl 2:2006-03 für an Außenluft angrenzende Bauteile (Quelle: [19], eigene Darstellung)

Wärmestrom nach außen über	**Temperaturkorrekturfaktor F_x**
Außenwand Fenster Decke über Außenluft/Tiefgarage	1,0
Dach	1,0
Dachgeschossdecke (keine Wärmedämmung zur Außenluft)	0,8
Wände/Decken zu Abseiten (Drempel)	0,8
Wände/Decken zu unbeheizten Räumen (außer Kellerräume)	0,5
Wände/Fenster zu unbeheiztem Glasvorbau bei Ausführung des Vorbaus mit:	
- Einfachglas	0,8
- Zweischeibenglas	0,7
- Wärmeschutzglas	0,5

Für Bauteile des unteren Gebäudeabschlusses gibt es je nach Wärmedurchlasswiderstand R eine Reihe anzuwendender Temperaturkorrekturfaktoren.

Dazu gehören Fußboden und Wand des beheizten Kellers, Fußboden auf Erdreich mit und ohne Randdämmung, Decke und Innenwand zum unbeheizten Keller und aufgeständerte Fußböden.
Mit Hilfe dieser Temperaturkorrekturfaktoren lässt sich die mittlere Temperatur in unbeheizten Zonen ermitteln. [19]

Wärmeübergangswiderstände

Die Wärmeübergangswiderstände werden gemäß Tabelle 5 angesetzt.

Tabelle 5 Wärmeübergangswiderstände für Wärmeströme und Oberflächentemperaturen (Quelle: [18], eigene Darstellung)

	Wärmeübergangswiderstand R in (m²K)/W	
	innen	**außen**
bei aufwärts gerichtetem Wärmestrom	0,10	0,04
bei horizontal gerichtetem Wärmestrom	0,13	
bei abwärts gerichtetem Wärmestrom	0,17	
Oberflächentemperatur beheizter Räume	0,25	
Oberflächentemperatur unbeheizter Räume	0,17	
Oberflächentemperatur von Verglasungen	0,13	

Geometrische Randbedingungen

Die europäische Berechnungsnorm DIN EN ISO 10211 definiert Annahmen zur Orientierung bei der Modellierung von Wärmebrücken. Die Schnittebene

des geometrischen Modells ist in einem Abstand von mindestens d_{min} von der Wärmebrücke anzuordnen, falls keine Symmetrieebene vorhanden ist. Falls die Symmetrieebene weniger als d_{min} von der Wärmebrücke entfernt liegt, erfolgt die Schnittführung in der Symmetrieebene. Je nachdem, welches der größere Wert ist, ist d_{min} mit 1 m oder mit dem Dreifachen der Dicke des flankierenden Bauteils definiert. [20]

3 Vorgehensweise

Im ersten Schritt wird in der verwendeten Software ein Gebäude aus vorliegenden Plänen und Unterlagen erstellt.
Nach dem Anlegen der wärmeumschließenden Gebäudehülle wird die Anlagentechnik erfasst. Neben der Energieversorgungstechnik müssen die Wärmeübergabe und -verteilung berücksichtigt werden. In dieser Arbeit wird die Auswahl der zu untersuchenden Versorgungskonzepte begrenzt, da es primär um die Auswirkungen der detaillierten Wärmebrückenberechnung geht. Folgende Versorgungskonzepte werden analysiert:

- Gas-Brennwertheizung + Photovoltaikanlage
- Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Pelletheizkessel
- Nahwärme (fossil) über ein Blockheizkraftwerk

Für jedes dieser Konzepte werden insgesamt drei verschiedene Varianten angelegt. In Variante 1 wird der Wärmebrückenzuschlag mit einem pauschalen Wert von 0,01 W/(m²K) für die Berechnung angesetzt. In Variante 2 werden die Wärmebrücken nach DIN 4108 Bbl 2:2019-06 ausgeführt und ein Wärmebrückenzuschlag von 0,05 W/(m²K) in Ansatz gebracht. Variante 3 wird mit dem Wärmebrückenzuschlag angesetzt, der sich durch die detaillierte Wärmebrückenberechnung ergibt.

Abschließend werden die Ergebnisse aller Varianten für jedes Energieversorgungskonzept untersucht und Folgerungen aus diesen Ergebnissen geschlossen.

3.1 Verwendete Software

Um die Untersuchungen durchführen zu können, werden verschiedene Softwareprogramme eingesetzt.
Die energetische Planung und Bewertung des Nichtwohngebäudes wird mit der Software Energieberater Professional 3D PLUS der Firma Hottgenroth

Software GmbH durchgeführt. Mit dieser Software lassen sich Bilanzierungen nach DIN 4108-6 und DIN V 4701-10/12 oder nach DIN V 18599 sowie Bedarfsausweise für Neubau und Bestand erstellen. Mit dem inklusiven CAD-Modul lässt sich das zu bewertende Gebäude modellieren und detaillierte U-Wert-Berechnungen durchführen.

Zur detaillierten Berechnung der einzelnen 2D-Wärmebrücken wird die Software HS PSI-THERM der Firma Hottgenroth Software GmbH verwendet. Diese Software arbeitet mit der Finite-Elemente-Methode und berechnet Psi-Werte nach DIN EN ISO 10211 sowie f-Werte (fRsi-Werte) nach DIN 4108 Beiblatt 2. In ihr lassen sich sowohl Temperatur- als auch Isothermenverlauf darstellen.

3.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel werden die rechtlichen Rahmenbedingungen betrachtet, die für den Neubau und die Bewertung von Nichtwohngebäuden gelten und auf die sich die Bilanzierungsverfahren der verwendeten Software stützen.

3.2.1 Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)

Ziel der EnEV ist ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand bis zum Jahr 2050. Um dies zu erreichen, stellt die Verordnung Mindestanforderungen an die wärmeumschließende Gebäudehülle sowie die eingesetzte Anlagentechnik. Die Anforderungen an zu errichtende Nichtwohngebäude werden in § 4 EnEV konkretisiert. Neben der Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs und der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten gelten Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz.

Zum Nachweis der Einhaltung dieser Begrenzungen und Anforderungen wird sich dem Referenzgebäudeverfahren bedient. Das Referenzgebäude entspricht der gleichen Geometrie, Nettogrundfläche, Ausrichtung und Nutzung des realen Gebäudes. Für die energetischen Eigenschaften der Hüllfläche und

der Anlagentechnik werden Referenzwerte angenommen, die in Anlage 2 der Energieeinsparverordnung zu finden sind. Nach § 4 Abs. 3 EnEV sind das reale Gebäude und das Referenzgebäude mit demselben Nachweisverfahren zu berechnen. Für Nichtwohngebäude gilt das Verfahren nach DIN V 18599:2011-12. Der berechnete Endenergiebedarf des Referenzgebäudes ist mit einem Reduktionsfaktor von 0,75 zu vermindern. Das Resultat dient als Basis, um die Reduzierung der CO_2-Emissionen zu berechnen.
Die Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten sind nach Anlage 2 Nr. 2.3 EnEV nachzuweisen.
Die DIN 4108-2:2013-02 gibt Grenzwerte für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes vor, nach denen dieser ermittelt wird. [21]

3.2.2 DIN 4108 – Wärmeschutz & Energieeinsparung in Gebäuden

Die DIN 4108 bezieht sich auf den sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz von beheizten Gebäuden. Die Mindestanforderungen dieser Norm gelten für auf übliche Innentemperaturen (≥ 19 °C) und auf niedrige Innentemperaturen beheizte Räume (≥ 12 °C und < 19 °C) sowie angrenzende Nebenräume, die über Raumverbund mitbeheizt werden. [22]
Beiblatt 2 der DIN 4108 enthält Planungs- und Ausführungsbeispiele, um Wärmebrückenwirkungen vermindern zu können. Die hier aufgeführten Bedingungen und Randbedingungen gelten ausschließlich für den rechnerischen Nachweis der dargestellten Prinzipskizzen aus dem Hochbaubereich. [18]

3.2.3 DIN V 4701 – Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen

Teil 10 der DIN V 4701 bietet drei verschiedene Rechenverfahren, um Kenngrößen für Heizung, Warmwasser und Lüftungstechnik zu bestimmen. Sie wird vornehmlich für Neubauten angewendet. Dieser Teil kann mit der DIN V 4701-12 der ergänzt werden. In diesem Teil werden Kennzahlen für eine Bestandsbewertung angegeben. [23]

3.2.4 DIN V 18599– Energetische Bewertung von Gebäuden

Die DIN V 18599 bietet ein ganzheitliches Berechnungsverfahren, in dem alle Energien, die für einen bestimmungsmäßigen Betrieb eines Gebäudes benötigt werden, erfasst werden. Mit dieser Vornormenreihe lassen sich die Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien abschätzen und der langfristige Energiebedarf für Gebäude/-teile ermitteln. Bei Erstellung einer Energiebilanz wird eine gemeinschaftliche Bewertung des Baukörpers sowie der Nutzung und der Anlagentechnik verfolgt, wobei die gegenseitigen Wechselwirkungen berücksichtigt werden. Die Bilanzierung erfasst die Energieaufwendungen für Heizung, Lüftung, Klimatisierung, Trinkwarmwasserversorgung und Beleuchtung.

Die in dieser Arbeit verwendete Vornormenreihe DIN V 18599:2011-12 besteht aus 11 Teilen, die einzelne Schwerpunkte behandeln und insgesamt 3 Beiblättern. Abbildung 9 gibt einen Überblick über die Inhalte.

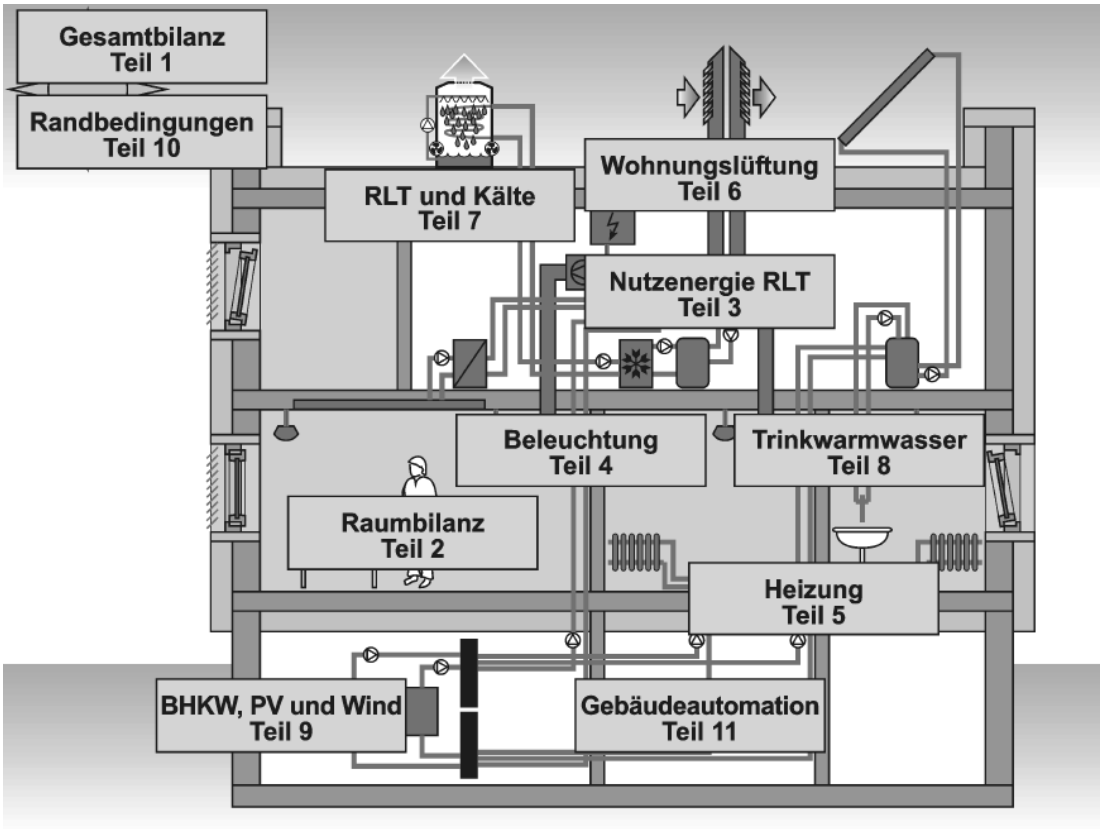

Abbildung 9 Inhalte der DIN V 18599:2011-12 (Quelle: [19])

Ein Berechnungsrahmen mit Regelungen zur Gesamtbilanz, Zonierung, anzuwendenden Randbedingungen sowie der Berücksichtigung der Gebäudeautomation in anderen Normteilen bilden Teil 1, 10 und 11. Die verschiedenen Aspekte der Energieerzeugung und -nutzung und Berechnungsvorschriften werden in den Teilen 2 bis 9 wiedergegeben. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse erfolgt in Teil 1, der Gesamtbilanz.
Die DIN V 18599 muss verpflichtend für bedarfsorientierte Nachweise für Nichtwohngebäude und Berechnungen von KfW-Effizienzhäusern für Nichtwohngebäude verwendet werden. [24]

3.2.4.1 DIN V 18599-1 – Zonierung von Gebäuden

Um den Energiebedarf eines Nichtwohngebäudes zu berechnen, wird es entsprechend seiner Nutzungsrandbedingungen in Zonen eingeteilt. Diese beziehen sich auf die Nutzungs- und Betriebszeiten, die Beleuchtung, das Raumklima, Wärmequellen, die Raumlufttemperatur und das Trinkwarmwasser. Eine Zone umfasst die Bereiche des Gebäudes, die charakterisiert werden durch einheitliche Nutzungsrandbedingungen, die gleiche Art der Konditionierung und einheitliche Zonenkriterien. Ein Bereich gilt als konditioniert, wenn er mindestens eine Konditionierung (Heizung, Kühlung, Lüftung, Befeuchtung, Beleuchtung) aufweist. Eine thermisch konditionierte Zone ergibt sich durch Beheizung und/oder Kühlung.

Die Zonierung des Gebäudes erfolgt in drei Schritten:

1. Bildung von Bereichen gleicher Nutzung
Können Räume einem Nutzungsprofil nach DIN V 18599-10 zugeordnet werden, werden sie zu einer Zone zusammengefasst.

2. Anwendung von zusätzlichen Zonenteilungskriterien
Eine weitere Zonierung eines Bereichs gleicher Nutzung ist notwendig, wenn eine getrennte Verrechnung der Bilanzteile erforderlich ist. In DIN V 18599-1 Tabelle 7 und 8 sind die Kriterien enthalten, die über die Nutzungsprofile hinaus zu weiteren Zonierungen führen.

3. Zusammenfassung aufgrund von Geringfügigkeit
Bereiche mit einem Gesamtanteil von bis zu 1 % bzw. bis zu 5 % dürfen nach bestimmten Regeln anderen Zonen zugeschlagen werden.

Nach der Zonierung erfolgt die Einteilung in Versorgungsbereiche.
Werden mehrere Bereiche des Gebäudes von der gleichen Anlagentechnik versorgt, wird von einem Versorgungsbereich gesprochen. [19]

3.2.4.2 DIN V 18599-10 – Nutzungsrandbedingungen und Klimadaten

In Teil 10 Anhang A der DIN V 18599 werden insgesamt 41 Nutzungsprofile für Nichtwohngebäude bereitgestellt. Sie konkretisieren Parameter wie Nutzungszeiten, Raumkonditionen, Mindestaußenluftvolumenstrom, Beleuchtung, Personenbelegung, interne Wärmequellen und Automationsgrad. Diese ergeben sich teilweise aus den in Anhang E aufgeführten Klimadaten. Hier sind für 15 Referenzstandorte in Deutschland Daten wie Außenlufttemperaturen, Windgeschwindigkeiten und Strahlungsintensitäten tabellarisch erfasst. Sie werden für die maximal erforderlichen Heiz- und Kühlleistungen zur Auslegung der Gebäudetechnik benötigt. Als Referenzklima gilt die Region 4, der Standort Potsdam. [19]

3.2.5 DIN EN ISO 10211 – Wärmebrücken im Hochbau

In dieser Norm werden die Anforderungen und Grundlagen zur numerischen Berechnung von Wärmebrücken konkretisiert. In ihr enthalten sind geometrische Grenzen und die Unterteilung des Modells sowie wärmetechnische Randbedingungen, Kennwerte und Beziehungen. Die Norm beruht auf den Annahmen, dass alle physikalischen Eigenschaften temperaturabhängig sind und dass im Bauteil keine Wärmequellen vorhanden sind. Zudem findet die DIN EN ISO 10211 Verwendung bei der Herleitung von längen- und punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten und Temperaturfaktoren der Oberfläche. [25]

3.3 Gebäudeerfassung

Für die energetische Bilanzierung eines Nichtwohngebäudes nach DIN V 18599 sind einige gebäudespezifische Unterlagen notwendig, die der Gebäudeeigentümer bereitzustellen hat.

- Orientierung des Gebäudes
- Grundrisse jeder Etage mit Bemaßung, Angaben zur Nutzung der einzelnen Räume und Art der Konditionierung
- Schnittzeichnungen mit Angaben über Geschosshöhe und lichter Raumhöhe
- Angaben über die Versorgungs- und Beleuchtungstechnik
- Aufbau der Bauteile

Bei dem zu bilanzierenden Gebäude geht es um ein freistehendes Nichtwohngebäude. Es handelt sich hierbei um ein Hotel mit einer Nettogrundfläche von 2637,29 m². Das Gebäude hat vier Geschosse und ist nicht unterkellert.

Die Abbildungen 10 bis 13 zeigen die Grundrisse des Gebäudes je Geschoss.

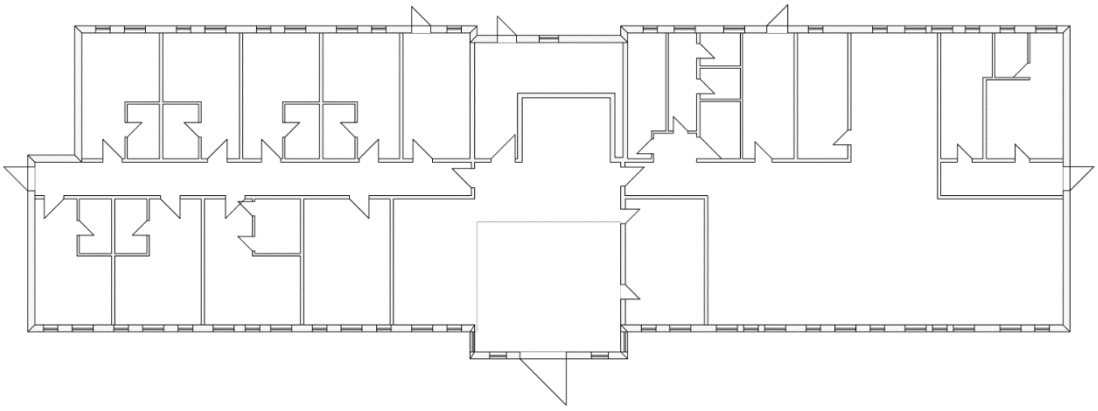

Abbildung 10 Grundriss Erdgeschoss

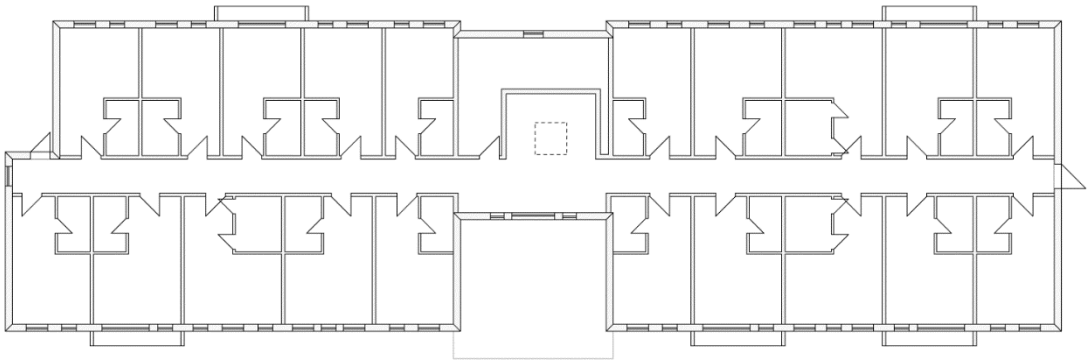

Abbildung 11 Grundriss 1. Obergeschoss

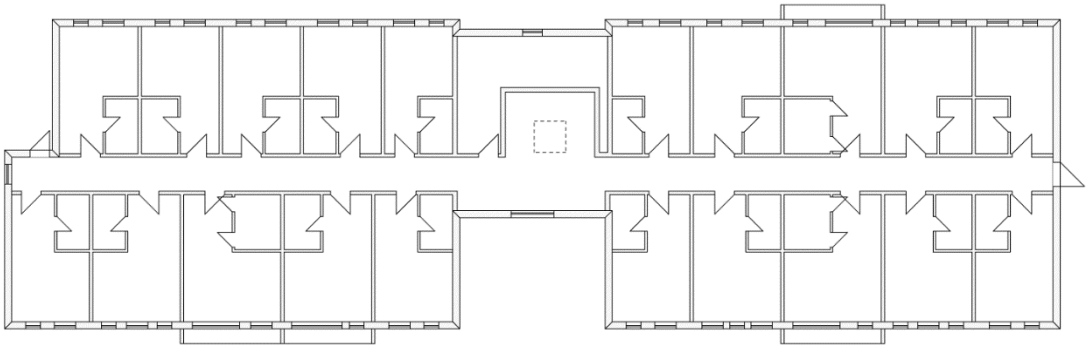

Abbildung 12 Grundriss 2. Obergeschoss

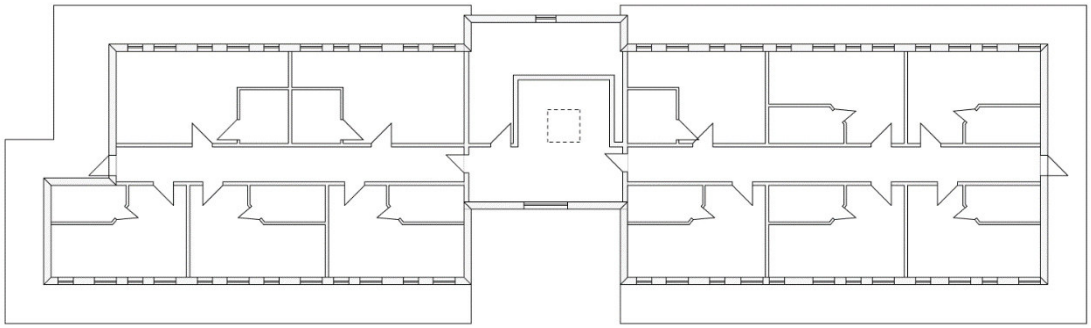

Abbildung 13 Grundriss Dachgeschoss

Die Ansichten mit Orientierung werden in Abbildung 14 und 15 dargestellt.

Abbildung 14 Vorder- und Rückansicht des Nichtwohngebäudes

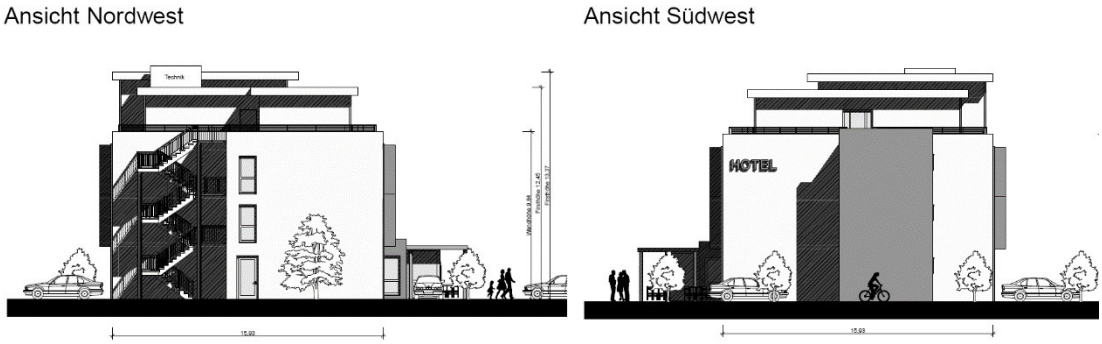

Abbildung 15 Seitenansichten des Nichtwohngebäudes

Abbildung 16 macht Angaben über den Gebäudeschnitt und die Geschosshöhen.

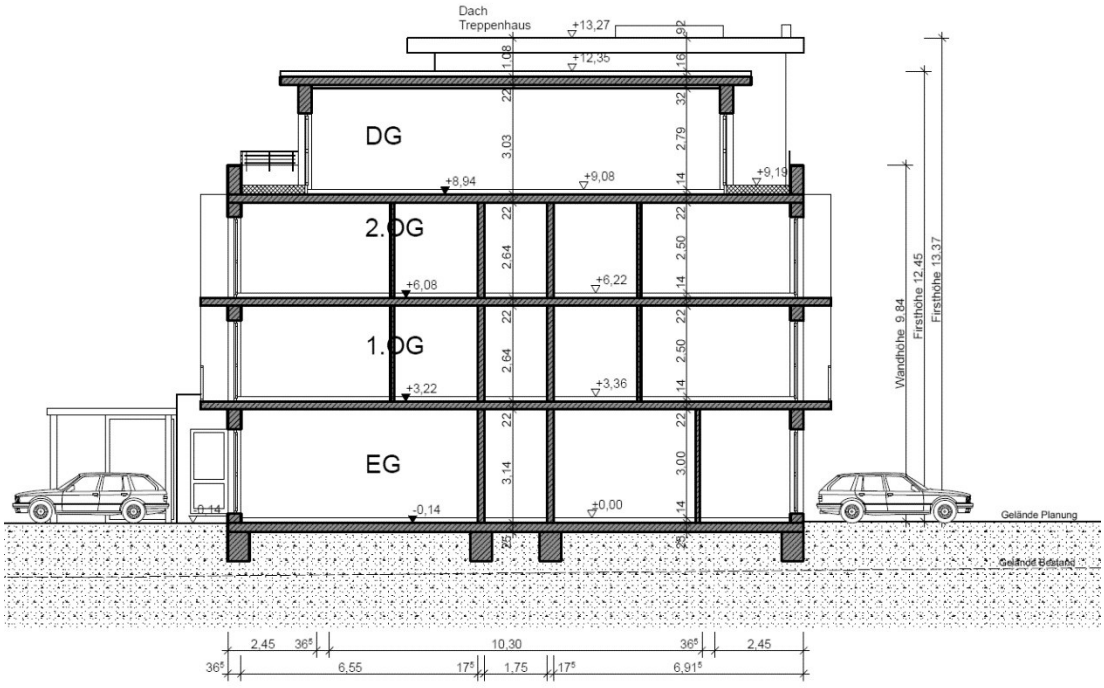

Abbildung 16 Gebäudeschnitt mit Angaben über die Geschosshöhen

Die in Tabelle 6 und 7 angegebenen Bauteilaufbauten werden benötigt, um die Wärmedurchgangskoeffizienten zu ermitteln.

Tabelle 6 Bauteilaufbauten mit Schichtdicken und Angaben über die Wärmeleitfähigkeit

Bauteil	Aufbau	Dicke in cm	Wärmeleitfähigkeit λ in W/(mK)
Außenwand	Außenputz	1,5	0,700
	Mauerwerk	36,5	0,090
	Innenputz	1,5	0,700
Innenwand	Innenputz	1,5	0,700
	Kalksandstein	11,5/17,5/24	0,990
	Innenputz	1,5	0,700

Tabelle 7 Fortsetzung Bauteilaufbauten mit Schichtdicken und Angaben über die Wärmeleitfähigkeit

Bauteil	Aufbau	Dicke in cm	Wärmeleitfähigkeit λ in W/(mK)
Innenwand (Trockenbau)	Innenputz	1,5	0,700
	Gipskartonplatte	1,25	0,250
	Dämmung	10	0,035
	Gipskartonplatte	1,25	0,250
	Innenputz	1,5	0,700
Bodenplatte	Fliesen	1	1,300
	Estrich	6,5	1,200
	Dämmung	6	0,035
	Abdichtungsfolie	0,025	0,330
	Stahlbeton	25	2,300
	Dämmung	12	0,035
Flachdach	Stahlbeton	25	2,500
	Dampfbremse	1	0,330
	Dämmung	14	0,028
	Abdichtung	1	0,170
	Dachbegrünung	10	-

Tabelle 8 Vorgegebene U-Werte für Fenster und Türen

Bauteil	U-Wert in W/(m²K)
Fenster	0,86
Innentür	1,55
Außentür	1,10

In der Software Energieberater Professional 3D PLUS werden Parameter wie der Gebäudetyp, die architektonische Einbindung des Gebäudes sowie die Anzahl und Höhe der Geschosse erfasst. Da die Höhe der solaren Wärmegewinne von der Ausrichtung des Gebäudes abhängig ist, muss die konkrete Himmelsrichtung gewählt werden. Um das Modellieren zu vereinfachen, werden die Grundrisse aller Etagen in der Software eingelesen und das

Nichtwohngebäude anhand der Längenangaben in einem CAD-Modell erfasst. Das fertige 3D-Modell zeigen Abbildung 17 und 18.

Im nächsten Schritt werden alle Bauteile definiert, indem der Schichtaufbau jedes Bauteils in die Software übernommen wird. Daraus resultieren U-Werte für Außen- und Innenwände, Bodenplatte und Dach. U-Werte für Fenster und Türen werden vom Gebäudeeigentümer vorgegeben und sind Tabelle 8 zu entnehmen.

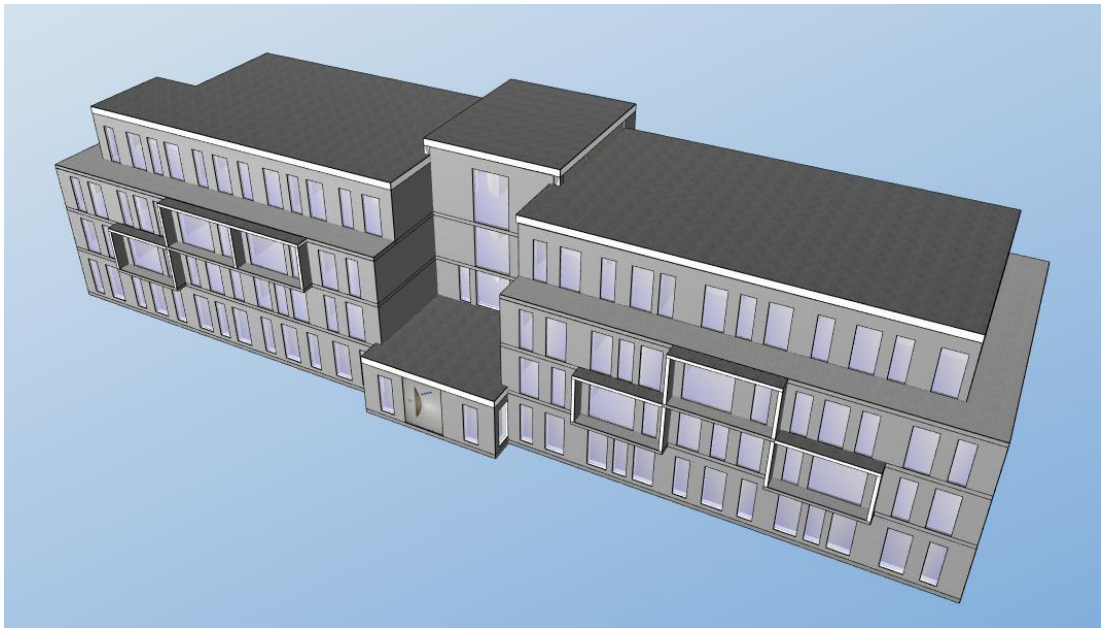

Abbildung 17 Vorderansicht des 3D-Modells

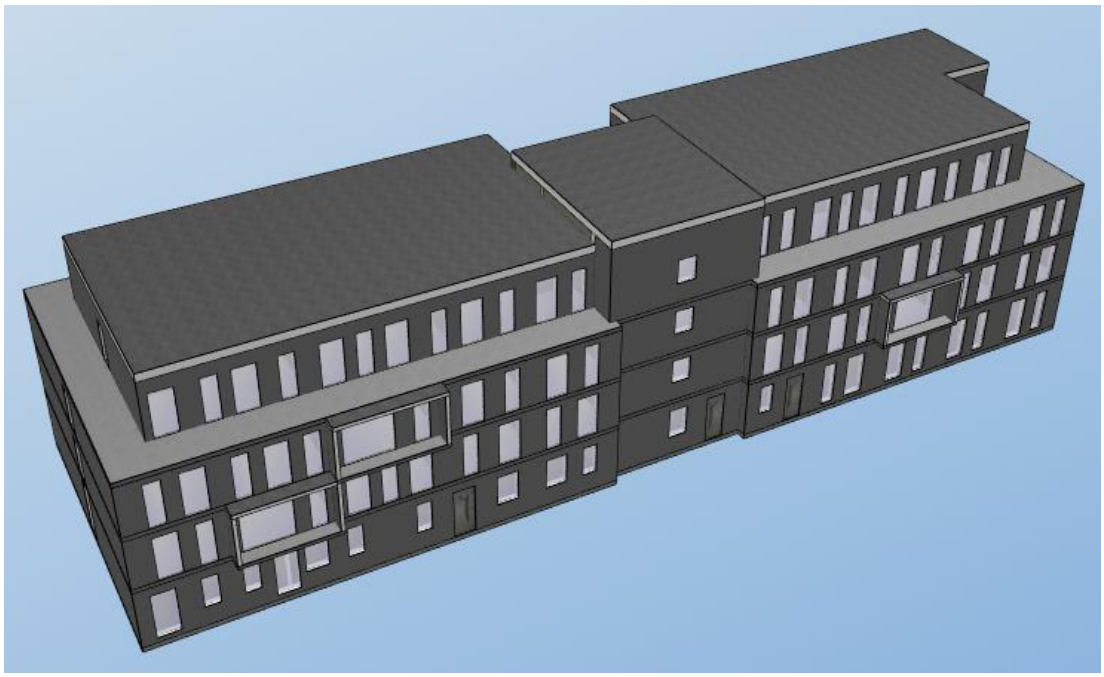

Abbildung 18 Rückansicht des 3D-Modells

Nachdem das Gebäude in beheizte und unbeheizte Bereiche eingeteilt wurde und alle Räume eine korrekte Raumbezeichnung erhalten haben, werden diese entsprechend ihrer Nutzungsrandbedingungen zoniert.
Nach DIN V 18599-10:2011-12 ergeben sich für das zu bewertende Hotel insgesamt 9 Zonen, die in den Abbildungen 19 bis 22 dargestellt werden. Die Zone Hotelzimmer muss aufgrund der Verschattung durch die Balkone und der damit verbundenen Kühlung in 3 Zonen (Zone Hotelzimmer, Zone Hotelzimmer Nordwest, Zone Hotelzimmer Südost) unterteilt werden. Für eine bessere Nachvollziehbarkeit der einzelnen Zonen dient die Legende in Abbildung 23.

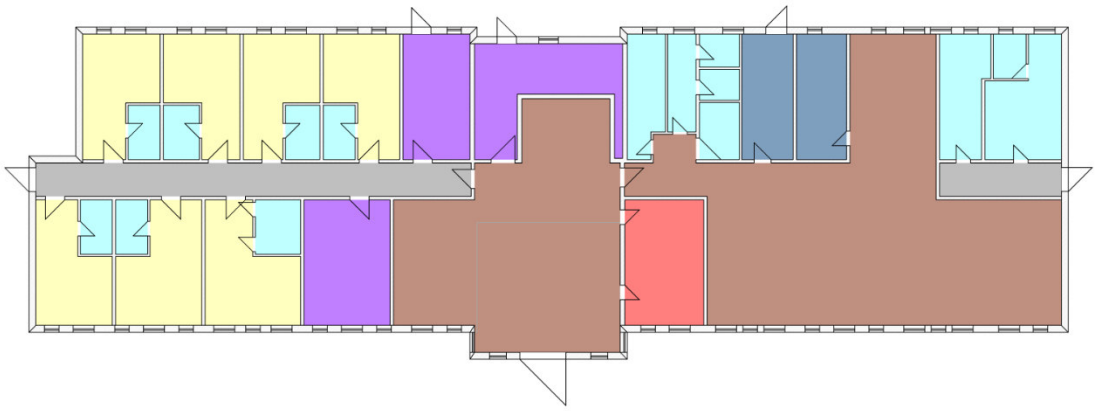

Abbildung 19 Zonierung im Grundriss des Erdgeschosses

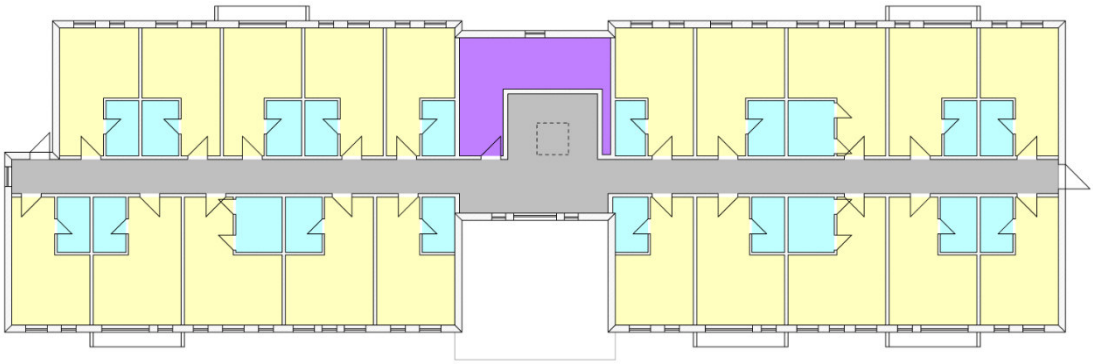

Abbildung 20 Zonierung im Grundriss des 1. Obergeschosses

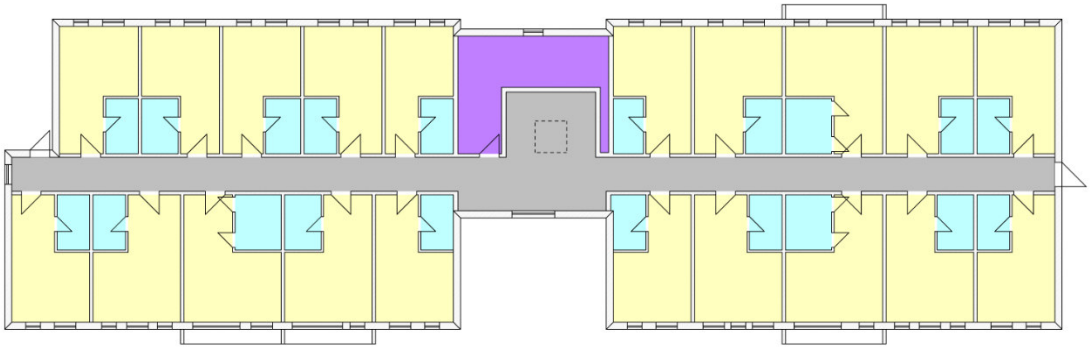

Abbildung 21 Zonierung im Grundriss des 2. Obergeschosses

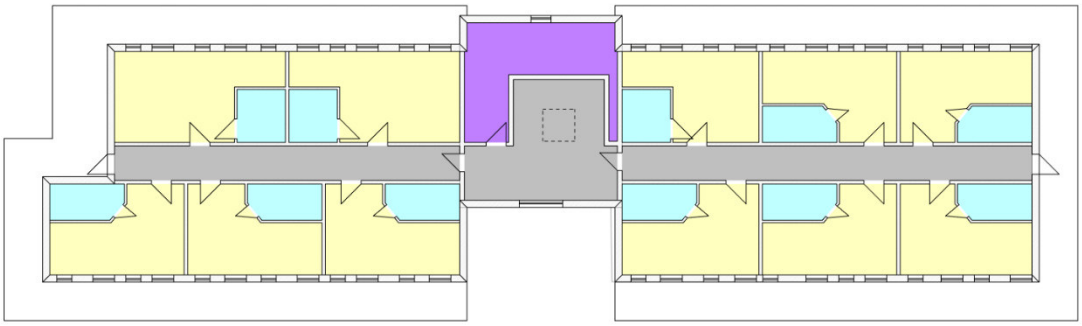

Abbildung 22 Zonierung im Grundriss des Dachgeschosses

Legende für Räume/Zonen	
WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	Hotelzimmer
Lager	Küche - Vorbereitung, Lager
Verkehrsfläche	Sonstige Aufenthaltsräume
Einzelbüro	

Abbildung 23 Legende für die Zonen

Die Art der Konditionierung und den Flächenanteil je Zone zeigen die Tabellen 9 und 10.

Tabelle 9 Flächen und Konditionierung der einzelnen Zonen

Zone	Fläche in m²	Anteil in %	Hüllfläche in %	Konditionierung
Einzelbüro	27,02	1,02	44,90	Heizung + Kühlung + Beleuchtung + TWW
Hotelzimmer	1108,89	42,05	1809,06	Heizung + Kühlung + Beleuchtung + TWW
WC und Sanitärräume in NWG	388,26	14,72	346,56	Heizung + Beleuchtung
Lager	169,84	6,44	294,39	Heizung + Beleuchtung
Verkehrsfläche	388,29	14,72	355,07	Heizung + Beleuchtung

Tabelle 10 Fortsetzung Flächen und Konditionierung der einzelnen Zonen

Zone	Fläche in m²	Anteil in %	Hüllfläche in %	Konditionierung
Küche – Vorbereitung, Lager	34,81	1,32	58,39	Heizung + Beleuchtung
Sonstige Aufenthaltsräume	304,08	11,53	540,16	Heizung + Beleuchtung
Hotelzimmer Nordwest	70,00	2,65	50,20	Heizung + Kühlung + Beleuchtung + TWW
Hotelzimmer Südost	146,10	5,54	112,38	Heizung + Kühlung + Beleuchtung + TWW
	Σ = 2637,29		Σ = 3611,11	

Nach DIN V 18599-1:2011-12 müssen die charakteristische Länge und Breite des Versorgungsbereichs berechnet werden, um Kennwerte für Wärmeverteilnetze abschätzen zu können. Den in der Norm angegebenen Formeln nach ergibt sich für das Gebäude eine charakteristische Länge von 248,3 m und eine charakteristische Breite von 12,3 m.

3.4 Erfassung der Anlagentechnik

Um die verschiedenen Varianten der möglichen Energieversorgungssysteme hinsichtlich End- und Jahresprimärenergiebedarf sowie CO_2-Emissionen und Transmissionswärmeverlusten untersuchen zu können, wird die Gebäudehülle unverändert gelassen und lediglich die verschiedenen Anlagensysteme in der Software verändert. Anschließend erfolgt eine Ergebnisdarstellung im Abschnitt Ergebnisse, wo sie untereinander verglichen und bewertet werden.
Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, werden die Energieerzeugungsanlagen für jede Variante in keiner Zone und im Beheizten aufgestellt. Auch das Übergabe- und Verteilsystem bleibt für alle Varianten unverändert. Es wird davon ausgegangen, dass bauteilintegrierte Flächenheizungen als Übergabekomponente eingesetzt werden und die Regelung über einen Zweipunktregler ohne Optimierung erfolgt. Die Art des Verteilnetzes entspricht einem

Etagenring und die Auslegungstemperatur wird auf 35/28 °C festgelegt. Die Leitungslängen ergeben sich aus der Gebäudegeometrie. Da ein hydraulischer Abgleich für Neubauten vorgeschrieben ist, wird davon ausgegangen, dass dieser durchgeführt wurde.

Tabelle 11 stellt den Heizungsbereich aller Anlagenvariationen dar. Die Konditionierung Heizung gilt für alle Zonen des Gebäudes. In Anlagenvariante 4 ist zudem ein Heizungs-Pufferspeicher vorhanden.

Tabelle 11 Angaben zum Heizungsbereich für die verschiedenen Anlagenvarianten

Heizung				
	Anlagenvariante 1	**Anlagenvariante 2**	**Anlagenvariante 3**	**Anlagenvariante 4**
Art der Wärmeerzeugung	Heizkessel	Wärmepumpe	Nahwärme	Heizkessel
Typ	Brennwertkessel	Luft-Wasser	Nahwärme	Biomasse-Heizkessel
Brennstoff	Erdgas	Strommix	Kraft-Wärme-Kopplung, fossil	Holzpellets
Pumpe	bedarfsgeregelt, leistungsgeregelt, Absenkung außerhalb der Nutzungszeit			

Die Warmwasserversorgung wird in Tabelle 12 dargestellt. Der Bedarf an Warmwasser entsteht in den Zonen Einzelbüro, Hotelzimmer, Hotelzimmer Nordwest und Hotelzimmer Südost und wird in der Zone WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden gedeckt. In den Anlagenvarianten 1 und 4 wird das Warmwasser über den vorhandenen Heizungskessel erzeugt, der auch das Gebäude beheizt.

Tabelle 12 Angaben zur Warmwasserversorgung der verschiedenen Anlagenvarianten

Warmwasser				
	Anlagenvariante 1	**Anlagenvariante 2**	**Anlagenvariante 3**	**Anlagenvariante 4**
Warmwassererzeugung	Über Heizungskessel	Wärmepumpe	Nahwärme	Über Heizungskessel
Warmwasserspeicher (Nenninhalt in Liter)	478			
Art des Verteilnetzes	Zentral (Steigestrangtyp) mit Zirkulation			
Pumpe	bedarfsgeregelt, leistungsgeregelt			

Tabelle 13 gibt Auskunft über die Kühlung in den Zonen Einzelbüro, Hotelzimmer, Hotelzimmer Nordwest und Hotelzimmer Südost.

Tabelle 13 Angaben zur Kühlung der verschiedenen Anlagenvarianten

Kühlung				
	Anlagenvariante 1	**Anlagenvariante 2**	**Anlagenvariante 3**	**Anlagenvariante 4**
System	Dezentrale Kälteerzeugung – direktes System			
Art	Raumklimasystem			
Typ	Kompaktklimagerät			
Brennstoff	Strommix			
Auslegungstemperatur	16/18 °C			
Pumpe	bedarfsgeregelt, leistungsgeregelt, Abschaltung (nachts, Wochenende, Monate ohne Kühlung) Kälteträger: Wasser			

Die Beleuchtungsart ist für alle Zonen gleich: direkt und indirekt. Im gesamten Hotel befinden sich LED-Leuchten.

3.5 Detaillierte Wärmebrückenberechnung

Um den Einfluss von Wärmebrücken nicht nur pauschal bzw. nach Umsetzung des Beiblatts 2 der DIN 4108:2019-06 bewerten zu können, wird eine detaillierte Berechnung vorgenommen.

Im ersten Schritt müssen die Wärmebrücken anhand der Konstruktion des Gebäudes, den Grundrissen und Schnittdarstellungen aufgenommen werden. Bei einem genauen Nachweis müssen stets alle Wärmebrücken erfasst werden. Für die vorhandenen Wärmebrücken ist danach ein Längenaufmaß zu erstellen. Die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten werden

durch Modellierung in der Software PSI-Therm bestimmt und mit den ausgemessenen Längen multipliziert, um die gesamten zusätzlichen Wärmeverluste veranschlagen zu können. Im letzten Schritt wird der Wärmebrückenzuschlag ermittelt.

1. Wärmebrückenaufnahme

Die Tabellen 14 bis 17 stellen eine Übersicht über alle 56 im Hotel vorhandenen Wärmebrücken dar, die sich aufgrund der Bauweise ergeben.

Tabelle 14 Wärmebrückenübersicht – Bodenanschlüsse

1_Bodenanschlüsse	
1_01	Außenwand an Bodenplatte mit Streifenfundament
1_02a	Innenwand (17,5) an Bodenplatte mit Streifenfundament
1_02b	Innenwand (17,5) an Bodenplatte
1_03	Innenwand (11,5) an Bodenplatte
1_04	Innenwand (12,5) an Bodenplatte
1_05	Innenwand (24) an Bodenplatte
1_06	Treppe an Bodenplatte mit Streifenfundament
1_07	Aufzug an Bodenplatte

Tabelle 15 Wärmebrückenübersicht – Außenwandanschlüsse

2_Außenwandanschlüsse	
2_01	Geschossdeckeneinbindung mit Balkon
2_02a	Außenwand an Terrasse 1,585 m (unten)
2_02b	Außenwand an Terrasse 1,585 m (oben)
2_02c	Außenwand an Terrasse 2,41 m (unten)
2_02d	Außenwand an Terrasse 2,41 m (oben)
2_03	Außenecke
2_04	Innenecke mit IW (17,5)
2_05	Außen- und Innenecke mit IW (24)
2_06	Innenwand (17,5) an Außenwand
2_07	Innenwand (11,5) an Außenwand
2_08	Geschossdeckeneinbindung
2_09	Geschossdeckeneinbindung mit Terrasse
2_10a	Innenecke mit IW (24)
2_10b	Innenecke mit IW (24)
2_10c	Innenecke mit IW (24) DG
2_11	Innenwand (12,5) an Außenwand
2_12	Geschossdeckeneinbindung mit Plateau Treppe
2_13a	IW (17,5) an AW mit Balkonwand
2_13b	IW (17,5) an AW mit Balkonwand

Tabelle 16 Wärmebrückenübersicht – Dachanschlüsse

3_Dachanschlüsse	
3_01	Außenwand an Flachdach (oben)
3_02	Innenwand (17,5) an Terrasse
3_03	Innenwand (12,5) an Flachdach
3_04	Innenwand (17,5) an Flachdach
3_05	Innenwand (24) an Flachdach
3_06	Außenwand an Flachdach (unten)

Tabelle 17 Wärmebrückenübersicht – Fenster- und Türenanschlüsse

4_Fenster- und Türenanschlüsse	
4_01	Fensterschwelle an Bodenplatte (BRH 0,25 m) mit Streifenfundament
4_02	Fenstersturz an Balkon
4_03	Fensterschwelle an Terrasse
4_04	Fenstersturz an Flachdach
4_05	Laibung
4_06	Brüstung BRH 1,04 m
4_07a	Innentürschwelle an Bodenplatte mit Streifenfundament
4_07b	Innentürschwelle an Bodenplatte
4_08a	Fensterschwelle an Geschossdeckeneinbindung
4_08b	Fensterschwelle an Geschossdeckeneinbindung mit Balkon
4_09	Fenstersturz an Terrasse
4_10	Türschwelle an Terrasse
4_11	Türsturz an Flachdach
4_12	Türlaibung
4_13	Türsturz an Plateau Treppe
4_14	Eingangstür (unten)
4_15	Eingangstür (oben)
4_16	Eingangstür (seitlich)
4_17	Fenstersturz an Geschossdeckeneinbindung
4_18	Türschwelle an Bodenplatte mit Streifenfundament
4_19	Türsturz an Geschossdeckeneinbindung
4_20	Fensterschwelle an Flachdach
4_21	Türschwelle an Plateau Treppe

2. Erstellung eines Längenaufmaßes

Um aufzuzeigen zu können, wie ein Längenaufmaß erstellt wird, wird beispielhaft die Zone Einzelbüro mit ihren Längen in Abbildung 24 dargestellt. Da es hierbei um eine Prinzipdarstellung geht, wird nur auf einige Anschlüsse eingegangen. Einzelne Bauteile, die an benachbarte Zonen angrenzen, werden wie in Tabelle 18 beschrieben mit 0,5 multipliziert. Fenster- und Türbreiten werden hier von der Gesamtlänge abgezogen. Für die Länge einer Innenwand, die an

eine Außenwand anschließt, wird die Geschosshöhe von der Oberkante des Rohfußbodens bis zur Oberkante des Rohfußbodens des höher gelegenen Geschosses verwendet.

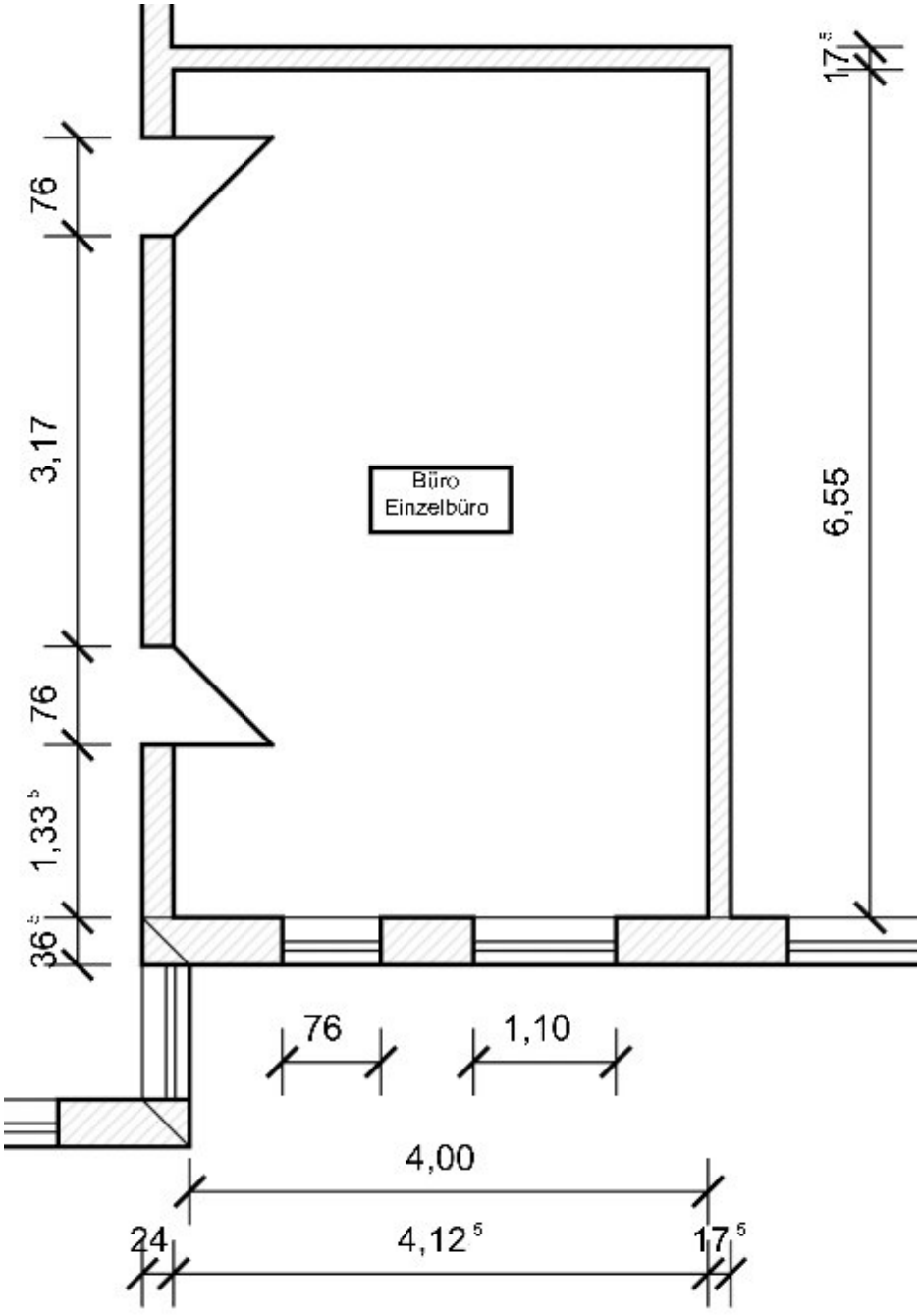

Abbildung 24 Längenangaben der Zone Einzelbüro

Tabelle 18 Längenermittlung ausgewählter Wärmebrückendetails in der Zone Einzelbüro

Bezeichnung		Länge	Gesamt-länge
1_Bodenanschlüsse			
1_01	Außenwand an Bodenplatte mit Streifenfundament	4 m + (0,175/2) m - 0,76 m - 1,1 m	= 2,2275 m
1_02a	Innenwand (17,5) an Bodenplatte mit Streifenfundament	((0,24/2) m + 4,125 m + (0,175/2) m) * 0,5	= 4,2727 m
2_Außenwandanschlüsse			
2_06	Innenwand (17,5) an Außenwand	3,14 m + 0,22 m	= 3,36 m

3. Ψ-Wert-Ermittlung

Alle aufgefundenen Wärmebrückendetails werden in der Software PSI-Therm der Firma Hottgenroth Software GmbH modelliert. Eine detaillierte Darstellung der einzelnen Anschlüsse sowie deren Temperatur- und Isothermenverlauf befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

Bei der korrekten Darstellung wird auf die im Beiblatt 2 der DIN 4108:2006-03 aufgezeigten Randbedingungen zurückgegriffen.

Wärmebrücken, die nicht direkt an die Außenluft angrenzen, werden über einen Temperaturkorrekturfaktor reduziert, wodurch es zu einer Anpassung der Oberflächentemperatur kommt.

Um die Relevanz und die Auswirkungen einer detaillierten Wärmebrückenberechnung zu begründen, wird im Folgenden konkreter auf zwei Anschlussdetails eingegangen.

Beispiel 1 – Fensterlaibung

Bei einem durch den Gebäudeeigentümer vorgegebenen Wärmedurchgangskoeffizient U = 0,86 W/(m²K) für die Fenster und den Randbedingungen nach DIN 4108 Bbl 2 ergibt sich nach Konstruktionsempfehlung des Beiblatts ein längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ = 0,028 W/(mK) für die in Abbildung 25 dargestellte Fensterlaibung.

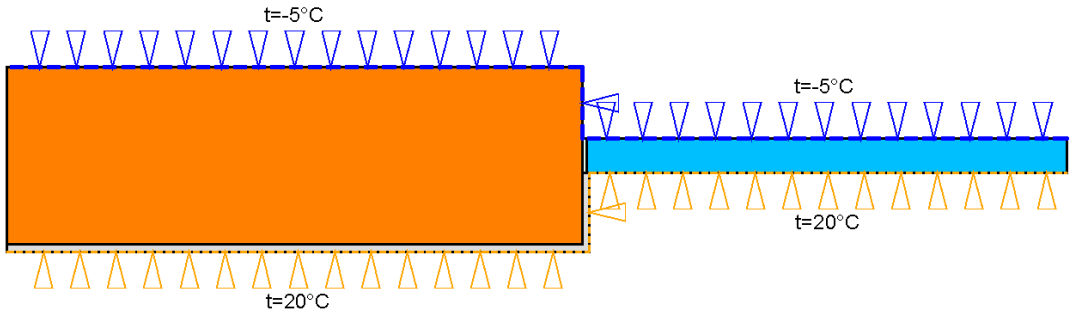

Abbildung 25 Fensterlaibung nach DIN 4108 Bbl 2:2019-06

Durch eine detaillierte Wärmebrückenberechnung besteht die Möglichkeit, den Bauteilanschluss zu optimieren, um bessere Ergebnisse zu erzielen. Durch einen vorgesetzten Laibungsstein (in Abb. 26 rot markiert) konnte der Ψ-Wert der Fensterlaibung um 78,57 % verbessert werden (0,006 W/(mK)). Da die Fenster einen großen Teil der Fläche des gesamten Gebäudes einnehmen, wirkt sich dieser optimierte Wert positiv auf den Transmissionswärmeverlust des Gebäudes aus.

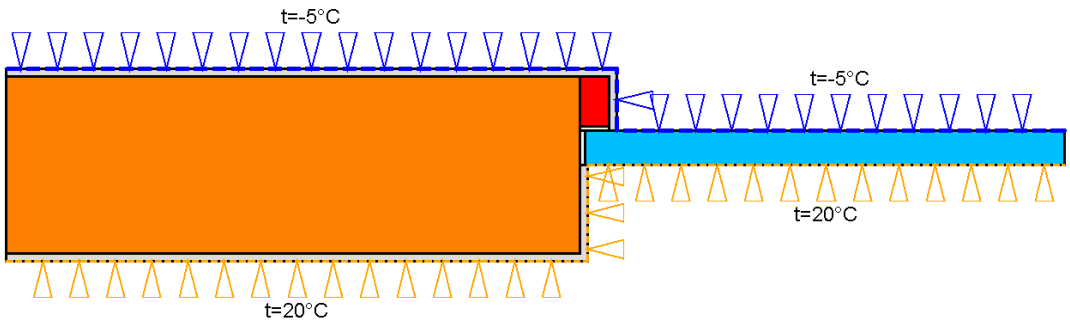

Abbildung 26 Detaillierte Berechnung der Fensterlaibung

Beispiel 2 – Innenwand an Bodenplatte mit Streifenfundament

Nach der Umsetzung des Planungsbeispiels nach DIN 4108 Bbl 2:2019-06 wird für den Anschluss einer Innenwand auf die Bodenplatte (Abb. 27) ein längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient von Ψ = 0,257 W/(mK) erreicht. Die Dämmung der Außenseite der Bodenplatte wird vom Fundament unterbrochen und führt an dieser Stelle zu erhöhten Wärmeverlusten.

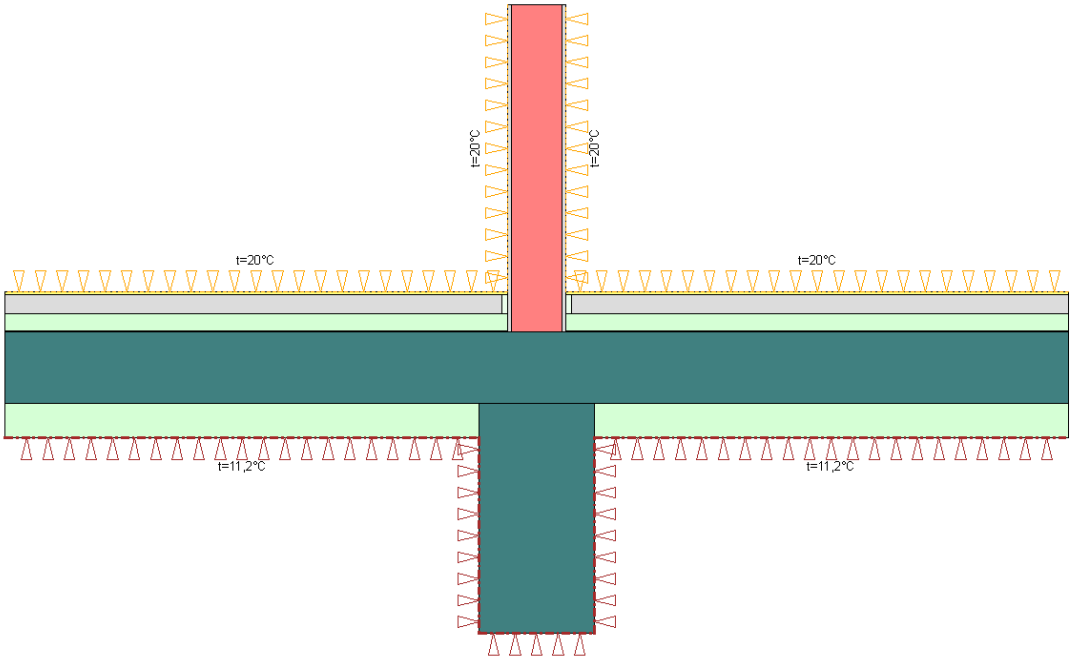

Abbildung 27 Anschluss einer Innenwand auf die Bodenplatte nach DIN 4108 Bbl 2:2019-06

Die detaillierte Berechnung dieses Anschlussdetails vermindert den Ψ-Wert um 73,93 %. Durch die umseitige Dämmung des Fundamentstreifens in Abbildung 28 wird ein längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient von 0,067 W/(mK) erreicht.

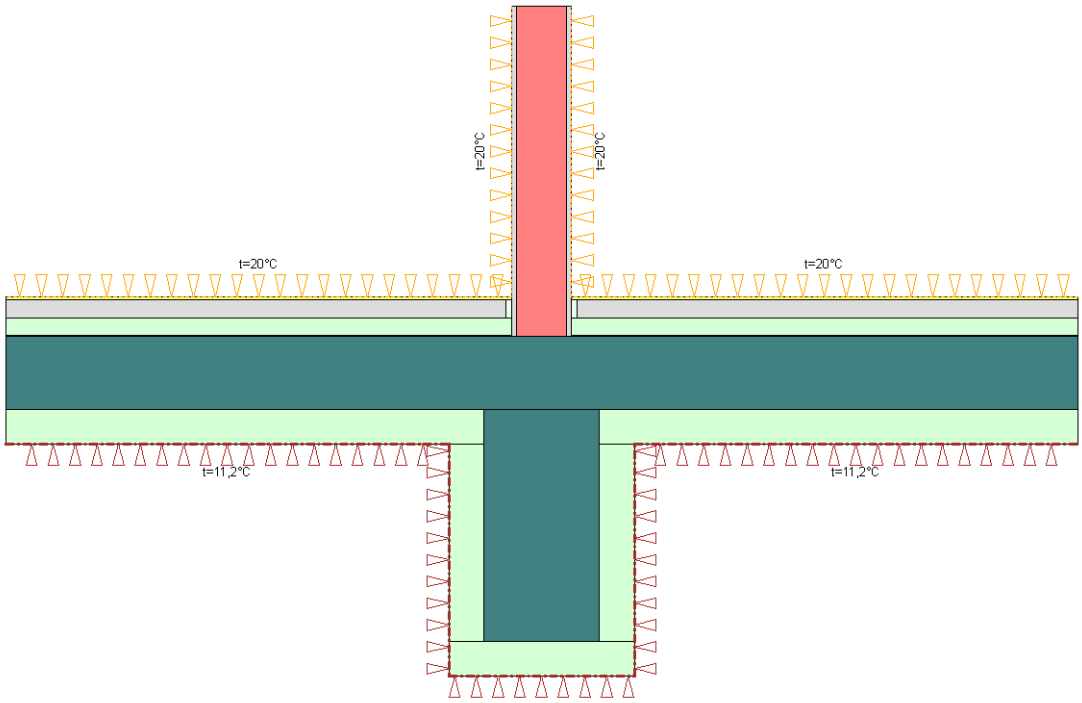

Abbildung 28 Detaillierte Berechnung des Anschlusses Innenwand auf Bodenplatte

4. Berechnung des gesamten zusätzlichen Wärmedurchgangs

Um die zusätzlichen Wärmedurchgänge über die Wärmebrücken herauszubekommen, müssen die Ψ-Werte jeder einzelnen Wärmebrücke mit ihrer Gesamtlänge multipliziert werden. Im Anhang befindet sich das Wärmebrückenaufmaß für jede Zone des Gebäudes. Werden die Einzelwerte miteinander addiert, ergibt sich ein zonenbezogener Gesamtwärmedurchgang (Tabelle 19).

Tabelle 19 Gesamtwärmedurchgang je Zone

Zone	Gesamtwärmedurchgang in W/K
Hotelzimmer	27
WC und Sanitärräume in NWG	6,3
Verkehrsfläche	6,9
Lager	4,3
Hotelzimmer Südost	4,1
Hotelzimmer Nordwest	1,9
Sonstige Aufenthaltsräume	10,4
Einzelbüro	1,4
Küche - Vorbereitung, Lager	1,7

5. Berechnung des Wärmebrückenzuschlags

Der Gesamtwärmedurchgang je Zone wird anschließend durch die Fläche der entsprechenden Zone dividiert und somit der Wärmebrückenzuschlag bestimmt. Demnach ergeben sich unterschiedliche Zuschläge für jede Zone. Auf das Ergebnis der Berechnung der Wärmebrückenzuschläge wird in Abschnitt 6.4.1 eingegangen.

3.6 Erfassung des Hotels als Wohngebäude

Um einen Vergleich der Bilanzierungsverfahren für Nichtwohngebäude und Wohngebäude herzustellen, wird das zu bewertende Hotel in der Software Energieberater Professional 3D PLUS als Wohngebäude angelegt und das Berechnungsverfahren nach DIN 4108 und DIN V 4701 durchgeführt. Die Anforderungen der EnEV und der KfW werden dementsprechend angepasst.

4 Ergebnisdarstellung und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus Abschnitt 5 zusammengefasst und diskutiert. Im ersten Teil der Ergebnisdarstellung geht es allgemein um die Bewertung der Gebäudehülle. Anschließend wird die Energiebilanz ohne detaillierte Wärmebrückenberechnung als Zwischenergebnis analysiert und ein vorläufiges Fazit gezogen. Das Endergebnis stellt die energetische Bewertung des Gebäudes mit detaillierter Wärmebrückenberechnung im Vergleich zu den vorangegangenen Bilanzen dar.

4.1 Bewertung der Gebäudehülle

Da keine Veränderung der Bauteilaufbauten vorgenommen wird, sondern lediglich die Anschlüsse durch die detaillierte Wärmebrückenberechnung verändert werden, widmet sich dieser Abschnitt der allgemeinen Bewertung der wärmeumfassenden Gebäudehülle.

Tabelle 20 stellt die einzelnen Bauteile der Gebäudehülle mit ihren berechneten bzw. vorgegebenen U-Werten dar. Zum Vergleich werden die Mindestanforderungen an die maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten der Energieeinsparverordnung (EnEV) und der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) aufgeführt. Aus der Tabelle lässt sich schließen, dass die KfW zum Teil deutlich strengere Anforderungen an die U-Werte der einzelnen Bauteile hat, die aber dennoch alle eingehalten werden.

Tabelle 20 U-Werte der einzelnen Bauteile im Vergleich zu den Anforderungen von EnEV und KfW

Bauteil	U-Wert in W/(m²K)	U_{max} EnEV in W/(m²K)	U_{max} KfW in W/(m²K)
Dach	0,19	0,20	0,14
Außentür	1,1	1,8	1,3
Außenwand	0,23	0,24	0,20
Fenster	0,86	1,3	0,95
Bodenplatte	0,18	0,30	0,25

Die Energieverluste über die thermische Gebäudehülle können Abbildung 29 entnommen werden. Sie gibt Aufschluss darüber, in welchen Bereichen hauptsächlich Energie verloren geht und wo die größten Einsparpotenziale liegen. Der Großteil der Energie geht über die Außenwände verloren, was nicht der Bauteilgruppe an sich zu verschulden ist, sondern ihrer großen Fläche am gesamten Gebäude. An zweiter Stelle stehen hier die Fenster, die ebenso einen hohen Flächenanteil einnehmen.

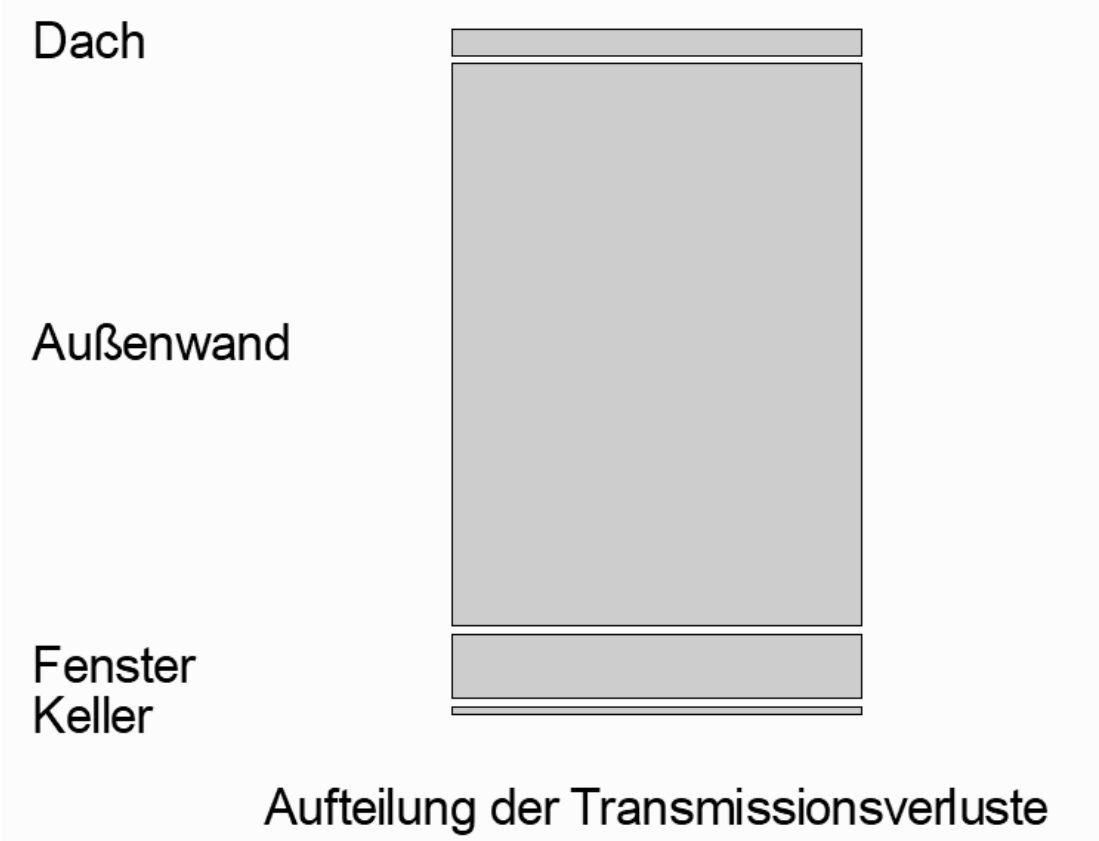

Abbildung 29 Aufteilung der Transmissionswärmeverluste über die verschiedenen Bauteile der Gebäudehülle

4.2 Zwischenergebnisse

Um ein Zwischenfazit ziehen zu können, wird die Energiebilanz der vier verschiedenen Versorgungskonzepte im Hinblick auf zwei Varianten untersucht. In Variante 1 wird der pauschale Wärmebrückenzuschlag von ΔU_{WB} = 0,1 W/(m²K) für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche angesetzt. Variante 2 zeigt die Ergebnisse nach Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten um ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K) gemäß DIN 4108 Bbl 2:2019-06.

4.2.1 Zwischenergebnis Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf charakterisiert die tatsächliche Menge an Energie, die benötigt wird, um das Gebäude zu beheizen und den Bedarf an Warmwasser zu decken. Je niedriger der Bedarf an Endenergie, desto mehr Heizkosten können eingespart werden.

In Abbildung 30 wird der Endenergiebedarf in kWh/a für Variante 1 (pauschaler Zuschlag) und Variante 2 (Berechnung nach DIN 4108 Bbl 2:2019-06) der eingesetzten Anlagentechnik wiedergegeben. Hier wird deutlich, dass ein niedrigerer Wärmebrückenzuschlag von 0,05 W/(m²K) für alle Anlagenvariationen zu einer Verringerung des Endenergiebedarfs führt. Es ergibt sich eine Brennstoffeinsparung von 2,5 % für die Wärmepumpe und den Pelletkessel und bis 3,8 % für den Gas-Brennwertkessel bei gleichem Nutzerverhalten und den gleichen Klimabedingungen.

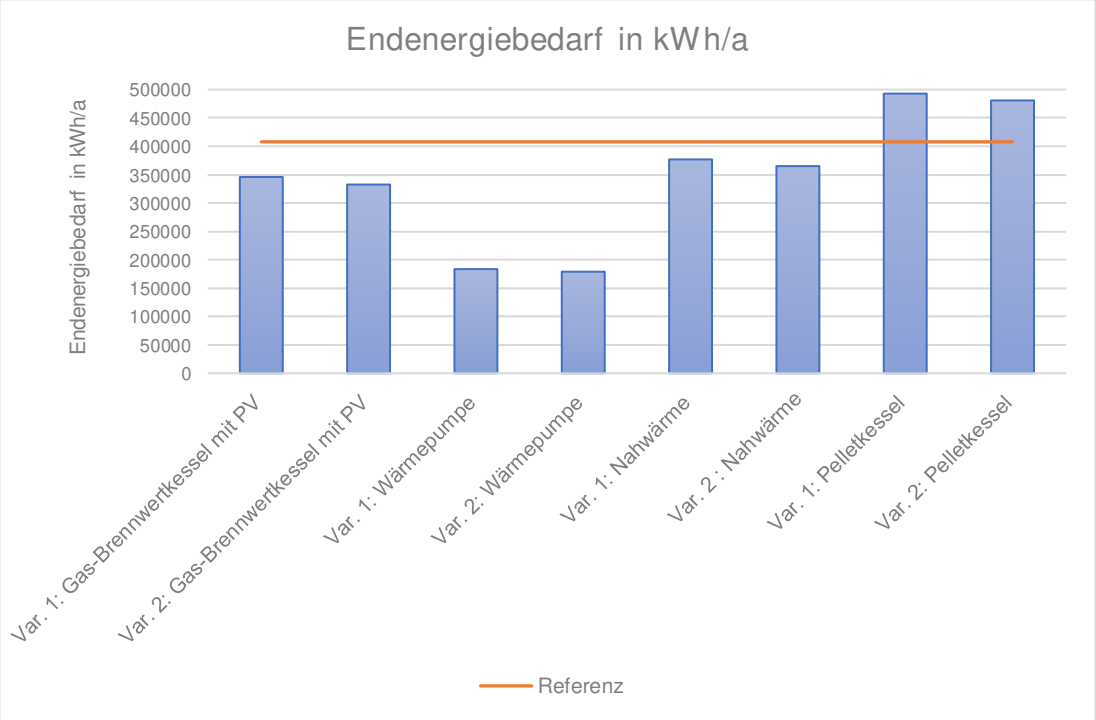

Abbildung 30 Endenergiebedarf für Variante 1 und 2 der verschiedenen Anlagentechnik

4.2.2 Zwischenergebnis CO_2-Emissionen

Die Kohlenstoffdioxid-Emissionen nehmen parallel zum Endenergiebedarf bezogen auf alle Anlagenvarianten ab, was sich positiv auf den Treibhauseffekt auswirkt (Abbildung 31). In Bezug auf die Schadstoffemissionen (CO_2) ist aus ökologischer Sicht die Pelletheizung das beste Versorgungskonzept. Die hohen CO_2-Ausstoße bei der Versorgung über eine Wärmepumpe und Nahwärme über ein Blockheizkraftwerk erklären sich mit dem Betrieb dieser Anlagen mit Strom. Hier liegen alle Anlagen unter dem Wert des Referenzgebäudes von 133.488 kg CO_2/Jahr. Die größte Einsparung gegenüber Variante 1 (pauschaler Ansatz) ergibt sich nach Ansetzen eines Wärmebrückenzuschlags nach DIN 4108 Bbl 2:2019-06 (Variante 2) für den Gas-Brennwertkessel in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage.

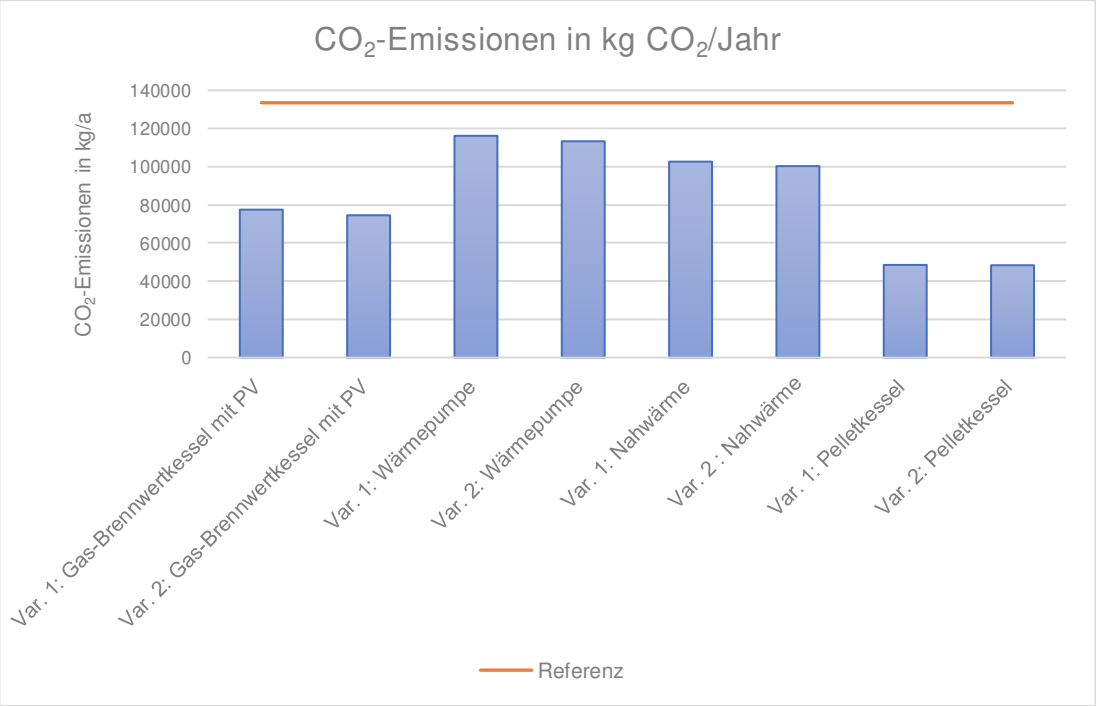

Abbildung 31 CO_2-Emissionen für Variante 1 und 2 der verschiedenen Anlagentechnik

4.2.3 Zwischenergebnis Transmissionswärmeverluste

Die Transmissionswärmeverluste des Referenzgebäudes von 0,391 W/(m²a) werden von allen Anlagenkonzepten unterschritten. Die Varianten mit einem pauschalen Wärmebrückenzuschlag kommen auf einen Transmissions-

wärmeverlust von 0,343 W/(m²a), der sich bei Halbierung des Zuschlags um 11,08 % verbessert.

4.2.4 Zwischenergebnis Jahres-Primärenergiebedarf

Der wichtigste Kennwert der energetischen Analyse ist der Jahres-Primärenergiebedarf. Abbildung 32 zeigt den Jahres-Primärenergiebedarf für die untersuchten Energieversorgungskonzepte im Vergleich zum Referenzgebäude und den Mindeststandards für KfW-Effizienzgebäude. Es ist zu erkennen, dass der Jahres-Primärenergiebedarf aller Technologien für die Energieversorgung unter dem des Referenzgebäudes (174,74 kWh/(m²a)) liegt.

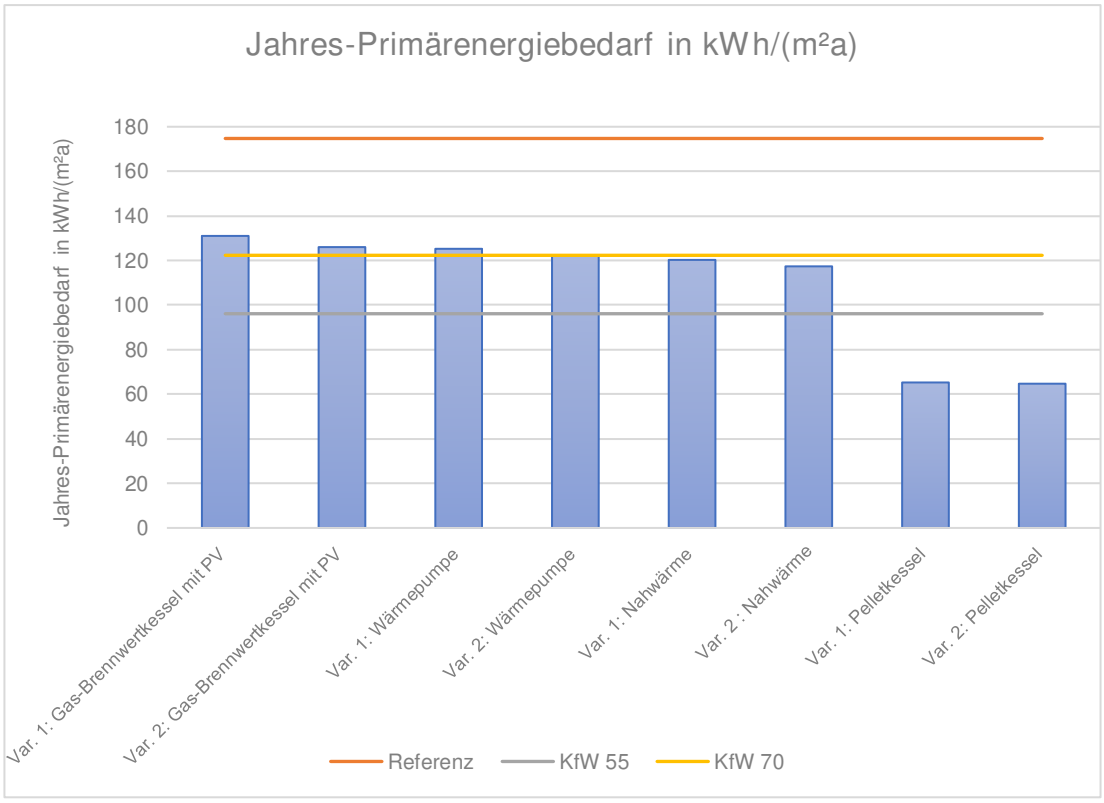

Abbildung 32 Jahres-Primärenergiebedarf für Variante 1 und 2 der verschiedenen Anlagentechnik

Die Pelletheizung hat mit einem Jahres-Primärenergiebedarf von 65,27 kWh/(m²a) (pauschaler Wärmebrückenzuschlag) bzw. 64,72 kWh/(m²a) (Zuschlag nach DIN 4108 Bbl 2:2019-06) den niedrigsten Bedarf und erreicht KfW-Effizienzgebäude-Standard 55. Dies lässt sich mit der Berechnung des Primärenergiebedarfs erklären. Er setzt sich mittels Multiplikation aus dem

Endenergiebedarf und dem Primärenergiefaktor der Energieträger nach Anhang A der DIN V 18599:2011-12 zusammen. [19]
Das Konzept aus Gas-Brennwertkessel und PV-Anlage hält weder mit einem pauschalen Wärmebrückenzuschlag (Var. 1) noch mit dem halbierten Zuschlag nach Beiblatt 2 der DIN 4108:2019-06 (Var. 2) die Mindestanforderungen der KfW ein. Durch den Ansatz eines Wärmebrückenzuschlags von ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K) kann jedoch die Energieversorgung mit einer Wärmepumpe den Anforderungen eines Effizienzgebäude 70 der Kreditanstalt für Wiederaufbau gerecht werden.

4.2.5 Zwischenergebnis mittlere U-Werte

Um einen Effizienzgebäudestandard nach KfW zu erreichen, müssen die Mindestanforderungen an die mittleren U-Werte eingehalten werden. Für opake Außenbauteile gilt:

KfW-Effizienzgebäudestandard 70	0,26 W/(m²K)
KfW-Effizienzgebäudestandard 55	0,22 W/(m²K)

Das Referenzgebäude liegt mit 0,28 W/(m²K) über diesen Anforderungen, die verwendeten Anlagen mit 0,18 W/(m²K) jedoch weit darunter.

Für transparente Außenbauteile gelten folgende Grenzwerte.

KfW-Effizienzgebäudestandard 70	1,4 W/(m²K)
KfW-Effizienzgebäudestandard 55	1,2 W/(m²K)

Auch hier liegt das Referenzgebäude über den Anforderungen. Die verschiedenen Anlagentechniken weisen einen mittleren U-Wert von 0,86 W/(m²K) auf und liegen damit deutlich unter dem Standard für ein Effizienzgebäude 55.

4.3 Zwischenfazit

Eine Zusammenfassung der Zwischenergebnisse zeigt, dass ein Wärmebrückenzuschlag von ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K) nach DIN 4108 Bbl 2:2019-06 (Var. 2) für alle Anlagenvarianten zu Verminderungen des Energiebedarfs, sei es End- oder Jahres-Primärenergiebedarf sowie zur Reduktion des CO_2-Ausstoßes führt.

Da durch eine detaillierte Berechnung weitaus bessere Ergebnisse für den Wärmebrückenzuschlag erzielt werden können, lässt dies die Vermutung zu, dass die Einzelberechnung der Wärmebrücken z. B. beim Gas-Brennwertkessel oder auch beim Konzept der Versorgung über Nahwärme zu einem besseren Effizienzgebäude-Standard führt.

4.4 Endergebnisse

4.4.1 Ergebnis des berechneten Wärmebrückenzuschlags

Der Wärmebrückenzuschlag, der den Wärmedurchgangskoeffizienten angerechnet werden muss, ergibt sich aus der Division des Wärmedurchgangs in W/K und der Fläche je Zone in m². Wie in Tabelle 21 zu erkennen ist, liegen diese Zuschläge deutlich unter dem pauschalen Zuschlag von 0,1 W/(m²K) und größtenteils auch deutlich unter dem Zuschlag von ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K).

Tabelle 21 Wärmebrückenzuschlag je Zone

Zone	Wärmebrückenzuschlag in W/(m²K)
Hotelzimmer	0,015
WC und Sanitärräume in NWG	0,018
Verkehrsfläche	0,019
Lager	0,015
Hotelzimmer Südost	0,036
Hotelzimmer Nordwest	0,038
Sonstige Aufenthaltsräume	0,019
Einzelbüro	0,031
Küche - Vorbereitung, Lager	0,029

4.4.2 Endergebnis Jahres-Primärenergiebedarf

Da sich die Ergebnisse des Endenergiebedarfs, der CO_2-Emissionen und der Transmissionswärmeverluste aufgrund der detaillierten Wärmebrückenberechnung und dem damit verbundenen niedrigeren Wärmebrückenzuschlag je Zone für Variante 3 verbessern, wird im Endergebnis nicht mehr explizit auf diese Kennwerte eingegangen.

Reduziert sich der Bedarf an Endenergie, wird folglich auch der Jahres-Primärenergiebedarf minimiert. Inwieweit sich ein detailliert berechneter Wärmebrückenzuschlag auf diesen Kennwert der energetischen Analyse auswirkt, kann Abbildung 33 entnommen werden.

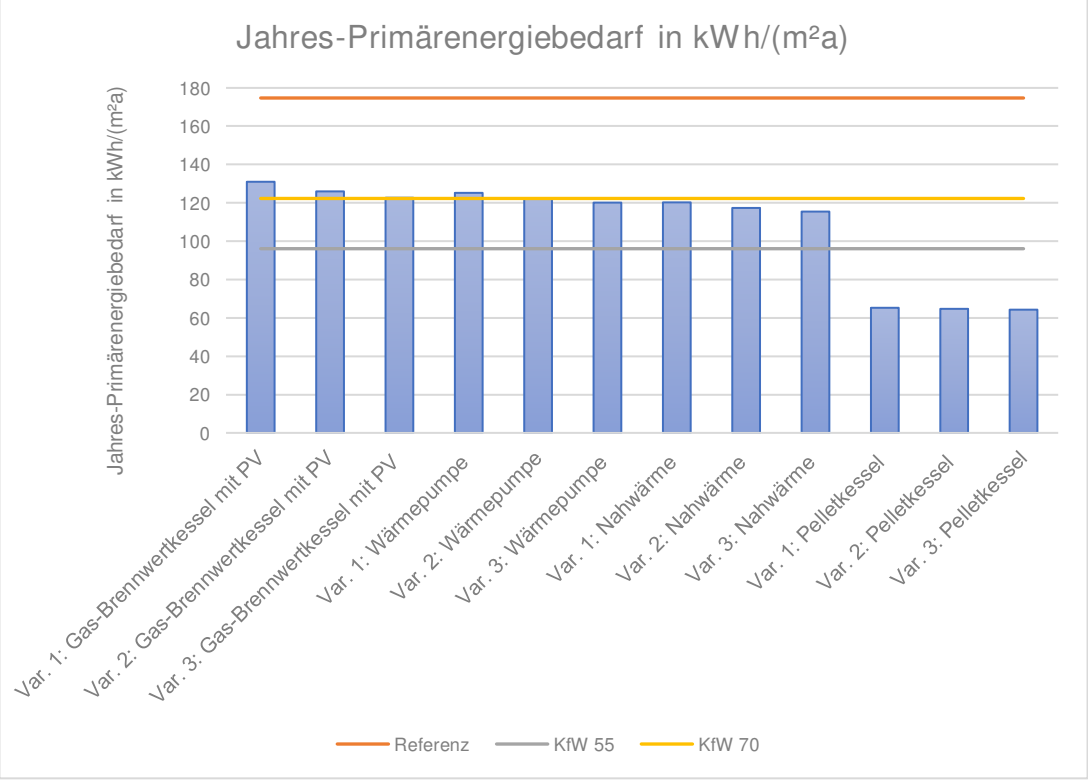

Abbildung 33 Endergebnis Jahres-Primärenergiebedarf

Im Vergleich zum pauschalen Wärmebrückenzuschlag von 0,1 W/(m²K) für Variante 1 der Anlagentechnik ergibt sich durch den berechneten Zuschlag in Variante 3 eine Verminderung für alle Versorgungskonzepte. Prozentual wirkt sich diese Verminderung folgendermaßen aus:

Gas-Brennwertkessel + Photovoltaik	- 6,34 %
Wärmepumpe	- 4,06 %
Nahwärme – Blockheizkraftwerk	- 3,99 %
Pelletkessel	- 1,50 %

Demnach ergibt sich die größte Einsparung für die Ausführung mit einem Gas-Brennwertkessel in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage.
Mit einem Primärenergiebedarf von 122,71 kWh/(m²a) liegt Variante 3 des Gas-Brennwertkessels nur knapp über den Anforderungen der KfW für einen Effizienzgebäude-Standard 70 mit 122,32 kWh/(m²a).
Ein besserer Standard für das Nahwärmekonzept ist nach der Berechnung nicht gegeben. Mit einem Bedarf von 115,47 kWh/(m²a) liegt dieses Konzept weit über dem Effizienzgebäude-Standard 55 mit 96,11 kWh/(m²a).

Die Ergebnisse in Bezug auf die mittleren U-Werte für opake und transparente Außenbauteile haben sich durch eine detaillierte Wärmebrückenberechnung nicht verbessert und bleiben unverändert, wie in Abschnitt 6.2.5 beschrieben.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich schließen, dass der Ansatz eines Wärmebrückenzuschlags durch die detaillierte Wärmebrückenberechnung zu kaum einer Veränderung gegenüber einem pauschalen Zuschlag führt.
Um zu überprüfen, ob dies dem Bilanzierungsverfahren zu verschulden ist, wurde das zu bewertende Gebäude in der Software als Wohngebäude angelegt und die Berechnung nach DIN 4108 und DIN V 4701 durchgeführt. Das als Beispiel dienende Ergebnis für das Anlagenkonzept Gas-Brennwertkessel mit Photovoltaikanlage bezogen auf den Jahres-Primärenergiebedarf zeigt Abbildung 34. Die Anforderungen an das Referenzgebäude sowie die Kriterien für ein KfW-Effizienzhaus 70 und 55 wurden dementsprechend angepasst.

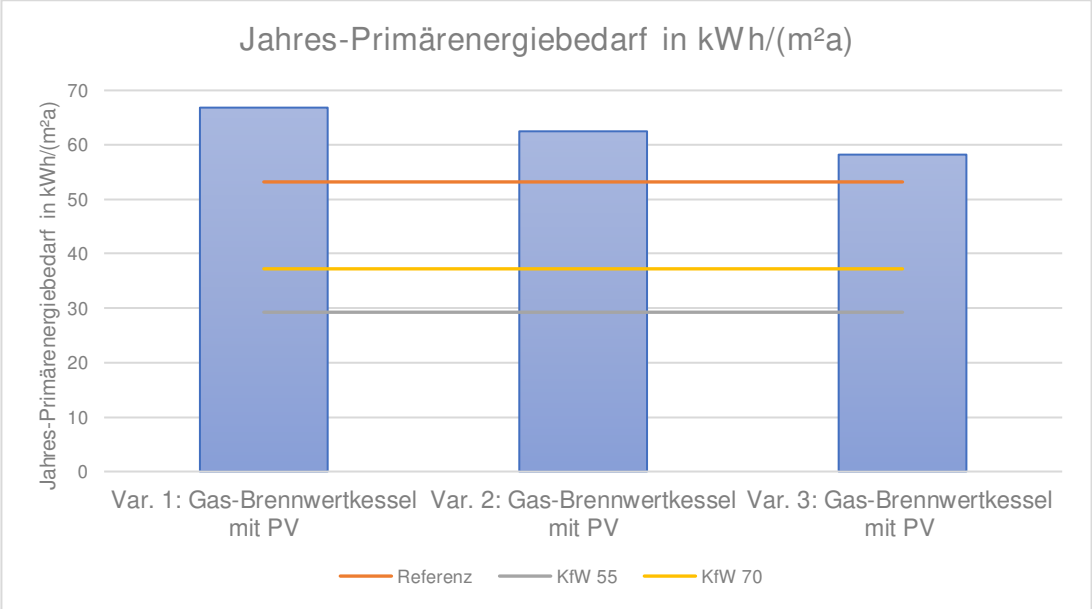

Abbildung 34 Jahres-Primärenergiebedarf bei der Betrachtung als Wohngebäude

In der Abbildung ist zu sehen, dass der Primärenergiebedarf dieses Anlagenkonzepts für keine Wärmebrückenzuschlagsvariante dem des Referenzgebäudes entspricht (53,19 kWh/(m²a) und damit weder an die Anforderungen eines Effizienzhaus 70 (37,23 kWh/(m²a) noch an die eines KfW-Effizienzhaus 55 (29,26 kWh/(m²a) herankommt. Gegenüber dem pauschalen Wärmebrückenzuschlag von 0,1 W/(m²K) wird hier ein Energieeinsparpotenzial von 12,91 % für Var. 3 (berechneter Zuschlag) verzeichnet. Dies entspricht einer Verbesserung im Vergleich zur Einsparung durch die detaillierte Zuschlagsberechnung des Nichtwohngebäudes (6,34 %), die mehr als doppelt so hoch ist.

5 Fazit

Vor dem Hintergrund des Erreichens der Klimaschutzziele bis 2050 spielt die Energieeffizienz im Gebäudebestand aktuell und in der Zukunft eine große Rolle. Neben der Nutzung innovativer Anlagentechnik und Deckung des Energiebedarfs aus erneuerbaren Energien wirkt sich die Vermeidung von Wärmebrücken positiv auf die Umwelt aus. Detaillierte Einzelberechnungen von Wärmebrücken werden derzeit nur im Wohngebäudebereich ausgeführt. Die vorliegende Arbeit hat sich daher mit dem Energiebilanzierungsverfahren für Nichtwohngebäude und den Auswirkungen der detaillierten Wärmebrückenberechnung in diesem Bereich auseinandergesetzt. Für die Beurteilung des Einflusses auf energetische Kennwerte der Bilanzierung wurden vier verschiedene Energieversorgungskonzepte herangezogen.

Die energetische Analyse hat gezeigt, dass sich die detaillierte Berechnung von Wärmebrücken zwar in einem verminderten Wärmebrückenzuschlag bemerkbar macht, die Auswirkungen auf den Jahres-Primärenergiebedarf jedoch nicht im Verhältnis zum dafür aufgebrachten Aufwand stehen.

Nachdem das zu bewertende Nichtwohngebäude mit dem Verfahren für Wohngebäude berechnet wurde, hat sich herausgestellt, dass die Berechnung nach diesem Bilanzierungsverfahren weitaus bessere Ergebnisse erzielt. In Bezug auf den Jahres-Primärenergiebedarf für das Beispielkonzept Gas-Brennwertkessel mit Photovoltaikanlage lässt sich eine Verbesserung um 50,89 % gegenüber dem Verfahren für Nichtwohngebäude verzeichnen.
Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Bilanzierungsverfahren für Wohngebäude und Nichtwohngebäude nicht miteinander zu vergleichen sind, da sie auf unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen basieren.

Auch wenn die detaillierte Wärmebrückenberechnung im Nichtwohngebäudebereich in Zukunft keine Anwendung findet, so ist sie doch im Wohngebäudebereich von großer Bedeutung. Der optimierte Wärmebrückenzuschlag führt nicht nur zu geringeren Kohlenstoffdioxidemissionen, sondern auch zu

einer Reduktion der benötigten Energiemenge für Heizung und Warmwasserbedarf.

Eine Minimierung der Wärmebrückenwirkung bietet aber nicht nur Vorteile in Bezug auf den Energieverbrauch. Durch Vermeidung von Wärmeverlusten über diese thermischen Schwachstellen wird die Gefahr der Schimmelpilzbildung in Folge von Tauwasserausfall reduziert und allgemein für eine thermische Behaglichkeit im Wohngebäude gesorgt.

Quellenverzeichnis

[1] dena. **Deutsche Energie-Agentur**, 10/2019: dena-GEBÄUDEREPORT KOMPAKT 2019: „Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand“, Berlin

[2] EnEV. **Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden**. (Energieeinsparverordnung). Vom 24.07.2007 (BGBI. I S. 1519). Zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung zum Asylverfahrensbeschleunigungsgesetz vom 24.10.2015 (BGBI I S. 1789)

[3] BMWi. **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie**, 12/2019: ENERGIEEFFIZIENZSTRATEGIE 2050, Berlin

[4] KfW. **Kreditanstalt für Wiederaufbau**, 01.01.2020: Anlage zu den Merkblättern: Energieeffizient Bauen und Sanieren – Nichtwohngebäude, Frankfurt

[5] KfW. **Kreditanstalt für Wiederaufbau**, 11/2015: Infoblatt: KfW-Wärmebrückenbewertung, Frankfurt

[6] dena. **Deutsche Energie-Agentur**, 11/2016: dena-GEBÄUDEREPORT: Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand, Berlin

[7] dena. **Deutsche Energie-Agentur**, 11/2018: dena-ANALYSE Insight Hotelimmobilien: Erkenntnisse aus dem dena-Modellvorhaben „Check-in Energieeffizienz“ für klimafreundliche Hotels und Herbergen, Berlin

[8] **EW Medien und Kongresse GmbH**, 2015: RWE Bauhandbuch. 15. Ausgabe, EW Medien und Kongresse GmbH, Frankfurt am Main

[9] Die Funktionsweise der Gas-Brennwerttechnik (o. J.). Abgerufen 08.02.2020, 18:12 von https://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/gasheizung/gas-brennwertkessel/funktionsweise.html

[10] **Wegner, A**. (31.01.2020): Mehr als heiße Luft: Günstig Heizen mit einem Brennwertkessel. Abgerufen 08.02.2020, 17:58 von https://www.aroundhome.de/heizung/brennwertkessel/#aufbau-und-funktionsweise-brennwertkessel

[11] Die Funktionsweise einer Photovoltaikanlage. (o. J.). Abgerufen 08.02.2020, 18:38 von https://www.rechnerphotovoltaik.de/photovoltaik/technik/funktionsweise

[12] Bundesverband Wärmepumpe e.V. (o. J.). Wie funktioniert die Wärmepumpe? Abgerufen 04.02.2020, 15:06 von https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/

[13] Funktionsweise eines BHKW (o. J.). Abgerufen 04.02.2020, 23:13 von http://www.blockheizkraftwerk-bhkw.net/funktionsweise

[14] BHKW Hersteller im Check: Übersichten & Informationen (o. J.). Abgerufen 04.02.2020, 22:42 von https://www.kessel-held.de/bhkw-hersteller/

[15] Pelletheizung Funktionsweise (o. J.). Abgerufen 04.02.2020, 16:02 von https://www.heizsparer.de/heizung/heizungssysteme/pelletheizung/pelletheizung-funktionsweise

[16] Pelletkessel (o. J.). Abgerufen 04.02.2020, 16:11 von https://www.ofenseite.com/pelletkessel

[17] Gesundes Raumklima (o. J.). Abgerufen 08.02.2020, 16:49 von https://www.bauer-fenster.de/vorteile-neuer-fenster/gesundes-raumklima.html

[18] DIN 4108:2006-03 – **Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden**

[19] DIN V 18599:2011-12 – **Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung**

[20] DIN EN ISO 10211 – **Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen**

[21] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Neubauanforderungen Nichtwohngebäude (o. J.). Abgerufen 05.02.2020, 16:40 von https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/EnEV/Neubau/Nichtwohngebaeude/Nichtwohngebaeude-node.html

[22] **Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle**: DIN 4108 (o. J.). Abgerufen 06.02.2020, 15:21 von https://www.febs.de/gesetze-normen/bilanzierungsnormen/din-4108/

[23] **Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle**: DIN V 4701-10 (o. J.). Abgerufen 20.02.2020, 12:03 von https://www.febs.de/gesetze-normen/bilanzierungsnormen/din-v-4701-10/

[24] **Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle**: DIN V 18599 (o. J.). Abgerufen 07.02.2020, 16:26 von https://www.febs.de/gesetze-normen/bilanzierungsnormen/din-v-18599/

[25] Beuth Verlag GmbH: DIN EN ISO 10211:2018-03. Abgerufen 07.02.2020, 15:32 von https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-10211/255670040

Anhang

Da der Anhang dieser Arbeit relativ umfangreich ist, ist er der beigelegten CD-ROM zu entnehmen.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit

Gesamtenergetische Bewertung eines Neubau-Nichtwohngebäudes unter besonderer Berücksichtigung der detaillierten Wärmebrückenberechnung

selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Ich habe dabei nur die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfung vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

_____ _____

Ort, Datum Unterschrift

Erklärung zu Eigentumsübertragung und Verwertungsrechte

Hiermit erkläre ich mein Einverständnis, dass die Technische Hochschule Bingen die vorliegende Abschlussarbeit den Studierenden und interessierten Dritten zur Einsichtnahme zur Verfügung stellt und unter Nennung meines Namens veröffentlichen darf.

_____ _____

Ort, Datum Unterschrift