
BACHELORARBEIT

Frau
Alina Sailer

Die Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes in Bestandsgebäuden vor dem Hintergrund des Klimawandels an einem Beispielobjekt

Mittweida, 2020

Fakultät: Wirtschaftsingenieurwesen

BACHELORARBEIT

Die Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes in Bestandsgebäuden vor dem Hintergrund des Klimawandels an einem Beispielobjekt

Autorin:
Frau Alina Sailer

Studiengang:
Immobilienmanagement und Facilities Management

Seminargruppe:
FM17w1-B

Erstprüferin:
Prof. Dr.-Ing. Anika Dittmar

Zweitprüfer:
Prof. Dr.-Ing. Jörg Mehlis

Einreichung:
Mittweida, 14. September 2020

Verteidigung / Bewertung:
Mittweida, 2020

BACHELOR THESIS

**The improvement of summer
thermal insulation in existing
buildings against the back-
ground of climate change u-
sing an example real estate**

author:

Ms. Alina Sailer

course of studies:

Real Estate and Facilities Management

seminar group:

FM17w1-B

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Anika Dittmar

second examiner:

Prof. Dr.-Ing. Jörg Mehlis

submission:

Mittweida, 14. September 2020

defence / evaluation:

Mittweida, 2020

Bibliografische Angaben

Sailer, Alina:

Die Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes in Bestandsgebäuden vor dem Hintergrund des Klimawandels an einem Beispielobjekt.

Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences, Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen, Bachelorarbeit, – Mittweida 2020 – S. 18, 118, 21.

Referat:

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem sommerlichen Wärmeschutz in Bestandsgebäuden und mit der Frage, wie dieser vor dem Hintergrund des Klimawandels und der im Rahmen dessen immer wärmer werdenden Sommer verbessert werden kann. Das Aufzeigen der Nachrüstungs- und Verbesserungsmöglichkeiten soll an einem Beispielobjekt erfolgen. Dabei wird auf die Energieeinsparverordnung (EnEV) sowie das Gebäudeenergiegesetz (GEG) eingegangen. Im Fokus der Verbesserungsmöglichkeiten stehen vor der Problematik des Klimawandels hauptsächlich bauliche Maßnahmen sowie die Auswahl geeigneter Baustoffe.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	III
Symbolverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VIII
Vorwort	IX
1 Einleitung.....	1
2 Die Bedeutung des Klimawandels	3
2.1 Fakten, Hintergründe und Einflussfaktoren	3
2.1.1 Der Treibhauseffekt	3
2.1.2 Der aktuelle Temperaturen-Trend, zukünftige Entwicklungen und regionale Temperaturunterschiede.....	6
2.2 Gegenwärtige und zukünftige Auswirkungen des Klimawandels auf die Immobilien.....	16
3 Die Bedeutung und Notwendigkeit des sommerlichen Wärmeschutzes	22
3.1 Die thermische Behaglichkeit in Gebäuden	23
3.2 Die Notwendigkeit des Feuchteschutzes.....	30
3.3 Die Notwendigkeit der Energieeinsparung.....	35
4 Die Energieeinsparverordnung und das Gebäudeenergiegesetz	39
4.1 Die Anforderungen nach EnEV und GEG.....	40
4.2 Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach EnEV und GEG .	44
4.2.1 Das vereinfachte Nachweisverfahren.....	49
4.2.2 Das differenzierte Nachweisverfahren.....	56
5 Die wärmeschutztechnischen Anforderungen an die Bausubstanz.....	62
5.1 Die bauphysikalischen und bautechnischen Anforderungen im Überblick .	62
5.2 Wärmedämmstoffe.....	67
5.2.1 Synthetische Wärmedämmstoffe	78
5.2.2 Innovative Wärmedämmstoffe.....	78
5.2.3 Mineralische Wärmedämmstoffe.....	79
5.2.4 Natürliche Wärmedämmstoffe.....	80
5.2.5 Die wirtschaftliche Herausforderung der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden	83

5.3	Fenster und Verglasungsarten	86
5.4	Sonnenschutzvorrichtungen	91
5.5	Experteninterview mit dem Architekten Prof. Mario Kny	94
6	Die Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes von Bestandsimmobilien an einem Beispiel.....	97
6.1	Die Vorstellung der Beispielimmobilie	97
6.2	Die Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes der Immobilie	99
6.2.1	Die Verbesserung durch wärmedämmende Maßnahmen	101
6.2.2	Die Verbesserung durch Fenster und Verglasungen	104
6.2.3	Die Verbesserung durch Sonnenschutzvorrichtungen.....	106
6.3	Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes.....	107
6.3.1	Der Nachweis durch wärmedämmende Maßnahmen.....	107
6.3.2	Der Nachweis durch Verglasung und Sonnenschutz- vorrichtungen	110
7	Fazit.....	118
8	Anlagen.....	119
	Anlage 1: Höchstwerte Wärmedurchgangskoeffizient	119
	Anlage 2: Kennzahlen Baustoffe	124
	Anlage 3: Preisübersicht Dämmstoffe	129
	Anlage 4: Endverbraucherpreise Dämmstoffe	130
	Anlage 5: Pläne Beispielgebäude.....	131
	Anlage 6: Berechnung Kerndämmung.....	138
	Anlage 7: Berechnung WDVS	139
	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	X
	Selbstständigkeitserklärung	XIX

Abkürzungsverzeichnis

CO₂	Kohlenstoffdioxid / Kohlendioxid
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EnEG	Energieeinsparungsgesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
GEG	Gebäudeenergiegesetz
gem.	gemäß
HLS	Heizung Lüftung Sanitär
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IR	Infrarot
k. A.	keine Angabe
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
ppm	parts per million
SO₂	Schwefeldioxid
UV	Ultraviolettstrahlung
SRES	Special Report on Emissions Scenarios
WLG	Wärmeleitgruppe

Symbolverzeichnis

c	Spezifische Wärmekapazität [J/(kg·K)]
A_G	Nettogrundfläche des Raums oder des Raumbereichs [m ²]
A_w	Fensterfläche [m ²]
A_{w,nord}	Fensterfläche im Norden [m ²]
A_{w,ges}	Gesamte Fensterfläche [m ²]
d	Dicke, Schichtdicke [m]
f / f_{AG} / f_{wG}	Fensterflächenanteil
F_c	Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes
g	Gesamtenergiedurchlassgrad
g_{total} / g_{tot}	Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases einschließlich Sonnenschutz
n	Luftwechselzahl [h ⁻¹]
p_e	Wasserdampfteildruck, außen [Pa]
q_i	Sekundäre Wärmeabgabe nach innen
τ_e	Sonnenenergietransmission (direkte Sonnenstrahlung)
U	Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m ² ·K)]
U_g	Wärmedurchgangskoeffizient für Verglasung [W/(m ² ·K)]
U_w	Wärmedurchgangskoeffizient für Fenster [W/(m ² ·K)]

S	Sonneneintragskennwert
S_d	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke (Diffusions-Sperrwert) [m]
S_{vorh}	Vorheriger Sonneneintragskennwert
S_x	Anteiliger Sonneneintragskennwert
S_{zul}	Zulässiger Sonneneintragskennwert
μ	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl
λ	Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Treibhauseffekt	4
Abbildung 2: Der tägliche, wöchentliche und monatliche Durchschnitt des Kohlendioxid-Gehalts	5
Abbildung 3: Änderung der Oberflächentemperatur 1901 - 2012	6
Abbildung 4: Globale mittlere Temperatur	7
Abbildung 5: Anomalien der globalen Land- und Ozeantemperatur	8
Abbildung 6: Kumulative CO₂-Emissionen und zukünftiger Nicht-CO₂-Strahlungsdruck bestimmen die Wahrscheinlichkeit, die Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen.	11
Abbildung 7: Der Temperaturverlauf in Deutschland seit 1881	12
Abbildung 8: Die klimawandelbedingte Erwärmung Deutschlands um 1,4 °C seit 1881	12
Abbildung 9: Erwärmungstrend: Abweichungen vom vieljährigen Mittelwert für Deutschland	13
Abbildung 10: Einteilung Deutschlands in die Klimaregionen A, B und C	15
Abbildung 11: 14-tägige Hitzeperioden mit einem mittleren Tagesmaximum der Lufttemperatur von mindestens 30 °C in fünf deutschen Städten zwischen 1950 und 2015.	18
Abbildung 12: Die Behaglichkeit des Menschen beeinflusst durch den Zusammenhang zwischen Raumlufttemperatur und relativer Luftfeuchte	24
Abbildung 13: Zusammenhang zwischen Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur für das Behaglichkeitsempfinden des Menschen	25
Abbildung 14: Behaglichkeitskurve für Wandoberflächen	26
Abbildung 15: Behaglichkeitskurve für Fußböden	27
Abbildung 16: Die Behaglichkeitskurve für die relativen Luftfeuchten	28
Abbildung 17: Die diffusionsoffene Bauweise zur Vermeidung von Tauwasser ..	33
Abbildung 18: Die zeitliche Entwicklung der Anforderungen zur Nachhaltigkeit und Energieeffizienz von Gebäuden	39
Abbildung 19: g-Wert im Zusammenspiel von Sonnenschutz und Verglasung ...	46
Abbildung 20: F_c-Wert im Zusammenspiel von Sonnenschutz und Verglasung ..	48
Abbildung 21: Die zulässigen Sonneneintragskennwerte für ein Wohngebäude in einer Region B ohne Nachtlüftung	52
Abbildung 22: Diagramm zum grafischen Nachweis des erforderlichen Sonnenschutzes	54
Abbildung 23: Verlauf von Außentemperatur, Bezugstemperatur und operativer Raumtemperatur der Varianten I bis III mit und ohne Berücksichtigung einer erhöhten Nachtlüftung für den Wohnbereich über eine sommerheiße Periode ...	55
Abbildung 24: Allgemeines Vorgehen des differenzierten Nachweisverfahrens ..	57
Abbildung 25: Momentaufnahme der Temperaturentwicklung im Simulationsverlauf	60
Abbildung 26: Wärmeleitfähigkeiten verschiedener Materialien	65
Abbildung 27: Energie-Einsatz für die Herstellung wichtiger Baustoffe (Mittelwerte)	70
Abbildung 28: Piktogramme für Anwendungstypen nach DIN V 4108-10: 2008-06, Tabelle 1	71

Abbildung 29: Dämmstoffdicken bei der nachträglichen Außenwanddämmung im Altbau bis Baujahr 1978 nach der Art der Wärmedämmung	74
Abbildung 30: Systematische Darstellung von Dämmstoffen nach ihrer Rohstoffbasis	76
Abbildung 31: Wärmeleitfähigkeit von unterschiedlichen Wärmedämmstoffen (Quelle: FNR, 2019 – auf Angaben der Hersteller beruhend)	81
Abbildung 32: Abweichungen der Jahresmitteltemperatur [K] gegenüber 1961 – 1990 in Sachsen, 1881 bis 2018	100
Abbildung 33: Kerndämmung von mehrschaligem Mauerwerk	101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die zehn weltweit wärmsten Jahre zwischen 1880 und 2016, gemessen an der Abweichung vom Mittel des 20. Jahrhunderts	10
Tabelle 2: Grenzwerte der Innenraumtemperaturen nach DIN 4108-2	17
Tabelle 3: Darstellung der kürzlichen Trends sowie des menschlichen Einflusses auf die Entwicklungen und Modellierung von zukünftigen Wetter-Szenarien, für die ein Trend beobachtet wurde	19
Tabelle 4: Die tatsächlich empfundene Temperatur in Abhängigkeit zur Luftfeuchtigkeit	29
Tabelle 5: Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke (S_d-Wert)	34
Tabelle 6: Die Werte des Fensterflächenanteils, bei deren Unterschreitung nach DIN 4108-2 auf einen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden kann	41
Tabelle 7: Gesamtenergiedurchlassgrade g von Verglasungen nach DIN V 4108-6: 2003-06, Tabelle 6	47
Tabelle 8: Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit von der Glasart	47
Tabelle 9: Anteilige Sonneneintragskennwerte S_x zur Bestimmung des zulässigen Höchstwertes des Sonneneintragskennwertes S_{zul} nach DIN 4108-2: 2003-07	50
Tabelle 10: Vorhandene Sonneneintragskennwerte bei einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 26 %	51
Tabelle 11: Auswahlkriterien von Dämmstoffen	69
Tabelle 12: Richtwerte der Wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke von Sperrstoffen nach DIN EN 12524	71
Tabelle 13: Anwendungsgebiete und -beispiele von Wärmedämmmaterialien nach DIN 4108-10	72
Tabelle 14: Anforderungen der EnEV an den U-Wert eines Bauteils und daraus theoretisch resultierende Mindestdämmschichtdicken	73
Tabelle 15: Wohngebäude mit nachträglich, d. h. im Zuge von Modernisierungsmaßnahmen installierter Wärmedämmung	74
Tabelle 16: Vergleich der technischen Kennwerte von synthetischen und natürlichen Wärmedämmstoffen	77
Tabelle 17: Kostenüberblick	84
Tabelle 18: Kostenübersicht mit und ohne Förderung	85
Tabelle 19: Kennwerte ausgewählter transparenter Bauteile	88
Tabelle 20: Verglasungsarten und Fensterbaujahr	89
Tabelle 21: Verglasungsarten bei Fenstererneuerung ab 2010 in Altbauten bis Baujahr 1978	90
Tabelle 22: Abminderungsfaktoren von Sonnenschutzvorrichtungen nach DIN 4108-2, Tabelle 8	92
Tabelle 23: Bewertungskriterien von Sonnenschutzsystemen	93
Tabelle 24: Die Ermittlung des neuen U-Werts nach erfolgter Verbesserung eines Bauwerkteils durch Einsatz einer Zusatzdämmung mit der Dicke d und der Wärmeleitgruppe	108

Vorwort

Mit der vorliegenden Abschlussarbeit beende ich mein Bachelorstudium an der Hochschule Mittweida und somit auch einen sehr schönen und erfahrungsreichen Lebensabschnitt. Ich möchte an dieser Stelle die Gelegenheit nutzen, mich bei meinen Förderern und Wegbegleitern angemessen zu bedanken:

Bei den Professoren und Mitarbeitern der Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen für die interessante und lehrreiche Zeit an der Hochschule Mittweida; insbesondere

Bei Frau Prof. Dr.-Ing. Anika Dittmar für die Betreuung meiner Abschlussarbeit und das vermittelte Wissen;

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörg Mehlis für die Übernahme des Zweitbetreuers und Herrn Prof. Dr.-Ing. Jan Schaaf für die Betreuung meiner Studienarbeit im 5. Semester;

Bei Herrn Prof. Dipl.-Ing. (TU) Mario Kny für seine Unterstützung durch das Zur Verfügung stellen der Unterlagen des Beispielgebäudes und die Beantwortung meiner Fragen im Interview.

Mein besonderer Dank gilt meinem Freund Florian, der mich während des Studiums immer motiviert und unterstützt hat und meinen Eltern Bruno und Ulrike.

1 Einleitung

„Die aktuellen Klimaprognosen gehen für Deutschland von einem nicht mehr aufzuhaltenden Anstieg der Jahresdurchschnittstemperaturen um mehrere Grad Celsius aus. Sommerliche Hitzewellen und Trockenperioden, extreme Starkregenereignisse und heftige Stürme werden diesen Temperaturanstieg begleiten.“¹

Da sich das Klima aufgrund der schnellen Zunahme der Treibhausgaskonzentrationen immer weiter erwärmt, ist es erforderlich, dem sommerlichen Wärmeschutz eine große Bedeutung beizumessen und den Behaglichkeitsanforderungen der Gebäudenutzer auch während der warmen Jahreszeiten gerecht zu werden.² „Wie beim winterlichen Wärmeschutz vor unbehaglich niedrigen Temperaturen ist auch in warmen Perioden ein Schutz vor zu hohen Temperaturen in Gebäuden zu gewährleisten. Angesichts der globalen Erwärmung, der gesicherten Erkenntnis über den Zusammenhang von operativer Raumtemperatur und Leistungsfähigkeit sowie der erhöhten Ansprüche an den Klimakomfort gewinnt der sommerliche Wärmeschutz zunehmend an Bedeutung.“³ Allgemein gesehen wird die Immobilien- und Wohnungswirtschaft neben den Erfordernissen des Klimaschutzes und denen der Klimaanpassung mit den Anforderungen der Gesetzgebung, des Marktes und der Eigentümer konfrontiert.⁴ Das Ziel ist es, die Immobilie vor Überhitzung zu schützen und für den Nutzer angenehme Temperaturen zu schaffen, welche ihn in behaglicher, hygienisch einwandfreier Weise sowie ökologisch und wirtschaftlich vertretbar leben lassen.⁵ Um das angestrebte Raumklima zu erreichen, müssen die Außenbauteile der Bauwerke für wärmetechnischen Schutz sorgen.⁶ Zeitgleich soll die Notwendigkeit einer aktiven Kühlung vor dem Hintergrund des Klimawandels sowie der gegenwärtigen Energieeinsparverordnung (EnEV) und des zukünftigen Gebäudeenergiegesetzes (GEG) vermieden werden.⁷

¹ Institut Wohnen und Umwelt GmbH 2009-2011, o. S.

² Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014; vgl. Deutscher et al. 2000, S. 114.

³ Hegger et al. 2007, S. 95.

⁴ Vgl. Institut Wohnen und Umwelt GmbH 2009-2011, o. S.

⁵ Vgl. Deutscher et al. 2000, S. 114; Plathner o. J., S. 1; vgl. Cziesielski 1988, S. 6; Bounin et al. 2010, S. 214.

⁶ Vgl. Cziesielski 1988, S. 6.

⁷ Vgl. Deutscher et al. 2000, S. 114; Plathner o. J., S. 1.

Diese Arbeit widmet sich aus gegebenem Anlass dem sommerlichen Wärmeschutz von Immobilien. Zunächst werden einleitend in das Thema die Bedeutung und Entwicklung des Klimawandels sowie dessen Auswirkung auf die Immobilie erläutert. Darauf folgend werden die Bedeutung und die Notwendigkeit des sommerlichen Wärmeschutzes vor dem Hintergrund des vorhergehenden Kapitels thematisiert. In diesem Verlauf wird auf die entsprechenden gesetzlichen Gegebenheiten eingegangen. Dementsprechend folgt daraufhin die Erläuterung der bautechnischen Anforderungen an die Bausubstanz zur Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben und zur Erwirkung eines wirksamen sommerlichen Wärmeschutzes. In diesem Rahmen wurde die Expertenmeinung des Architekten Herrn Prof. Kny in einem Interview eingeholt, um die Erkenntnisse des Kapitels zu unterstreichen. Das anschließende Ziel der Bachelorarbeit ist es, die Möglichkeiten der Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes von Bestandsgebäuden unter Betrachtung der Problematik immer wärmer werdender Sommer und der somit steigenden Notwendigkeit zur Aufrüstung der Immobilien aufzuzeigen. Die Darstellung der Verbesserungsmöglichkeiten soll an einem Beispielobjekt erfolgen.

2 Die Bedeutung des Klimawandels

In diesem Kapitel soll auf die Bedeutung des Klimawandels für die Immobilien eingegangen werden. Es soll ergründet werden, wie sich der Klimawandel aktuell verhält, wie er sich zukünftig entwickeln wird und wie er sich auf die Gebäude auswirkt. Diese Faktoren des Klimawandels haben Einfluss auf die Notwendigkeit des sommerlichen Wärmeschutzes in Immobilien und darauf, wie diese zukünftig ausgerüstet werden müssen, um trotz der steigenden Temperaturen die Anforderungen des Nutzers an das Gebäude erfüllen zu können.

2.1 Fakten, Hintergründe und Einflussfaktoren

2.1.1 Der Treibhauseffekt

Das Klima ist Lebensgrundlage für das Leben auf der Erde, wie wir es heute führen.⁸ Wichtigste Wärmequelle der Erde, welche ein Leben erst möglich macht, ist die Sonne. Ihre Oberflächentemperatur beträgt 6.000 °C, ihre Energie wird dabei durch atomare Umwandlungsprozesse frei.⁹ Verschiedene Teilbereiche der Umwelt haben sich dabei so eingependelt, dass heutzutage auf unserem Planeten zum Leben ausreichende Temperaturen auf der Erdoberfläche herrschen. Durch Wechselwirkungen von Böden, Ozeanen und der Atmosphäre sind unsere heutigen klimatischen Bedingungen entstanden. Dabei spielt die Atmosphäre eine besonders große Rolle, da durch ihre Spurengase, welche zu großen Teilen aus „Wasserdampf und Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (Distickstoffoxid N₂O)“¹⁰ bestehen, der Treibhauseffekt erzeugt wird.¹¹

Der Treibhauseffekt bzw. die genannten Spurengase tragen dazu bei, dass sich die Erdoberfläche lebenserhaltend erwärmt, indem sie Teile der Sonnenstrahlung absorbieren und dabei Wärmestrahlung abgeben. Mittels dieser Gase „übertrifft diese zusätzliche Wärmestrahlung aus der Atmosphäre die Absorption der Sonnenstrahlung in der Atmosphäre stark und bewirkt so am Erdboden eine höhere Energiestrahlung“.¹²

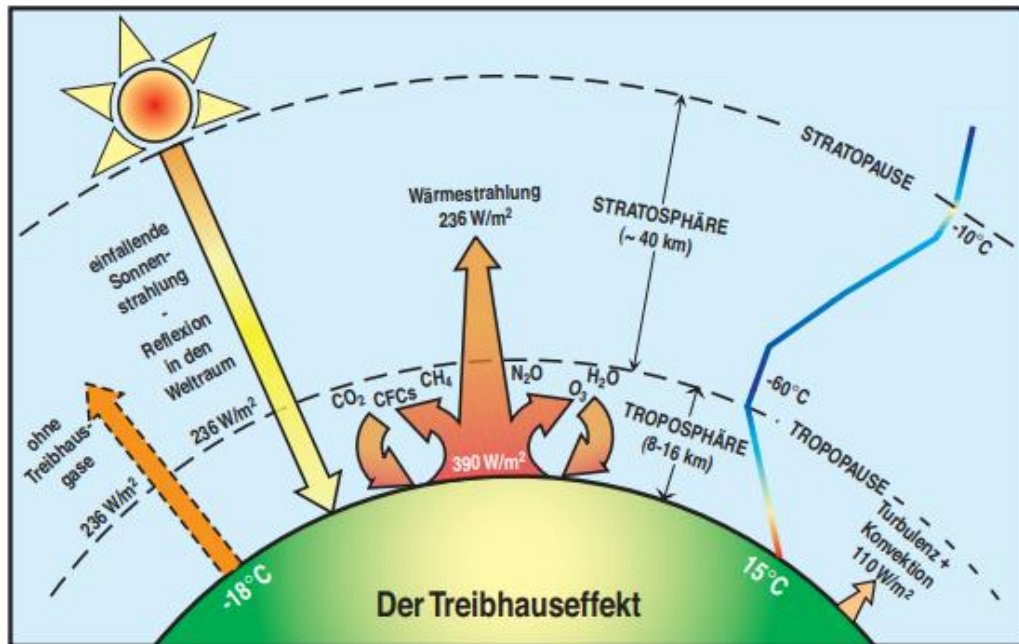
⁸ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014, o. S.

⁹ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 62.

¹⁰ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014, o. S.

¹¹ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014, o. S.

¹² Max-Planck-Institut für Meteorologie o. J., o. S.

Abbildung 1: Der Treibhauseffekt¹³

Der Erdboden sowie die untere Atmosphäre erwärmen sich durch die vermehrte Einstrahlung und strahlen durch die Erwärmung auch mehr Wärmestrahlung ab.¹⁴ Diese von der Erdoberfläche abgestrahlte Wärme gelangt aufgrund der Spurengase nur zu geringen Teilen in den Weltraum und wird zu einem Großteil¹⁵ „durch die atmosphärischen Treibhausgase absorbiert, die dafür selbst Strahlung emittieren.“¹⁶ Gäbe es diesen natürlichen Treibhauseffekt nicht, wäre das Leben auf unserem Planeten bei in diesem Fall nur etwa - 18 °C, so wie wir es heute mit im Mittel + 15 °C kennen, nicht möglich.¹⁷

Besonders durch menschliche Aktivitäten und aufgrund der Industrialisierung erfolgte ein Anstieg der Spurengase. Vor allem durch die Nutzung fossiler Energieträger, wie Öl, Kohle und Gas und durch die Abholzung bzw. Entwaldung, hat sich der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre um 40 % seit Beginn des Industriezeitalters im Jahr 1750 erhöht.¹⁸ 2017 erreichte der Kohlendioxid-Gehalt sogar den Höchstwert seit mindestens 800.000

¹³ Max-Planck-Institut für Meteorologie o. J., o. S.

¹⁴ Vgl. Max-Planck-Institut für Meteorologie o. J., o. S.

¹⁵ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014, o. S.; Max-Planck-Institut für Meteorologie o. J., o. S.; vgl. Max-Planck-Institut für Meteorologie o. J., o. S.

¹⁶ Max-Planck-Institut für Meteorologie o. J., o. S.

¹⁷ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014, o. S.

¹⁸ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014, o. S.; vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) 2011, S. 10.

Jahren, indem er rund 41 % über dem vorindustriellen Niveau von 280 ppm lag.¹⁹ „Laut Messungen der Referenzstation Mauna Loa auf Hawaii lag der Wert 2017 im Jahresmittel bereits bei etwa 405ppm.“²⁰ Der bisher höchste verzeichnete Wert der Referenzstation lag bei 410,28 ppm. Das bedeutet, dass von einer Million sich in der Luft befindlichen Teilchen 410 Teile aus Kohlendioxid bestehen.²¹

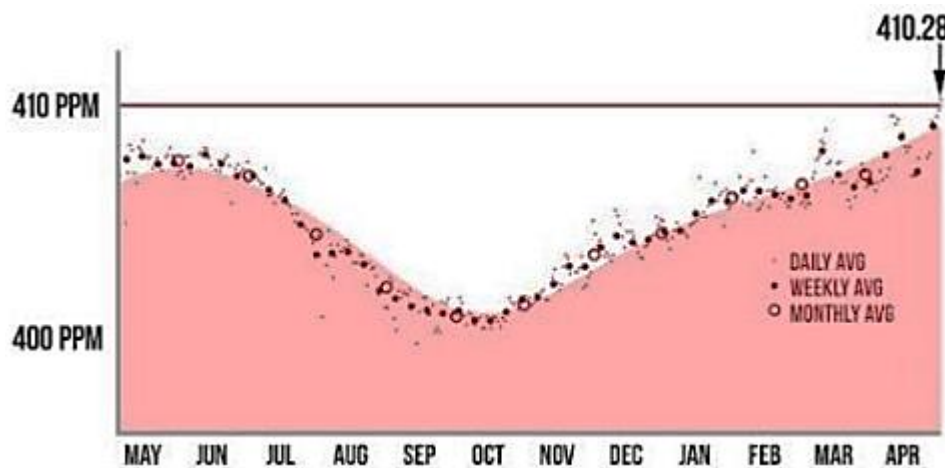


Abbildung 2: Der tägliche, wöchentliche und monatliche Durchschnitt des Kohlendioxid-Gehalts²²

Bleibt dieses gegenwärtige hohe Niveau der CO₂-Emissionen unverändert, sind Werte von 450 ppm und mehr in den nächsten zwei Jahrzehnten möglich.²³ Dies entspräche laut eigenen Berechnungen bereits einem Anstieg von etwa 60 % gegenüber dem vorindustriellen Niveau von 280 ppm.²⁴ Um das Ziel zu erreichen, die globale Erwärmung zu reduzieren und spätestens bei zwei Grad zu stoppen, darf die Höchstgrenze der Konzentration einen Bereich zwischen 430 und 480 ppm langfristig nicht überschreiten.²⁵

Aufgrund von Landwirtschaft und anderen menschlichen Aktivitäten, auch als anthropogene Faktoren bezeichnet, ist zudem die Konzentration von Methanemissionen gestiegen. Methan erzielt zwar eine wesentlich stärkere Treibhauswirkung als Kohlenstoff-

¹⁹ Vgl. klimafakten.de 2017, o. S.; vgl. Graßl et al. 2017, o. S.; vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014, o. S.

²⁰ klimafakten.de 2017, o. S.

²¹ Vgl. Graßl et al. 2017, o. S.

²² Graßl et al. 2017, o. S.

²³ Vgl. Graßl et al. 2017, o. S.

²⁴ Eigene Berechnung mit den Werten aus Graßl et al. 2017, o. S.

²⁵ Vgl. Graßl et al. 2017, o. S.

dioxid, kann in der Atmosphäre aber schneller abgebaut werden als das CO₂. Bei letzterem Gas sorgt spezifisch die langfristige Anreicherung für ein besonders hohes Risiko.²⁶

2.1.2 Der aktuelle Temperaturen-Trend, zukünftige Entwicklungen und regionale Temperaturunterschiede

Laut Klimaforschern erzeugen die Menschen durch ihre Aktivitäten eine neue Atmosphäre. Als Folge davon fängt diese neu erschaffene Atmosphäre mehr Hitze ein und bringt die Wettermuster weltweit durcheinander.²⁷ Durch die Begünstigung des Klimawandels durch den Menschen steigen die Treibhausgaskonzentrationen in der neu erzeugten Atmosphäre rapide. Als Folge der Verstärkung des Treibhauseffektes erhöhen sich die durchschnittlichen Temperaturen auf der Erdoberfläche, wie in Abbildung 3 dargestellt.²⁸

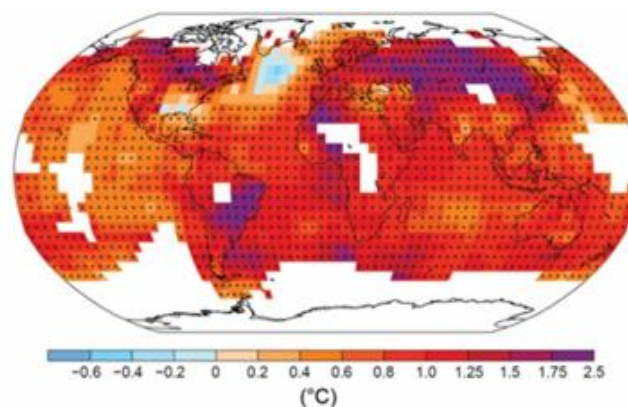


Abbildung 3: Änderung der Oberflächentemperatur 1901 - 2012²⁹

Ein Anstieg der Oberflächentemperaturen mit bedeutenden regionalen Unterschieden ist in der genannten Abbildung zu beobachten.³⁰ Weiße Stellen lassen auf unvollständige

²⁶ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014, o. S.; vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) 2011, S. 10; vgl. Gmünder 2012, S. 12.

²⁷ Vgl. Graßl et al. 2017, o. S.

²⁸ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014, o. S.; vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) 2011, S. 10.

²⁹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014, o. S.

³⁰ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) 2011, S. 13.

Datensätze zur Berechnung eines Trends schließen.³¹

Im Folgenden werden die Temperaturänderungen anhand der Abweichung vom Mittel angegeben. Um die Auswertung der Datensätze besser zu verstehen, ist ein Blick auf nachfolgende Grafik sinnvoll, welche die im jährlichen globalen Mittel beobachteten Temperaturen darstellt und in Form von schwarzen Punkten kennzeichnet.³²

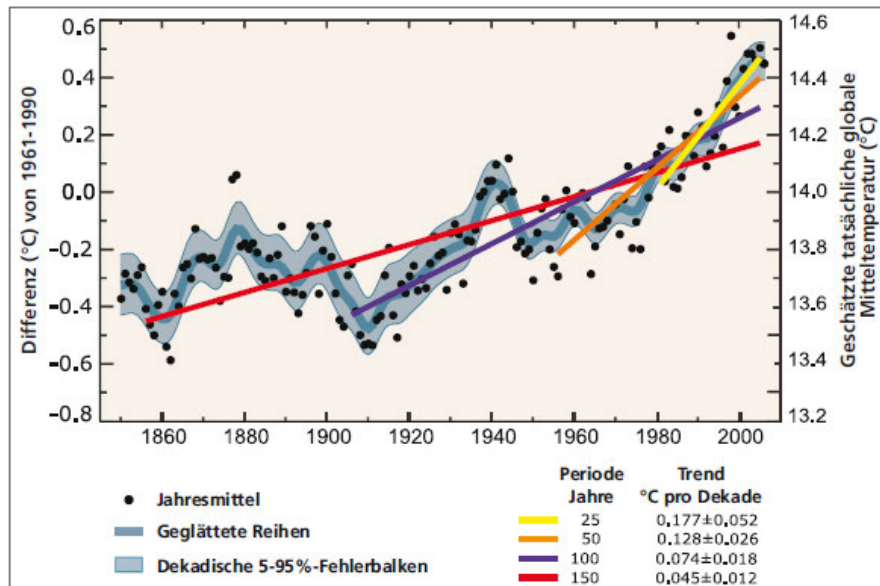


Abbildung 4: Globale mittlere Temperatur³³

Die Grafik zeigt die globale, mittlere Temperatur, indem die linke Achse im Zeitraum von 1961 bis 1990 die Anomalien relativ zum Temperaturdurchschnitt aufzeigt und die rechte Achse Auskunft über die geschätzte tatsächliche Temperatur in Grad Celsius gibt. „Für die letzten 25 Jahre (1981 – 2005; gelb), 50 Jahre (1956 – 2005; orange), 100 Jahre (1906 – 2005; violett) und 150 Jahre (1856 – 2005; rot) sind Trendlinien dargestellt.“³⁴ Der größere Temperaturanstieg der kürzer zurückliegenden Zeiträume verdeutlicht, dass sich die Erwärmung zunehmend beschleunigt. Die dekadischen Schwankungen wurden mittels einer geglätteten blauen Kurve dargestellt. Für eine möglichst aussagekräftige Darstellung der Schwankungen „wurde ein dekadischer 5 % bis 95 %-Fehler-

³¹ Vgl. Gmünder 2012, S. 10; vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) 2011, S. 14.

³² Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) 2011, S. 14.

³³ Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) 2011, S. 14.

³⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) 2011, S. 14.

bereich (hellblau) über die Linie gelegt (dementsprechend überschreiten einige Einzeljahreswerte diese Fehlergrenze).³⁵ Zu sehen ist, dass die Änderungen vor 1915 noch gering waren.

Während die Temperaturentwicklungen zu Beginn des 20. Jahrhunderts auf Einflüsse durch die Natur, wie Vulkanismus und Schwankungen der Sonneneinstrahlung zurückzuführen waren, dominieren gegenwärtig die Einflüsse, wie erhöhte Treibhausgaskonzentrationen die Entwicklungen.³⁶

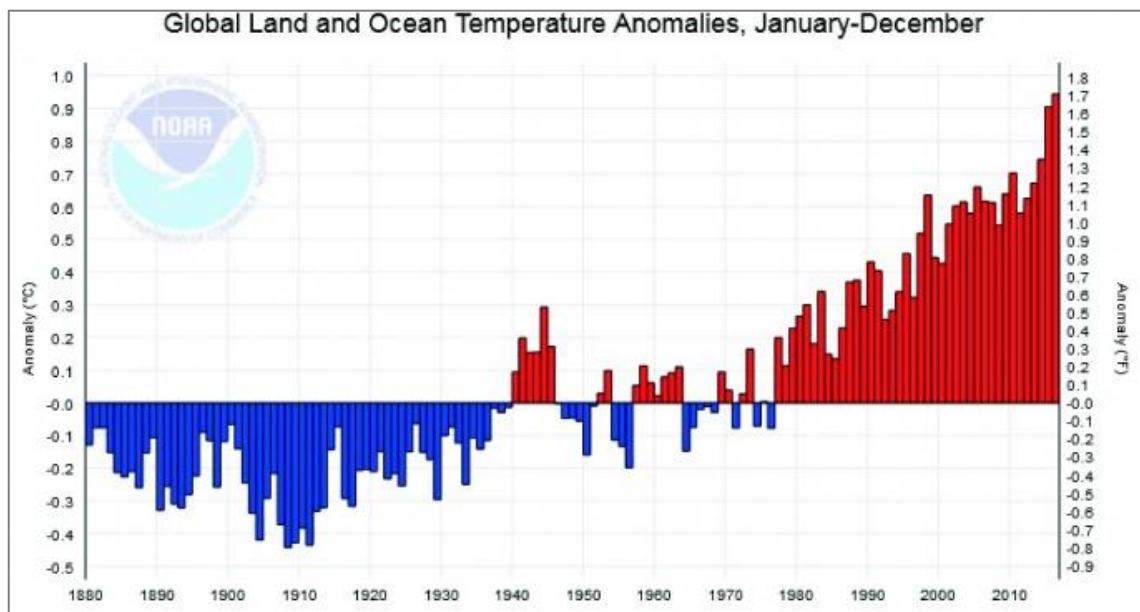


Abbildung 5: Anomalien der globalen Land- und Ozeantemperatur³⁷

Während die durchschnittliche Temperatur, wie in Abbildung 5 dargestellt, weltweit zwischen 1910 und 1940 um 0,35 °C gestiegen ist, sind es seit den 1970er Jahren schon 0,55 °C.³⁸ „Im Jahr 2016 lag die mittlere globale oberflächennahe Lufttemperatur um rund 0,94 °C höher als das Mittel“³⁹ des 20. Jahrhunderts. Somit wurden die Rekordjahre 2014 und 2015 vom Jahr 2016 übertroffen.⁴⁰ Auch die darauffolgenden Jahre 2017 bis

³⁵ Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) 2011, S. 14.

³⁶ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) 2011, S. 14.

³⁷ klimafakten.de 2017, o. S.; NOAA National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration 2020a, o. S., 2020a, o. S.; NOAA National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration 2020a, o. S.

³⁸ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) 2011, S. 13.

³⁹ klimafakten.de 2017, o. S.

⁴⁰ klimafakten.de 2017, o. S.

2019 blieben rekordverdächtig warm.⁴¹ Dies ist bisher die größte Anzahl an Rekordjahren, welche in Folge seit Beginn der Auswertungen registriert wurde. „Die Grafik zeigt die Abweichung der globalen Lufttemperaturen (Mittel der einzelnen Jahre) zwischen 1881 und 2016 gegenüber dem Mittelwert des 20. Jahrhunderts.“⁴² 2016 bleibt bisher das Rekordjahr. Prognosen und Berechnungen von Wetterexperten sagen einen neuen weltweiten Hitzerekord voraus. Das Jahr 2020 bildet hinter 2016 das wärmste Jahr seit Beginn der globalen Messungen 1850. Dies bedeutet eine aktuelle Temperaturabweichung von 1,11 °C. Ein Voranschreiten des Trends ist zu erwarten.⁴³

Die Problematik der stetig steigenden Durchschnittstemperaturen zeigt sich bereits seit mehreren Jahrzehnten.⁴⁴ Zu sehen ist (in Abbildung 5), dass die durchschnittlichen Temperaturen der Erd- und Wasseroberfläche stetig gestiegen sind. Während die Temperaturen in den Jahren zuvor noch fluktuierten, nehmen die Temperaturen seit 1960 stetig zu, das Klima wird wärmer. Datensätze, welche im Zeitraum zwischen 2011 und 2016 erhoben wurden und welche der US-Ozean- und Atmosphärenbehörde NOAA vorliegen, zeigen, dass die durchschnittliche globale Temperaturabweichung im Zeitraum der Datenerhebung „mit einer Abweichung von 0,74 °C gegenüber dem Mittel des 20. Jahrhunderts deutlich höher als die 0,61 °C im Jahrzehnt zuvor“⁴⁵ liegt. Die Temperaturrekorde häufen sich.⁴⁶

Wie in Tabelle 1 dargestellt, waren die bisher fünf wärmsten Jahre seit 2010 zu verzeichnen. Seit dem Jahr 2000 wurden 16 von 17 der wärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen gemessen und seit 1977⁴⁷ „gab es auf der Erde kein Jahr mehr, das kühler war als der Durchschnitt des 20. Jahrhunderts.“⁴⁸ Beim Rückblick auf die vergangenen Jahre und bei der Verfolgung des Trends, ist festzustellen, dass sich das gegenwärtige Klima in einer deutlichen Erwärmungsphase befindet.⁴⁹

⁴¹ Vgl. [wetter.net](#) 2019, o. S.

⁴² [klimafakten.de](#) 2017, o. S.

⁴³ Vgl. [wetter.net](#) 2019, o. S.

⁴⁴ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014, o. S.; vgl. [klimafakten.de](#) 2017, o. S.

⁴⁵ [klimafakten.de](#) 2017, o. S.

⁴⁶ Vgl. [klimafakten.de](#) 2017, o. S.

⁴⁷ Vgl. [klimafakten.de](#) 2017, o. S.; vgl. NOAA National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration 2020b, o. S., 2020a, o. S.

⁴⁸ [klimafakten.de](#) 2017, o. S.

⁴⁹ Vgl. Bienert und Hirsch 2013, S. 22.

1.	2016	+0,94°C
2.	2015	+0,90°C
3.	2014	+0,74°C
4.	2010	+0,70°C
5.	2013	+0,67°C
6.	2005	+0,66°C
7.	2009	+0,64°C
8.	1998	+0,63°C
9.	2012	+0,62°C
10.	2003	+0,61°C
10.	2006	+0,61°C
10.	2007	+0,61°C

Tabelle 1: Die zehn weltweit wärmsten Jahre zwischen 1880 und 2016, gemessen an der Abweichung vom Mittel des 20. Jahrhunderts⁵⁰

Für eine ganzheitliche Betrachtung der Bedeutung des Klimawandels für Immobilien im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz ist neben der Betrachtung des aktuell vorherrschenden Klimas auch die Berücksichtigung der zukünftig prognostizierten Klimaentwicklungen wichtig. Die Vorhersagen der zukünftigen klimatischen Veränderungen sollen Auskunft über die Gefährdungslage im Zuge des Klimawandels geben und ein Bild, welches sowohl die gegenwärtigen als auch die bevorstehenden Bedrohungen und Risiken darstellt, aufzeigen. Aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren ist die Vorhersage der klimatischen Veränderungen und Entwicklungen mit Unsicherheiten behaftet.⁵¹

In vielen Landregionen und zu verschiedenen Jahreszeiten steigen die Temperaturen über den globalen Jahresdurchschnitt hinaus. Bei der derzeitigen Geschwindigkeit wird sich die Erde zwischen 2030 und 2052 voraussichtlich um 1,5 °C global erwärmen.⁵² Grund für diesen Aufwärtstrend sind die anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen. Mögliche Szenarien, welche durch erhöhte CO₂-Emissionen weltweit entstehen können, werden in nachfolgender Statistik dargestellt.⁵³

⁵⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an Klimafakten.de 2017, o. S. und NOAA National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration 2020b, o. S.

⁵¹ Vgl. Bienert und Hirsch 2013, S. 22.

⁵² Vgl. Masson-Delmotte et al. 2018, S. 6.

⁵³ Vgl. Masson-Delmotte et al. 2018, S. 6 – 8.

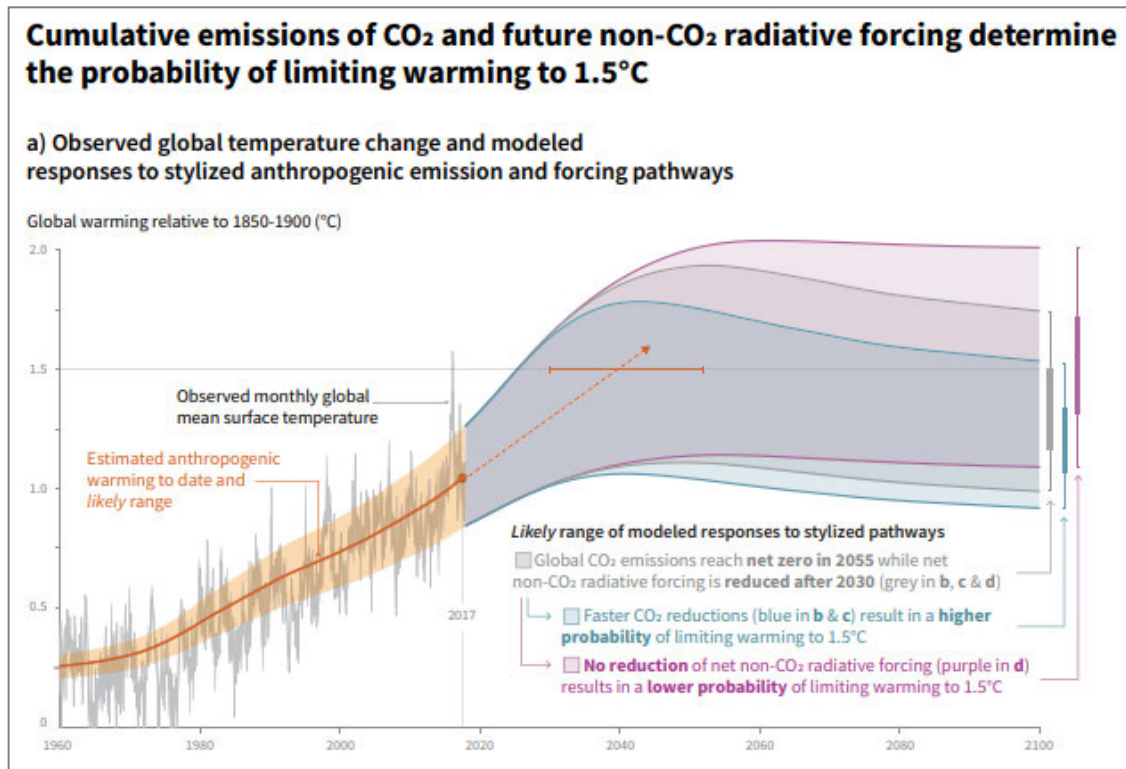


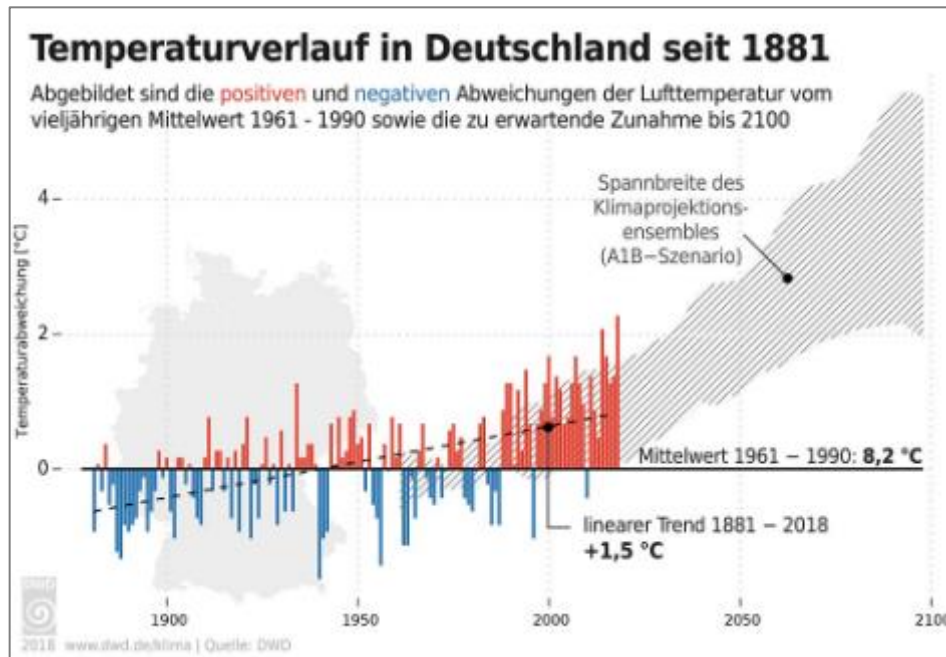
Abbildung 6: Kumulative CO₂-Emissionen und zukünftiger Nicht-CO₂-Strahlungsdruck bestimmen die Wahrscheinlichkeit, die Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen⁵⁴

In der Grafik sind die globalen Temperaturänderungen und Reaktionen auf die vom Menschen verursachten Emissionen modelliert. Die beobachtete monatliche globale mittlere Oberflächentemperatur wird sich in etwa auf 1,5 °C einpendeln. Prognosen zufolge sind sogar Höchsttemperaturen mit einer globalen Erwärmung von bis zu 2 °C möglich.⁵⁵ Laut der *Intergovernmental Panel on Climate Change* könnte es sogar „zu einem Anstieg der globalen Mitteltemperatur an der Erdoberfläche von mehr als vier Grad Celsius kommen.“⁵⁶ Diese Prognose ist in der folgenden Abbildung 7 dargestellt.

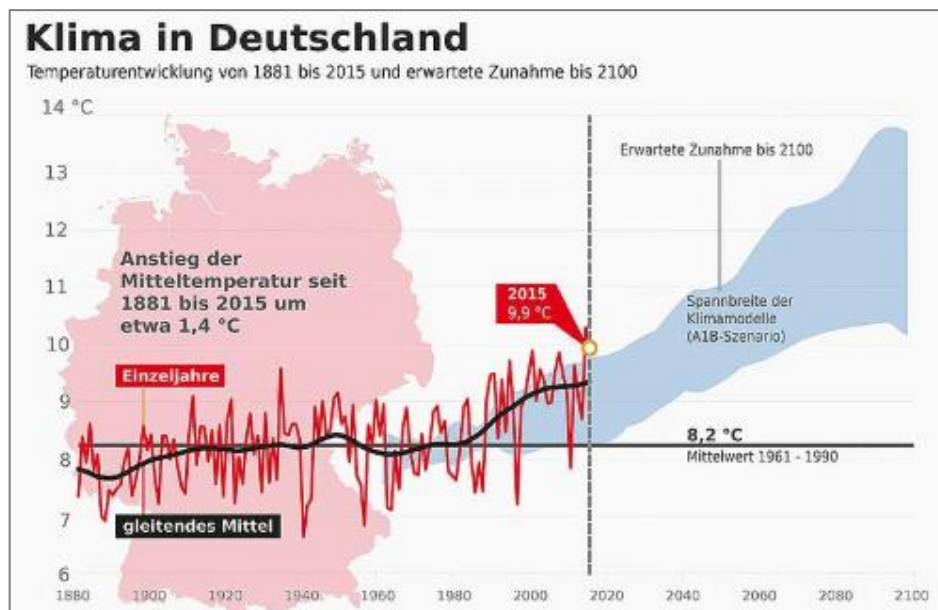
⁵⁴ Masson-Delmotte et al. 2018, S. 8.

⁵⁵ Vgl. Masson-Delmotte et al. 2018, S. 6 – 8.

⁵⁶ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014, o. S.

Abbildung 7: Der Temperaturverlauf in Deutschland seit 1881⁵⁷

In Deutschland sind die Temperaturen im Zeitraum von 1881 bis 2015 durch den Klimawandel bereits um 1,4 °C gestiegen (Abbildung 8).⁵⁸

Abbildung 8: Die klimawandelbedingte Erwärmung Deutschlands um 1,4 °C seit 1881⁵⁹

⁵⁷ klimafakten.de 2012, o. S.

⁵⁸ Vgl. NATURSTROM AG 2016, o. S.

⁵⁹ NATURSTROM AG 2016, o. S.

Der Mittelwert, der bei 8,2 °C liegt, wurde in Deutschland mit einer Mitteltemperatur von 9,9 °C im Jahr 2015 übertroffen, was in obiger Grafik unterstrichen wird.⁶⁰

Das Jahr 2018 markierte mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 10,5 °C einen neuen Rekord. Dieser lag zwei Grad über dem Mittel. 28 von 30 Jahren erreichten wärmere Temperaturen als der langjährige Durchschnitt, welcher in der Abbildung 8 mittels einer schwarzen und in Abbildung 7 mittels einer schwarz gestrichelten Linie dargestellt ist. Die Jahresmitteltemperaturen schwanken für deutsches Klima typischerweise stark. Trotzdem ist anhand der schwarzen Linie gut erkennbar, dass in Deutschland im Zeitraum der letzten rund 130 Jahre bereits ein Temperaturanstieg um etwa 1,5 °C stattgefunden hat.⁶¹ Damit „erwärmt sich [Deutschland] schneller als die Welt im globalen Mittel“.⁶²

Der Temperaturanstieg in Deutschland liegt, wie in nachfolgender Grafik dargestellt, insgesamt weltweit erheblich über dem Durchschnitt.⁶³

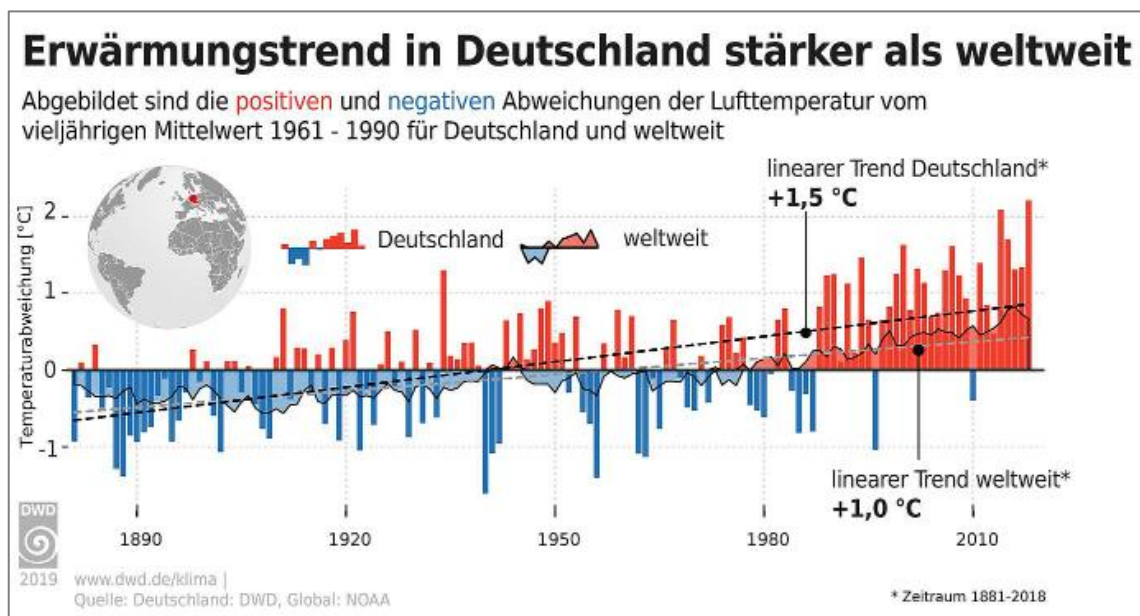


Abbildung 9: Erwärmungstrend: Abweichungen vom vieljährigen Mittelwert für Deutschland⁶⁴

Die schwarz gestrichelte Linie zeigt den langfristigen Trend, nämlich den Temperaturanstieg von 1,5 °C an. Anhand der Balken ist gut zu erkennen, dass die Temperaturent-

⁶⁰ Vgl. NATURSTROM AG 2016, o. S.

⁶¹ Vgl. klimafakten.de 2012, o. S.

⁶² Heinrich et al. 2019, o. S.

⁶³ Vgl. klimafakten.de 2017, o. S.

⁶⁴ Heinrich et al. 2019, o. S.

wicklungen Deutschlands weit über dem linearen Trend liegen, während die globalen Werte sogar überwiegend unterhalb der Trendlinie angesiedelt sind.⁶⁵

Ziel ist es, weltweit den Temperaturanstieg zu stoppen oder mindestens einzudämmen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Treibhausgasemissionen gesenkt werden.⁶⁶ Dabei gilt: Eine schnellere CO₂-Reduktion führt zu einer höheren Wahrscheinlichkeit, dass die Erderwärmung auf 1,5 °C begrenzt werden kann. Eine geringere, bzw. keine Reduktion führt dagegen zu einer geringeren Wahrscheinlichkeit, dass die Erwärmung auf 1,5 °C begrenzt werden kann.⁶⁷

Auch die erwartete, steigende Zunahme der Temperaturen bis 2100 wird in beiden oben abgebildeten Grafiken aufgezeigt. Aufschluss über zukünftige Ereignisse bei weiter ansteigenden Treibhausgasemissionen bieten eine große Zahl von Klimamodell-Simulationen und Berechnungen, wie in den zuletzt abgebildeten Grafiken schraffiert dargestellt ist. Dass die Berechnungen relativ realistisch sind, lässt sich daran erkennen, dass die realen Messergebnisse mit der Modellrechnung weitestgehend übereinstimmen, was an der Überlappung der Balken mit der schraffierten Fläche zu sehen ist.⁶⁸

Da sich Land schneller erwärmt als Wasser, ist die globale Erwärmung vor allem an den Landflächen spürbar. Bei immer weiter steigenden Temperaturen und gleichzeitig zunehmenden Extremwetterereignissen kommt es unter anderem auch immer häufiger zu intensiven Dürren und Hitzewellen.⁶⁹

Die Anzahl der Tage mit einer Lufttemperatur von mehr als 30 °C steigt zunehmend, wodurch sich Hitzewellen bilden, welche vor dem Klimawandel noch nicht zu beobachten waren. Aufgrund des Treibhausgasausstoßes wird die Zahl der heißen Tage laut Prognose auch weiter steigen. Während die Zahl der Tage mit einem Temperaturmaximum von mehr als 30 °C im gegenwärtigen Trend von drei auf neun Tage stieg, wird im Zeitraum von 2021 bis 2050 ein Anstieg von fünf bis zehn heißen Tagen im Norden und eine Zunahme von zehn bis fünfzehn heißen Tagen im Süden Deutschlands prognostiziert.⁷⁰ Besonders in Südwestdeutschland wird eine Zunahme von intensiven sommerlichen

⁶⁵ Vgl. Heinrich et al. 2019, o. S.

⁶⁶ Vgl. Graßl et al. 2017, o. S.

⁶⁷ Vgl. Masson-Delmotte et al. 2018, S. 6 – 8.

⁶⁸ Vgl. klimafakten.de 2012, o. S.

⁶⁹ Vgl. NATURSTROM AG 2016, o. S.; vgl. klimafakten.de 2017, o. S.

⁷⁰ Vgl. klimafakten.de 2017, o. S.

Hitzewellen erwartet.⁷¹ „Gäbe es den Klimawandel nicht, dann wären solche Extremwetterereignisse zwischen 1,5 und 3 Grad Celsius kühler“.⁷²

Durch die je nach Region unterschiedlich ausfallenden Temperaturen, kann Deutschland in die Regionen A, B und C unterteilt werden.⁷³



Abbildung 10: Einteilung Deutschlands in die Klimaregionen A, B und C⁷⁴

Dabei stellen die in der Grafik blau markierten Regionen A die kühlestn Gebiete mit monatlichen Temperaturen von im Durchschnitt maximal 16,5 °C dar. Die grüne Klimaregion B zeigt Bereiche mit über 16,5 °C im monatlichen Mittel an und die in der Abbildung gelb gefärbten Sommerregionen C stellen die heißen Orte mit den höchsten Monatsmitteltemperaturen von mindestens 18 °C und mehr dar.⁷⁵ Zu den heißesten Orten mit der

⁷¹ Vgl. Heinrich et al. 2019, o. S.; vgl. Klimafakten.de 2012, o. S.

⁷² Heinrich et al. 2019, o. S.

⁷³ Vgl. Baunetz Wissen Sonnenschutz o. J., o. S.

⁷⁴ Bosy 2001, o. S.

⁷⁵ Vgl. Bosy 2001, o. S.; vgl. Baunetz Wissen Sonnenschutz o. J., o. S.

stärksten Temperaturzunahme sowie den schwerwiegendsten Hitzewellen zählen unter anderem Baden-Württemberg, Brandenburg und einzelne Orte von Sachsen, wie Dresden und Leipzig.⁷⁶

Künftige klimabedingte Risiken hängen von der Geschwindigkeit, dem Höhepunkt und der Dauer der Erwärmung ab.⁷⁷ Die zukünftigen Ereignisse werden bei weiter voranschreitendem Klimawandel Einfluss auf die Immobilien und deren sommerlichen Wärmeschutz haben. Die Bedeutung der aktuellen Temperaturanstiege und prognostizierten Entwicklungen für die Immobilie soll im nächsten Kapitel erläutert werden.

2.2 Gegenwärtige und zukünftige Auswirkungen des Klimawandels auf die Immobilien

„Die Immobilien- und Wohnungswirtschaft ist in hohem Maße von den negativen Folgen des Klimawandels betroffen.“⁷⁸

Die unvermeidbaren Folgen und Auswirkungen des Klimawandels sorgen für Handlungsbedarf. Besonders aufgrund der hohen Geschwindigkeit, mit der die globale Erderwärmung voranschreitet, ist es wichtig, die Immobilien an den Klimawandel anzupassen und gegebenenfalls Aufrüstungen vorzunehmen.⁷⁹ Die Strategien konzentrierten sich dabei bisher auf die Verlangsamung des Klimawandels, auch Mitigation genannt.⁸⁰ Lösungsansätze liegen hierbei vor allem auf der Energieeinsparung bei gleichzeitiger Steigerung der Energieeffizienz und auf dem weitestgehenden Umstieg auf regenerative Energien. Vor diesem Hintergrund lag der Fokus bislang auf der Entwicklung nachhaltiger Gebäude, um die Treibhausgas-Emissionen zu senken, eine Milderung der Erderwärmung zu begünstigen und eine Anpassung an die Änderungen von Temperaturen und Klima zu erreichen.⁸¹

Da sich der Klimawandel nicht vermeiden lässt, ist neben der Entwicklung von nachhaltigen Neubauten auch die Anpassung und Aufrüstung von Bestandsgebäuden wichtig.

⁷⁶ Vgl. Heinrich et al. 2019, o. S.; vgl. Baunetz Wissen Sonnenschutz o. J., o. S.

⁷⁷ Vgl. Masson-Delmotte et al. 2018, S. 7.

⁷⁸ Bienert und Hirsch 2013, S. 12.

⁷⁹ Vgl. Wittig und Schuchardt 2012, S. 2.

⁸⁰ Vgl. Bienert und Hirsch 2013, S. 12; vgl. Wittig und Schuchardt 2012, S. 2.

⁸¹ Vgl. Bienert und Hirsch 2013, S. 13.

Wie hoch die Auswirkungen des Klimawandels ausfallen, ist je nach Standort beziehungsweise Mikrolage (entsprechend Abbildung 10) unterschiedlich. Die Folgen des Klimawandels, wie Hitzeperioden und andere Extremwetterereignisse, stellen für Mensch und Bauwerke eine wachsende Gefahr dar. Um diese Bedrohung zu reduzieren, sind energetische Sanierungsmaßnahmen, dem Klima angepasstes Bauen und das Initiieren von Gesetzen, wie das Gebäudeenergiegesetz (GEG) oder zuvor die Energieeinsparverordnung (EnEV) notwendig.⁸²

Das Ziel ist es, die Temperaturen in den Gebäuden durch Sanierungs- und Umbaumaßnahmen während der Hitzewellen und an Tagen mit Tageshöchsttemperaturen von mehr als 30 °C, ohne Inanspruchnahme einer Klimaanlage möglichst gering und auf einem für den Menschen angenehmen Niveau zu halten.⁸³

Ohne das Vornehmen von Anpassungsmaßnahmen würden in Folge der steigenden Temperaturen die Raumgrenztemperaturen, d. h. die maximal zulässigen Innenraumtemperaturen in Immobilien, besonders in den Sommermonaten überschritten werden, was zu einer Unbehaglichkeit bei den Nutzern führen würde (Kapitel 3.1).⁸⁴ Die Grenztemperaturwerte, welche maximal im Zeitraum von zehn Prozent der Gesamtaufenthaltsdauer überschritten werden dürfen und je nach Klimaregion unterschiedlich ausfallen, sind aktuell gesetzlich in der EnEV, DIN 4108-2 festgehalten und in nachfolgender Tabelle abgebildet.⁸⁵

Sommer-Klimaregion:	Merkmal:	Raumgrenztemperaturen:
A	Sommerkühl $\leq 16,5$ °C	25 °C
B	Gemäßigt 16,5 – 18,0 °C	26 °C
C	Sommerheiß $\geq 18,0$ °C	27 °C

Tabelle 2: Grenzwerte der Innenraumtemperaturen nach DIN 4108-2⁸⁶

Die in der Tabelle 2 vorgegebenen Innenraumtemperaturen dürfen in Wohngebäuden höchstens 2,4 Stunden und in Bürogebäuden maximal eine Stunde am Tag über-

⁸² Vgl. Bienert und Hirsch 2013, S. 13.

⁸³ Vgl. Bosy 2001, o. S.; vgl. Bienert und Hirsch 2013, S. 13 und S. 55.

⁸⁴ Vgl. Bosy 2001, o.S.; vgl. Penseler 2014 / 2015, o. S.; vgl. Baunetz Wissen Dämmstoffe o. J., S. 1.

⁸⁵ Vgl. Bosy 2001, o. S.

⁸⁶ In Anlehnung an Bosy 2001, o. S.

schritten werden.⁸⁷ Besonders vor dieser Problematik ist Handlungsbedarf gegeben, um die Bedürfnisse und Behaglichkeitskriterien der Nutzer zu erfüllen, da die Städte während der sommerlichen Hitzeperioden höhere Temperaturen als 30 °C erreichen, wie in nachfolgender Grafik dargestellt.⁸⁸

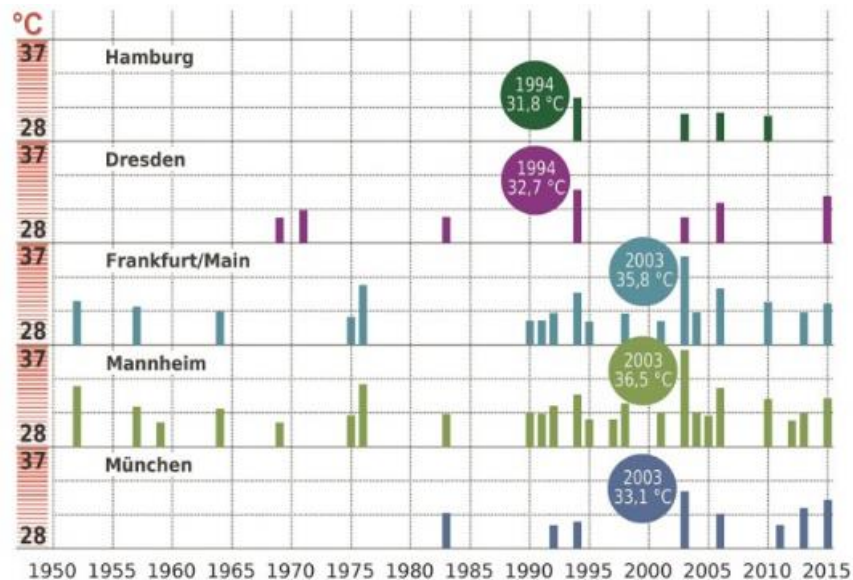


Abbildung 11: 14-tägige Hitzeperioden mit einem mittleren Tagesmaximum der Lufttemperatur von mindestens 30 °C in fünf deutschen Städten zwischen 1950 und 2015⁸⁹

In den fünf abgebildeten deutschen Städten wurde im Zeitraum von 1950 bis 2015 ein durchschnittliches Tagesmaximum der Lufttemperatur zwischen 31,8 °C und 36,5 °C gemessen. Baden-Württemberg ist mit dem höchsten, gemessenen Wert ein besonders durch die Hitze gefährdetes Bundesland.⁹⁰

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Wahrscheinlichkeit der kürzlichen, aktuellen und der prognostizierten Trends, welche bedingt durch anthropogene Einflüsse zu beobachten sind. Die zukünftigen Entwicklungen wurden mittels SRES-Szenarien, d. h. mittels Emissionsszenarien ermittelt.⁹¹

⁸⁷ Vgl. Bosy 2001, o. S.

⁸⁸ Vgl. Bosy 2001, o.S.; vgl. Pensler 2014 / 2015, o. S.; vgl. Baunetz Wissen Dämmstoffe o. J., S. 1.; vgl. klimafakten.de 2017, o. S.

⁸⁹ klimafakten.de 2017, o. S.

⁹⁰ Vgl. klimafakten.de 2017, o. S.

⁹¹ Vgl. IPCC 2007, S. 8 und S. 18.

Phänomen und Richtung des Trends	Wahrscheinlichkeit, dass ein Trend im späten 20. Jahrhundert (typischerweise nach 1960) auftrat	Wahrscheinlichkeit eines anthropogenen Beitrages zum beobachteten Trend	Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen Trends, basierend auf den Projektionen für das 21. Jahrhundert unter Verwendung der SRES-Szenarien
Wärmere und weniger kalte Tage und Nächte über den meisten Landflächen	Sehr wahrscheinlich	Wahrscheinlich	Praktisch sicher
Wärmere und häufigere heiße Tage und Nächte über den meisten Landflächen	Sehr wahrscheinlich	Wahrscheinlich	Praktisch sicher
Zunahme der Häufigkeit von Wärmeperioden / Hitzewellen über den meisten Landflächen	Wahrscheinlich	Laut Experteneinschätzung eher wahrscheinlich als nicht	Sehr wahrscheinlich
Von Dürren betroffene Flächen nehmen zu	Wahrscheinlich in vielen Regionen seit 1970	Laut Experteneinschätzung eher wahrscheinlich als nicht	Wahrscheinlich

Tabelle 3: Darstellung der kürzlichen Trends sowie des menschlichen Einflusses auf die Entwicklungen und Modellierung von zukünftigen Wetter-Szenarien, für die ein Trend beobachtet wurde⁹²

Die Tabelle unterstützt die Aussagen zum Entwicklungstrend des Klimawandels und dessen Folgen. Die Temperaturen werden laut Prognose tags und nachts steigen, was zu immer mehr heißen Tagen mit Temperaturen von über 30 °C führen wird. Wärmeperioden und Hitzewellen sind häufiger zu erwarten und werden wahrscheinlich Dürre auf den Landflächen verursachen.⁹³

Die negativen Folgen des Klimawandels verstärken sich zudem in Siedlungsgebieten. Dieser verstärkte Effekt äußert sich unter anderem in erhöhten maximalen Durchschnittstemperaturen und einer erhöhten Speicherung der Wärme. Die Intensität der Auswirkungen des Klimawandels in Siedlungsgebieten ist abhängig von Faktoren wie „Art und Ausmaß der baulichen Nutzung, dem Versiegelungsgrad, der Stadtstruktur sowie standörtlicher und lokalklimatischer Besonderheiten“.⁹⁴ Die wetter- und klimabedingten Auswirkungen auf die Gebäude und Bauwerke in Siedlungsgebieten führen zu Belastungen und betreffen die folgenden Bereiche: die Energie- und Wasserversorgung,

⁹² In Anlehnung an IPCC 2007, S. 8.

⁹³ Vgl. eigene Darstellung Tabelle 3: Darstellung der kürzlichen Trends sowie des menschlichen Einflusses auf die Entwicklungen und Modellierung von zukünftigen Wetter-Szenarien, für die ein Trend beobachtet wurde in Anlehnung an IPCC 2007, S. 8.

⁹⁴ Wittig und Schuchardt 2012, S. 3.

die Infrastruktur sowie das Verkehrs- und Gesundheitswesen. Zudem führen sie zu einer Verringerung der Behaglichkeit der Nutzer in den Gebäuden. Um sich dem Klima anzupassen, müssen neben der Immobilien- und Wohnungswirtschaft auch die Zuständigen der Stadtentwicklung sowie der Infrastruktur- und Bauleitplanung entsprechend handeln.⁹⁵

Wie stark sich die sommerlichen Temperaturen auf das Klima im Gebäude auswirken, ist abhängig vom Standort und der Klimaregion (entsprechend Kapitel 2.1.2), der Ausrichtung des Gebäudes je nach Himmelsrichtung, von der Bauweise und den Materialien. Hier wird zwischen Leichtbau- und Massivbauweise unterschieden. Je nach Bauweise fallen Temperaturleitfähigkeit und Wärmespeicherfähigkeit der sich im Gebäudeinneren befindlichen Baustoffe unterschiedlich aus. Auf diese Begriffe wird in den nachfolgenden Kapiteln genauer eingegangen. Weitere Einflussfaktoren sind:

- der Gesamtenergiedurchlassgrad transparenter Außenbauteile,
- der Anteil der Fensterflächen,
- die Art der Verglasung,
- die Art der Sonnenschutzvorrichtungen,
- die Lüftung der Räumlichkeiten sowie
- das Nutzerverhalten bezüglich der Handhabung von Verschattungs- und Lüftungsmaßnahmen an heißen und kühlen Tagen bzw. Nächten.⁹⁶

Die Immobilienbranche leidet aufgrund der klimatischen Einflüsse und Verhältnisse bezüglich des sommerlichen Wärmeschutzes unter folgenden Auswirkungen: Das Wohlbefinden der Nutzer wird aufgrund der steigenden Temperaturen und darauffolgenden Hitzestaus in den Immobilien beeinträchtigt. Dadurch verkürzt sich die nächtliche Abkühlung „und vermindert die Auskühlung von Wohn- und Bürogebäuden. Der Heizwärmebedarf wird geringer und der Stromverbrauch kann durch zusätzliche Klimaregelungssysteme ansteigen.“⁹⁷ Aufgrund der durch die Dürrephasen und die Hitzeperioden resultierenden Trockenheit kommt es zu sinkenden Grundwasserspiegeln, der Bodenwasser-

⁹⁵ Vgl. Wittig und Schuchardt 2012, S. 3.

⁹⁶ Vgl. Baunetz Wissen Dämmstoffe o. J., S. 1; vgl. Plathner o. J., S. 1 – 2.

⁹⁷ Wittig und Schuchardt 2012, S. 3.

gehalt verringert sich. Durch die daraus entstehenden Sackungsprozesse können Schäden an Gebäuden und Bauwerken auftreten.⁹⁸

Das Ziel des sommerlichen Wärmeschutzes soll es sein, die Auswirkungen auf Immobilien so gering wie möglich zu halten bzw. zu mindern. Gebäude sollen, insofern möglich, an das Klima angepasst werden. Die Verwundbarkeit von Gebäuden und Bauwerken soll vermieden und gesenkt werden. Wichtig ist es, den Gebäudenutzer vor Beeinträchtigungen, beispielsweise in seinem Behaglichkeitsgefühl, zu schützen und Schäden am Bauwerk zu verhindern, welche klimabedingt auftreten könnten. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen bau- und haustechnische Anpassungsmaßnahmen an Bestandsgebäuden erfolgen. Der Einsatz sommerlicher Wärmeschutzstrategien und -maßnahmen ist gefragt. Auf die Notwendigkeit des sommerlichen Wärmeschutzes soll speziell im nächsten Kapitel eingegangen werden.⁹⁹

⁹⁸ Vgl. Wittig und Schuchardt 2012, S. 3 – 4.

⁹⁹ Vgl. Wittig und Schuchardt 2012, S. 7.

3 Die Bedeutung und Notwendigkeit des sommerlichen Wärmeschutzes

Während beim winterlichen Wärmeschutz die Verringerung von Energieverlusten und die Minimierung des Bedarfes an Heizwärme im Vordergrund steht, liegt der Fokus beim sommerlichen Wärmeschutz auf der Vermeidung von überschüssiger Wärme und somit schnell überhitzten Räumen.¹⁰⁰ Hier ist es besonders wichtig, während der heißen Jahreszeit ein für den Nutzer behagliches Innenraumklima herzustellen.¹⁰¹ Da der sommerliche Wärmeschutz in der Vergangenheit jedoch kaum Beachtung fand, während er gleichzeitig vor dem Hintergrund des unvermeidbar voranschreitenden Klimawandels immer mehr an Bedeutung gewinnt und auch erlangen sollte, soll das Kapitel auf die Bedeutung und die Notwendigkeit des sommerlichen Wärmeschutzes von Immobilien eingehen.

Aufbauend auf der aktuellen Klima-Situation und den Prognosen (Kapitel 2) soll die Notwendigkeit des sommerlichen Wärmeschutzes für Gebäude erläutert werden. Diese ergibt sich unter anderem aus den thermischen Behaglichkeitskriterien des Menschen¹⁰², aber auch aus der Notwendigkeit zur Energieeinsparung seit der Energiekrise. Des Weiteren spielt auch der Feuchteschutz eine wichtige Rolle, da Feuchtigkeit in Gebäuden zu hohen Bauteilschäden führen kann und als Folge mangelnden Wärmeschutzes auftritt. Die Folgen eines ungenügenden oder nicht vorhandenen Feuchteschutzes beeinträchtigen zudem das Wohlbefinden des Menschen. Die Wärmedämmfähigkeit der Baustoffe hängt zudem vom Feuchtegehalt ab, beide Faktoren stehen in einer Wechselwirkung zueinander. Um sowohl dem sommerlichen Wärmeschutz als auch dem Feuchteschutz gerecht zu werden, gilt es, ebenso die bautechnischen Anforderungen an Immobilien zu beachten (Kapitel 5). Dies ist notwendig, da die Außenbauteile aufgrund der schwankenden Temperaturen tags und nachts sowie je nach Jahreszeit in ihrer Funktion gefährdet sind. Aus dieser Problematik heraus ist es sinnvoll, gewisse Bauteile mit Schichten aus Baustoffen zu versehen, „welche dieser thermischen Beanspruchung gewachsen sind“¹⁰³ und somit gleichzeitig einen geeigneten Wärmeschutz für den Menschen sowie Schutz für die Baukonstruktion selbst darstellen.¹⁰⁴ Der sommerliche

¹⁰⁰ Vgl. Paschotta o. J., o. S.

¹⁰¹ Vgl. Baunetz Wissen Dämmstoffe o. J., S. 1.

¹⁰² Vgl. Arndt 2002, S. 17–21; vgl. KOMKO bauen o. J., S. 9–11.

¹⁰³ Cziesielski 1988, S. 7.

¹⁰⁴ Vgl. Cziesielski 1988, S. 6 – 7; vgl. Bounin et al. 2010, S. 238.

Wärmeschutz ist zudem aufgrund von ökologischen, wirtschaftlichen und hygienischen Aspekten bedeutsam.¹⁰⁵ Ziel des sommerlichen Wärmeschutzes ist es, mit den Gebäuden die klimatischen Bedingungen zu verbessern und für den Nutzer optimal zu gestalten. Ausgangspunkt zur Zielerreichung sind die örtlichen Klimaerscheinungen. Dazu zählen u. a. die Wärmestrahlung, die Luft- und Bodenfeuchtigkeit sowie Schwankungen der Tages- und Jahrestemperatur.¹⁰⁶

Für die folgenden Kapitel und die Thematik wichtige physikalische und wärmeschutztechnische Grundlagen und Begriffe sind neben den Begrifflichkeiten Wärme und Temperatur die Wärmemenge Q , die spezifische Wärmekapazität c , die Wärmeübertragung, welche durch Wärmestrahlung, Wärmemitführung bzw. Konvektion und durch Wärmeleitung erfolgen kann. Weiterhin die Wärmeleitfähigkeit λ , der Wärmedurchlasskoeffizient Λ , der Wärmedurchlasswiderstand R , Wärmeübergangswiderstände, wobei R_{si} den Wärmeübergang an der Bauteilinnenseite und R_{se} den Wärmeübergang an der Außenseite des Bauteils kennzeichnet sowie der Wärmedurchgangswiderstand R_T und der Wärmedurchgangskoeffizient U .¹⁰⁷ Diese Begriffe werden im Rahmen der Bachelorarbeit als Grundlagenwissen vorausgesetzt und sollen daher nicht speziell erklärt werden. Es soll keine explizite Betrachtung einzelner bzw. aller Elemente stattfinden.

3.1 Die thermische Behaglichkeit in Gebäuden

„Der bauliche Wärme- und Feuchtigkeitsschutz schafft die wesentlichen Voraussetzungen dafür, dass der Mensch in den Gebäuden den erforderlichen Schutz vor Witterungseinflüssen findet und in den Räumen entsprechend den Nutzungsansprüchen ein behagliches Klima möglich wird.“¹⁰⁸ Fühlt sich der Mensch behaglich, dann ist er mit dem Umgebungsklima zufrieden. Thermische Unbehaglichkeit dagegen ist mit einer Unzufriedenheit aufgrund von Wärme oder Kälte gekoppelt. Um ein Behaglichkeitsgefühl beim Menschen in Gebäuden hervorzurufen, sollten die relevanten Basisfaktoren der thermischen Behaglichkeit in einem günstigen Bereich liegen.¹⁰⁹

¹⁰⁵ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 214.

¹⁰⁶ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 63.

¹⁰⁷ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 218 – 238.

¹⁰⁸ Arndt 2002, S. 17.

¹⁰⁹ Vgl. KOMKO bauen o. J., S. 9.

Die Hygiene und die Gesundheit des Menschen „rechtfertigen die Aufwendungen für einen wirksamen Wärmeschutz.“¹¹⁰ Ziel der Aufwendungen ist es, die Behaglichkeitskriterien des Nutzers zu erfüllen, sodass sich dieser in der Immobilie wohl fühlen kann und diese uneingeschränkt nutzen kann. Gemeint ist, dass der Mensch, auch bei sommerlichen Temperaturen, welche weit über dem Behaglichkeitsempfinden liegen, in einer Wohnimmobilie frei von Beeinträchtigungen wohnen und beispielsweise in einem Bürogebäude arbeiten kann, ohne sich dabei aufgrund von thermischen Aspekten unwohl zu fühlen.¹¹¹

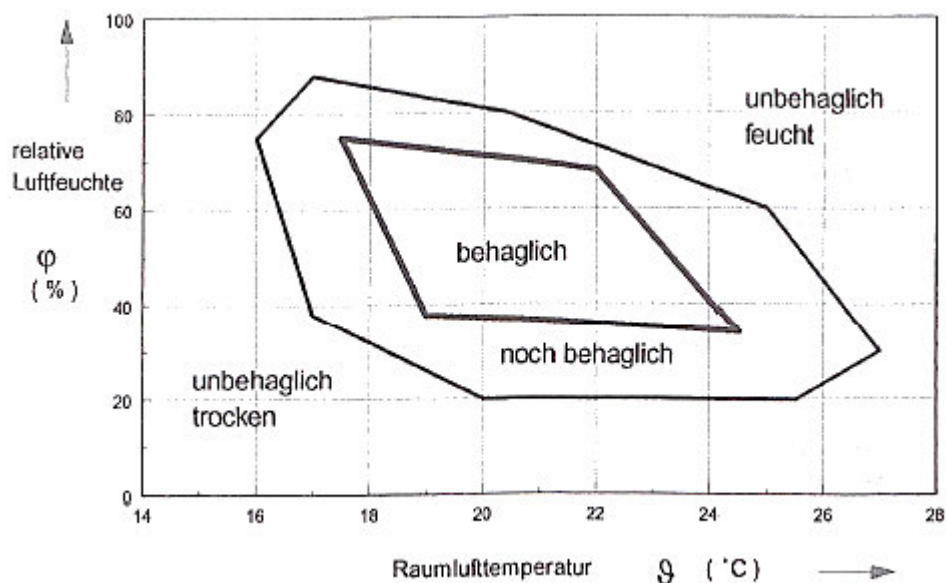


Abbildung 12: Die Behaglichkeit des Menschen beeinflusst durch den Zusammenhang zwischen Raumlufttemperatur und relativer Luftfeuchte¹¹²

Das bedeutet, dass ein hygienisches Raumklima geschaffen sowie die Funktionssicherheit der Immobilie und sämtlicher Außenbauteile gewährleistet sein soll, sodass keine Gefahren für die Gesundheit der Nutzer entstehen.¹¹³ Eine Gefährdung der Gesundheit kann auftreten, wenn kein ausreichender Wärmeschutz in den Gebäuden vorhanden ist. Dadurch kann es in den Räumlichkeiten zu Feuchtigkeit kommen. Dies kann eine gesundheitsschädigende Schimmelbildung bewirken. Wird im Winter zusätzlich zu wenig geheizt, können langfristig Erkrankungen wie Rheuma, Tuberkulose oder Erkrankungen der Atemwege die Folge sein.¹¹⁴

¹¹⁰ Bounin et al. 2010, S. 214.

¹¹¹ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 214 – 215.

¹¹² Arndt 2002, S. 19.

¹¹³ Vgl. Arndt 2002, S. 15.

¹¹⁴ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 214.

Das Zusammenspiel von Fußboden- und Raumlufthtemperatur, der relativen Luftfeuchte sowie der Luftbewegung im Raum, der Aktivitäten des Menschen und der Temperatur der Oberflächen von Decken und Wänden bestimmt, wie behaglich sich der Mensch in einem Raum fühlt.¹¹⁵ „Das Raumklima kann den ganzjährigen Nutzungsanforderungen erst entsprechen, wenn in der Wechselbeziehung zwischen Außenklimateinwirkung, Bauwerk und Raumklima das richtige Maß gefunden worden ist.“¹¹⁶

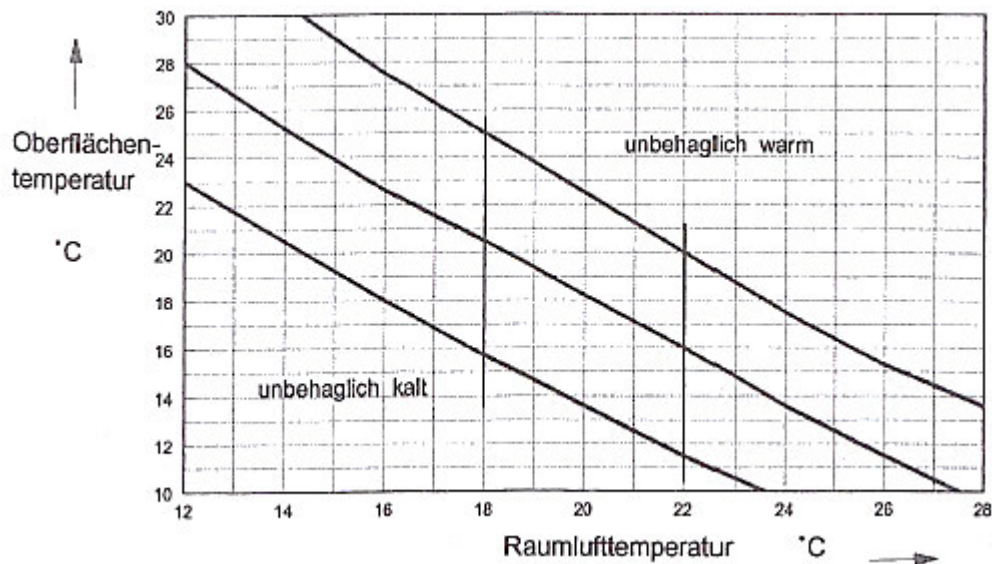


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen Raumlufthtemperatur und Oberflächentemperatur für das Behaglichkeitsempfinden des Menschen¹¹⁷

„Das körperliche Wohlbefinden des Menschen hängt wesentlich von der thermischen Behaglichkeit ab.“¹¹⁸ „In Deutschland gelten Raumtemperaturen als behaglich, wenn sie nicht wesentlich (max. 3 K) über der Außentemperatur liegen.“¹¹⁹

Siebenunddreißig Grad Celsius beträgt die Körpertemperatur eines gesunden Menschen. Aufgrund geringerer Umgebungstemperaturen gibt der Körper Wärme in Form von Wärmestrahlung ab. Bei sehr niedrigen Temperaturen friert der Mensch, da zu viel Wärme an die Umgebung abfließt. Bei hohen Temperaturen kommt es zu einer Wärme- stauung, was das Schwitzen des Menschen bedingt.¹²⁰ „Der Energieaustausch durch Strahlung zwischen dem menschlichen Körper und den Umschließungsflächen des

¹¹⁵ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 214; vgl. Arndt 2002, S. 17.

¹¹⁶ Arndt 2002, S. 17.

¹¹⁷ Arndt 2002, S. 19.

¹¹⁸ Arndt 2002, S. 19.

¹¹⁹ KOMKO bauen o. J., S. 7.

¹²⁰ Vgl. Bounin et al. 2010, 214.

Raumes wird zu einer maßgebenden Kenngröße für die Behaglichkeit.¹²¹ Um eine thermische Behaglichkeit durch bauliche Maßnahmen zu schaffen, sollte die Lufttemperatur im Raum zwischen 18 °C und 22 °C betragen.¹²² Welche Temperatur in diesem Bereich als angenehm empfunden wird, hängt von Faktoren wie „Alter, Geschlecht, Gesundheitszustand, Konstitution, allgemeinem Befinden, Kleidung, Aufenthaltsdauer im Raum und umgebungsbedingten Faktoren“¹²³ ab. Dabei spielt auch die Aktivität des Menschen eine Rolle. Je nachdem, ob er gerade einer sitzenden Tätigkeit nachgeht oder körperlich schwer arbeitet, werden Temperaturen im oberen oder im unteren Bereich als behaglich und angenehm empfunden.¹²⁴

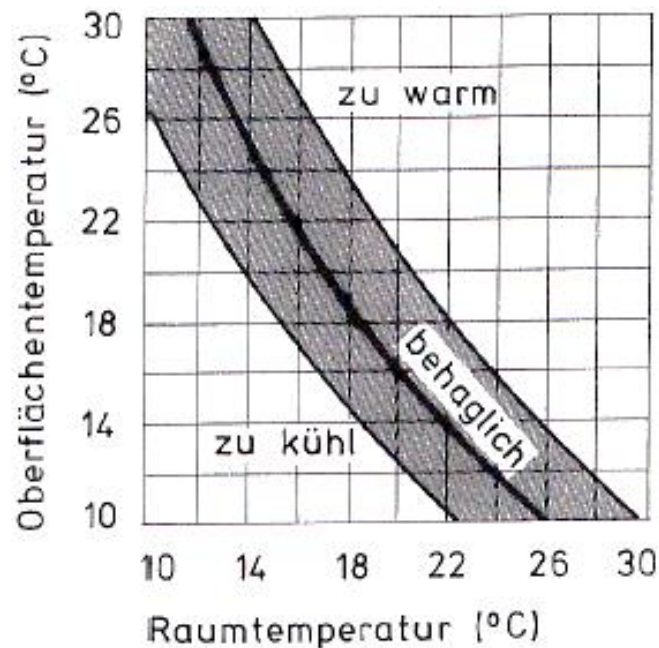


Abbildung 14: Behaglichkeitskurve für Wandoberflächen¹²⁵

Temperaturen von mehr als 26 oder 28 °C werden je nach Tätigkeit als unangenehm wahrgenommen.¹²⁶ Dabei spielen die Oberflächentemperaturen der umgebenden Wände eine Rolle für das Wohlempfinden eines Menschen (Abbildung 14).¹²⁷ Erhitzen sich die raumumgebenden Wände um über 26 °C, wird das Raumklima als zu warm empfunden. Die durchschnittlichen Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsfläche

¹²¹ Arndt 2002, S. 20.

¹²² Vgl. Arndt 2002, S. 19.

¹²³ KOMKO bauen o. J., S. 9.

¹²⁴ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 214 – 215; vgl. KOMKO bauen o. J., 9.

¹²⁵ Bounin et al. 2010, S. 215.

¹²⁶ Vgl. KOMKO bauen o. J., 7.

¹²⁷ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 215; vgl. Arndt 2002, S. 19 - 20.

sollten an der Innenseite circa im gleichen Bereich der Raumlufttemperatur liegen. Fußböden sollten zudem nicht "kälter" als 16 °C bis 18 °C sein (Abbildung 15).¹²⁸

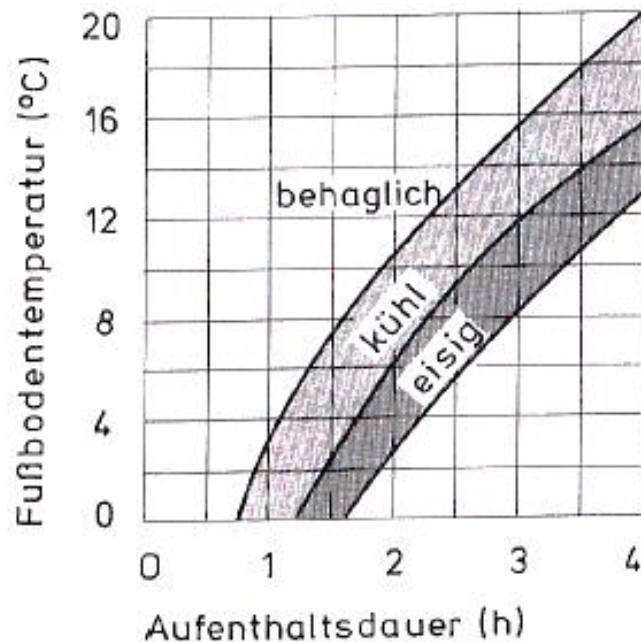


Abbildung 15: Behaglichkeitskurve für Fußböden¹²⁹

Bei einer Temperatur der Raumluft von 20 °C sollte eine Fußbodentemperatur von 18 °C nicht unterschritten werden.¹³⁰

Ebenfalls einen großen Einfluss auf die Behaglichkeit in der Wohnung hat die relative Luftfeuchtigkeit. Ist die Feuchtigkeit zu hoch oder zu niedrig wird dies als unangenehm empfunden und schädigt zudem die Gesundheit des Bewohners sowie das Inventar. Bei einer Lufttemperatur von 20 °C bis 22 °C liegt der angestrebte Wert der Luftfeuchte im Bereich von 35 % bis 60 %.¹³¹ Bei steigenden Temperaturen, beispielsweise bei einem Anstieg auf 26 °C reduziert sich der obere Grenzwert auf 55 %. Der Rahmen der thermischen Behaglichkeit liegt bei einer relativen Feuchte zwischen 30 % und 70 % bei Raumlufttemperaturen von 18 °C bis 24 °C.¹³²

¹²⁸ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 215; vgl. Arndt 2002, S. 19 - 20.

¹²⁹ Bounin et al. 2010, S. 215.

¹³⁰ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 215; vgl. Arndt 2002, S. 19 - 20.

¹³¹ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 216; vgl. KOMKO bauen o. J., S. 11.

¹³² Vgl. KOMKO bauen o. J., S. 11.

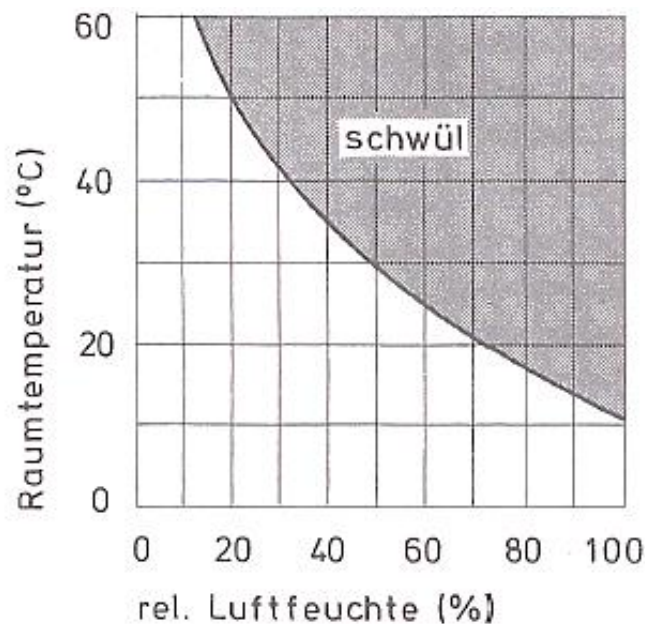


Abbildung 16: Die Behaglichkeitskurve für die relativen Luftfeuchten¹³³

Besonders wichtig für den sommerlichen Wärmeschutz ist es hier, darauf zu achten, dass die Luftfeuchte diesen Bereich nicht übersteigt, sodass kein Gefühl von Schwüle erzeugt wird.¹³⁴ „Da warme Luft die Eigenschaft besitzt, mehr Wasserdampf aufzunehmen als kalte Luft, empfindet der Mensch im Winter die Luft als zu trocken [und] im Sommer als schwül.“¹³⁵ Um das Empfinden von Behaglichkeit beim Bewohner zu bewirken, stehen Lufttemperatur und Luftfeuchte im Zusammenhang, wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.¹³⁶ In Wohngebäuden liegt das ideale Zusammenspiel bei einer Temperatur von 22 °C und einer relativen Feuchte in einem Bereich von 55 % bis 65 %.¹³⁷

Zudem spielt das Phänomen der Empfindungstemperatur eine große Rolle beim Raumklima. Der Mensch nimmt je nach Strahlungstemperatur des Raumes, gemessen am Mittel der Oberflächentemperaturen, der Temperatur der Raumluft und seiner Aktivitäten die Wärme im Gebäude unterschiedlich wahr. Das Empfinden von Wärme kann jedoch auch bei identischen Lufttemperaturen variieren (Tabelle 4).¹³⁸ Dies hängt von der relativen Luftfeuchte ab.¹³⁹

¹³³ Bounin et al. 2010, S. 216.

¹³⁴ Vgl. Arndt 2002, S. 19.

¹³⁵ Bosy o. J., o. S.

¹³⁶ Vgl. Arndt 2002, S. 19.

¹³⁷ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 217.

¹³⁸ Vgl. Arndt 2002, S. 20 – 21.

¹³⁹ Vgl. Bosy o. J., o. S.

Lufttemperatur	27 °C	32 °C	35 °C	38 °C	41 °C
	Die Lufttemperatur wird empfunden wie ...				
30 % relative Feuchte	26 °C	32 °C	36 °C	40 °C	45 °C
50 % r. F.	27 °C	36 °C	42 °C	49 °C	54 °C
60 % r. F.	28 °C	38 °C	46 °C	56 °C	65 °C
70 % r. F.	29 °C	41 °C	51 °C	62 °C	-
80 % r. F.	30 °C	45 °C	58 °C	-	-
32 °C – 41 °C ● Muskelkrämpfe oder Hitzeschwäche möglich 41 °C – 45 °C ● Muskelkrämpfe oder Hitzeschwäche wahrscheinlich, Hitzschlag möglich 45 °C und mehr ● lebensbedrohlicher Hitzschlag oder Wärmestod					

Tabelle 4: Die tatsächlich empfundene Temperatur in Abhängigkeit zur Luftfeuchtigkeit¹⁴⁰

Gründe für dieses Phänomen können neben der relativen Luftfeuchte auch die Baustoffe und Materialien sein, mit denen die Innenflächen des Raumes verkleidet wurden. Lufttemperaturen von 18 °C können bereits als behaglich empfunden werden, wenn die Innenwände gedämmt sind oder aus Holz bestehen. Sind die Wände und Decken dagegen überwiegend massiv gebaut, sind höhere Temperaturen im Bereich von 22 °C bis 25 °C notwendig, um ein behagliches Wärmegefühl zu erzeugen. Demnach können die Baustoffe eines Gebäudes die Wahrnehmung des Menschen und dessen Empfinden von Behaglichkeit beeinflussen.¹⁴¹

Weiterhin sind für ein behagliches Klima saubere Luft, eine optimale Beleuchtung des Raumes und ein ruhiges, störungsfreies Umfeld von großer Bedeutung. Die Ausgewogenheit zwischen dem Menschen und dem Raumklima bestimmt das Behaglichkeitsgefühl in hohem Maße.¹⁴² Da nur eine Immobilie, welche gegen Feuchtigkeit und Tauwasserbildung ausreichend geschützt ist, ein Gefühl von Wohlbehagen auslösen und den Nutzer in seinen Anforderungen zufrieden stimmen kann, soll im Folgenden die Notwendigkeit des Feuchteschutzes eines Gebäudes weiter vertieft werden.

¹⁴⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an Bosy o. J., o. S.

¹⁴¹ Vgl. Arndt 2002, S. 20 – 21.

¹⁴² Vgl. Bounin et al. 2010, S. 216.

3.2 Die Notwendigkeit des Feuchteschutzes

Um ein Behaglichkeitsgefühl beim Nutzer erzeugen zu können, ist neben dem Wärmeschutz ebenfalls der Feuchteschutz wichtig.¹⁴³ Mit Feuchtigkeit oder Feuchte wird dabei das Wasser im flüssigen Zustand bezeichnet sowie im gasförmigen Zustand der Wasserdampf oder in fester Form das Eis.¹⁴⁴ Um die Anforderungen des Gebäudenutzers zu erfüllen und um die Baukonstruktion dauerhaft „vor klima- und nutzungsbedingten Feuchteeinwirkungen und deren Folgeschäden zu schützen“,¹⁴⁵ ist es notwendig, die Außenbauteile entsprechend aufzurüsten und zu gestalten.

Dies inkludiert eine geeignete Auswahl und Konzeption von wärmeschutz- und energietechnisch geeigneten Baustoffen.¹⁴⁶ Durch das Ausstatten der Immobilien mit wärmedämmenden Materialien können Tau- und Schwitzwasserbildungen und damit einhergehende Schäden vermieden werden. Im Falle einer Bildung und Anstauung von Feuchtigkeit, beispielsweise aufgrund mangelnder Belüftung oder aufgrund von Wärmebrücken, können Schäden durch Schimmelbildung, Rost, Fäulnis und Verwitterung entstehen. Wenn die Feuchtigkeit nicht abgeführt wird, können auch Putz-, Lack- und Tapetenschäden, Ausblühungen und Verfärbungen auftreten.¹⁴⁷ Das Wachstum eines Schimmelpilzes wird beispielsweise bei einer relativen Luftfeuchte von über 75 % über einen längeren Zeitraum begünstigt. Dies tritt neben Oberflächen mit geringen Temperaturen häufig an Fenstern mit unzureichender Wärmedämmung auf, oftmals in älteren Bestandsgebäuden.¹⁴⁸ Deshalb ist das Reduzieren und Vermeiden von Kondensationsvorgängen bzw. Wasserdampfdiffusionen im Bauteilquerschnitt für eine optimale Wärmedämmung unumgänglich. Die Durchfeuchtung von Dämmstoffen und Bauteilen durch Tauwasser führt neben Bauschäden zudem zu einer Verringerung der Wärmedämmfähigkeit. Hier ist es besonders wichtig, auf eine korrekte Ausführung und auf die Verwendung geeigneter Materialien und Konstruktionen zu achten, um das Gebäude sowohl vor Wärme als auch vor Feuchtigkeit schützen zu können.¹⁴⁹

¹⁴³ Vgl. Arndt 2002, S. 15.

¹⁴⁴ Vgl. Arndt 2002, S. 23.

¹⁴⁵ Arndt 2002, S. 15.

¹⁴⁶ Vgl. Arndt 2002, S. 15.

¹⁴⁷ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 217, S. 328; vgl. KOMKO bauen o. J., S. 2.

¹⁴⁸ Vgl. KOMKO bauen o. J., S. 18 – 19.

¹⁴⁹ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 218.

Weil die Wärme von Wasser um das etwa 25-fache besser geleitet wird als von Luft, erlangt der Feuchteschutz eine besondere Bedeutung, da der Wärmeschutz aufgrund feuchter Bauteile stark eingeschränkt wird.¹⁵⁰ Die Feuchtigkeit stellt demnach ein wichtiges Thema dar, da sie nicht nur eine Einflussgröße für die Behaglichkeit eines Raumklimas bedeutet, sondern auch für die Langlebigkeit von Bauteilen und Gebäudebeständen. Um Baukonstruktionen dauerhaft erfolgreich und funktionssicher zu gestalten, ist ein solides Hintergrundwissen des Bauplaners erforderlich. Dies umfasst zum einen ein vollumfängliches Verständnis für die verschiedenen Aggregatzustände und für die durch Temperaturen beeinflussten Übergänge dieser Aggregatsformen an den Oberflächen von Bauteilen. „Zum anderen müssen die Vorgänge des Feuchtigkeitsaustausches zwischen einem Bauteil und seiner Umgebung [...] unter den voraussichtlichen Nutzungsbedingungen eingeschätzt und gegebenenfalls vorteilhaft beeinflusst werden.“¹⁵¹

Im Wesentlichen erfolgt der Feuchtigkeitsaustausch aufgrund von Potentialunterschieden auf drei verschiedene Arten. Wasserdampf kann je nach Temperatur aus der Umgebungsluft aufgenommen und abgegeben werden. Die Gleichgewichtsfeuchte am Baustoff ist abhängig von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit.

Eine andere Art des Feuchtigkeitsaustausches ist der Weg über die Poren und Kapillare der Baustoffe, in denen das Wasser aufgenommen und abgegeben wird. Der Kontakt zum Wasser kann dabei an einer Bauteiloberfläche erfolgen oder durch Kondensationsansammlung im Bauteilquerschnitt zustande kommen.

Ein dritter möglicher Weg ist der des Austausches von Feuchtigkeit an den Innen- und Außenseiten der Außenbauteile von beheizten Immobilien. Durch Unterschiede der Temperaturen und des Wasserdampfdruckes erfolgt die Aufnahme und Abgabe von Wasserdampf.

Diese Abläufe erfolgen meist parallel und je nach Baustoffart und Größe des Porenraumes sowie nach Verteilung der Poren und Struktur der Kapillare unterschiedlich stark ausgeprägt. Je nachdem, welches Klima im Raum vorherrscht, kann die Feuchtigkeit in einem Bauteil oder Material über einen längeren Zeitraum bestehen oder aber schnell in

¹⁵⁰ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 328.

¹⁵¹ Arndt 2002, S. 23.

Bewegung geraten. Übersteigt der Anteil der Feuchtigkeit die Höchstgrenzen, wirkt sich dies negativ auf die Konstruktion und deren Beständigkeit aus.¹⁵²

Besonderes Augenmerk sollte daher auf dem Feuchteschutz von Wänden und Dächern liegen, insbesondere auf Flachdächern.¹⁵³ Gerade diese spezielle Dachform ist im erhöhten Maße der Sonneneinstrahlung ausgesetzt.¹⁵⁴ Bei Flachdächern, welche nicht belüftet werden, besteht die Gefahr der Ansammlung von Feuchte unter der Dachabdichtung. Hier sollte die Oberflächenbeschaffenheit des Daches hinsichtlich des Beitrages zum sommerlichen Wärmeschutz und der feuchtetechnischen Aspekte ausgewählt werden. Die Schwierigkeit besteht darin, dass das Austrocknungspotential des Daches auf der Innenseite durch die angestrebte Senkung der sommerlichen Temperaturen verringert wird. Hier kann es durch den sommerlichen Wärmeschutz zu einer negativen Beeinträchtigung des Feuchteschutzes kommen.¹⁵⁵ Daher sollte eine wirksame Dämpfung, auch Phasenverschiebung genannt, erzielt werden, was nachfolgend noch genauer erklärt wird. Dies kann durch entsprechende Flächengewichte erfolgen. Die Oberflächentemperaturen von Flachdächern lassen sich durch Grünflächen, hellem Kies oder durch helle Plattenbeläge reduzieren.¹⁵⁶

Eine Lösung zur Vermeidung der Feuchte in Wänden bietet die diffusionsoffene Bauweise. Diese Bauweise bewirkt ein hohes Austrocknungspotential, sodass bleibende Bauschäden durch Feuchtigkeit bis hin zu kurzfristigen Wassereinbrüchen verhindert werden können. Gleichzeitig wird das Bauwerk durch die Wärmespeicherkapazität vor sommerlicher Überhitzung geschützt.¹⁵⁷ Um die benötigte Austrocknungskapazität zu erreichen und das Bauwerk vor Feuchtigkeit und Wasser zu schützen, wird eine innen-seitige Dampfsperre oder Dampfbremse benötigt, welche diffusionsoffen, luft- und wasserdicht sein muss (Abbildung 17).¹⁵⁸ Die Grafik zeigt den Bauquerschnitt einer Wand auf, welche zur Vermeidung von Tauwasser diffusionsoffen erbaut wurde.

¹⁵² Vgl. Arndt 2002, S. 23 - 24.

¹⁵³ Vgl. Künzel und Sedlbauer o. J., o. S.

¹⁵⁴ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 15.

¹⁵⁵ Vgl. Künzel und Sedlbauer o. J., o. S.

¹⁵⁶ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 15 - 16.

¹⁵⁷ Vgl. Wimmer et al. 2001, S. 6 – 7.

¹⁵⁸ Vgl. Wimmer et al. 2001, S. 33; vgl. Kirch 2019, o. S.

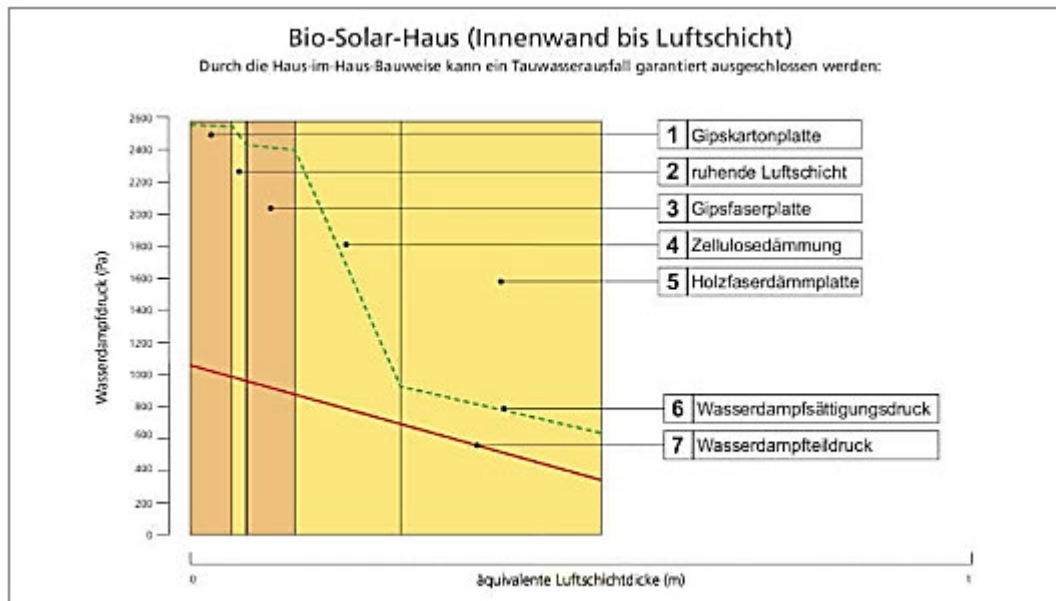


Abbildung 17: Die diffusionsoffene Bauweise zur Vermeidung von Tauwasser¹⁵⁹

Bei einer Diffusion verteilt sich Wasserdampf gleichmäßig im Raum.¹⁶⁰ Durch menschliche Aktivitäten wie Kochen und Duschen kommt es täglich zur Feuchteabgabe in Wohnungen.¹⁶¹ Aufgrund der Produktion von Wasserdampf durch diese Aktivitäten entsteht Dampfdruck, woraus sich eine relative Luftfeuchtigkeit entwickelt. Sammelt sich im Gebäudeinneren eine größere Menge an Dampfdruck an als außerhalb, so erhöht sich der Dampfdruck im Inneren. Um die entstandene Menge an Wasserdampf wieder abzuführen, ist eine diffusionsoffene Bauweise nötig, mittels derer die Feuchtigkeit über die Außenflächen entweichen kann. Die Höhe des Diffusionswiderstandes hängt vom Baustoff ab und wird in der Widerstandszahl μ angegeben.¹⁶² Diese „drückt aus, um wievielfach größer der Diffusionswiderstand eines Stoffes ist als der einer gleich dicken Luftschicht.“¹⁶³ Der Wasserdampf kann umso schneller durch Dämmstoffe wie Wände und Decken diffundieren, je geringer der μ -Wert ist.¹⁶⁴

Für eine Dampfbremse werden häufig Polyethylen-Folien (PE), verwendet, welche über einen S_d -Wert von über 100 verfügen, und damit diffusionshemmend wirken.¹⁶⁵

¹⁵⁹ Kirch 2019, o. S.

¹⁶⁰ Vgl. Kirch 2019, o. S.

¹⁶¹ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 65

¹⁶² Vgl. Kirch 2019, o. S.

¹⁶³ Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 14.

¹⁶⁴ Vgl. Kirch 2019, o. S.

¹⁶⁵ Vgl. Kirch 2019, o. S.; vgl. Nees 2020, o. S; vgl. Bounin et al. 2010, S. 228.

S_d-Wert	Bedeutung
unter 0,5 μ	diffusionsoffen
0,5 bis 1.500 μ	diffusionshemmend / Dampfbremse
über 1.500 μ	diffusionsdicht / Dampfsperre

Tabelle 5: Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke (S_d-Wert)¹⁶⁶

Der S_d-Wert besteht aus dem Quotienten von Luftschichtdicke und der Dampfdiffusionswiderstandszahl μ und ist dimensionslos.¹⁶⁷ Es gilt, je dünner die Bauteildicke ist, je diffusionsoffener ist die Konstruktion. Ist die Bauweise diffusionsoffen, wird das Raumklima erheblich verbessert.¹⁶⁸

Um das Raumklima optimal zu halten und Feuchtigkeit zu vermeiden, muss die Tauwasserbildung bei mehrschichtigen Bauteilen durch die optimale Anordnung einzelner Schichten unterbunden werden. Aus feuchtetechnischer Sicht ist hier die Luftdichtheit der Bauteile und deren Fugen von Bedeutung.¹⁶⁹ Gerade aufgrund der Unterschiedlichkeit der Bauteile können Undichtheiten beispielsweise durch Stöße oder Überlappungen sowie Durchdringungen entstehen. Diese Undichtheiten können sich mit der Zeit vergrößern. Ein Grund hierfür können bauübliche Bewegungen in der Konstruktion sein.¹⁷⁰ Die Luftdichtheit ist notwendig zur Vermeidung von Wasserdampfkonvektionen in der Konstruktion. „Sie muss durch die sorgfältige Planung und Ausführung der inneren (Innenputz, Dampfbremse) und äußeren luftdichten Schicht (Außenputz, Windbremse) sichergestellt werden. Für diese sind nur Materialien geeignet, die die Luftdichtheitsfunktion über einige Jahrzehnte erfüllen können.“¹⁷¹ Zur Eignung des Materials sind deshalb die Wärmeleitfähigkeit, die Temperaturleitzahl und der Dampfdiffusionswiderstand maßgeblich.¹⁷² Für die Anordnung der Baustoffe ist zu beachten, dass der Diffusionswiderstand von innen nach außen abnimmt. Auf der Innenseite der Wand soll der Wärmedurchlasswiderstand R parallel möglichst klein sein, während der Wert auf der Außenseite der Wand möglichst groß sein soll. Eine weitere Anforderung an die Baustoffe ist, dass diese auf der Außenseite diffusionsoffen wirken bzw. dass der Aufbau von innen nach außen

¹⁶⁶ In Anlehnung an Nees 2020, o. S.

¹⁶⁷ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 14; vgl. Nees 2020, o. S.

¹⁶⁸ Vgl. Nees 2020, o. S.

¹⁶⁹ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 238 – 239.

¹⁷⁰ Vgl. KOMKO bauen o. J., S. 11.

¹⁷¹ Wimmer et al. 2001, S. 34.

¹⁷² Vgl. Kirch 2019, o. S.

diffusionsoffener wird, um den Feuchtetransport nicht durch außenliegende Schichten zu behindern. Diffusionsoffene Baustoffe sind durch einen geringen Wasserdampfdiffusionswiderstand gekennzeichnet. Das Ziel ist, dass der Wasserdampf nicht im Querschnitt verweilt und stattdessen nach Außen an die Luft diffundieren kann.¹⁷³

Geeignete Materialien sind beispielsweise Holzfaser oder Zellulose bzw. allgemein Baustoffe auf Holzbasis.¹⁷⁴ Die Verwendung von natürlichem Dämmmaterial hat positive Auswirkungen auf den sommerlichen Wärmeschutz, da Stoffe wie Zellulose und Holzweichfaser über hohe Wärmespeicherkapazitäten verfügen und somit die sommerliche Hitze speichern und das Gebäude vor der Eindringung dieser Hitze schützen. Dieser Prozess wird als Phasenverschiebung bezeichnet und drückt die zeitliche Verzögerung aus, mit der die Wärme von außen durch den Baustoff ins Gebäudeinnere diffundiert bzw. eindringt.¹⁷⁵ Eine richtig dimensionierte Wärmespeicherung dient daher vorwiegend dem Sonnenschutz und ist besonders in wärmeren und trocken-heißen Klimazonen notwendig, um das Gebäude vor der starken Sonneneinstrahlung zu schützen.¹⁷⁶

Für den optimalen Schutz der Immobilie gegen Feuchtigkeit ist es wichtig, dass Bauplaner und Architekten mit den Vorgängen des Wärme- und Feuchtigkeitsaustausches in den einzelnen Baustoffen unter Nutzungsbedingungen vertraut sind und entsprechend planerischen Einfluss auf den Feuchtehaushalt einer Immobilie nehmen können.¹⁷⁷ „Erst die richtige Anwendung bauphysikalischer Prinzipien garantiert den funktionellen Erfolg für neugestaltete, aber auch für nachträglich veränderte bzw. sanierte Außenbauteile.“¹⁷⁸ Sanierungen sind zudem auch zur Ergreifung von Energiesparmaßnahmen vor dem Hintergrund des Klimawandels sinnvoll. Das folgende Kapitel soll genauer auf die Notwendigkeit der Energieeinsparung eingehen.

3.3 Die Notwendigkeit der Energieeinsparung

Die Notwendigkeit eines wirksamen Wärmeschutzes liegt seit der Energiekrise unter anderem darin begründet, „den Energieeinsatz für die Heizung der Gebäude zu senken,

¹⁷³ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 14 – 15; vgl. Hegger et al. 2005, S. 145.

¹⁷⁴ Vgl. Nees 2020, o. S.; vgl. Kirch 2019, o. S.

¹⁷⁵ Vgl. Kirch 2019, o. S.

¹⁷⁶ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 67.

¹⁷⁷ Vgl. Arndt 2002, S. 22, S. 24.

¹⁷⁸ Arndt 2002, S. 22.

d. h. für die Reduzierung der Wärmeverluste infolge Transmission und Lüftung und damit für die Reduzierung der Umweltbelastung zu sorgen“.¹⁷⁹ Für den sommerlichen Wärmeschutz gilt es, den Einsatz von Klima- und Lüftungsanlagen und somit aktiver Kühlung zu minimieren.¹⁸⁰ Hier avancierten ein geeigneter Gebäudeentwurf sowie geeignete Baukonstruktionen als Lösungen zur Verringerung des Einsatzes von raumklimatischen Anlagen zum Hauptkriterium, um die Kühl- und Lüftungsenergie einzusparen.¹⁸¹ Statt elektrischer Anlagen sollen die Bauteile, wie Wände, Dach, Fenster und Boden sowie wärmeschutztechnische Hilfsmittel wie Abschirmungen, Verschattungsmaßnahmen und Verkleidungen bzw. Wärmedämmungen für ein behagliches Innenklima im Gebäude sorgen.¹⁸²

Die Notwendigkeit zur Energieeinsparung besteht aufgrund steigender Energiepreise, zunehmender Ressourcenknappheit und seit der zunehmenden Bedeutung des Umweltschutzes.¹⁸³ Vor allem die Immobilienbranche gilt durch einen Anteil von 35 % am verursachten Endenergieverbrauch und einem deutlich hohen Anteil an Kohlenstoffdioxid-Ausstößen als einer der Hauptverursacher des Klimawandels.¹⁸⁴ Deshalb bietet der Gebäudebestand ein besonders großes Energieeinsparpotential und gleichzeitig ein Potential die Umwelt zu schützen.¹⁸⁵ Um das Ziel, einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050 zu erreichen, muss die Energieeffizienz in den Gebäuden verbessert werden und es müssen energetische Anforderungen an Immobilien existieren, welche die Umsetzung der Energieeinsparung verfolgen. Die Ziele sind im Klimaschutzplan 2050 verankert und fordern unter anderem die energetische Sanierung und Verbesserung von Gebäuden, sodass diese im Rahmen der Wirtschaftlichkeit den aktuellen Stand der Technik erfüllen.¹⁸⁶ „Die Verminderung des Energieverbrauchs in Neu- und Altbauten ist im Hinblick auf eine ökologisch nachhaltige Wirtschaftlichkeit für den Klimaschutz – durch die Reduzierung von CO₂- oder SO₂-Emissionen – und zur Schonung der wertvollen Energiereserven Erdöl, Erdgas und Kohle für uns und künftige Generationen unabdingbar.“¹⁸⁷ Die Formulierung des zukünftigen Gebäudeenergiegesetzes lautet: „Unter Beachtung des Grundsatzes der Wirtschaftlichkeit soll das Gesetz im Interesse des

¹⁷⁹ Arndt 2002, S. 15.

¹⁸⁰ Vgl. Plathner o. J., S. 1; vgl. Spitzner 2013b, S. 25.

¹⁸¹ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 214; vgl. Cziesielski 1988, S. 6; vgl. Arndt 2002, S. 15.

¹⁸² Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 64; vgl. Paschotta o. J., o. S.

¹⁸³ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 68.

¹⁸⁴ Vgl. Bienert und Hirsch 2013, S. 12.

¹⁸⁵ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 68.

¹⁸⁶ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 1.

¹⁸⁷ Bounin et al. 2010, S. 238.

Klimaschutzes, der Schonung fossiler Ressourcen und der Minderung der Abhängigkeit von Energieimporten dazu beitragen, die energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung, insbesondere einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 sowie die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte auf 14 Prozent bis zum Jahr 2020 zu erreichen, und eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen.“¹⁸⁸

An dieser Stelle ist auch ein Blick auf die graue Energie sinnvoll. Mit grauer Energie bezeichnet man „die Energiemenge, die für Herstellung, Transport, Lagerung sowie Entsorgung eines Produkts benötigt wird.“¹⁸⁹ Gerade bei Bau- und Dämmstoffen ist vor dem Hintergrund der Energieeinsparung ein Blick auf den Herstellungsprozess sowie den Herstellungsenergiebedarf wichtig. Denn Letzterer kann aufgrund der zahlreichen energieintensiven Umwandlungsprozesse der Bau- und Dämmstoffe den erforderlichen Heiz- oder den Kühlenergiebedarf überschreiten.¹⁹⁰ Zu den bei der Herstellung energieaufwendigen Baustoffen zählen beispielsweise Dämmstoffe auf Kunststoffbasis, Metalle, Glas und gebrannte Ziegel.¹⁹¹ Dagegen gehören Lehm und Gips zum Beispiel zur Gruppe der energiearmen Materialien.¹⁹² Beim Hinblick auf die Energieoptimierung ist eine Bewertung der Herstellungsenergie beim Bau eines Gebäudes notwendig. Bei der Verbesserung der thermischen Qualität in einem Bestandsgebäude sollte der Mehraufwand an Energie, der zur Herstellung der Dämmmaterialien notwendig ist, sprich die graue Energie, durch die Verminderung des Heiz- und Kühlenergiebedarfes mindestens ausgeglichen werden. D. h. es ist darauf zu achten, dass die graue Energie den Heiz- bzw. Kühlenergiebedarf nicht überdeckt.¹⁹³ Die Lösung bietet die Verwendung von Baumaterialien, deren Rohstoffe umweltverträglich gewonnen und mit geringem Energieaufwand und somit einem geringen Anteil an grauer Energie hergestellt wurden. Ideal sind zudem leicht recyclebare und biologisch abbaubare Materialien.¹⁹⁴ Da der Herstellungsenergiebedarf von den verwendeten Baustoffen abhängt, sollte das Einsparpotential durch die Wärmedämmung in Gebäuden sowie generell eine ökologische Bauweise bei der Planung und Entwicklung im Fokus stehen.¹⁹⁵ Die Optimierung der grauen Energie

¹⁸⁸ Pabst und Kersten 2019, S. 10.

¹⁸⁹ Hegger et al. 2007, S. 160.

¹⁹⁰ Vgl. Wind und Heschl o. J., S. 1.

¹⁹¹ Vgl. Hegger et al. 2007, S. 160; vgl. Wind und Heschl o. J., S. 1.

¹⁹² Vgl. Hegger et al. 2007, S. 160.

¹⁹³ Vgl. Wind und Heschl o. J., S. 1.

¹⁹⁴ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 316.

¹⁹⁵ Vgl. Wind und Heschl o. J., S. 1; vgl. Bounin et al. 2010, S. 316.

von Bauteilen kann dabei besonders bei der Konstruktion von Neubauten, bei der Fassade, bei der Nutzoberfläche und bei der Technik erfolgen.¹⁹⁶

Um einen effizienteren und sparsameren Umgang mit Energie zu gewährleisten und die Ziele der Energieeinsparung zu erreichen, hat die Bundesregierung gesetzliche Regelungen erlassen.¹⁹⁷ Diese werden im nachfolgenden Kapitel 4 behandelt.

¹⁹⁶ Vgl. Zeumer et al. 2009, S. 54 - 55.

¹⁹⁷ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 68.

4 Die Energieeinsparverordnung und das Gebäudeenergiegesetz

Um die Gewährleistung eines sommerlichen Wärmeschutzes sicher stellen zu können, werden Anforderungen an die Bautechnik gestellt. Diese Anforderungen basieren auf gesetzlichen Regelungen, welche durch die Bundesregierung erlassen wurden. Damit sollen die Ziele des Umweltschutzes und der Energieeinsparung verfolgt werden.¹⁹⁸ Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die Entwicklung der Anforderungen an die Nachhaltigkeit und die Energieeffizienz.¹⁹⁹

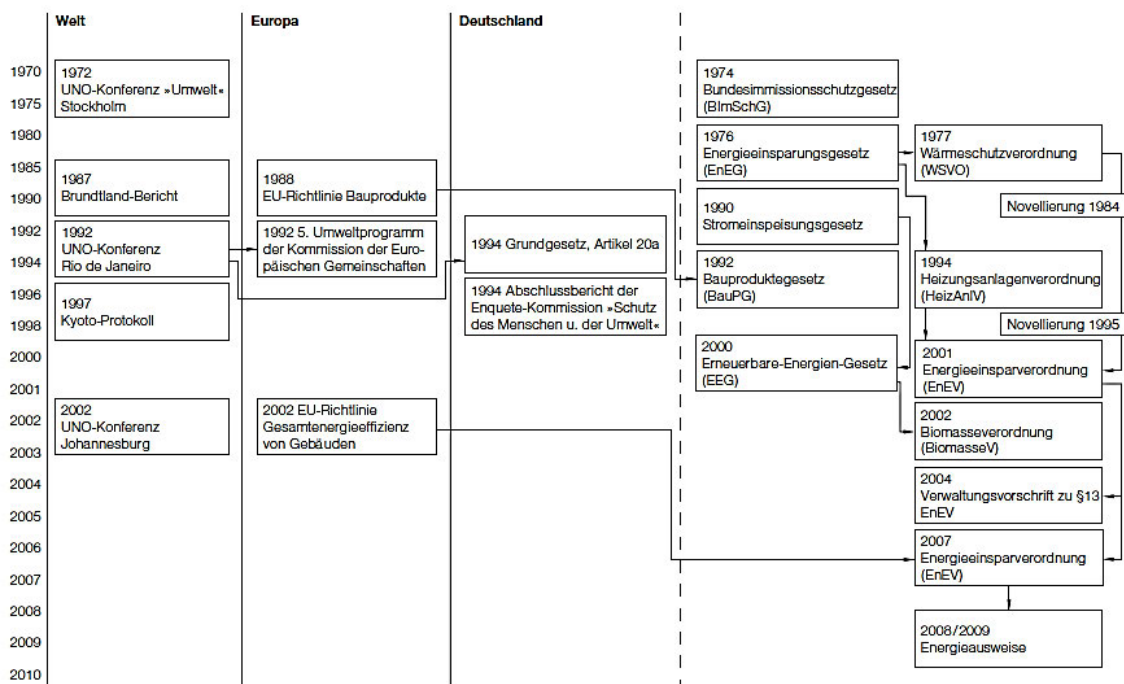


Abbildung 18: Die zeitliche Entwicklung der Anforderungen zur Nachhaltigkeit und Energieeffizienz von Gebäuden²⁰⁰

Aktuell gelten zwei Regelwerke zur Vereinheitlichung der energetischen Anforderungen an Gebäude. Bau- und anlagentechnische Regelungen werden im Energieeinsparungsgesetz (EnEG) und der Energieeinsparverordnung (EnEV) festgehalten. Die Forderungen des Einsatzes von erneuerbaren Energien zu Wärmeezwecken in neuen und in

¹⁹⁸ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 68.

¹⁹⁹ Vgl. Hegger et al. 2007, S. 184 – 185.

²⁰⁰ Hegger et al. 2007, S. 184 – 185.

Bestandsgebäuden, welche sich im Besitz der öffentlichen Hand befinden, sind im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) geregelt.²⁰¹

Diese Regelwerke werden ab dem 01. Oktober 2020 vom Gebäudeenergiegesetz (GEG) abgelöst.²⁰² Das GEG ist ein „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden“.²⁰³ Das neue Gesetz sieht unter anderem einen energetisch hochwertigen baulichen Wärmeschutz vor, um den Gebäudeenergiebedarf so gering wie möglich zu halten. Dies soll mittels gut geeigneter Dämmung und Fenster sowie durch die Vermeidung von Verlusten durch die Entstehung von Wärmebrücken bewirkt werden. Die Umsetzung eines hochwertigen baulichen Wärmeschutzes soll parallel die effiziente Nutzung erneuerbarer Energien vor dem Hintergrund der angestrebten Energieeinsparung ermöglichen.²⁰⁴

4.1 Die Anforderungen nach EnEV und GEG

Die Regelungen des GEG betreffen sowohl den winterlichen als auch den sommerlichen Wärmeschutz. Jedoch soll ersterer nicht Inhalt dieser Arbeit sein. Der sommerliche Wärmeschutz ist in Paragraph 14 des Gebäudeenergiegesetzes geregelt.

Demnach ist ein Gebäude so zu errichten, „dass der Sonneneintrag durch einen ausreichenden baulichen sommerlichen Wärmeschutz nach den anerkannten Regeln der Technik begrenzt wird.“²⁰⁵ Dabei wurden die Anforderungswerte festgelegt, welche nicht überschritten werden dürfen. Mithilfe des in DIN 4108-2: 2013-02 in Abschnitt 8.3.2 aufgeführten Verfahrens sind die Sonnenenergieeintragungswerte der Gebäudebauteile rechnerisch zu ermitteln und mit den Anforderungswerten abzugleichen. Auf diese Weise ist ein ausreichend vorhandener sommerlicher Wärmeschutz des Gebäudes nachzuweisen. Dabei gelten die öffentlich-rechtlichen Vorschriften der Tageslichtverordnung.

Der Nachweis eines ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes kann optional per Simulationsrechnung erbracht werden. Zur Erfüllung eines erfolgreichen Nachweises dürfen die durch das Verfahren berechneten Werte nicht die in der DIN 4108-2: 2013-

²⁰¹ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 1.

²⁰² Vgl. Tuschinski o. J., o. S.

²⁰³ Pabst und Kersten 2019, S. 1.

²⁰⁴ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 1 und 10.

²⁰⁵ Pabst und Kersten 2019, S. 18.

02, Abschnitt 8.4 angegebenen Übertemperatur-Gradstunden überschreiten. Für Gebäude, welche mittels maschineller Anlagen im Sommer gekühlt werden und deren Nachweis per Simulationsverfahren erfolgt, „sind bauliche Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2: 2013-02 Abschnitt 4.3 insoweit vorzusehen, wie sich die Investitionen für diese baulichen Maßnahmen innerhalb deren üblicher Nutzungsdauer durch die Einsparung von Energie zur Kühlung unter Zugrundelegung der im Gebäude installierten Anlagen zur Kühlung erwirtschaften lassen.“²⁰⁶ Das bedeutet, dass der sommerliche Wärmeschutz durch bauliche Maßnahmen gegenüber den energetisch aufwendigen Maßnahmen, wie maschineller Kühlung, Vorrang hat.²⁰⁷

Unter bestimmten Voraussetzungen, welche in Abschnitt 8.8.8 der DIN 4108-2: 2013-02 aufgeführt sind, erlischt die Notwendigkeit zur Durchführung der oben genannten Berechnungen.²⁰⁸ Dies kann zum Beispiel der Fall sein, wenn, wie in nachfolgender Tabelle aufgezeigt, der Fensterflächenanteil je nach Neigung und Fensterorientierung geringer als 7 %, 10 % oder 15 % ist.²⁰⁹

Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen	Orientierung der Fenster	Auf die Grundflächen bezogener Fensterflächenanteil in %
über 60 ° bis 90 °	Nord-West über Süd bis Nord-Ost	10
	Alle anderen Nordorientierungen	15
von 0 ° bis 60 °	Alle Orientierungen	7

Tabelle 6: Die Werte des Fensterflächenanteils, bei deren Unterschreitung nach DIN 4108-2 auf einen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden kann²¹⁰

Das GEG beinhaltet Regeln für Wohn- und Nichtwohngebäude.²¹¹ Während die neuen Erkenntnisstände und Vorschriften bei Neubauten noch in der Vorplanungsphase Anwendung finden sollen, besteht die Schwierigkeit bei Bestandsgebäuden in der Ergreifung nachträglicher Verbesserungsmaßnahmen. Hierbei besteht die Problematik neben der Umsetzbarkeit darin, dass die Nachrüstung in einem wirtschaftlich vertretbaren

²⁰⁶ Pabst und Kersten 2019, S. 19.

²⁰⁷ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 124.

²⁰⁸ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 18 – 19.

²⁰⁹ Vgl. Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 2; vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 5.

²¹⁰ In Anlehnung an KOMKO bauen o. J., S. 4. und Bounin et al. 2010, S. 268.

²¹¹ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 5 und S. 124.

Rahmen erfolgen muss.²¹² Die Schwierigkeit, geeignete Sanierungsmaßnahmen für bestehende Gebäude anzuwenden, ist Inhalt der Bachelorarbeit und soll aufgrund des Umfangs der Thematik auf die Anwendung an Wohnimmobilien begrenzt werden.

Da die Umsetzung des sommerlichen Wärmeschutzes zielmäßig vorwiegend baulich und konstruktiv erfolgen soll, bei gleichzeitiger Vermeidung von aktiver Kühlung durch Klimaanlage, soll der sommerliche Wärmeschutz hauptsächlich von Seiten der baulichen Maßnahmen und der Auswahl geeigneter Baustoffe beleuchtet werden. Aufgrund des Rahmens der Arbeit sollen erneuerbare Energien und Kühlanlagen unberücksichtigt bleiben.²¹³ Um diese allgemein angestrebte Umsetzung weitführend zu erreichen, sind die Mindestanforderungen der Norm an den sommerlichen Wärmeschutz auf die Vermeidung von maschineller Kühlleistung durch die Ergreifung baulicher und planerischer Maßnahmen ausgerichtet.²¹⁴

Das Gesetz sieht im Regelfall laut Paragraph 8 den Bauherren oder den Eigentümer in der Verantwortung, die Vorschriften des GEG einzuhalten. Weiterhin werden ebenfalls die vom Bauherrn oder Eigentümer mit der Errichtung oder der Vornahme von Änderungen am Gebäude oder der Anlagentechnik beauftragten Personen in der Verantwortung gesehen, die Vorschriften des GEG ordnungsgemäß einzuhalten.²¹⁵

Für Wohngebäude und für Anlagenbestände werden energetische Anforderungen gestellt, welche eine Absenkung der energetischen Qualität einer Immobilie bei der Veränderung von Außenbauteilen untersagen.²¹⁶ Bei einer Erweiterung des Gebäudes mit einer zusammenhängenden Nutzfläche von über 50 Quadratmetern ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes erforderlich.²¹⁷

Eine weitere Anforderung ist die Begrenzung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen, im Falle einer Änderung, des Ersatzes oder der Erneuerung dieser.²¹⁸ Bei der obersten Geschosdecke sollte der Wert des Wärmedurchgangskoeffizienten

²¹² Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 14 - 15 und S. 17; vgl. Deutscher et al. 2000, S. 114.

²¹³ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 75; vgl. Plathner o. J., S. 1; vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 33 – 34 und S. 124; vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 76.

²¹⁴ Vgl. Spitzner 2013b, S. 25.

²¹⁵ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 16 – 17.

²¹⁶ Vgl. Maas 2016, S. 12; vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 37.

²¹⁷ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 40; vgl. Maas 2016, S. 12.

²¹⁸ Vgl. Maas 2016, S. 12.

maximal „0,24 Watt pro Quadratmeter und Kelvin“²¹⁹ betragen.²²⁰ Die Erbringung eines einfachen statt eines ganzheitlichen Nachweises der erfüllten Anforderung ist ausreichend, wenn nur ein Teil der Bauteile und Flächen von den Sanierungsmaßnahmen betroffen ist.²²¹ Des Weiteren bestehen Nachrüstpflichten, wie das Dämmen von Rohrleitungen und Armaturen, unter Einsatz von vorgegebenen Mindestdämmdicken. Auch das Dämmen der obersten Geschossdecken sowie bezogen auf den winterlichen Wärmeschutz, der Austausch von Heizkesseln stellen weitere Pflichten zur Nachrüstung dar.²²² Im Falle einer Begrenzung der einbaubaren Dämmschichtdicken aus Gründen der Technik oder in begründeten Ausnahmen kann bei Bestandsgebäuden von den Anforderungen abgewichen werden. In diesen Fällen gilt der Einbau der höchstmöglichen Dämmschichtdicke nach den gegenwärtig vorherrschenden Regeln der Technik sowie der Einbau von wärmeleitfähigen Dämmstoffen mit einem λ -Wert von 0,035 W/(mK).²²³

Paragraf 48 des GEG regelt die Anforderungen bei Änderungen an einem Bestandsgebäude. „Soweit bei beheizten oder gekühlten Räumen eines Gebäudes Außenbauteile im Sinne der Anlage 7 erneuert, ersetzt, oder erstmalig eingebaut werden, sind diese Maßnahmen so auszuführen, dass die betroffenen Flächen des Außenbauteils die Wärmedurchgangskoeffizienten der Anlage 7 nicht überschreiten. Ausgenommen sind Änderungen von Außenbauteilen, die nicht mehr als 10 Prozent der gesamten Fläche der jeweiligen Bauteilgruppe des Gebäudes betreffen.“²²⁴ Die im GEG genannte Anlage 7 ist in dieser Arbeit unter Anlage 1 im Anlagenverzeichnis zu finden.²²⁵

Um den Anforderungen der noch gegenwärtigen EnEV und des bald in Kraft tretenden Gebäudeenergiegesetzes gerecht zu werden, muss der sommerliche Wärmeschutz eines Gebäudes je nach Voraussetzungen durch die Anwendung eines der Gesetzgebung entsprechenden Berechnungsverfahrens nachgewiesen werden. Im Nachfolgenden soll aus diesem Grund noch etwas genauer auf die Erbringung eines Nachweises eingegangen werden. In diesem Rahmen sollen sodann die Berechnungsverfahren vorgestellt werden.

²¹⁹ Pabst und Kersten 2019, S. 37.

²²⁰ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 37.

²²¹ Vgl. Baunetz Wissen Bauphysik o. J., o. S.

²²² Vgl. Maas 2016, S. 12.

²²³ Vgl. Baunetz Wissen Bauphysik o. J., o. S.

²²⁴ Pabst und Kersten 2019, S. 38.

²²⁵ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 38 und S. 98 – 102.

4.2 Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach EnEV und GEG

Laut des 14. Paragraphen des Gebäudeenergiegesetzes soll der Nachweis eines wirksamen sommerlichen Wärmeschutzes in Gebäuden erbracht und erfüllt werden.²²⁶ In diesem Kapitel sollen die in diesem Paragraphen aufgeführten Nachweisverfahren vorgestellt und erläutert werden. Zur Gewährleistung eines funktionierenden, sinnvollen Wärmeschutzes ist die Beachtung und Erfüllung der Anforderungen durch das GEG notwendig.

Eingangs soll an dieser Stelle noch einmal erwähnt werden, dass der Nachweis eines sommerlichen Wärmeschutzes „seit der Novellierung der DIN 4108-2“²²⁷ und seit der steigenden Komfortansprüche, der Häufung von Hitzeperioden und der angestrebten Reduzierung von Klimatisierungskosten von Bedeutung ist.²²⁸ „Es wird deutlich, dass ohne entsprechende Sonnenschutzmaßnahmen an der Fassade die neuen Anforderungen kaum erfüllt werden können. Hierzu ist eine zuverlässige energetische Bewertung der transparenten Bauteile nötig.“²²⁹ Die EnEV fordert deshalb die Erbringung eines solchen Nachweises für neu errichtete Gebäude, für energetische Sanierungen und für Erweiterungen durch einen Anbau bzw. Ausbau von über 50 m² Nutzfläche. Gerade bei Sanierungsmaßnahmen, in denen kein Planer involviert ist, muss der Nachweis meist vom Anbieter oder Hersteller der Fenster und Fassaden erbracht werden.²³⁰ Zudem sind die Nachweise des sommerlichen Wärmeschutzes nur für beheizte bzw. für klimatisierte Aufenthaltsräume zu erbringen, beispielsweise für Wohn- und Schlafräume, Büros und Sonstige. Dies schließt Flure, Treppenhäuser, Lagerräume und Ähnliche aus.²³¹ Der Nachweis ist für die kritischen Räume des Gebäudes zu erbringen.²³² Als kritischer Raum wird ein Raum mit der höchsten Wärmeeinstrahlung im Sommer bezeichnet.²³³ Da sich die Nachweisverfahren neben dem reinen Nachweis eines vorhandenen, wirksamen Wärmeschutzes auch dazu eignen, um die Verbesserung des sommerlichen

²²⁶ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 18 - 19.

²²⁷ Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 5.

²²⁸ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 5; vgl. Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 1.

²²⁹ Plathner o. J., S. 3.

²³⁰ Vgl. Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 1.

²³¹ Vgl. Müller 2019, o. S.

²³² Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 5.

²³³ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 90.

Wärmeschutzes von Bestandsgebäuden aufzuzeigen und nachzuweisen, sind diese wichtiger Bestandteil der Arbeit.

Um einen baulichen sommerlichen Wärmeschutz ausreichend gewährleisten zu können, ist die Einhaltung der Anforderungen der DIN 4108-2 erforderlich. Hierzu sollten folgende Randbedingungen eingehalten und in die Berechnung mit einbezogen werden: Die Raumtemperatur sollte 20 °C für Heizzwecke betragen und für die Berechnungen angenommen werden.²³⁴ Die Anforderungen unterscheiden für Deutschland zwischen drei verschiedenen Sommerklima-Regionen A, B und C, d. h. zwischen sommerkühlen, gemäßigten und sommerheißen Gebieten, wie in der Abbildung 10 und in Tabelle 2 abgebildet ist.²³⁵ Wenn die Raumtemperatur mehr als 23 °C beträgt, kann laut Anforderung die Erhöhung der Luftwechselrate während der Aufenthaltszeit auf $n = 3 \text{ h}^{-1}$ erfolgen. Der Anteil des Fensterrahmens soll mit 30 % angenommen werden und die Fensterfläche soll durch die lichten Rohbaumaße ermittelt werden. Die Ermittlung der Nettogrundfläche des zu betrachtenden Raumes soll ebenfalls mittels der lichten Innenraummaße erfolgen. Die rechnerisch zu ermittelnde Raumtiefe soll eine Beschränkung durch die dreifache Raumhöhe erfahren.²³⁶ Die Vielzahl der Anforderungen und die „Vielzahl von Parametern (Fassadenorientierung, Fenstergröße, Bauart des Gebäudes, etc.) und [der] Einfluss von Glas und Sonnenschutz auf den g_{tot} -Wert“²³⁷ lässt erahnen, dass sich eine genaue Planung komplex gestaltet. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Zusammenspiel von Sonnenschutz und Verglasung und die damit einhergehende Komplexität bei der Planung. Bei dem g-Wert handelt es sich um den Gesamtenergiedurchlassgrad.²³⁸ Dieser dient der Erfassung der Energiedurchlässigkeit eines transparenten Bauteils, wie einer Verglasung. Der g-Wert besteht aus der Sonnenstrahlung, die direkt durchgelassen wird und aus der sekundären Wärmeabgabe, welche durch Abstrahlung und Konvektion vom Glas auf die Innenseite gelangt.²³⁹

²³⁴ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 268.

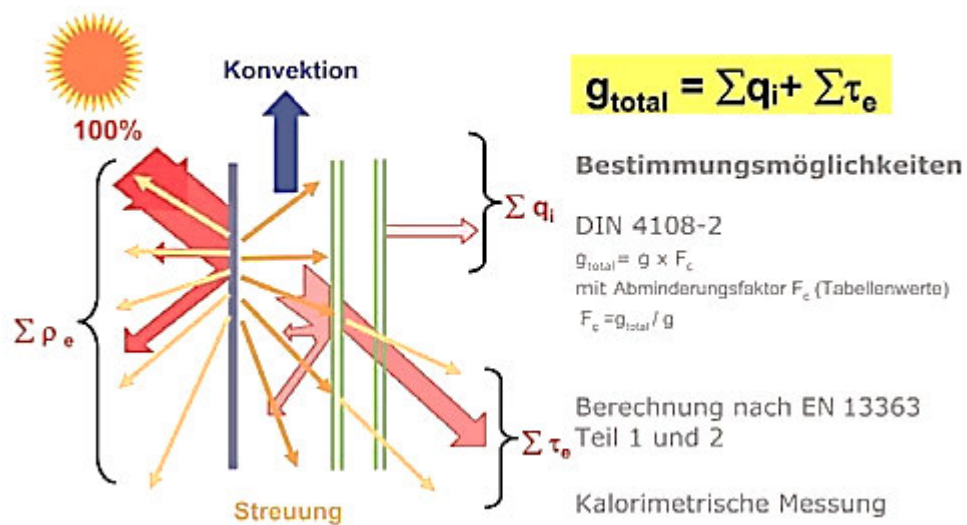
²³⁵ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 77.

²³⁶ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 268.

²³⁷ Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 1.

²³⁸ Vgl. Spitzner 2013b, S. 23.

²³⁹ Vgl. Baunetz_Wissen o. J., o. S.

Gesamtenergiedurchlassgrad g Glas und SonnenschutzAbbildung 19: g -Wert im Zusammenspiel von Sonnenschutz und Verglasung²⁴⁰

Der Gesamtenergiedurchlassgrad einer Sonnenschutzvorrichtung kann in Kombination mit einer bekannten Verglasungsgröße mittels eines vereinfachten Verfahrens bewertet werden. Zur Durchführung der Bewertung bedarf es neben der Bekanntheit des g -Wertes und des U -Wertes der Kenntnis des Strahlungstransmissions- und des Strahlungsreflexionsgrades des Sonnenschutzes.²⁴¹ Bei dem U -Wert handelt es sich um den Wärmedurchgangskoeffizient U . Dieser gibt Auskunft über die Wärmemenge in Watt, „die durch 1 m² eines Bauteils zur kalten Außenluft bzw. von der warmen Außenluft zur kühlen Raumluft hindurchgeht.“²⁴² Mit dem U -Wert wird der Transmissionswärmeverlust bei Einzelbauteilen und Gebäudeumfassungsflächen ermittelt. Ein niedriger U -Wert ist Ausdruck für einen geringen Wärmeverlust.²⁴³ Ein Energiedurchlass bzw. Wärmegewinn von 100 % wird mit einem g -Wert von 1 ausgedrückt.²⁴⁴ Ermittelt wird der g -Wert mit der folgenden Formel:

$$g_{total} = g \cdot F_c,$$

wobei der Abminderungsfaktor der Sonnenschutzvorrichtung mit F_c bezeichnet wird.²⁴⁵ Um ein Beispiel zu nennen, beträgt das Maximum des U_w -Wertes für Fenster 1,3 W/(m²K) und das Maximum des g -Wertes für die Verglasung, welcher den Anteil des

²⁴⁰ Spitzner 2013b, S. 23.

²⁴¹ Vgl. Plathner o. J., S. 4.

²⁴² Bounin et al. 2010, S. 238.

²⁴³ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 238.

²⁴⁴ Vgl. Baunetz_Wissen o. J., o. S.

²⁴⁵ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 269.

einfallenden Sonnenlichts beschreibt, 0,6.²⁴⁶ Die Werte für moderne Dreifachverglasungen liegen bei ca. 0,55, während der Wert für herkömmliches, unbeschichtetes Glas einen g-Wert von etwa 0,85 aufweist. Dieser Wert gibt an, dass von der gesamten einfallenden Energie, etwa 85 % hinter die Glasscheibe in den Raum gelangen kann.²⁴⁷ Der Wert des Gesamtenergiedurchlassgrades kann aus Tabellen (wie Tabelle 7) entnommen werden.²⁴⁸

Verglasung	g
Doppelverglasung	0,75
Wärmeschutzverglasung mit selektiver Beschichtung	0,50 – 0,70
Dreifachverglasung, normal	0,60 – 0,70
Dreifachverglasung mit 2-fach selektiver Beschichtung	0,35 – 0,50
Sonnenschutzverglasung	0,20 – 0,50

Tabelle 7: Gesamtenergiedurchlassgrade g von Verglasungen nach DIN V 4108-6: 2003-06, Tabelle 6²⁴⁹

Die Abminderungsfaktoren können ebenfalls aus verfügbaren, zulässigen Quellen abgelesen werden, wie beispielsweise aus der Tabelle 22 und aus der nachfolgenden Tabelle 8.

Beschaffenheit der Sonnenschutzvorrichtung	Zweifach Sonnenschutzglas	Dreifach Wärmedämmglas	Zweifach Wärmedämmglas
	Abminderungsfaktor F_c		
Ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,00	1,00	1,00
Innenliegend oder zwischen den Scheiben liegend – weiß oder hochreflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz	0,65	0,70	0,65
Außen liegend – Fensterläden, Rollläden, $\frac{3}{4}$ geschlossen	0,35	0,30	0,30
Außen liegend – Jalousie und Raffstore; drehbare Lamellen, 45° Lamellenstellung	0,30	0,25	0,25
Außen liegend – Markise, parallel zur Verglasung	0,30	0,25	0,25

Tabelle 8: Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit von der Glasart²⁵⁰

²⁴⁶ Vgl. Baunetz_Wissen o. J., o. S.; vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 17.

²⁴⁷ Vgl. Baunetz_Wissen o. J., o. S.

²⁴⁸ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 269.

²⁴⁹ In Anlehnung an Bounin et al. 2010, S. 269.

²⁵⁰ Maas 2016, S. 15.

Da der F_c -Wert „von der Kombination aus Glas und Sonnenschutz abhängt“²⁵¹, sind die individuellen Herstellerangaben für die Berechnung des g_{tot} -Wertes besser geeignet als die in der Tabelle 7 der DIN 4108-2 angegebenen Abminderungsfaktoren F_c . Durch die Nutzung dieser Anhaltswerte kann es zu Abweichungen von rund 20 % kommen.²⁵²

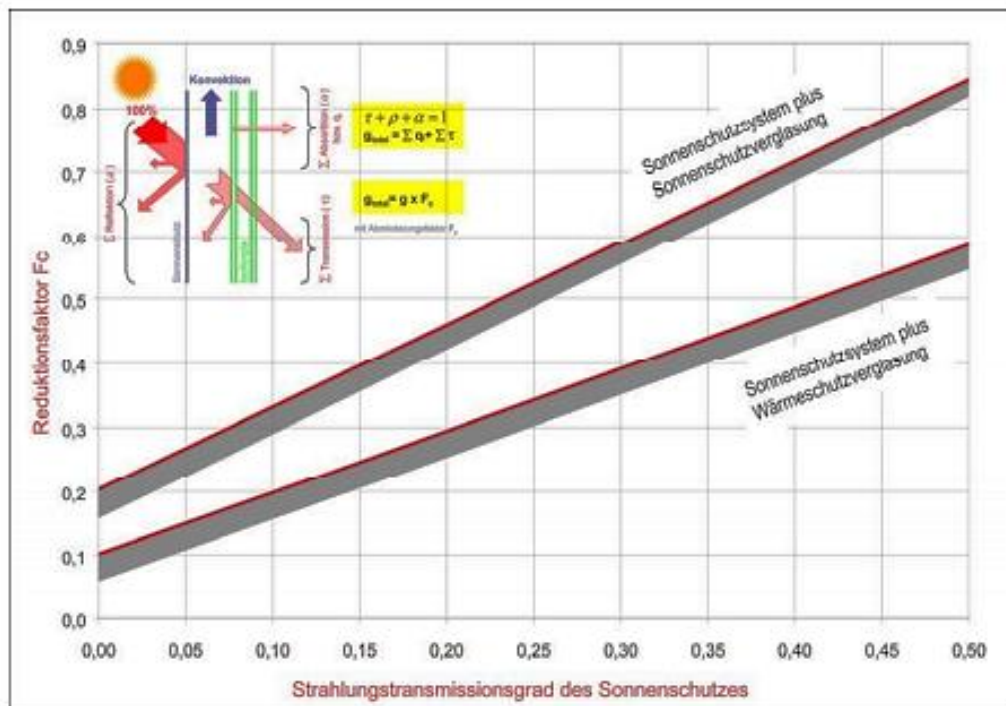


Abbildung 20: F_c -Wert im Zusammenspiel von Sonnenschutz und Verglasung²⁵³

Die Abbildung 20 zeigt die unterschiedlichen Auswirkungen eines Sonnenschutzsystems in Verbindung mit einer Sonnenschutz- bzw. Wärmeschutzverglasung auf den Strahlungstransmissionsgrad je nach F_c -Wert. Abweichungen können hier zu ungenauen Ergebnissen führen.²⁵⁴

Während die Anwendung des vereinfachten Nachweisverfahrens für einfache Gebäude und Wohnungsbauten ausreicht, ist die Gebäudesimulation bzw. das differenzierte Nachweisverfahren meist bei Nichtwohnungsbauten notwendig.²⁵⁵ Und auch bei „Wintergärten, Pufferzonen, Doppelfassaden oder Transparente[n] Wärmedämmsysteme[n] (TWD)“²⁵⁶ kommt die dynamische Simulationsberechnung zum Einsatz, da das Sonnen-

²⁵¹ Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 4.

²⁵² Vgl. Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 4.

²⁵³ Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 4.

²⁵⁴ Vgl. Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 4.

²⁵⁵ Vgl. Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 1.

²⁵⁶ Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 77.

eintragskennwertverfahren dort an seine Grenzen stößt.²⁵⁷ Für diese Berechnungen werden komplexe Software-Programme benötigt, welche in der Anwendung sehr aufwendig sind und daher nur in besonderen Fällen zum Einsatz kommen.²⁵⁸ Aufgrund der Anwendbarkeit und des Fokus der Arbeit auf Wohnungsbauten, soll im Folgenden verstärkt auf das vereinfachte Nachweisverfahren eingegangen werden, während das differenzierte Nachweisverfahren nur kurz vorgestellt werden soll.

4.2.1 Das vereinfachte Nachweisverfahren

Bei dem vereinfachten Nachweisverfahren handelt es sich um ein Verfahren, das den höchstzulässigen Sonneneintragskennwert ermittelt, um gemessen an diesem Wert, den Nachweis eines wirksamen Sonnenschutzes zu erbringen.²⁵⁹

Der Sonneneintragskennwert S kennzeichnet die Energiedurchlässigkeit von transparenten Außenbauteilen.²⁶⁰ Im Rahmen des Verfahrens werden der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} und der zulässige Wert S_{zul} ermittelt und anschließend miteinander verglichen.²⁶¹ Hierzu wird der zulässige Sonneneintragskennwert S_{zul} auf Grundlage der Fensterflächenanteile im Verhältnis zur Raumgrundfläche, des Gesamtenergiedurchlassgrades der Verglasung, der Orientierungen und Neigungen der Fenster, der Lüftungen, der internen Wärmequellen und der Sonnenschutzvorrichtungen für die kritischen Räume berechnet.²⁶² Auch die Klimaregion und die Bauart finden in dieser Berechnung Beachtung.²⁶³ Unterschiede in der Orientierung und der Art der Fenster stellen für die Rechnung kein Problem dar und können in diese einbezogen werden.²⁶⁴ „Der auf Grund der Planungsvorgaben vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} darf den orts- und bauartbezogenen, zulässigen Höchstwert S_{zul} nicht überschreiten“²⁶⁵, um die zumut-

²⁵⁷ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 77.

²⁵⁸ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 80.

²⁵⁹ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 5.

²⁶⁰ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 268.

²⁶¹ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 5.

²⁶² Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 5; vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 77.

²⁶³ Vgl. Maas 2016, S. 15.

²⁶⁴ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 5.

²⁶⁵ Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 5.

baren Temperaturen in Wohngebäuden im Sommer nicht zu überschreiten, bei gleichzeitiger Vermeidung von Anlagentechnik zu Kühlzwecken.²⁶⁶

Der Wert S_{zul} ergibt sich aus der Summe der genannten Einflüsse bzw. aus der Summe der anteiligen Sonneneintragskennwerte S_x (Tabelle 9), welche in der Berechnung durch Zuschlagswerte Berücksichtigung finden. Bei S_{zul} handelt es sich um den Maximalwert, welcher eingehalten werden muss, um die Kriterien eines wirksamen sommerlichen Wärmeschutzes zu erfüllen.²⁶⁷ Eine beispielhafte Berechnung wird in Kapitel 6.3.2 durchgeführt.

	Gebäuelage, Bauart, Fensterneigung, Orientierung	Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x
1	Klimaregion: Klimaregion A Klimaregion B Klimaregion C	0,04 0,03 0,015
2	Bauart: leichte: ohne Nachweis von C_{wtk}/A_G^a mittlere: $50 \text{ Wh}/(\text{K}\cdot\text{m}^2) \leq C_{wtk}/A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ schwere: $C_{wtk}/A_G \geq 130 \text{ Wh}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$	$0,06 f_{gew}^b$ $0,10 f_{gew}^b$ $0,115 f_{gew}^b$
3	Wenn erhöhte Nachtlüftung $n \geq 1,5 \text{ h}^{-1}$: bei leichter und mittlerer Bauart bei schwerer Bauart	0,02 0,03
4	Sonnenschutzverglasung, -vorrichtung $g \geq 0,4$	0,03
5	Fensterneigung: von 0° bis 60° gegenüber Horizontalen	$-0,12 f_{neig}^c$
6	Orientierung: Nord-, Nordost-, Nordwest-orientierte Fenster oder vom Gebäude selbst verschattete	$0,10 f_{nord}^d$

^a C_{wtk} = wirksame Wärmespeicherfähigkeit (siehe Kapitel 3.4.1)
 A_G = Nettogrundfläche des Raumes (lichte Maße)
^b $f_{gew} = (A_W + 0,3 A_{AW} + 0,1 A_D)/A_G$
 f_{gew} = gewichtete Außenfläche
 A_W = Fensterfläche
 A_{AW} = Außenwandfläche
 A_D = Dach- oder Deckenflächen nach oben oder unten
^c $f_{neig} = \text{geneigte Fensterfläche } A_{W,neig}/A_G$
^d $f_{nord} = A_{W,nord}/A_{W,ges}$ ($A_{W,ges}$ = Gesamte Fensterfläche)

Tabelle 9: Anteilige Sonneneintragskennwerte S_x zur Bestimmung des zulässigen Höchstwertes des Sonneneintragskennwertes S_{zul} nach DIN 4108-2: 2003-07²⁶⁸

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gilt bereits als erfüllt, wenn der Fensterflächenanteil des betrachteten Raumes die in Tabelle 6 angegebenen Grenzwerte unterschreitet.²⁶⁹ „Im Falle von Wohngebäuden, bei denen der kritische Raum einen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 35 Prozent nicht überschreitet und deren Fenster in Ost-, Süd- oder Westorientierung (inklusive derer eines Glasvorbaus) mit

²⁶⁶ Vgl. Maas 2016, S. 15.

²⁶⁷ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 77.

²⁶⁸ Bounin et al. 2010, S. 270.

²⁶⁹ Vgl. Maas 2016, S. 15.

außen liegenden Sonnenschutzvorrichtungen mit einem Abminderungsfaktor $F_c \leq 0,30$ bei Glas mit $g > 0,40$ (Wärmedämmglas) bzw. $F_c \leq 0,35$ bei Glas mit $g \leq 0,40$ (Sonnenschutzglas) ausgestattet sind, kann ebenfalls auf einen Nachweis verzichtet werden.“²⁷⁰

Wie angedeutet, muss für den kritischen Raum oder den ausgewählten Raumbereich, welcher auf sommerliche Überhitzung und Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes überprüft werden soll, zunächst der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} ermittelt werden.²⁷¹ Hierfür gilt folgende Formel:

$$S_{\text{vorh}} = \sum \frac{A_{w,j} \cdot g_{\text{total},j}}{A_G} \quad 272$$

Die Berechnung von g_{total} wurde bereits im Kapitel 4.2 beschrieben.

Sonnenschutz (2-fach-Verglasung $g = 0,6$)	F_c	S_{vorh}
Ohne Sonnenschutz	1,00	0,156
Innenliegender Sonnenschutz	0,85	0,133
Sonnenschutz, dunkle Farben		
Sonnenschutz, helle Farben	0,75	0,117
Sonnenschutz, hoch reflektierend	0,65	0,101
Außenliegender Sonnenschutz	0,50	0,078
Vordächer und Markisen		
Fensterläden und Rollläden	0,30	0,047
Jalousien und Raffstores	0,25	0,039

Sonnenschutz (3-fach-Verglasung $g = 0,5$)	F_c	S_{vorh}
Ohne Sonnenschutz	1,00	0,130
Innenliegender Sonnenschutz	0,90	0,117
Sonnenschutz, dunkle Farben		
Sonnenschutz, helle Farben	0,80	0,104
Sonnenschutz, hoch reflektierend	0,70	0,091
Außenliegender Sonnenschutz	0,50	0,065
Vordächer und Markisen		
Fensterläden und Rollläden	0,30	0,039
Jalousien und Raffstores	0,25	0,033

Tabelle 10: Vorhandene Sonneneintragskennwerte bei einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 26 %²⁷³

Die abgebildete Tabelle soll beispielhaft vorhandene Sonneneintragskennwerte aufzeigen für ein Gebäude mit einem, in diesem Beispiel, grundflächenbezogenen Fenster-

²⁷⁰ Maas 2016, S. 15.

²⁷¹ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 77; vgl. Maas 2016, S. 15.

²⁷² Maas 2016, S. 15.

²⁷³ In Anlehnung an Müller 2019, o. S.

flächenanteil von 26 %.²⁷⁴ Eine feste Installation der Sonnenschutzvorrichtungen sollte grundsätzlich erfüllt sein. Diese Sonnenschutzmaßnahmen können bei der Berechnung mit pauschalen F_c -Werten berücksichtigt werden, welche in der Tabelle 7 der DIN 4108-2 angegeben sind.²⁷⁵

Es gilt, dass der Wert S_{vorh} den maximal zulässigen Höchstwert S_{zul} nicht überschreiten darf, d. h.:

$$S_{\text{vorh}} \leq S_{\text{zul}}.^{276}$$

Um beispielhaft mögliche, zulässige Sonneneintragskennwerte S_{zul} aufzuzeigen, werden in der nachfolgenden Abbildung die Werte S_{zul} für einen Raum in einem Wohngebäude im Beispiel einer Sommerklimaregion B ohne Nachtlüftung dargestellt.²⁷⁷

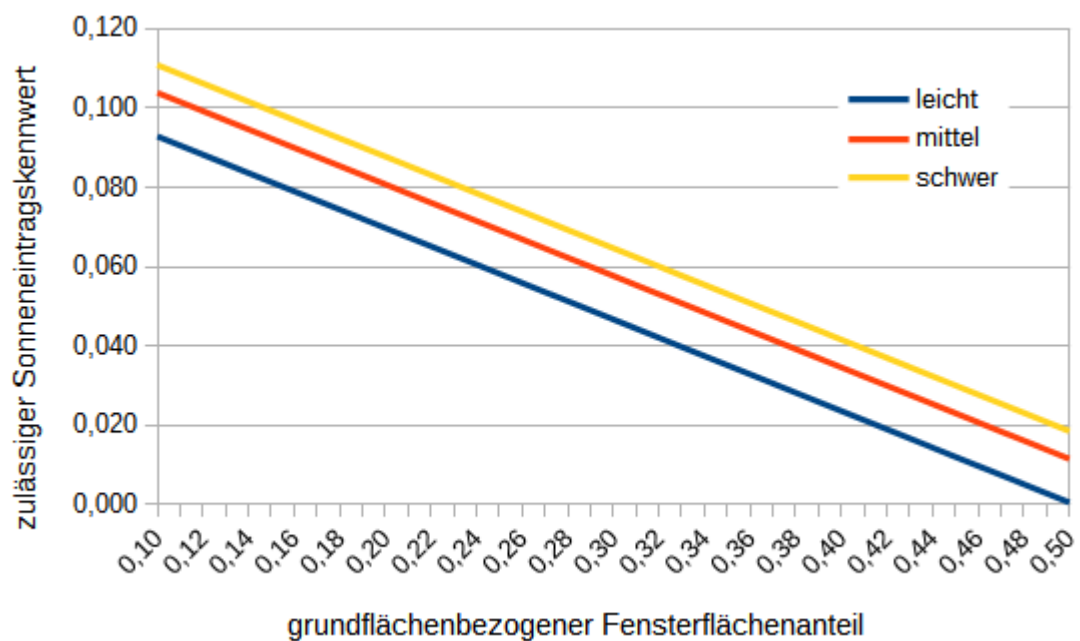


Abbildung 21: Die zulässigen Sonneneintragskennwerte für ein Wohngebäude in einer Region B ohne Nachtlüftung²⁷⁸

Das vereinfachte Verfahren zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes eines Gebäudes wird mit der Gegenüberstellung des vorhandenen Sonneneintragskennwertes S_{vorh} und dem maximal zulässigen Höchstwert S_{zul} abgeschlossen. Beim Vergleich der beiden ermittelten Werte wird ersichtlich, ob die Anforderungen des zukünftigen

²⁷⁴ Vgl. Müller 2019, o. S.

²⁷⁵ Vgl. Müller 2019, o. S.

²⁷⁶ Vgl. Maas 2016, S.15.

²⁷⁷ Vgl. Müller 2019, o. S.

²⁷⁸ Müller 2019, o. S.

Gebäudeenergiegesetzes bzw. gegenwärtig der Energieeinsparverordnung erfüllt sind und der Nachweis eines wirksamen sommerlichen Wärmeschutzes erbracht ist oder nicht.²⁷⁹

Zur Vereinfachung der Berechnung existieren mittlerweile Diagramm-Verfahren, welche konstruiert wurden, um Parameter wie beispielsweise die Fensterfläche und den g_{tot} -Wert ablesen zu können. Durch dieses vereinfachte Verfahren können sowohl der maximal zulässige Fensterflächenanteil als auch der notwendige Sonnenschutz bei einem bereits gegebenen Fensterflächenanteil ermittelt werden. Dabei werden die entsprechende Klimazone und die vorhandene Art des Sonnenschutzes berücksichtigt. Letztere wird durch den g_{tot} -Wert für die Kombination aus Glas und Sonnenschutz angegeben.²⁸⁰ „Damit lässt sich schnell und einfach der Nachweis für den sommerlichen Wärmeschutz führen.“²⁸¹

Die Abbildung 22 zeigt ein Diagramm am Beispiel eines Wohnungsbaus mit einer schweren Bauart, einer lüftungsbedingten nächtlichen Luftwechselrate von 2 h^{-1} und einem Glas mit den Werten des Gesamtenergiedurchlassgrades von $g = 0,62$ bei einem Neigungswinkel des Fensters von 90° . Die Fenster orientieren sich in diesem Beispiel von Ost über Süd bis West. Es sei keine bauliche Verschattung vorhanden. Weiterhin sei das Gebäude mit keiner passiven Kühlungsanlage ausgestattet. Vor diesen beispielhaft angenommenen Parametern wurden mittels des Diagrammes zwei Aussagen getroffen.

Zum einen wurde im ersten Ablesebeispiel der maximal zulässige Fensterflächenanteil in einer gemäßigten Region, Klimaregion B, ermittelt. Ein Sonnenschutz ist in dem Beispiel nicht vorhanden, weshalb ein F_c -Wert von 1 angenommen wird. Der Energiedurchlassgrad der Fensterverglasung beträgt 62 %. Der höchstzulässige Fensterflächenanteil beträgt in diesem Beispiel 20 % ($f_{\text{WG}} = 0,20$). Das bedeutet, dass der Anteil der Fensterflächen in der Beispielregion nicht mehr als 20 % betragen darf, um die Anforderungen der Gesetzgebung in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz zu erfüllen, wenn keine zusätzlichen Sonnenschutzvorrichtungen installiert wurden.

²⁷⁹ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 5.

²⁸⁰ Vgl. Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 5.

²⁸¹ Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 5.

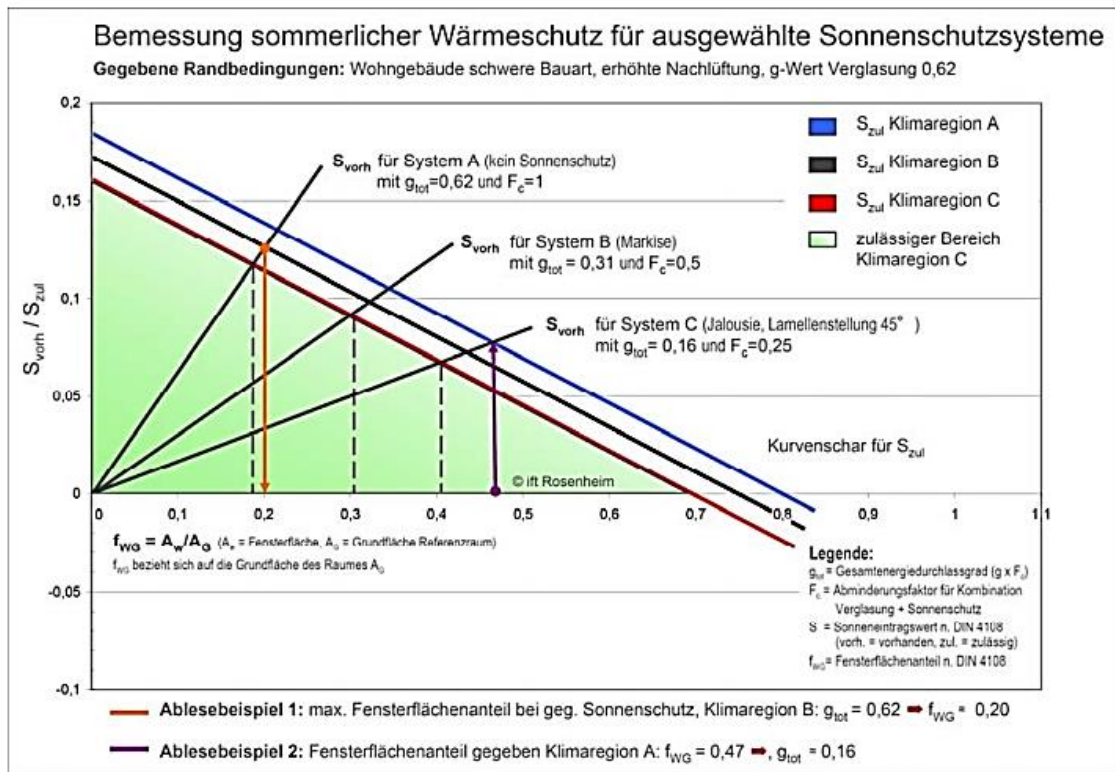


Abbildung 22: Diagramm zum grafischen Nachweis des erforderlichen Sonnenschutzes²⁸²

Im zweiten Ablesebeispiel wird ein Gebäude in der sommerkühlen Region A betrachtet, welches mit Jalousien mit einer Lamellenstellung von 45° ausgestattet ist und dessen Fenster einen Flächenanteil von $f_{WG} = 0,47$, also 47 % besitzen. Diesen Parametern zufolge ist ein Sonnenschutz notwendig, mit einem Energiedurchlassgrad von $g_{tot} = 0,16$ und einem Abminderungsfaktor F_c von 25 % für die betrachtete Klimaregion A unter Zugrundelegung des vorhandenen und zulässigen Sonneneintragskennwertes.²⁸³ Dies entspricht etwa einer normalen Dreifachverglasung mit Jalousien bzw. Lamellen. Die Ermittlung gestaltet sich nach der Formel des Gesamtenergiedurchlassgrades g_{total} :

$$g_{total} = g \cdot F_c$$

$$g_{total} = 0,65 \cdot 0,25$$

$$\underline{\underline{g_{total} = 0,16}}$$

²⁸² Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 5.

²⁸³ Vgl. Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 5; vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 77; vgl. Bau-netz_Wissen o. J., o. S.

Die in der obigen Gleichung eingesetzten Werte für g und F_c wurden aus Tabelle 7 und Tabelle 8 entnommen.²⁸⁴

An dieser Stelle soll noch eine Anmerkung zur Bauart erfolgen. „Bei Wohngebäuden sowie wohnähnlich genutzten Gebäuden ist davon auszugehen, dass bei Ausführung der Außen- und Innenwände in Mauerwerk aus Stein mit der Rohdichteklasse $\geq 1,8$ sowie Stahlbetondecken eine schwere Bauart vorliegt.“²⁸⁵ Eine schwere Bauart wirkt sich positiv auf das sommerliche Temperaturverhalten aus, wie in nachfolgender Grafik dargestellt.²⁸⁶

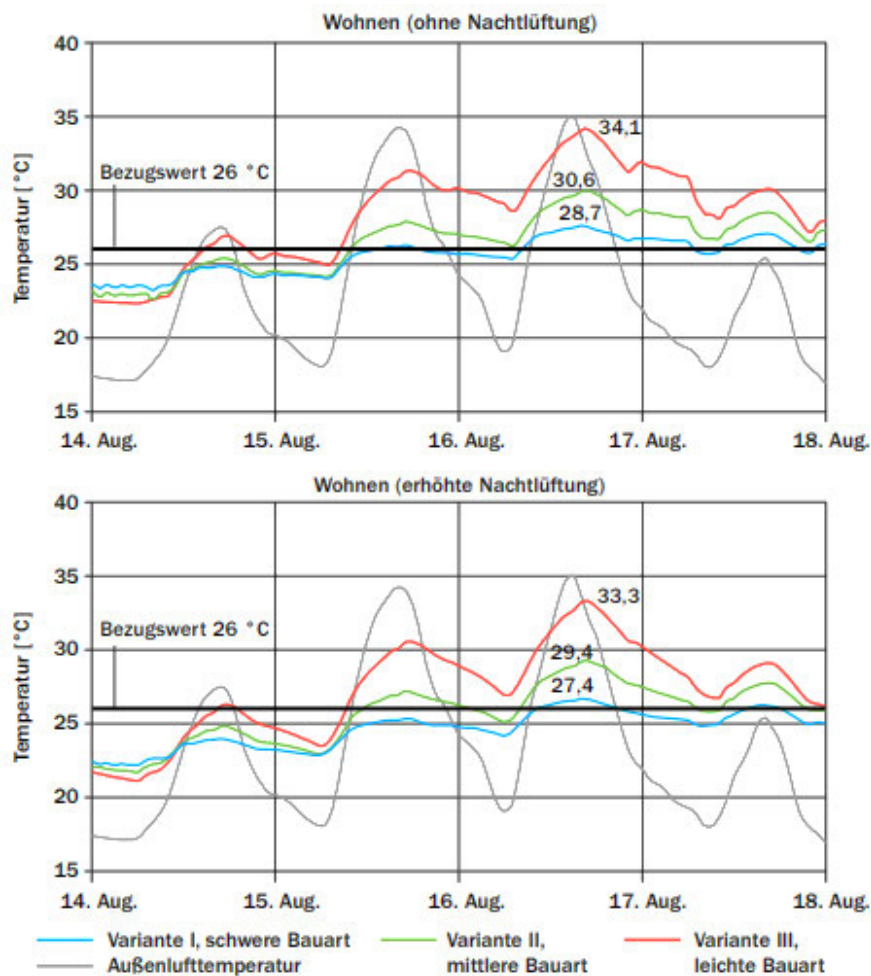


Abbildung 23: Verlauf von Außentemperatur, Bezugstemperatur und operativer Raumtemperatur der Varianten I bis III mit und ohne Berücksichtigung einer erhöhten Nachtlüftung für den Wohnbereich über eine sommerheiße Periode²⁸⁷

²⁸⁴ Eigene Berechnung; vgl. Bounin et al. 2010, S. 269.

²⁸⁵ Maas 2016, S. 15.

²⁸⁶ Vgl. Maas 2016, S. 15 – 16.

²⁸⁷ Maas 2016, S. 16.

Sind die Rohdichteklassen eines Mauerwerks geringer als 1,8 wird meist eine mittlere Bauart angenommen. Existiert kein Nachweis einer wirksamen Wärmespeicherfähigkeit, wird von einer leichten Bauart ausgegangen.²⁸⁸

Im Rahmen einer beispielhaften energetischen Sanierung eines Beispielobjekts soll im Kapitel 6.3.2 das vereinfachte Nachweisverfahren Anwendung finden.

4.2.2 Das differenzierte Nachweisverfahren

Bei dem differenzierten Nachweisverfahren handelt es sich um eine thermische Simulation.²⁸⁹ Das Ingenieurverfahren kommt zum Einsatz, wenn das vereinfachte Verfahren aufgrund der Komplexität des Gebäudes nicht mehr ausreichend zur Erbringung des Nachweises eines sommerlichen Wärmeschutzes geeignet ist.²⁹⁰ Die thermische Simulation ist im Vergleich zum Sonneneintragskennwertverfahren auch für spezifische, unterschiedliche sowie für architektonische Bauweisen geeignet.

Das differenzierte Nachweisverfahren betrachtet die Temperaturentwicklung in einem Raum oder Gebäude in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs von äußeren Faktoren. Berücksichtigung finden in diesem Verfahren „die Außentemperatur, der Einfluss der Solarstrahlung, der Luftaustausch zwischen Innenraum und Außenumgebung, die Bauteilkonstruktionen der thermischen Hülle sowie die internen Wärmelasten.“²⁹¹ Wie beim Sonneneintragskennwertverfahren auch, bezieht sich die thermische Simulation auf einen kritischen Raum. Je nach Lage wird der Raum mit seinen Außenwänden und den Umfassungsflächen berechnet. Ziel des Simulationsverfahrens ist es, im Sommer die Kühllast und im Winter die Heizlast zur Einhaltung der maximalen bzw. der minimalen Raumtemperatur zu berechnen. Weiterhin soll die zeitliche Entwicklung der Temperaturen im Rauminneren berechnet werden, sodass entsprechende Maßnahmen zur Gewährleistung des sommerlichen Wärmeschutzes geplant und ergriffen werden können. Im Verlauf eines Jahres mit insgesamt 8.760 betrachteten Stunden kann der Nachweis durch das thermische Simulationsverfahren erbracht werden. Ein erfolgreicher Nachweis beinhaltet die Einhaltung des Anforderungswertes von Übertemperaturgradstunden im

²⁸⁸ Vgl. Maas 2016, S. 15 – 16.

²⁸⁹ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 5.

²⁹⁰ Vgl. Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 1; vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 5.

²⁹¹ Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 20.

betrachteten, zeitlichen Rahmen. Für Wohngebäude bedeutet dies, dass die Gradtagzahl nicht mehr als 1.200 Kh/a betragen darf. Die Übertemperaturgradstunden betragen in Innenräumen je nach Sommerklimaregion A bis C zwischen 25 °C und 27 °C, was in Abbildung 10 und in Tabelle 2 abgebildet ist. Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Empfindungstemperaturen bzw. um operative Innentemperaturen. „Diese operativen Temperaturen werden gem. DIN 4108-2:2013 Punkt 3.1.7 über den Mittelwert der Raumtemperaturen und die flächenanteilig gemittelten Oberflächentemperaturen der raumumschließenden Oberflächen bestimmt.“²⁹² Die Außentemperaturen und die Solarstrahlung werden nach den tatsächlichen Klimabedingungen und den Testreferenzjahren angenommen.²⁹³ Das Vorgehen der Methode gestaltet sich im Grunde folgendermaßen:

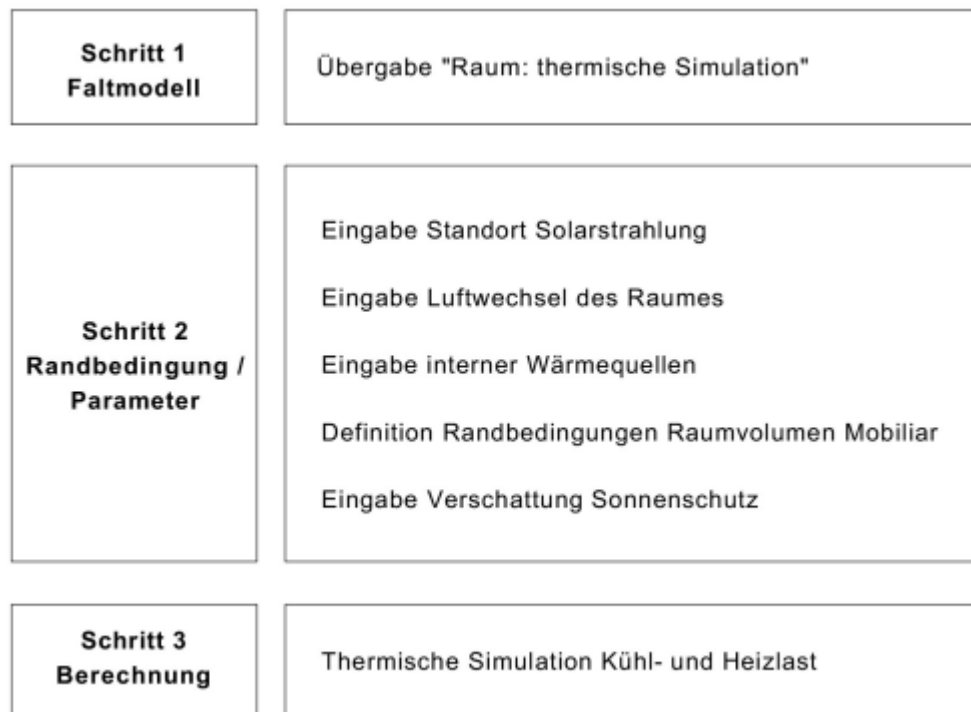


Abbildung 24: Allgemeines Vorgehen des differenzierten Nachweisverfahrens²⁹⁴

Die Temperaturentwicklung im Raum wird in kleinen Abschnitten über einen mehrtägigen oder mehrwöchigen Zeitraum berechnet. „Die Raumtemperatur zum Zeitpunkt x+1 ergibt sich aus der Temperatur zum Zeitpunkt x zuzüglich der zu- oder abströmenden Wärmemenge aus Konvektion und Strahlung an den inneren Bauteiloberflächen, dem Wärmestrom aus internen Wärmequellen und dem Wärmetransport über den Luft-

²⁹² Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 21.

²⁹³ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 20 - 21.

²⁹⁴ Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 22.

austausch.²⁹⁵ Für einen Tag werden für den Luftaustausch und interne Gewinne insgesamt 24 Stundenwerte beschrieben. Diese Abarbeitung erfolgt für jeden Betrachtungstag wiederholt, bis ausreichend Datensätze vorliegen.²⁹⁶

Dabei fließen in die thermische Simulation folgende Randbedingungen individuell in die Berechnungen mit ein: Die Bauteilmasse sowie die Wärmespeicherefähigkeit, die Ausführung der Fassade, der Anteil der Fensterflächen, die Art der Verglasung und der vorhandene Sonnenschutz. Weiterhin sind für die Simulation auch die vorherrschenden Innenlasten und der Umfang, in welchem die natürliche Belüftung einer Immobilie stattfindet, von Bedeutung.²⁹⁷ Wie in der obigen Abbildung zu sehen, werden für die thermische Simulation zunächst die Raumflächen sowie das Raumvolumen ermittelt und in einem zweiten Schritt werden die Randbedingungen definiert und in einer geeigneten Software mit Hilfe von Parametern eingestellt. Es muss außerdem aufgrund der unterschiedlichen Nutzungsdauer zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden unterschieden werden. Auch der geografische Standort ist für die Berechnung notwendig und muss in eine der Klimaregionen A bis C eingeteilt werden. Anschließend wird die Simulation der Luftwechsellzahlen vorgenommen sowie die Berechnung der internen Wärmequellen durch Wärmeinträge, beispielsweise von Personen und Beleuchtung. Anschließend werden die Sonnenschutzvorrichtungen in die Simulation mit aufgenommen. „Für ein Wohngebäude kann man von einem strahlungsabhängig gesteuerten Sonnenschutz gemäß DIN 4108 Teil 2 ausgehen, denn die Raumnutzer werden die Sonnenschutzvorrichtungen (SSV) aktivieren, wenn es zu warm wird.“²⁹⁸ Die Steuerung kann dabei strahlungsabhängig oder statisch sein. Zudem müssen die allgemeinen bzw. die bauteilbezogenen F_c -Werte definiert werden.²⁹⁹ Der F_c -Wert beschreibt die Abminderungsfaktoren für die Sonnenschutzvorrichtungen.³⁰⁰ Weiterhin können in die Berechnung Bauteilparameter einbezogen werden.

Abschließend erfolgt die Berechnung für das Zeitintervall, in welchem die Simulation stattfinden soll.³⁰¹ Die simulierten und ermittelten Übertemperaturgradstunden geben Aufschluss über das sommerliche Gebäudeverhalten und darüber, ob die Zielvorgabe

²⁹⁵ Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 21.

²⁹⁶ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 21.

²⁹⁷ Vgl. Deutscher et al. 2000, S. 115.

²⁹⁸ Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 31.

²⁹⁹ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 22 – 31.

³⁰⁰ Vgl. Maas 2016, S. 15.

³⁰¹ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 32 – 40.

aus Tabelle 9 der DIN 4108-2: 2013-02 Abschnitt 8.4 unter Beachtung der dort genannten Randbedingungen, welche für den Gebäudestandort gelten, eingehalten wird.³⁰² „Die Norm definiert Grenzwerte für die jährlich akzeptierten Übertemperaturgradstunden und die wichtigsten Randbedingungen für die thermische Simulation, wie Nutzungszeiten, Außenklimabedingungen nach Klimaregionen, Ansatz für interne Wärmelasten, Luftwechselzahlen, erhöhter Tag- / Nachtluftwechsel, Verschattungseinflüsse.“³⁰³ Wenn die operative Raumtemperatur eine Stunde lang die maximal zulässige Raumtemperatur mit genau 1°K übersteigt, entsteht eine Übertemperaturgradstunde.³⁰⁴ Anhand der Stundenanzahl, in der die Raumtemperatur die maximal zulässige operative Raumtemperatur übersteigt, wird der sommerliche Wärmeschutz bewertet.³⁰⁵ „Die thermische Gebäudesimulation liefert [dabei] im Gegensatz zum Regelverfahren bessere Informationen, zum Beispiel zur Höhe, Dauer und zum jahreszeitlichen Auftreten von Überhitzungen. Eingangsparameter können viel genauer definiert und damit bessere, meist günstigere Ergebnisse erzielt werden.“³⁰⁶

Die folgende Abbildung 25 soll beispielhaft einen thermischen Simulationsverlauf darstellen. Sie zeigt im oberen Bereich die Entwicklung der Außentemperatur und die Direkt- und Diffusstrahlung auf das ausgewählte Bauteil (zu sehen rechts unten in der Grafik).³⁰⁷ Unter diffuser Strahlung versteht man die indirekte Strahlung, welche an Wolken und der Umgebung reflektiert wird.³⁰⁸

Links unten ist eine Detailgrafik zu sehen, welche die Entwicklung der Temperatur des ausgewählten Bauteils und der entsprechenden Außenwand aufzeigt.³⁰⁹ Bei dem betrachteten Element handelt es sich um ein südlich ausgerichtetes Fenster mit einer Fläche von 7,9 m² und einem U_w-Wert von 1,35 W/(m²K). Ziel der thermischen Simulation ist es, die jährlich auftretenden Übertemperaturgradstunden sowie den zeitlichen Verlauf der Raumtemperaturen zu ermitteln und anschließend, falls notwendig, durch ent-

³⁰² Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte 2019, S. 40; vgl. Deutscher et al. 2000, S. 114; vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 19.

³⁰³ Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte o. J., S. 2.

³⁰⁴ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte o. J., S. 2.

³⁰⁵ Vgl. Hegger et al. 2007, S. 95.

³⁰⁶ Kern 2019, S. 2.

³⁰⁷ Vgl. Kern 2019, S. 1.

³⁰⁸ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte o. J., S. 4.

³⁰⁹ Vgl. Kern 2019, S. 1.

sprechende Maßnahmen zu begrenzen.³¹⁰ Im Falle des südlich ausgerichteten Fensters eignen sich Sonnenschutzvorrichtungen, wie beispielsweise Jalousien, Raffstores und Rollläden, um die starke Temperaturentwicklung auf dem Bauteil und somit auch innerhalb des Raumes zu begrenzen bzw. zu reduzieren.

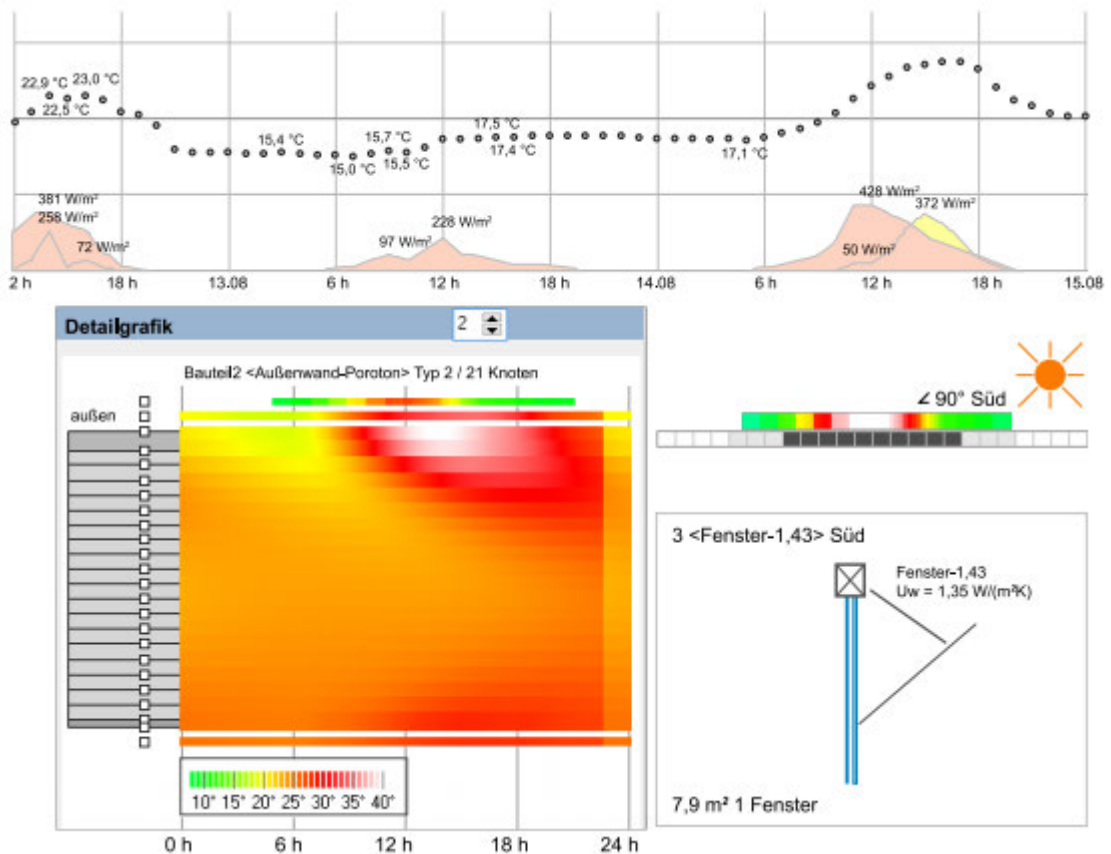


Abbildung 25: Momentaufnahme der Temperaturentwicklung im Simulationsverlauf³¹¹

Abschließend kann gesagt werden, dass das vereinfachte und das differenzierte Nachweisverfahren in der Regel zu relativ ähnlichen Ergebnissen kommen. Die Anwendung dieser beiden Verfahren zum Nachweis eines wirksamen sommerlichen Wärmeschutzes im Gebäude ist wichtig für Mensch und Umwelt, besonders vor dem Hintergrund des Klimawandels. Aufgrund des Aspekts der derzeitigen und kommenden Klimasituation sind mittlerweile tendenziell effektivere Sonnenschutzmaßnahmen erforderlich, als dies noch zu früheren Zeiten der Fall war. Um den Sonnenschutz so effektiv wie möglich gestalten und in Bestandsgebäuden verbessern zu können, sollen neben außenliegenden Sonnenschutzmaßnahmen auch andere geeignete Dämmmaterialien betrachtet und hinsichtlich ihrer Eigenschaften im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz

³¹⁰ Vgl. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software und KERN ingenieurkonzepte o. J., S. 1; vgl. Kern 2019, S. 1.

³¹¹ Kern 2019, S. 1.

bewertet werden.³¹² Dies soll im folgenden Kapitel erfolgen, indem zunächst die allgemeinen Anforderungen an die Bautechnik einer Immobilie zur Sicherstellung eines sommerlichen Wärmeschutzes betrachtet werden. Anschließend soll sich dann den angesprochenen Dämmstoffen gewidmet werden.

³¹² Vgl. Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 2.

5 Die wärmeschutztechnischen Anforderungen an die Bausubstanz

„Gebäude müssen als klimatisch regulierendes System auch im Sommer möglichst behagliche Innenraumtemperaturen sicherstellen. Im Mittelpunkt steht dabei die Gebäudehülle, deren Konstruktion und Materialien so abgestimmt werden können, dass eine Überhitzung auch ohne aufwendige technische Systeme vermieden wird.“³¹³ Das bedeutet, dass vor dem Hintergrund des Klimawandels und der Energieeinsparung der bauliche Wärmeschutz sowie passive Sonnenschutzmaßnahmen im Vordergrund stehen. So auch in dieser Arbeit. Aktive Wärmeschutzmaßnahmen durch Kühlleistungen, wie Klimaanlageanlagen, sollen in dieser Bachelorarbeit vor dem Hintergrund des Klimawandels und den Zielen der Energieeinsparung keine Beachtung finden.³¹⁴

5.1 Die bauphysikalischen und bautechnischen Anforderungen im Überblick

Ob ein Gebäude gegen die sommerlichen Temperaturen geschützt ist, hängt davon ab, inwiefern die Anforderungen an die raumumschließenden Einzelbauteile erfüllt wurden. Bei den bautechnischen Anforderungen handelt es sich um Mindestanforderungen, welche das Gebäude vor Überhitzung aufgrund von externen und internen Wärmequellen schützen sollen. Weiterhin zielen die Anforderungen auf ein hygienisch einwandfreies Klima, ausreichenden Feuchteschutz und somit Schutz vor Bauteilschäden und auf einen verringerten Energieverbrauch von Heizungen und Klimaanlageanlagen in Immobilien ab.³¹⁵ Erstrebenswert ist ein optimaler baulicher Wärmeschutz. Dieser kann je nach Qualität über die Mindestanforderungen hinaus gehen, von einem energiesparenden Wärmeschutz, bei dem die Forderungen der Energieeinsparverordnung eingehalten werden, hin zu einem hohen Wärmeschutz oder zu einem qualitativ sehr hohen Wärmeschutz, welchen Passivhäuser aufweisen.³¹⁶ Neben dem Schutz vor Bauteilschäden, Schimmelbildung und dem Schutz der Gesundheit der Gebäudenutzer durch eine hygienisch und behaglich einwandfreie Situation des Raumklimas, werden auch energetische Mindest-

³¹³ Hegger et al. 2007, S. 95.

³¹⁴ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 1; vgl. Plathner o. J., S. 1.

³¹⁵ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 238; vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 152.

³¹⁶ Vgl. KOMKO bauen o. J., S. 2.

standards definiert. Die Standards streben eine energiesparende Bausubstanz an, um im Winter die Notwendigkeit von Energie zum Heizen und im Sommer die Energie zum Kühlen durch die Beanspruchung einer maschinellen Kühlleistung zu vermeiden bzw. zu reduzieren. Dies hat den Hintergrund der Notwendigkeit zur Energieeinsparung (Kapitel 3.3). Der Anspruch an den sommerlichen Wärmeschutz lautet daher, die Entstehung unangenehmer Raumtemperaturen im Sommer bereits größtenteils durch die Bauweise und die Verwendung geeigneter Baustoffe zu vermeiden.³¹⁷ „Da wir in unseren Breiten die längste Zeit des Jahres bautechnisch zur Schaffung eines gesunden Raumklimas einen zeitweise sogar sehr erheblichen Wärmebedarf haben, ist es vernünftig, nach Bauweisen und Konstruktionsprinzipen zu suchen, die die Energie der größten überhaupt bekannten Wärmequelle, der Sonne, weitgehend ausnutzen, ohne die Nachteile in Kauf nehmen zu müssen, die etwa im Hochsommer durch eine zu starke Sonneneinstrahlung eintreten können.“³¹⁸ Das Problem des Sonnenschutzes kann konstruktiv und gestalterisch gelöst werden. Hierfür ist die Betrachtung der raumumschließenden Bauteile, wie der Fenster, der Außenwände und Dächer notwendig.³¹⁹

Wie qualitativ hochwertig der Wärmeschutz in den Gebäuden ausfällt, ist unter anderem abhängig von den bauphysikalischen Eigenschaften der Baustoffe und dem Wärmedurchgangskoeffizient U. Hier gilt es die zulässigen Werte nach EnEV und GEG einzuhalten.³²⁰ Zu den bauphysikalischen Faktoren, welche dazu beitragen können, die Entstehung zu hoher Temperaturen im Sommer in den Gebäuden zu vermeiden, zählen u. a. die Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen und die Wärmeleitfähigkeit nichttransparenter Außenbauteile.³²¹ Eine hohe Wärmespeicherfähigkeit, besonders von innenliegenden Bauteilen, wirkt sich positiv auf das Raumklima und den sommerlichen Wärmeschutz aus.³²² Sie gibt an, welche Wärmemengen ein Bauteil zu speichern und aufzunehmen fähig ist und fällt umso größer aus, „je mehr Masse das Bauteil besitzt und je größer seine spezifische Wärmekapazität ist.“³²³ Das Speichervermögen eines Materials wird mit der spezifischen Wärmekapazität c ausgedrückt. Besitzt ein Baustoff eine hohe wärmespeichernde Funktion, kann es durch Tageszeit, Witterung und Nutzung bedingte

³¹⁷ Vgl. Spitzner 2013a, S. 1; vgl. Spitzner 2013b, S. 25.

³¹⁸ Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 74 – 75.

³¹⁹ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 75.

³²⁰ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 238 – 239; vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 152; vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 38 und S. 98 - 102.

³²¹ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 267.

³²² Vgl. Arndt 2002, S. 23; vgl. Spitzner 2013b, S. 25.

³²³ Arndt 2002, S. 23; vgl. Arndt 2002, S. 23.

Temperaturschwankungen ausgleichen.³²⁴ Um die Raumtemperatur im Sommer zu begrenzen, sollte daher sowohl auf eine ausreichende Wärmespeicherfähigkeit als auch auf die Masse der innenliegenden Bauteile geachtet werden.³²⁵ Denn schwere Dämmstoffe wie beispielsweise „Holzfaserdämmplatten (Rohdichte > 100 kg/m³)“ können in Bereichen, die zur Überhitzung neigen (z.B. ausgebaute Dachräume), den sommerlichen Wärmeschutz durch ihr höheres Speichervermögen verbessern.³²⁶ Die Reaktion auf eine Hitzeeinwirkung fällt dagegen bei leichten Bauteilen, wie beispielsweise gedämmten Holzständer- und Dachkonstruktionen, direkter aus als bei den massiven Bauelementen.

Auch der Aufbau der Bauteile spielt neben der Art der Dämmung eine wichtige Rolle.³²⁷ Besonders günstig wirken sich in der Regel außenliegende Wärmedämmschichten und wärmespeicherfähige Schichten auf der Innenseite auf das sommerliche Raumklima aus.³²⁸ Entscheidend für einen wirksamen Wärmeschutz ist hier das Zusammenspiel aus einer ausreichend dimensionierten Wärmedämmung, einer wirksamen Dampfsperre und dem Aufbau der Bauteile. Ein Beispiel wäre eine Innenbeplankung aus einer wärmespeicherfähigen Schicht wie einer 15 mm dicken Holzwerkstoffplatte an der Außenwand und einer Lage Gipskarton.³²⁹

Für die Optimierung der Wärmedämmung ist neben der Wärmespeicherfähigkeit auch die Wärmeleitfähigkeit des Materials von Bedeutung.³³⁰ „Die Wärmeleitfähigkeit λ gibt diejenige Wärmemenge in Joule je Sekunde an, die durch eine 1 m² große Fläche eines Baustoffs von 1 m Dicke hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied zwischen beiden Oberflächen 1 Kelvin beträgt.“³³¹ Die Wärmeleitfähigkeit fällt je nach Bauteil- bzw. Stoffart unterschiedlich aus (Abbildung 26) und beschreibt den Wärmeaustausch bzw. den Wärmetransport, der zwischen den Nachbarpartikeln erfolgt.³³² „Zur Wärmeleitfähigkeit eines Dämmmaterials tragen die Wärmeleitfähigkeit des Feststoffs (z.B. Polystyrol, Stein), die Wärmeleitfähigkeit des Gases (z.B. Luft) sowie die Wärmestrahlung bei. Es wird unterstellt, dass die Konvektion des Gases durch geeignete Maßnahmen

³²⁴ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 134.

³²⁵ Vgl. Spitzner 2013b, S. 25.

³²⁶ Hegger et al. 2005, S. 134; vgl. Hegger et al. 2005, S. 134.

³²⁷ Vgl. Baunetz Wissen Dämmstoffe o. J., o. S.

³²⁸ Vgl. Spitzner 2013b, S. 25.

³²⁹ Vgl. Baunetz Wissen Dämmstoffe o. J., o. S.

³³⁰ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 29.

³³¹ Bounin et al. 2010, S. 221 - 222.

³³² Vgl. Arndt 2002, S. 22.

(Schaumstoff, Faserverbund) unterbunden wird.³³³ Des Weiteren ist die Wärmeleitfähigkeit abhängig von Schichtdicke, Feuchtegehalt und von der Wärmeleitfähigkeit der Bauteilschichten.³³⁴ Die Wärmedämmwirkung eines Bauteils ist besser, je geringer sich die Wärmeleitfähigkeit gestaltet.³³⁵

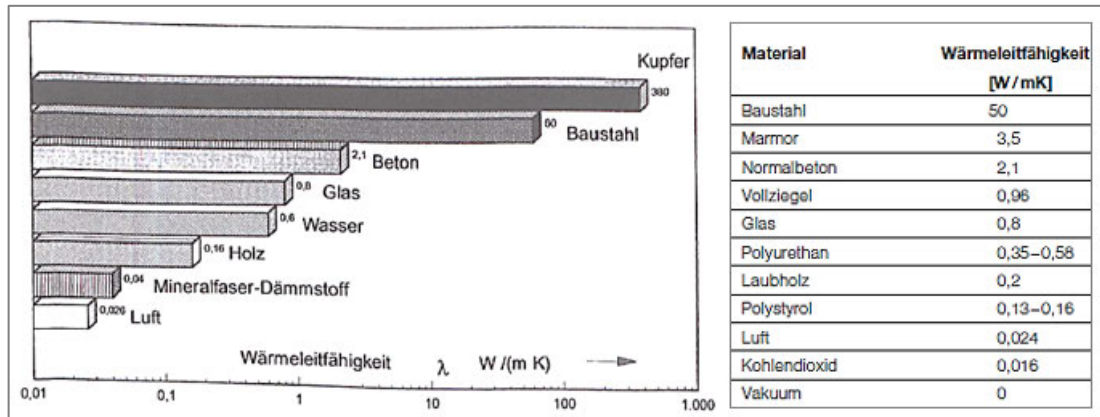


Abbildung 26: Wärmeleitfähigkeiten verschiedener Materialien³³⁶

Beispielsweise sind Metalle mit bis zu 400 W/mK aufgrund ihres dichten Gefüges besonders wärmeleitfähig.³³⁷ Aufgrund des großen, meist luftgefüllten Porenraumes von Wärmedämmstoffen sind diese vergleichsweise schlechte Wärmeleiter.³³⁸ Je kleiner, zahlreicher und gleichmäßiger sich die im Material eingeschlossenen, luftgefüllten Poren gestalten, desto besser ist der Stoff zur Dämmung geeignet.³³⁹

Weiterhin wird eine gute Wärmedämmung besonders bei nichttransparenten Bauteilen nahegelegt.³⁴⁰ Besonders bei Bauwerken, welche vor dem Zweiten Weltkrieg errichtet wurden, ist nur eine ungenügende bis gar keine Wärmedämmung sowie eine oft undichte Gebäudehülle vorhanden. Diese wärmetechnischen Unzulänglichkeiten wirken sich negativ auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Gebäudenutzers aus. Die Folgen sind ein erhöhter Heizbedarf durch den zunehmenden Wärmedurchgang im Winter und die Kühlung durch Lüftungsmaßnahmen zur Absenkung der Oberflächentemperaturen

³³³ Hegger et al. 2005, S. 29.

³³⁴ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 106.

³³⁵ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 134.

³³⁶ Hegger et al. 2005, S. 29; Arndt 2002, 22.

³³⁷ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 134; vgl. Arndt 2002, S. 22.

³³⁸ Vgl. Arndt 2002, S. 22.

³³⁹ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 132.

³⁴⁰ Vgl. Bounin et al. 2010, 267.

im Sommer. Aus diesem Grund ist das Vornehmen einer energetischen Verbesserung durch Sanierungsmaßnahmen sehr sinnvoll.³⁴¹

Auch die Lage des Gebäudes spielt eine große Rolle sowie die Art der Bauteile, welche das Gebäude vor der Sonne abschirmen. Grundsätzlich ist aufgrund der Gefahr der Wärmedehnung auf eine möglichst starke Reflektion, Speicherfähigkeit und Schwere der von der Sonnenstrahlung betroffenen Bauteile zu achten.³⁴²

Bei transparenten Bauteilen, dazu zählen Fenster und feste Verglasungen, ist es zudem wichtig, auf den zulässigen Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich des Sonnenschutzes zu achten. Der Wärmeschutz fällt unterschiedlich aus, je nach Fensterflächenanteil der Nettogrundfläche von Raum und Außenbauteilen und je nach Fensterneigung. Gerade bei Dachflächenfenstern spielt der Grad der Neigung eine wichtige Rolle beim Wärmeschutz, ebenso die Ausrichtung der Fenster in die unterschiedlichen Himmelsrichtungen.³⁴³ „Für alle Räume bzw. Fassaden, die der Sonne zugewandte Orientierungen aufweisen, also Ost, Süd und West, sind ab einem gewissen Fensterflächenanteil Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz sinnvoll bzw. erforderlich.“³⁴⁴ Die Tabelle der DIN 4108-2, in dieser Arbeit die Tabelle 6, gibt Aufschluss darüber, ob ein Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes notwendig ist.³⁴⁵ Beträgt der Anteil der Fensterflächen mehr als 30 %, bestehen laut der Energieeinsparverordnung und dem Gebäudeenergiegesetz Anforderungen an die Sonneneintragskennwerte oder an die Kühlenergie in Immobilien.³⁴⁶ Das heißt, es sind Maßnahmen gegen die Entstehung von Hitze im Gebäude zu ergreifen und ein Nachweis ist zu erbringen, welcher bestätigt, dass ein wirksamer Sonnenschutz vorhanden ist.³⁴⁷

Auf die geeigneten Maßnahmen zur Herstellung eines wirksamen sommerlichen Wärmeschutzes soll im Folgenden eingegangen werden. Diese möglichen Maßnahmen beinhalten die Dämmung eines Gebäudes durch geeignete Materialien, den Einbau von

³⁴¹ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 68.

³⁴² Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 75.

³⁴³ Vgl. Bounin et al. 2010, 267.

³⁴⁴ KOMKO bauen o. J., S. 4.

³⁴⁵ Vgl. KOMKO bauen o. J., S. 4.

³⁴⁶ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 26.

³⁴⁷ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 18 – 19.

Fenstern mit verschiedenen Verglasungsarten und zuletzt die Installation von verschiedenen Sonnenschutzvorrichtungen.

5.2 Wärmedämmstoffe

Baustoffe und andere Materialien dienen neben einer Vielzahl an weiteren Funktionen dem Wärmeschutz im Sommer.³⁴⁸ „Die Gebäudehülle dient dazu, vor den negativen Auswirkungen des Klimas zu schützen“.³⁴⁹

Um ein Gebäude im Sommer vor Wärme zu schützen, können Baustoffe wie Metalle; massive Baustoffe wie Schwerbeton, Leichtbeton, Porenbeton, Schaumbeton, Ziegel, Klinker, Naturgesteine, Gips und Anhydrit; Wärmedämmstoffe; Holz und holzartige Baustoffe, Glas und Fenster sowie Bitumen und bituminöse Baustoffe eingesetzt werden.³⁵⁰ Die Anlage 2 soll eine Übersicht über die Bemessungswerte bzw. Kennwerte der Wärmeleitfähigkeit und der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen dieser Baustoffe geben.³⁵¹

Wie in Kapitel 5 bereits erläutert, ist die Wärmespeicherfähigkeit von der Masse eines Bauteils abhängig.³⁵² Um eine übermäßige Erwärmung der Räume bzw. des Gebäudes im Sommer durch Sonneneinstrahlung zu vermeiden, sind wärmespeicherfähige und somit massive, wärme gedämmte Baukonstruktionen notwendig. Besonders bei Gebäuden, welche einer starken Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind und sich in warmen, trocken heißen Klimaregionen mit sommerlich hohen Temperaturen befinden, ist eine richtig dimensionierte Wärmespeicherung für einen wirksamen Sonnenschutz sinnvoll.³⁵³ Da der Fokus der Arbeit auf der wärmetechnischen Verbesserung von Bestandsgebäuden liegt, soll der Fokus des fünften Kapitels speziell auf Wärmedämmungen, Fenstern bzw. Verglasungen und anderen Sonnenschutzmaßnahmen liegen und nicht auf massive Baustoffe und andere eingehen. Aufgrund der Problematik der Realisierbarkeit einer nachträglichen energetischen Sanierung und aufgrund der Begrenzung des Rahmens der

³⁴⁸ Vgl. Hegger et al. 2007, S. 148.

³⁴⁹ Hegger et al. 2007, S. 65.

³⁵⁰ Vgl. Arndt 2002, S. 44 – 92.

³⁵¹ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 224 – 228.

³⁵² Vgl. Arndt 2002, S. 23.

³⁵³ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 67.

Bachelorarbeit werden sich die Anforderungen an die Bausubstanz in diesem Kapitel auf Dämmstoffe beziehen.

Der Begriff Wärmedämmung bezeichnet die Transmission bzw. den Wärmedurchgang durch die Außenbauteile.³⁵⁴ Die Wärmedämmstoffe verringern bei einer wirksamen Dämmung den Wärmestrom durch die Bauteilschichten.³⁵⁵ Die innere Oberflächentemperatur ist abhängig von den Wärmedämmeigenschaften der Außenbauteile, ebenso die physiologische Behaglichkeit im Raum.³⁵⁶ Als Wärmedämmstoffe gelten nach DIN 4108 Baustoffe mit einer Wärmeleitfähigkeit λ , deren Wert geringer als $0,1 \text{ W}/(\text{mK})$ ist.³⁵⁷ Meist werden Dämmmaterialien mit Wärmeleitfähigkeiten um die $0,035$ oder $0,040 \text{ W}/(\text{mK})$ im Bauwesen verwendet.³⁵⁸

Wie qualitativ hochwertig der Wärmeschutz eines Gebäudes oder Raumes ausfällt, ist abhängig von den eingesetzten Baustoffen und Bauteilen und deren thermischen Eigenschaften und Dimensionierung.³⁵⁹ Als Wärmedämmstoffe werden Baustoffe bezeichnet, welche ein festes Stoffgerüst mit kleinen luft- oder gasgefüllten Hohlräumen aufweisen. Je nach Porenstruktur, von deren Art auch das Luft- bzw. Gasvolumen und somit die Wärmeleitfähigkeit abhängt, wird zwischen offenzelligen, gemischtzelligen und geschlossenzelligen Dämmstoffen unterschieden.³⁶⁰ Die Auswahl der Dämmstoffe erfolgt aufgrund verschiedener ökologischer, wirtschaftlicher und bauphysikalischer Aspekte.³⁶¹ Die nachfolgende Tabelle 11 soll hierfür eine Übersicht der Auswahlkriterien für Dämmmaterialien geben.

³⁵⁴ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 153.

³⁵⁵ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 133.

³⁵⁶ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 153.

³⁵⁷ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 132.

³⁵⁸ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 316.

³⁵⁹ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 133.

³⁶⁰ Vgl. Arndt 2002, S. 67.

³⁶¹ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 317.

Bauphysikalisch	Ökonomisch	Ökologisch	Gesundheitlich
Wärmeleitfähigkeit λ → notwendige Materialstärke	Materialstärke	Verfügbarkeit der Rohstoffe (u.a. Regionalität)	Raumklima und Behaglichkeit
Wasserdampfdiffusionswiderstand μ	Materialpreis	Energiebedarf und Umweltbelastung bei der Herstellung	Ausgasung von Innenraumschadstoffen
Baustoffklasse (Brandschutz)	Verarbeitungskosten	Transportaufwand	
Sommerlicher Wärmeschutz / Wärmespeicherfähigkeit	Entsorgungskosten	Entsorgung (Wiederverwendbarkeit & Recycling)	
Schallschutzeigenschaften			
Druck- und Zugfestigkeit			
Wasserbeständigkeit			

Tabelle 11: Auswahlkriterien von Dämmstoffen³⁶²

Zu den ökologischen und wirtschaftlichen Kriterien zählen u. a. „die Gesundheitsverträglichkeit, die Ressourcenbeanspruchung, die Nachhaltigkeit des Baustoffes, der Energieaufwand bei der Herstellung, die Entsorgung bzw. Recyclingfähigkeit und der Preis.“³⁶³

Um den Entscheidungsfaktor für eines der vielen ökologischen Auswahlkriterien beispielhaft zu demonstrieren, soll in der folgenden Abbildung 27 der Energieeinsatz, auch als graue Energie bezeichnet, welcher u. a. zur Herstellung der Baustoffe notwendig ist, aufgezeigt werden.³⁶⁴

Die Abbildung zeigt von links nach rechts die folgenden Baustoffe: „Holz; Zst Zellstofffaser-Dämmstoffe; HWL Holzwolle-Leichtbauplatten; Gips; KS Kalksandstein; GB Gasbeton; Mifa Steinwoll-Dämmstoffe; PS Polystyrol-Hartschaumdämmstoffe; PB Porenbeton; Gf Glasfaser-Dämmstoffe; DSB dichter Silikatbeton; Z Ziegel; StB Stahlbeton; PUR Polyurethan-Hartschaumdämmstoffe; K Kalk (in MJ / t); Zt Zement (in MJ / t; LZSB Leichtbeton mit porigen Zuschlagstoffen“.³⁶⁵

³⁶² Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 20.

³⁶³ Bounin et al. 2010, S. 317.

³⁶⁴ Vgl. Arndt 2002, S. 39; vgl. Hegger et al. 2007, S. 160.

³⁶⁵ Arndt 2002, S. 39.

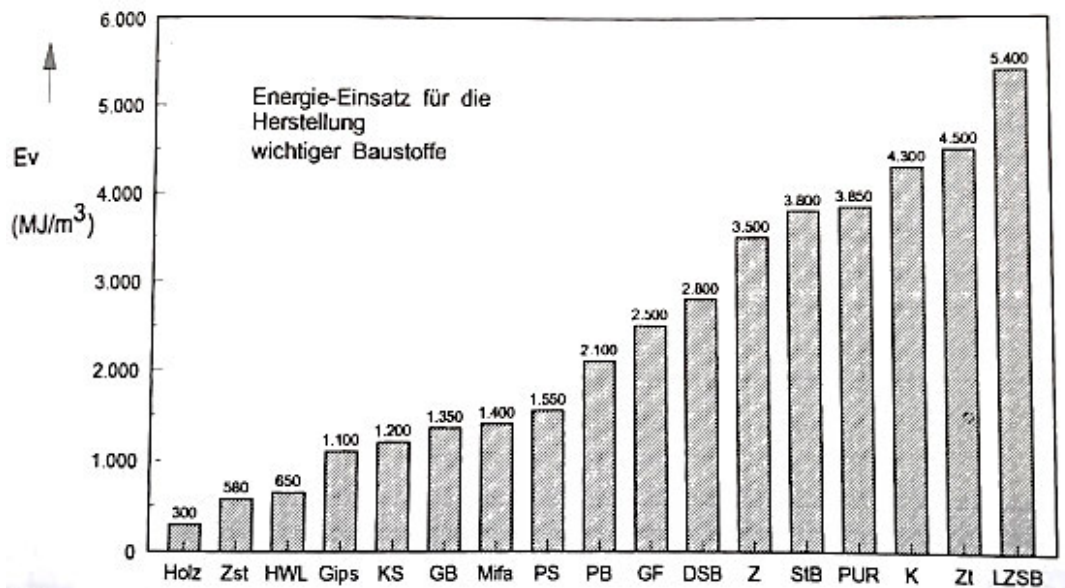


Abbildung 27: Energie-Einsatz für die Herstellung wichtiger Baustoffe (Mittelwerte)³⁶⁶

Hier wird bereits ersichtlich, dass ein natürlicher, nachwachsender Rohstoff wie Holz einen vergleichsweise deutlich geringeren Energieeinsatz erfordert als synthetische Rohstoffe.³⁶⁷ Wird aus Gründen des Umweltschutzes ein geringer Anteil an grauer Energie bevorzugt, kann zum Beispiel die Entscheidung bei der Wahl eines Dämmstoffes auf holzbasierte Baustoffe fallen.

Im Hinblick auf die Bauphysik spielen der Anwendungsbereich, die Wärmeleitfähigkeit sowie Brand- und Feuchteverhalten des Dämmstoffes eine wichtige Rolle bei der Auswahl.³⁶⁸ Weiterhin sind auch die Wärmespeicherfähigkeit, die Temperatur- und Temperaturwechselbeständigkeit, das Austrocknungsverhalten, das diffusionstechnische Verhalten und die Korrosionsbeständigkeit sowie die Neigung des Baustoffes, Form und Volumen temperatur- und feuchtigkeitsbedingt zu verändern, aus bauphysikalischer Sicht wichtige zu beachtende Faktoren.³⁶⁹ Auch die Beständigkeit gegenüber UV-Strahlung und die Verträglichkeit der Materialien mit anderen Baustoffen sind nicht unerhebliche Kriterien.³⁷⁰ Um einen bauphysikalischen Aspekt beispielhaft näher aufzuzeigen, sollen die je nach Dämmstoff unterschiedlichen wasserdampfdiffusionsäquivalenten

³⁶⁶ Arndt 2002, S. 39.

³⁶⁷ Vgl. Arndt 2002, S. 39; vgl. Bounin et al. 2010, S. 317.

³⁶⁸ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 317.

³⁶⁹ Vgl. Arndt 2002, S. 40 – 41.

³⁷⁰ Vgl. Arndt 2002, S. 42.

Luftschichtdicken, welche nach DIN EN 12524 eingehalten werden müssen, in der nachfolgenden Tabelle dargestellt werden.³⁷¹

Sperrstoffe	Wasserdampf-Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d in m*
Polyethylenfolie 0,15 mm	50
Polyethylenfolie 0,25 mm	100
Polyesterfolie 0,2 mm	50
PVC-Folie	30
Aluminium-Folie 0,05 mm	1500
bituminiertes Papier 0,1 mm	2
Aluminiumverbundfolie 0,4 mm	10
Unterdeck- und Unterspannbahn für Wände	0,2
Beschichtungsstoff	0,1
Glanzlack	3

* Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke eines Produktes wird als Dicke einer unbewegten Luftschicht mit dem gleichen Wasserdampfdurchlasswiderstand wie das Produkt angegeben.

Tabelle 12: Richtwerte der Wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke von Sperrstoffen nach DIN EN 12524³⁷²

Die in dieser Tabelle aufgeführten Richtwerte müssen eingehalten werden, um ein optimales diffusionstechnisches Verhalten zu gewährleisten.

In welchen Bereichen der Einsatz der Dämmstoffe möglich ist, wird in der Abbildung 29 aufgezeigt:



Abbildung 28: Piktogramme für Anwendungstypen nach DIN V 4108-10: 2008-06, Tabelle 1³⁷³

³⁷¹ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 228; vgl. Arndt 2002, S. 41.

³⁷² Bounin et al. 2010, S. 228.

³⁷³ Bounin et al. 2010, S. 321.

Die Abkürzungen und Dämmarten werden in Tabelle 13 ausführlich erläutert.

Anwendungsgebiet	Kurzzeichen	Anwendungsbeispiele
Decke, Dach	DAD	Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Deckungen
	DAA	Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Abdichtungen
	DUK	Außendämmung des Daches, der Bewitterung ausgesetzt (Umkehrdach)
	DZ	Zwischensparrendämmung, zweischaliges Dach, nicht begehbare aber zugängliche oberste Geschossdecken
	DI	Innendämmung der Decke (unterseitig) oder des Daches, Dämmung unter Sparren/Tragkonstruktion, abgehängte Decke usw.
	DEO	Innendämmung der Decke oder Bodenplatte (oberseitig) unter Estrich ohne Schallschutzanforderungen
	DES	Innendämmung der Decke oder Bodenplatte (oberseitig) unter Estrich mit Schallschutzanforderungen
Wand	WAB	Außendämmung der Wand hinter Bekleidung
	WAA	Außendämmung der Wand hinter Abdichtung
	WAP	Außendämmung der Wand unter Putz
	WZ	Dämmung von zweischaligen Wänden, Kerndämmung
	WH	Dämmung von Holzrahmen- und Holztafelbauweise
	WI	Innendämmung der Wand
	WTH	Dämmung zwischen Haustrennwänden mit Schallschutzanforderungen
WTR	Dämmung von Raumtrennwänden	
Perimeter	PW	außen liegende Wärmedämmung von Wänden gegen Erdreich (außerhalb der Abdichtung)
	PB	außen liegende Wärmedämmung unter Bodenplatte gegen Erdreich (außerhalb der Abdichtung)

Tabelle 13: Anwendungsgebiete und -beispiele von Wärmedämmmaterialien nach DIN 4108-10³⁷⁴

In welchen Bereichen eine Wärmedämmung sinnvoll ist, kommt dabei unter anderem auf die Anforderungen an das Gebäude und dessen Lage je nach Klimregion an.³⁷⁵

Folgende Dämmmethoden kommen zur Nachrüstung eines bestehenden Gebäudes in Frage:

- „Wärmedämmung auf der Außenseite als Wärmedämmverbundsystem (WDVS),
- Wärmedämmung auf der Außenseite mit einer hinterlüfteten Vorhangfassade/Verkleidung,
- Wärmedämmung auf der Außenseite mit einem Wärmedämmputz,
- Wärmedämmung auf der Außenseite mit einer Vormauerung/Verblendschale,
- Wärmedämmung als Kerndämmung durch Ausfüllen einer vorhandenen Luftschicht bei zweischaligem Mauerwerk,
- Wärmedämmung auf der Innenseite mit einer Bekleidung.“³⁷⁶

Auf diese Methoden soll aufgrund des Umfangs der Arbeit nicht näher eingegangen werden. In Kapitel 6 wird im Rahmen der Verbesserungsmöglichkeit der Gebäudedämmung einer Beispielimmobilie eine dieser Methoden näher erläutert. Dazu wird eine Berechnung durchgeführt.

³⁷⁴ Hegger et al. 2007, S. 153.

³⁷⁵ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 67; vgl. Hegger et al. 2007, S. 65; vgl. Bounin et al. 2010, S. 320.

³⁷⁶ Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 59.

Bei den Wärmedämmstoffen gilt zudem, je leistungsfähiger der Wärmeschutz, desto geringer gestaltet sich der notwendige Materialeinsatz und desto höher wiederum ist der Gewinn an Komfort und Raumfläche. Das bedeutet, dass die Schichtdicke, und damit einhergehend auch der Flächenverbrauch, durch die Dicke des Dämmmaterials reduziert werden kann, wenn die Wärmeleitfähigkeit einer Dämmung verbessert wird. Dies ist von Bedeutung, da bei energetischen Sanierungen von Altbauten, bei denen nur innen und nicht außen liegende Dämmungen möglich sind, durch die Schichtdicken eine erhebliche Reduzierung der Raumflächen stattfinden kann.³⁷⁷ Die Wahl des einzusetzenden Dämmstoffs richtet sich demnach auch nach dem Anwendungsbereich und dem dort vorhandenen Platz für die Dämmschicht.

Bauteil	max. U-Wert [W/m ² K]	min. Dämmschichtdicke ¹ [mm]
Außenwand	0,45	82
Erneuerung Außenwand ²	0,35	106
Fenster	1,70	20
Steildach	0,30	126
Flachdach	0,25	152
Decken und Wände gegen unbeheizt oder Erdreich	0,40	94

¹ Annahme einer Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials von $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$ bei alleiniger energetischer Wirksamkeit der Dämmschicht
² verschiedene Ausnahmen nach EnEV Anhang 3 möglich

Tabelle 14: Anforderungen der EnEV an den U-Wert eines Bauteils und daraus theoretisch resultierende Mindestdämmschichtdicken³⁷⁸

Die Tabelle 14 bietet einen Überblick über die mindestens notwendige Dämmschichtdicke der Bauteile bei einem angenommenen λ -Wert von $0,04 \text{ W/(mK)}$.³⁷⁹ Ergänzend dazu soll Abbildung 29 beispielhaft die Dämmstoffdicken bei der nachträglichen Dämmung der Außenwände eines Altbaus nach der Art der Wärmedämmung darstellen.³⁸⁰ „Bei der Modernisierung mit Außendämmung liegen die Dämmstoffdicken zumeist im Bereich von 6–13 cm, im Fall der Kerndämmung (Dämmung im Zwischenraum) gibt es eine Häufung im Bereich von 6–9 cm und bei der Innendämmung haben niedrige Dämmstoffstärken bis 5 cm den höchsten Anteil. Dämmstoffdicken ab 18 cm sind bei der Außenwandmodernisierung im Bestand nur mit sehr geringen Anteilen vertreten“.³⁸¹

³⁷⁷ Vgl. Hegger et al. 2007, S. 151 – 152.

³⁷⁸ Hegger et al. 2007, S. 150.

³⁷⁹ Vgl. Hegger et al. 2007, S. 150.

³⁸⁰ Vgl. Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 63.

³⁸¹ Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 62.

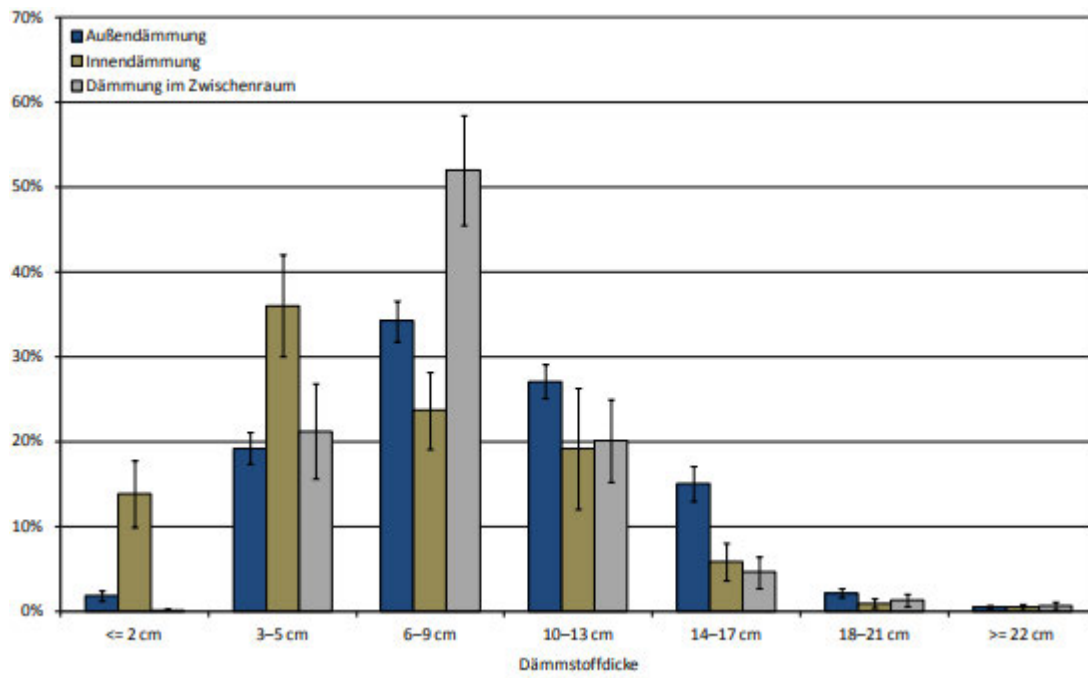


Abbildung 29: Dämmstoffdicken bei der nachträglichen Außenwanddämmung im Altbau bis Baujahr 1978 nach der Art der Wärmedämmung³⁸²

In diesem Verlauf stellt sich die Frage, wie viele Wohngebäude und Altbauten im Schnitt nachträglich gedämmt werden.³⁸³ Im Rahmen der Wirtschaftlichkeit wird eine nachträgliche Dämmung meist im Zuge von Modernisierungs- und Sanierungsmaßnahmen erledigt.³⁸⁴

	Außenwand	Dach/Obergeschossdecke	Fußboden/Kellerdecke
Wohngebäude mit nachträglicher Dämmung des jeweiligen Bauteils			
alle Wohngebäude	25,1 % +/- 0,9 %	41,1 % +/- 1,0 %	12,1 % +/- 0,6 %
Altbauten bis Baujahr 1978	37,6 % +/- 1,3 %	61,0 % +/- 1,3 %	17,8 % +/- 1,0 %
gedämmte Flächenanteile (falls nachträgliche Dämmung vorhanden)*			
alle Wohngebäude	75,0 % +/- 2,5 %	90,4 % +/- 0,5 %	80,3 % +/- 1,4 %
Altbauten bis Baujahr 1978	73,9 % +/- 2,6 %	90,1 % +/- 1,4 %	80,1 % +/- 1,5 %
nachträglich gedämmte Bauteilfläche (Gebäude gewichtet mit Flächenanteilen)			
alle Wohngebäude	18,8 % +/- 0,9 %	37,2 % +/- 0,9 %	9,7 % +/- 0,5 %
Altbauten bis Baujahr 1978	27,8 % +/- 1,4 %	54,9 % +/- 1,5 %	14,2 % +/- 0,8 %

* Flächenanteile Dach/Obergeschossdecke und Fußboden/Kellerdecke aus der Vorgängererhebung „Datenbasis Gebäudebestand“ (vgl. [Diefenbach et al. 2010], Tabelle 4.1-2 auf S. 46) entnommen

Tabelle 15: Wohngebäude mit nachträglich, d. h. im Zuge von Modernisierungsmaßnahmen installierter Wärmedämmung³⁸⁵

Die Tabelle 15 dient der Beantwortung der sich oben stellenden Frage. Wie in dieser zu sehen, weisen insgesamt „25,1 % der Wohngebäude eine nachträgliche Wärmedäm-

³⁸² Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 63.

³⁸³ Vgl. Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 46.

³⁸⁴ Vgl. Dittmann o. J., o. S.; vgl. Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 46.

³⁸⁵ Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 46.

mung der Außenwand auf. Im Altbaubestand sind es 37,6 % der Gebäude“.³⁸⁶ Der Anteil der nachträglich gedämmten Bauteilflächen der Außenwand beträgt im Wohngebäudebestand insgesamt 18,8 % und im Altbau 27,8 %.³⁸⁷ „Bei den anderen Bauteilen zeigen sich deutlich abweichende Ergebnisse: Mehr als 60 % der Dächer bzw. Obergeschossdecken wurde in den Altbauten nachträglich gedämmt, und zwar in diesen Fällen fast vollständig (mit einem Flächenanteil von über 90 %) [...], so dass sich eine gedämmte Bauteilfläche von ca. 55 %, also mehr als die Hälfte der Gesamtfläche, ergibt. Bei Fußboden und Kellerdecke ist der nachträglich gedämmte Anteil im Altbau mit nur rund 14 % der Bauteilfläche dagegen gering.“³⁸⁸

Bei der Wahl eines Dämmstoffs ist außerdem die hohe Produktvielfalt an Dämmstoffen zu beachten, die durch den steigenden Bedarf und die zunehmenden Anforderungen an den Wärmeschutz auf dem Markt herrscht. Während über 90 % der Dämmstoffe aus Mineralfaserdämmstoffen und Hartschaumstoffen bestehen, sind mittlerweile auch nachwachsende Rohstoffe wieder von Bedeutung.³⁸⁹ Diese sind mit einem Anteil von etwa sieben Prozent am Markt vertreten.³⁹⁰ Demnach werden die Dämmstoffe auch bezüglich der Rohstoffbasis unterschieden (Abbildung 30).³⁹¹

Eine Unterscheidung der Dämmstoffe erfolgt zwischen anorganischen und organischen und untergeordnet zwischen natürlichen und synthetischen Stoffen.³⁹² Auf die Unterschiede zwischen natürlichen und synthetischen Materialien werden die nächsten Unterkapitel eingehen.

Um den Wärmeschutz eines Gebäudes verbessern und für dieses Vorhaben die entsprechend geeigneten Wärmedämmstoffe individuell je nach Anforderungen an das Gebäude und den Wärmeschutz auswählen zu können, ist ein Vergleich der verschiedenen Dämmmaterialien sinnvoll (Tabelle 16).

³⁸⁶ Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 46.

³⁸⁷ Vgl. Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 46.

³⁸⁸ Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 46.

³⁸⁹ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 132.

³⁹⁰ Vgl. Deutsche Umwelthilfe e. V. 2019, S. 3.

³⁹¹ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 132.

³⁹² Vgl. Hegger et al. 2005, S. 132.

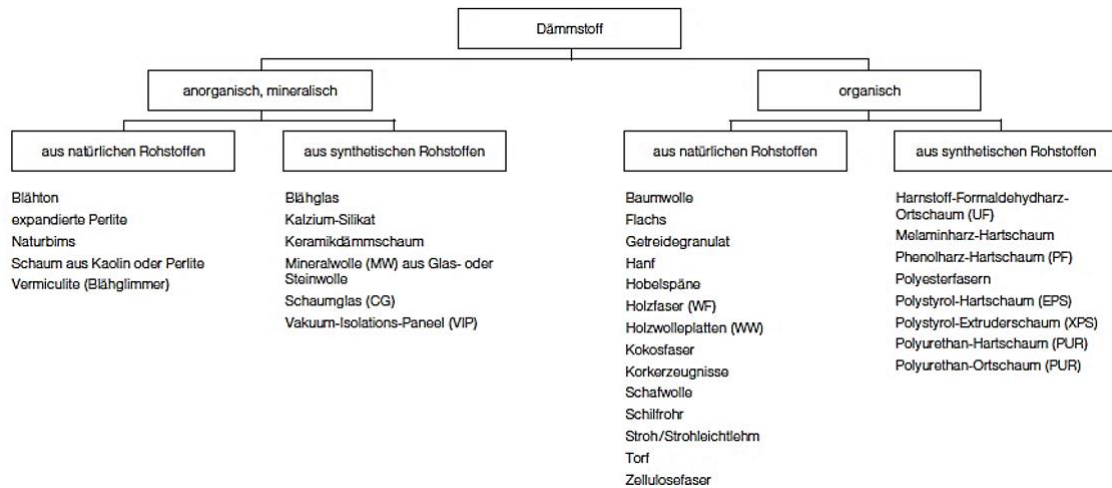


Abbildung 30: Systematische Darstellung von Dämmstoffen nach ihrer Rohstoffbasis³⁹³

Die Tabelle 16 soll einen Überblick über die Kennwerte der Wärmeleitzahlen, der Rohdichte, der spezifischen Wärmekapazität, des Dampfdiffusionswiderstandes und des Primärenergieverbrauchs bieten, um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den anorganischen und organischen Dämmstoffen, je nach synthetischer bzw. natürlicher Rohstoffbasis herzustellen.³⁹⁴ Auf die Bedeutung und die Unterschiede der abgebildeten Materialien wird in Kapitel 5.2.1 eingegangen.

Es gilt zu berücksichtigen, dass in dieser Übersicht nicht alle oben genannten Kriterien, welche bei den Anforderungen an einen Wärmedämmstoff eine Rolle spielen (können), dargestellt sind. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass diese Tabelle lediglich einen groben Überblick über die Werte vermittelt. Um genaue Ergebnisse bzw. Daten zu erhalten, sollte möglichst die Produktangabe vom Hersteller direkt verwendet werden.³⁹⁵ Außerdem gilt: „An sich ist kein Baustoff uneingeschränkt zu empfehlen oder zu verwerfen.“³⁹⁶ Pauschale Urteile sind zu vermeiden, stattdessen ist das breite Spektrum der Aspekte und Kriterien umfassend zu betrachten.³⁹⁷ Im Folgenden soll nur oberflächlich auf die verschiedenen Arten von Dämmmaterialien eingegangen werden.

³⁹³ Hegger et al. 2005, S. 133; vgl. Bounin et al. 2010, S. 317.

³⁹⁴ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 318 – 319; vgl. Hegger et al. 2005, S. 136.

³⁹⁵ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 135 – 136.

³⁹⁶ Hegger et al. 2005, S. 6.

³⁹⁷ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 6.

Material	Wärmeleitzahl λ in W/(m·K)	Rohdichte ρ in kg/m ³	Spez. Wärmekapazität c in J/(kg·K)	Dampfdiffusionswiderstand μ	Primärenergieverbrauch in kWh/m ³
Anorganisch, aus synthetischen Rohstoffen					
Kalzium-Silikat Platte	0,065	300	k. A.	5 - 10	k. A.
Mineralfaser a) Glaswolle b) Steinwolle	0,035 - 0,050	15 - 80	1000	1	100 - 700
Schaumglas	0,040 - 0,055	110 - 160	k. A.	dampfdicht	320 - 975
Anorganisch, aus natürlichen Rohstoffen					
Perlite, expandiert	0,045 - 0,050	50 - 100	k. A.	2 - 3	90 - 235
Blähton	0,090 - 0,160	260 - 500	k. A.	2	k. A.
Vermikulit (Blähglimmer)	0,065 - 0,070	60 - 180	k. A.	2 / 3	k. A.
Organisch, aus synthetischen Rohstoffen					
Polystyrol-Hartschaumplatte a) EPS, Partikelschaum b) XPS, Extruder Schaum	0,025 - 0,040	a) 15 - 30 b) 25 - 40	k. A.	a) 30 - 70 b) 80 - 300	a) 530 - 1050 b) 400 - 600
Polyurethan-Hartschaumplatte	0,020 - 0,025	30	k. A.	30 - 100	840 - 1330
Organisch, aus natürlichen Rohstoffen					
Flachs	0,040	20 - 40	1600	1	70 - 80
Hanf Matte	0,045	24 - 42	1600	1 - 2	k. A.
Holzfaserdämmplatte	0,040 - 0,060	170 - 230	2100	5 - 10	600 - 785
Holzwohle-Leichtbauplatte	0,093	360	k. A.	2 - 5	35
Kokosfaser-Matte	0,045	125	k. A.	1	95
Kork a) Granulat b) Platten	0,045 - 0,050	a) 55 - 60 b) 80 - 500	1800	a) 1 - 2 b) 5 - 10	a) 90 b) 360
Schafwolle	0,040	18 - 30	1700	1 - 2	70 - 80
Zellulosefaser	0,040 - 0,045	25 - 100	2000	2 - 3	55 - 80
Schilfrohr	0,055	190	k. A.	6,5	k. A.
Baustrohballen	0,052 - 0,080	90 - 110	2000	2	k. A.
Wiesengras	0,040	25 - 65	2200	1 - 2	k. A.
Seegras	0,037 - 0,0428	70 - 130	k. A.	1 - 2	k. A.
Innovative Dämmstoffe (organisch, anorganisch)					
IR-Absorbermodifiziertes EPS	0,032	15 - 30	k. A.	20 / 100	k. A.
Transparente Wärmedämmung (TWD)	0,02 - 0,1	k. A.	k. A.	prakt. dampfdicht	k. A.
Vakuum-Isolationspaneel (VIP)	0,004 - 0,008	150 - 300	k. A.	Prakt. dampfdicht	k. A.

Tabelle 16: Vergleich der technischen Kennwerte von synthetischen und natürlichen Wärmedämmstoffen³⁹⁸

Im Folgenden soll ein Beispiel für die Auswahl eines der Dämmstoffe genannt werden und dazu eine Entscheidung getroffen werden. Angenommen der Gebäudeeigentümer

³⁹⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an Bounin et al. 2010, S. 318 – 319; Hegger et al. 2005, S. 136; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 2014, S. 12.

priorisiert neben dem Aspekt einer möglichst hohen Wärmespeicherfähigkeit auch einen ausreichenden Wärme- und Schallschutz und legt zugleich Wert darauf, dass das Material besonders gut recyclebar und nachhaltig ist. Aufgrund dieser Präferenzen wird der Eigentümer wahrscheinlich ein natürliches organisches Produkt, wie beispielsweise Dämmplatten aus Holzfasern zur wärmeschutztechnischen Ausrüstung eines Gebäudes auswählen. Legt er zusätzlich einen besonderen Wert auf eine möglichst hohe Wärmeleitfähigkeit, so sind Holzwolleplatten sehr gut geeignet und kommen für die Entscheidung in Betracht.³⁹⁹ Auf das Kriterium der Kosten der verschiedenen Baustoffe, welches in den meisten Fällen bei der Entscheidungsfindung eine nicht unerhebliche Rolle spielt, wird in Kapitel 5.2.5 eingegangen.

In den nächsten Kapiteln soll kurz auf die unterschiedlichen synthetischen, innovativen, mineralischen und natürlichen Baustoffe eingegangen werden.

5.2.1 Synthetische Wärmedämmstoffe

„Synthetische Baustoffe werden aus künstlichen, anorganischen Stoffen hergestellt.“⁴⁰⁰ Sie zeichnen sich aus durch Langlebigkeit, Resistenz gegenüber Umwelteinflüssen und durch einen relativ günstigen Preis. Diesen Vorteilen steht der Aspekt der Nachhaltigkeit gegenüber, welcher bei synthetischen Baustoffen in der Regel nicht erfüllt ist.⁴⁰¹ Die Aspekte der umweltschädlichen Gewinnung der für die Herstellung notwendigen Rohstoffe wie Erdöl und des hohen zur Herstellung benötigten Energieaufwandes sind negativ zu bewerten. Zuletzt ist auch die Entsorgung synthetischer Materialien mit Nachteilen behaftet, da diese teilweise nicht recycelt werden können und sich die Entsorgung daher im Gegensatz zu recyclebaren Stoffen schwierig gestaltet.⁴⁰² Die synthetischen Dämmstoffe sind in der Abbildung 30 dargestellt.

5.2.2 Innovative Wärmedämmstoffe

Zu den synthetischen zählen auch die innovativen Dämmstoffe, wie Vakuum-Isolations-Paneele (VIP) und IR-Absorber-modifizierte Polystyrol-Dämmstoffe, welche im unteren

³⁹⁹ In Anlehnung an Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 11, Bounin et al. 2010, S. 318 – 319 und Hegger et al. 2005, S. 74 und 136.

⁴⁰⁰ OBI Redaktion und OBI Magazin o. J., o. S.

⁴⁰¹ Vgl. OBI Redaktion und OBI Magazin o. J., o. S.

⁴⁰² Vgl. Verbraucherzentrale o. J., o. S.

Bereich der Tabelle 16 abgebildet sind. Diese Höchstleistungsdämmstoffe erreichen erheblich bessere Dämmwerte als herkömmliche Produkte und eignen sich d. h. bestens für den Einsatz bei Sanierungsmaßnahmen mit geringen Aufbauhöhen, wie etwa bei Grenzbebauungen und geringen Dachüberständen.⁴⁰³ Bei Polystyrol-Schaumstoffen gelang es, die Verringerung der Wärmeleitfähigkeit zu bewirken, sodass die Wärmedämmung bei gleichbleibender Schaumstoffdicke und Dämmleistung beim Einsatz des IR-Absorber-modifizierten Polystyrol-Dämmstoffs um bis zu 50 % dünner ausfällt. „Insbesondere bei der energetischen Modernisierung von Altbauten, wo nicht immer genügend Platz für eine ausreichend dicke Dämmung zur Verfügung steht, erweist sich dies als Vorteil.“⁴⁰⁴ VIPs dagegen bestehen aus einem offenzelligen, druckbelastbaren Material aus Kieselsäurepulver oder Polyurethan-Schaum mit einer gasdichten Hülle. Aufgrund der Zellstruktur gelingt hier die Evakuierung des Kerns, sodass Wärmeleitfähigkeiten von 0,004 bis 0,008 W/(mK) erreicht werden, welche dadurch weitaus bessere Werte als herkömmliche Dämmstoffe aufweisen. Mithilfe dieser innovativen Stoffe ist es möglich, die durch EnEV bzw. GEG geforderten U-Werte trotz geringer Dämmstoffdicken zu erreichen. Die Nachteile dieser innovativen Dämmstoffe bestehen in einem hohen Marktpreis und in deren mechanischen Verletzbarkeit bzw. Anfälligkeit gegenüber Belastungen, weshalb eine besonders hohe Sorgfalt beim Einbau erforderlich ist.⁴⁰⁵

5.2.3 Mineralische Wärmedämmstoffe

Bei mineralischen Baustoffen handelt es sich um anorganische Stoffe, welche zu einem Teil auch aus synthetischen Stoffen bestehen können. Die Vorteile von mineralischen Dämmstoffen sind durch einen hohen Brandschutz und Unterstützung bei der Feuchtigkeitsregulierung des Gebäudes gekennzeichnet. Außerdem bieten sie einen wirksamen Wärmeschutz. „Zu den mineralischen Dämmstoffen zählen Blähton, Glaswolle, Mineralschaum, Kalziumsilikat, Perlit, Schaumglas und Steinwolle.“⁴⁰⁶ Mineralwolle ist beispielsweise gut für die Zwischensparrendämmung geeignet.⁴⁰⁷

⁴⁰³ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 132 und S. 139.

⁴⁰⁴ Hegger et al. 2005, S. 29.

⁴⁰⁵ Vgl. Hegger et al. 2005, S. 29 – 30 und S. 139.

⁴⁰⁶ OBI Redaktion und OBI Magazin o. J., o. S.

⁴⁰⁷ Vgl. OBI Redaktion und OBI Magazin o. J., o. S.

5.2.4 Natürliche Wärmedämmstoffe

Bei natürlichen Wärmedämmmaterialien handelt es sich um organische Baustoffe, welche aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Sie zeichnen sich besonders durch den Aspekt der Nachhaltigkeit aus.⁴⁰⁸ Seit der Industrialisierung werden diese jedoch auch oftmals mit synthetischen Materialien kombiniert und durch Zugabe chemischer Produkte wie Flammschutzmittel und Mittel zur Vermeidung von Schimmel und zur Schädlingsabwehr, verändert. Die Verbesserungsmaßnahmen dienen der Anpassung der Dämmstoffe an die qualitativen Anforderungen, wie beispielsweise an den Brandschutz.⁴⁰⁹ Solange der Anteil an synthetischen Stoffen 25 % nicht überschreitet, gelten die Dämmstoffe als natürlich.⁴¹⁰ Neben der Nachhaltigkeit zählen die vorteilhaften bauphysikalischen Eigenschaften, die gesundheitliche Eignung, die Ökologie und die Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes zu den positiven Aspekten nachwachsender Rohstoffe. Sie sind zudem besonders umweltverträglich und klimaschonend.⁴¹¹ Die Bewertung der ökologischen und umweltverträglichen Eigenschaften beruht auf „der gesamten Lebensdauer des Stoffes – d.h. Herstellung, Transport, Bau, Nutzung, Instandhaltung, Rückbau und Recycling oder Entsorgung“.⁴¹² Sind auf diesem Weg Ressourcenverbrauch, Energiebedarf sowie CO₂-Emissionen gering und bestehen nachhaltige Konzepte zur Entsorgung oder Wiederverwendbarkeit, sind die Kriterien der Ökologie und Umweltverträglichkeit erfüllt.⁴¹³ Die organischen Stoffe sind in Abbildung 30 aufgeführt. Sie können aus pflanzlichen oder tierischen Fasern, wie beispielsweise aus Hanf oder Schafwolle, bestehen.⁴¹⁴ Der Einsatz natürlicher nachwachsender Rohstoffe findet in Neubauten und bei der Sanierung von Bestandsgebäuden Anwendung. Wie auch mit synthetischen Dämmstoffen können Decken, Dächer durch die Auf-, Zwischen-, oder Untersparrendämmung, Böden und sowohl Innen- als auch Außenwände mit natürlichen Materialien gedämmt werden.⁴¹⁵ Zu den angesprochenen besonderen bauphysikalischen Eigenschaften zählen die guten Dämmleistungen aufgrund der hohen Wärme-

⁴⁰⁸ Vgl. OBI Redaktion und OBI Magazin o. J., o. S.

⁴⁰⁹ Vgl. OBI Redaktion und OBI Magazin o. J., o. S.; vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 2014, S. 16.

⁴¹⁰ Vgl. Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 5.

⁴¹¹ Vgl. Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 4.

⁴¹² Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 11.

⁴¹³ Vgl. Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 11.

⁴¹⁴ Vgl. Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 5 – 6.

⁴¹⁵ Vgl. Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 7.

speicherkapazität sowie der Wärmeleitfähigkeit der natürlichen Stoffe, welche überwiegend im Bereich 0,036 bis 0,050 W/(mK) liegt.

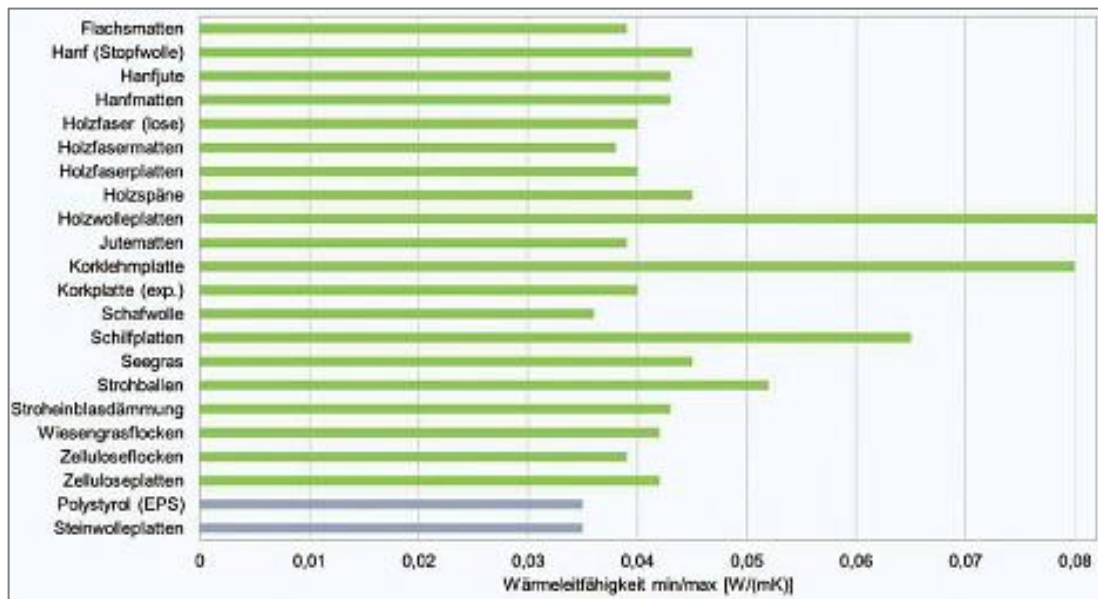


Abbildung 31: Wärmeleitfähigkeit von unterschiedlichen Wärmedämmstoffen (Quelle: FNR, 2019 – auf Angaben der Hersteller beruhend)⁴¹⁶

Wie in der Statistik zu erkennen, erzielt Schafwolle einen relativ niedrigen und somit für die Wärmedämmung gut geeigneten λ -Wert. Im Vergleich zu den synthetischen Baustoffen, welche unten in der Grafik durch graue Balken abgebildet sind, erzielen natürliche Rohstoffe höhere und somit etwas "schlechtere" Werte. Im Gesamtbild betrachtet, werten die Vorteile in Bezug auf die Ökologie und Umweltverträglichkeit die natürlichen Produkte gegenüber den künstlich hergestellten Stoffen auf. Insgesamt gesehen tragen natürlich nachwachsende Rohstoffe trotz der etwas höheren Werte zu einem guten sommerlichen Wärmeschutz bei, auch aufgrund ihrer weiteren Fähigkeiten.⁴¹⁷ „Durch ihre kapillare Faserstruktur haben [natürlich nachwachsende Rohstoffe] die Fähigkeit viel Luftfeuchtigkeit aufzunehmen und wieder abzugeben, ohne dass ihre Dämmwirkung wesentlich nachlässt (niedriger Dampfdiffusionswiderstand). Damit tragen sie maßgebend zu einem ausgeglichenen und angenehmen Raumklima bei.“⁴¹⁸ Aufgrund der Faserstruktur, welche eine schallschluckende Wirkung besitzt, können sie zudem das Gebäude besonders gut vor Schall und Lärm schützen. Weitere positive Aspekte sind die vergleichsweise kurze und einfache Verarbeitung sowie die Langlebigkeit und Stabilität

⁴¹⁶ Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 9.

⁴¹⁷ Vgl. Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 9, 11.

⁴¹⁸ Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 9.

der Rohstoffe.⁴¹⁹ Insgesamt überzeugen natürliche Produkte mittlerweile durch umfassende, glaubwürdige Nachweise ihrer Nachhaltigkeit über den Produktlebenszyklus, ihrer gesundheitlichen Unbedenklichkeit bezüglich der Reinheit und Umweltfreundlichkeit der Rohstoffe sowie der Inhaltsstoffe und Emissionen.⁴²⁰ „Heute können aus nachhaltiger und gesundheitlicher Betrachtungsweise vor allem zahlreiche Produkte aus

- Holzweichfasern, Holzspänen
- Hanf
- Schafwolle
- Flachs
- Seegras

mit höchster Sicherheit empfohlen werden.⁴²¹ Jedoch sind solche Nachweise noch nicht für jeden nachwachsenden Rohstoff vorhanden.⁴²²

Doch auch natürliche Materialien können Nachteile aufweisen, wie beispielsweise hohe Energieverbräuche und Schadstoffbelastungen, wenn lange Transportwege der Rohstoffe zur Weiterverarbeitung notwendig sind, wie dies bei Kokos und Baumwolle der Fall ist. Ein weiterer negativ zu bewertender Aspekt ist die teilweise chemische Belastung der Dämmstoffe.⁴²³ Zudem ist der Einsatz natürlicher Dämmstoffe in Gebäuden mit erhöhten Brandschutzanforderungen aufgrund einer zu geringen Einstufung meist in die Baustoffklassen "B2", normal entflammbar, oder "B1", schwer entflammbar, zu vermeiden.⁴²⁴

Alles in allem sind natürliche Baustoffe aber als positiv und als gute, nachhaltige Alternative zu synthetischen Stoffen zu bewerten. Auch der Architekt Herr Prof. Kny (Experteninterview in Kapitel 5.5) bevorzugt den Einsatz natürlicher oder aber auch mineralischer Dämmstoffe gegenüber dem Einsatz synthetischer Materialien. Seiner Meinung nach überwiegen die Nachteile letzterer aufgrund der umweltbelastenden Herstellung, des bedenklichen Brandverhaltens und der umweltschädlichen Entsorgung die Vor-

⁴¹⁹ Vgl. Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 9 - 10.

⁴²⁰ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 2014, S. 16.

⁴²¹ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 2014, S. 16.

⁴²² Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 2014, S. 16.

⁴²³ Vgl. Verbraucherzentrale o. J., o. S.

⁴²⁴ Vgl. Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 8.

teile.⁴²⁵ Zudem ist inzwischen die Verbesserung einiger technischer Daten der natürlichen Dämmprodukte gelungen. Ein Fortschritt bei der Produktverbesserung ist beispielsweise die Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit.⁴²⁶ Das Fazit lautet daher: „Nachwachsende Dämmstoffe können [...] bei den meisten Anwendungen qualitativ mit jedem konventionellen Dämmstoff mithalten, diese im Hinblick auf Raumklima und bauphysikalische Eigenschaften aber wesentlich übertreffen.“⁴²⁷

Bei der Vielfalt an unterschiedlichen Wärmedämmstoffen stellt sich die Frage nach der Wirtschaftlichkeit und der Ökonomie der Materialien. Auf die Kosten, die bei einer nachträglichen energetischen Sanierung entstehen und die Preise der verschiedenen Dämmstoffe soll im folgenden Kapitel eingegangen werden.

5.2.5 Die wirtschaftliche Herausforderung der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden

Ein wichtiges Kriterium für die Wahl des Dämmstoffes ist der wirtschaftliche Aspekt. Laut des fünften Paragraphen des GEG sind die Anforderungen und Pflichten des Gesetzes dann zu erfüllen, wenn sie wirtschaftlich vertretbar und nach dem Stand der Technik erfüllbar sind.⁴²⁸ „Anforderungen und Pflichten gelten als wirtschaftlich vertretbar, wenn generell die erforderlichen Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer durch die eintretenden Einsparungen erwirtschaftet werden können. Bei bestehenden Gebäuden, Anlagen und Einrichtungen ist die noch zu erwartende Nutzungsdauer zu berücksichtigen.“⁴²⁹

Im Bauwesen erfolgt ein Kostenvergleich durch die Kostenschätzung, -berechnung und -feststellung. Problematisch hierbei ist jedoch meist die fehlende Kenntnis der Nutzungs-, Unterhaltungs-, Erneuerungs- und Beseitigungskosten und somit der Produktlebenszykluskosten, welche die Gesamtkosten von Bauteilen und Schichten bezeichnen. „Auf Grundlage der Kostengruppengliederung nach DIN 276 gibt es hierzu bereits mehrere EDV-gestützte Ansätze“.⁴³⁰ Diese berücksichtigen jedoch weder die Dauerhaftigkeit der Bauteile und Schichten noch die Indikatoren in Bezug auf die Nachhaltigkeit. Um

⁴²⁵ Experteninterview mit dem Architekten Herrn Prof. Mario Kny.

⁴²⁶ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 2014, S. 20.

⁴²⁷ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 2014, S. 20.

⁴²⁸ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 14 - 15.

⁴²⁹ Pabst und Kersten 2019, S. 15.

⁴³⁰ Hegger et al. 2005, S. 25.

dem gerecht zu werden, „wird an der Entwicklung einer dynamischen, qualitätsabhängigen Dauerhaftigkeitsschätzung für Bauteile und Produkte gearbeitet.“^{431 432}

Aufgrund der oben genannten Faktoren und weiteren, wie der unterschiedlichen Gegebenheiten vor Ort, dem Umfang der Sanierung und der Ausführung, ist es schwierig, pauschale Kosten zu nennen, welche für die Dämmung von Dach, Fassade und Kellerdecke anfallen. Einen groben Kostenüberblick soll die nachfolgende Tabelle 17 bieten.⁴³³

Bauteil	Mögliche Dämmung	Kosten pro Quadratmeter inkl. Montage [€/m ²]
Fassade	WDVS	110 – 140
	Innendämmung	30-100
	Kerndämmung	30
Dach	Aufsparrendämmung	160-180
	Zwischensparrendämmung	60-80
	Untersparrendämmung	90-135
Dachboden	Geschossdeckendämmung	25-50 (begehrbar)
		20-35 (nicht begehrbar)
Kellerdecke	Dämmung von unten	15-30
Keller	Perimeterdämmung	60-100

Tabelle 17: Kostenüberblick⁴³⁴

Grob betrachtet muss für den Einbau durch einen Fachbetrieb inklusive des Materials, welches ebenfalls preislich variiert, mit Kosten von 40 bis 250 Euro pro Quadratmeter gerechnet werden. Um die Gesamtkosten für die Dämmung möglichst gering zu halten, ist zu prüfen, inwiefern eine Förderung der Kreditanstalt für Wiederaufbau, KfW genannt, in Anspruch genommen werden kann. Dies ist dann der Fall, wenn die Fördervoraussetzungen erfüllt sind, eine entsprechende Förderung muss beantragt werden. Die Tabelle 18 stellt mögliche Kosten grob mit und ohne die Inanspruchnahme einer KfW-Förderung dar.⁴³⁵ Vergleicht man die Werte der Tabellen 17 und 18, bestätigt sich die Aussage, dass eine pauschale Nennung der Kosten nicht möglich ist, es treten diverse Preisvariationen auf.⁴³⁶

⁴³¹ Hegger et al. 2005, S. 25.

⁴³² Vgl. Hegger et al. 2005, S. 25.

⁴³³ Vgl. Effizienzhaus-online o. J., o. S.

⁴³⁴ Effizienzhaus-online o. J., o. S.

⁴³⁵ Vgl. Kloth o. J., o. S.

⁴³⁶ Vgl. Effizienzhaus-online o. J., o. S.

Dämmung	Kosten pro m ² (mit Einbau)	Förderung (Einzelmaßnahme KfW 430)	Kosten pro m ² (abzüglich Förderung)
Dach (ohne Neueindeckung)	40 - 200 €	Zuschuss KfW 430, 20 % der Gesamtkosten, maximal 10.000 €	32 - 160 €
Dachboden (Geschossdecke)	15 - 40 €	Zuschuss KfW 430, 20 % der Gesamtkosten, maximal 10.000 €	12 - 32 €
Flachdach	20 - 80 €	Zuschuss KfW 430, 20 % der Gesamtkosten, maximal 10.000 €	16 - 64 €
Fassade	15 - 210 €	Zuschuss KfW 430, 20 % der Gesamtkosten, maximal 10.000 €	12 - 168 €
Keller	15 - 80 €	Zuschuss KfW 430, 20 % der Gesamtkosten, maximal 10.000 €	12 - 64 €

Tabelle 18: Kostenübersicht mit und ohne Förderung⁴³⁷

„Wie hoch die Kosten tatsächlich ausfallen, ist neben der baulichen Situation vom gewählten Dämmstoff und dessen Dämmstoff-Stärke abhängig.“⁴³⁸ Anlage 3 und Anlage 4 sollen einen groben, unverbindlichen Überblick über die Preise der verschiedenen Dämmstoffe geben, welche sich „an einem geforderten Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von 0,24 Watt pro Quadratmeter und Kelvin“⁴³⁹ ausrichten. Die Einhaltung dieses Wertes wird von der EnEV gefordert. Die Anlage 3 zeigt, dass synthetische Dämmstoffe vergleichsweise günstig sind.⁴⁴⁰ Mineralische Stoffe wie Mineralwolle und Naturfasern liegen im mittleren Preisbereich, während natürliche Dämmstoffe wie Kork „das andere Ende der Skala“⁴⁴¹ bilden.⁴⁴² Ein günstiger Preis allein ist allerdings kein Indiz für einen guten Dämmstoff. Vielmehr kommt es auf weitere Aspekte, wie beispielsweise die Umweltverträglichkeit, die bauphysikalischen Eigenschaften und auf gesundheitliche Auswirkungen an.⁴⁴³ Der größte Anteil der Kosten fällt zudem für die Arbeit, das Gerüst und das Material an, während die Kosten für das Dämmmaterial vergleichsweise eher gering ausfallen.⁴⁴⁴

⁴³⁷ Kloth o. J., o. S.

⁴³⁸ Effizienzhaus-online o. J., o. S.

⁴³⁹ Kloth o. J., o. S.

⁴⁴⁰ Vgl. Kloth o. J., o. S.

⁴⁴¹ Verbraucherzentrale o. J., o. S.

⁴⁴² Vgl. Verbraucherzentrale o. J., o. S.

⁴⁴³ Vgl. Kloth o. J., o. S.; vgl. Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 4.

⁴⁴⁴ Vgl. Verbraucherzentrale o. J., o. S.

Aufgrund der Vielzahl an Aspekten, die bei der Berechnung der Kosten über den Lebenszyklus hinweg berücksichtigt werden sollten und der Preisspanne der Dämmstoffe, ist eine gut überlegte und gegeneinander abgewogene Kostendiskussion sinnvoll. Dabei kommt es unter anderem auf die Prioritäten an, die der Eigentümer an die Dämmmaterialien und das Gebäude hat. Prioritäten können beispielsweise besonders hohe Anforderungen an die Nachhaltigkeit sein oder aber einen möglichst geringen Preis betreffen. Bei einer Kaufentscheidung spielen maßgeblich die Dämmwerte und die Kosten die größte Rolle.⁴⁴⁵

Wie bereits angedeutet, soll sich diese Arbeit auf Wärmedämmungen, Verglasungen bzw. Fenster und die Möglichkeiten von Sonnenschutz beschränken. Nachdem der Fokus bereits auf den verschiedenen Baustoffen lag, soll nun im weiteren Verlauf auf die verschiedenen Fenster und Verglasungsarten sowie darauffolgend auf die Sonnenschutzmaßnahmen eingegangen werden.

5.3 Fenster und Verglasungsarten

Auch Fenster und die Art der Verglasung haben großen Einfluss auf den Wärmeschutz in einem Gebäude. „Normales Fensterglas ist in der Lage, beinahe die gesamte Sonnenwärmestrahlung durchzulassen und die langwelligere Wärmestrahlung von Heizkörpern und anderen warmen Raumbegrenzungen zu reflektieren bzw. zu absorbieren.“⁴⁴⁶ Diese Eigenschaft beruht auf dem Treibhauseffekt. Bei Fenstern gilt es demnach solche Wärmeschutzmaßnahmen zu treffen, welche die Einstrahlung der Sonnenenergie durch das Fenster in das Gebäude verhindern oder nur kontrolliert zulassen und parallel dazu im Winter die Nutzung der Sonnenenergie ermöglichen, um eine Einsparung von Heizenergie zu erwirken.⁴⁴⁷ Um das Gebäude vor übermäßiger Sonneneinstrahlung im Sommer zu schützen, ist es notwendig, bauliche Maßnahmen zu ergreifen. Dies lässt sich durch die Wahl der Größe, Art, Anordnung und Ausrichtung der Fenster realisieren. Um Überhitzungen zu vermeiden und für Blendschutz zu sorgen, sollten die Verglasungsflächen im Osten und Westen minimal gehalten werden.⁴⁴⁸

⁴⁴⁵ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 2014, S. 16.

⁴⁴⁶ Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 75.

⁴⁴⁷ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 26.

⁴⁴⁸ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 16.

Für den winterlichen Wärmeschutz ist ein möglichst geringer U-Wert anzustreben. Zudem besteht die Anforderung an das Bauteil, einen möglichst großen Anteil des einfallenden Sonnenlichts durch die Verglasung hindurchzulassen, um über genügend Tageslicht im Rauminnen zu verfügen und somit zum Wohlbefinden und zur Behaglichkeit beizutragen. Dieser Anteil wird mit dem g-Wert beschrieben. Für den sommerlichen Wärmeschutz sollte bei der Wahl der Wärmeschutzgläser beachtet werden, „dass eine Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) eine Minderung der Energiedurchlässigkeit (g-Wert) mit sich bringt. Daher sollte bei der Wahl eines Fenstertypen ein guter Kompromiss zwischen niedrigem U-Wert und hohem g-Wert gefunden werden.“⁴⁴⁹

Es besteht die Wahl zwischen verschiedenen Verglasungen, wobei die Kriterien für die Auswahl, neben den Eigenschaften in Bezug auf den Wärmeschutz, auch den Schallschutz oder die Einbruchhemmung betreffen können.⁴⁵⁰ Es werden Einfach-, Doppel-, Dreifach-, Vierfach- und Wärmeschutzverglasungen unterschieden.⁴⁵¹ Zudem sind auch Sonnenschutzgläser eine Möglichkeit, das Gebäude vor zu viel Sonneneinstrahlung zu schützen.⁴⁵² Bei einer Einfachverglasung handelt es sich um eine einfache Scheibe mit U_g -Werten, wobei U_g den U-Wert der Verglasung darstellt, zwischen 3,6 bis 5,2 W/(m²K). Einfachverglaste Fenster sind für einen wirksamen Wärmeschutz ungeeignet.⁴⁵³ Isolierverglasungen bestehen aus zwei oder mehreren Glasscheiben, je nachdem, ob es sich um eine Zwei-, Drei- oder Vierfachverglasung handelt, welche gemeinsam „mit dem Randverbund eine Gasschicht dicht umschließen.“⁴⁵⁴ Isolierverglasungen tragen zu einer Verbesserung von Wärme- und Schallschutz bei.⁴⁵⁵ Wärmeschutzverglasungen, auch Wärmeschutz-Isoliergläser genannt, werden zur Verbesserung des Wärmeschutzes beschichtet und mit einer Gasfüllung versehen. Diese besteht im Gegensatz zu normalem Isolierglas aus den Gasen Argon und Krypton. Der U_g -Wert für eine Zweischeiben-Isolierverglasung kann Werte zwischen 3,3 und 1,0 W/(m²K) annehmen. Für edel-

⁴⁴⁹ Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 17.

⁴⁵⁰ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 16 – 17.

⁴⁵¹ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 17 – 19; vgl. Hegger et al. 2007, S. 155.

⁴⁵² Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 33.

⁴⁵³ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 17; vgl. Hegger et al. 2007, S. 153.

⁴⁵⁴ Hegger et al. 2007, S. 153.

⁴⁵⁵ Vgl. Hegger et al. 2007, S. 153.

gasgefüllte Dreischeiben-Wärmeschutz-Isoliergläser, welche zweifach beschichtet sind, betragen die Werte bis zu 0,5 oder 0,4 W/(m²K). Der allgemeine U-Wert für Fenster für Doppelverglasungen beträgt etwa um die 2,4 W/(m²K). Für spezielle Dreifachverglasungen kann dieser bis zu 0,7 oder 0,6 W/(m²K) betragen und für Wärmeschutzgläser bis zu 0,4 W/(m²K).⁴⁵⁶ Ein paar Kennwerte transparenter Bauteile sind in Tabelle 19 aufgeführt.

transparente Bauteile		U _g -Wert nach DIN EN 673	Tageslicht- trans- mission	g-Wert nach DIN EN 410
Einfachglas	Floatglas	5,8	0,90	0,85
	Floatglas mit Low-E-Beschichtung	3,8	0,67	0,62
	Weißglas	5,8	0,92	0,92
	Verbund-Einfachglas mit einlaminiertes Sonnenschutzfolie	5,8	0,75	0,52
Zweifach-Isolierglas	Wärmeschutzglas, luftgefüllt	1,4	0,80	0,63
	Wärmeschutzglas, argongefüllt	1,1	0,80	0,63
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1,1	0,70	0,41
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1,1	0,62	0,34
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1,1	0,51	0,28
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1,1	0,40	0,24
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1,1	0,30	0,19
Dreifach-Isolierglas	Wärmeschutzglas mit 2 Beschichtungen, argongefüllt	0,7	0,72	0,50
	Wärmeschutzglas mit 2 Beschichtungen, kryptongefüllt	0,5	0,72	0,50
Vierfach-Isolierglas	Wärmeschutzglas mit 4 Beschichtungen, kryptongefüllt	0,3*	0,59*	0,38*
Stegplatte	Polycarbonat	1,5*	0,70	0,60*
*Herstellerangabe				

Tabelle 19: Kennwerte ausgewählter transparenter Bauteile⁴⁵⁷

Sonnenschutzgläser sorgen durch Emallierung, bedruckte Glasflächen oder reflektierende Beschichtungen der äußeren Glasscheibe für eine verringerte Energiezufuhr durch die Sonne. Da dies zu einer Beeinträchtigung der Transparenz der Verglasungen führt, sind selektive Beschichtungen wie Low-E-Beschichtungen besser geeignet, um die transparente Wirkung zu erhalten.⁴⁵⁸ Low-E-Beschichtungen dienen der „Reduzierung der Emissivität mit selektiv reflektierenden Materialschichten“⁴⁵⁹ und somit der Reduktion des Wärmestrahlungsdurchgangs.⁴⁶⁰ Die Bezeichnung Low-E steht für Low-Emissivity und damit für eine niedrige Emissivität. Der U-Wert kann durch diese Be-

⁴⁵⁶ Vgl. Hegger et al. 2007, S. 153; vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 18; vgl. Deutsche Fensterbau 2018, o. S.; vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 199.

⁴⁵⁷ Hegger et al. 2007, S. 154 - 155.

⁴⁵⁸ Vgl. Hegger et al. 2007, S. 157.

⁴⁵⁹ Hegger et al. 2007, S. 149.

⁴⁶⁰ Vgl. Hegger et al. 2007, S. 149 und S. 153.

schichtung bei einer Zweifachverglasung von 3,0 auf rund 1,6 W/(m²K) verbessert werden.⁴⁶¹

Um den Wärmeschutz von Bestandsgebäuden zu verbessern, gibt es die Möglichkeiten, die bestehenden Fenster zu verbessern, wie etwa durch das „Einkleben von Schaumstoffdichtungen“⁴⁶² oder durch das „Aufbringen einer zusätzlichen Einfachverglasung in Kunststoffrandprofil auf dem vorhandenen Flügelrahmen“⁴⁶³. Eine weitere Option ist die Erneuerung der Verglasung. Vorzugsweise werden Wärmeschutzgläser eingebaut mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten U von höchstens 1,5 W/(m²K). Auch eine Erneuerung der Fenster ist möglich und stellt die am häufigsten durchgeführte und sinnvollste Verbesserungsmaßnahme bei Fenstern dar.⁴⁶⁴

Es gestaltet sich die Frage, welche Verglasungsarten am häufigsten in der Praxis eingesetzt werden. Bei der Datenerhebung, deren Ergebnisse in Tabelle 20 dargestellt sind, wurden Altbauten bis zum Baujahr 1978 und Neubauten, welche ab dem Jahr 2010 errichtet wurden, unterschieden sowie der gesamte Wohngebäudebestand betrachtet.⁴⁶⁵

	alle Wohngebäude	Altbauten bis Baujahr 1978	Neubauten mit Baujahr ab 2010
insgesamt	100 %	100 %	100 %
Fensterbaujahr bis 1994 (weitgehend keine Wärmeschutzverglasung)			
Ein-Scheiben-Verglasung	3,3 % +/- 0,5 %	4,2 % +/- 0,7 %	
Zwei-Scheiben-Verglasung*	35,2 % +/- 1,0 %	37,6 % +/- 1,4 %	
Drei-Scheiben-Verglasung	1,3 % +/- 0,2 %	0,9 % +/- 0,2 %	
Fensterbaujahr ab 1995 (weitgehend Wärmeschutzverglasung)			
Ein-Scheiben-Verglasung	1,1 % +/- 0,2 %	1,4 % +/- 0,4 %	0,1 % +/- 0,1 %
Zwei-Scheiben-Verglasung*	50,2 % +/- 1,0 %	49,7 % +/- 1,3 %	23,0 % +/- 3,1 %
Drei-Scheiben-Verglasung	8,9 % +/- 0,5 %	6,1 % +/- 0,5 %	76,9 % +/- 3,1 %

* einschließlich Kastenfenster

Tabelle 20: Verglasungsarten und Fensterbaujahr⁴⁶⁶

Zusätzlich wurden die Anzahl der Scheiben und das Fensterbaujahr bei der Datenerhebung berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen an, dass ein Wechsel von der Isolierverglasung hin zur Wärmeschutzverglasung stattgefunden hat, ungefähr ab dem

⁴⁶¹ Vgl. Hegger et al. 2007, S. 154.

⁴⁶² Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 79.

⁴⁶³ Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 79.

⁴⁶⁴ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 78 - 81.

⁴⁶⁵ Vgl. Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 69.

⁴⁶⁶ Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 70.

Jahr 1995. Des Weiteren kann aus der Tabelle abgelesen werden, dass der Einsatz von Zwei-Scheiben-Verglasungen bei Altbauten und insgesamt im Wohngebäudebestand dominiert, während im Neubau überwiegend die Drei-Scheiben-Verglasung bevorzugt eingesetzt wird.⁴⁶⁷ „Fasst man die nach 1994 eingebauten Fenster mit Zwei- bzw. Drei-Scheiben-Verglasung zusammen und interpretiert diese Zahl [...] als den Anteil der Wärmeschutzverglasung, so erhält man für den Wohngebäudebestand einen Wert von 59,1 % +/- 1,1 %. Im Altbau beträgt der Anteil der Wärmeschutzverglasung nach diesem Ansatz 55,9 % +/- 1,4 % und im Neubau annähernd 100 %“.⁴⁶⁸ Hierbei ist anzumerken, dass es sich bei den geringen Anteilen der Ein-Scheiben-Verglasungen in der Auswertung nach 1994 aller Wahrscheinlichkeit nach um fehlerhafte Angaben handeln kann, besonders beim Betrachtungsbereich des Neubaus.⁴⁶⁹

Inhalt der nachfolgenden Tabelle sind Altbauten mit einem Baujahr bis 1978, bei denen mindestens 75 % der Fensterfläche ab 2010, im Zeitraum von 2010 bis 2012 und ab 2013 erneuert wurde.⁴⁷⁰

	Fenstererneuerung ab 2010	Fenstererneuerung 2010–2012	Fenstererneuerung ab 2013
Ein-Scheiben-Verglasung	0,5 % +/- 0,3 %	1,1 % +/- 0,7 %	0,0 % +/- 0,0 %
Zwei-Scheiben-Verglasung*	72,3 % +/- 2,8 %	76,5 % +/- 3,7 %	65,1 % +/- 4,4 %
Drei-Scheiben-Verglasung	27,2 % +/- 2,8 %	22,4 % +/- 3,7 %	34,9 % +/- 4,4 %

* einschließlich Kastenfenster

Tabelle 21: Verglasungsarten bei Fenstererneuerung ab 2010 in Altbauten bis Baujahr 1978⁴⁷¹

Das Ergebnis der Datenerhebung zeigt, „dass der Anteil der Drei-Scheiben-Verglasung bei der Altbaumodernisierung von rund 22 % in den Jahren 2010–2012 auf bis etwa 35 % ab 2013 noch einmal deutlich zugenommen hat.“⁴⁷² Am häufigsten wurden im Rahmen einer Fenstererneuerung in den betrachteten Zeiträumen Zwei-Scheiben-Verglasungen eingesetzt.

Neben Baustoffen wie Fenstern und Dämmmaterialien, können auch Sonnenschutzvorrichtungen am Gebäude installiert werden, um der sommerlichen Hitze entgegen zu wirken und das Gebäude vor der Sonnenstrahlung zu schützen. Diese Möglichkeiten sollen im nachfolgenden Kapitel erläutert werden.

⁴⁶⁷ Vgl. Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 69.

⁴⁶⁸ Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 69.

⁴⁶⁹ Vgl. Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 69.

⁴⁷⁰ Vgl. Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 71.

⁴⁷¹ Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 71.

⁴⁷² Cischinsky und Diefenbach 2018, S. 71.

5.4 Sonnenschutzvorrichtungen

„Effektive Maßnahmen um möglichst wenig Wärme in das Gebäude zu lassen, sind außen liegende Sonnenschutzelemente, von denen eine Vielzahl von unterschiedlichen Herstellern angeboten“⁴⁷³ wird.

Für Fensterflächen wird ein wirksamer Schutz gegen die Sonnenstrahlung empfohlen. Den entsprechenden Schutz bieten Sonnenschutzelemente wie Markisen, Jalousien, Fenster- bzw. Rollläden, Sonnenschutzfolien oder Bauteile wie Sonnenschutzgläser, Balkone im Süden oder Auskragungen oberhalb eines Fensters, welche ebenfalls Verschattungen vor der Sonne bieten. Dadurch wird bei hohem Sonnenstand die Sonneneinstrahlung reduziert.⁴⁷⁴ Die Stärke der Reduzierung wird durch den Abminderungsfaktor F_c angegeben.⁴⁷⁵

In der nachfolgenden Tabelle 22 werden die Abminderungsfaktoren aus der DIN 4108-2, Tabelle 8, dargestellt, welche von den fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen bewirkt werden. Mit dem Abminderungsfaktor wird der Teil der Sonneneinstrahlung bezeichnet, welcher in den Raum eindringt. Die Wirksamkeit des Sonnenschutzes ist dabei umso höher, je geringer der Anteil bzw. der Faktor ist. Das bedeutet, dass die Sonneneinstrahlung beispielsweise bei Rollläden oder Fensterläden um 70 % reduziert wird und nur noch 30 % der Strahlung in das Gebäude gelangen können, während der Raum ohne den wirksamen Schutz der Rollläden zu 100 % der Sonnenstrahlung ausgesetzt wäre.⁴⁷⁶

⁴⁷³ Baunetz Wissen Dämmstoffe o. J., o. S.

⁴⁷⁴ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 267; vgl. Paschotta o. J., o. S.; vgl. Baunetz Wissen Dämmstoffe o. J., o. S.

⁴⁷⁵ Vgl. KOMKO bauen o. J., S. 5.

⁴⁷⁶ Vgl. KOMKO bauen o. J., S. 5.

Zelle	Sonnenschutzvorrichtung	Abminderungsfaktor F_c
1	Ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,00
2	Innenliegend oder zwischen den Scheiben	
2.1	Weiß oder reflektierende Oberfläche mit geringer Transparenz	0,75
2.2	Helle Farben oder geringe Transparenz	0,80
2.3	Dunkle Farben oder höhere Transparenz	0,90
3	Außenliegender Sonnenschutz	
3.1	Drehbare Lamellen, hinterlüftet	0,25
3.2	Jalousien und Stoffe geringer Transparenz, hinterlüftet	0,25
3.3	Jalousien, allgemein	0,40
3.4	Rollläden, Fensterläden	0,30
3.5	Vordächer, Loggien, freistehende Lamellen	0,50
3.6	Markisen, oben und seitlich ventiliert	0,40
3.7	Markisen, allgemein	0,50

Tabelle 22: Abminderungsfaktoren von Sonnenschutzvorrichtungen nach DIN 4108-2, Tabelle 8⁴⁷⁷

Weiterhin können auch Laubbäume an der richtigen Stelle eine attraktive Verschattungsmaßnahme darstellen.⁴⁷⁸ Und auch das Nutzerverhalten hinsichtlich der nächtlichen Lüftung spielt beim Wärmeschutz zusätzlich eine Rolle.⁴⁷⁹ Empfohlen wird das intensive Querlüften während der zweiten Nachthälfte, da zu dieser Zeit die Außentemperaturen ein Tagesminimum erzielen und somit zur Kühlung der Räume besonders wirksam sind. Um die Abführung der gespeicherten Wärme auch aus den massiven Bauteilen zu bewirken, ist das Querlüften über Fenster gegenüberliegender Fassadenseiten ausgezeichnet geeignet. Des Weiteren obliegt es dem Nutzer, die Sonneneinstrahlung in die Räume zu verhindern, indem die Sonnenschutzvorrichtungen betätigt werden, sobald eine direkte Besonnung der Fenster eintritt. Hier ist es wichtig, das Augenmerk auf die Vorbeugung der Erwärmung zu legen, statt eines verspäteten Eingreifens bei schon erfolgter Erhitzung der Räumlichkeiten und längerer Besonnung der Fenster.⁴⁸⁰

Bei der Planung, welche Sonnenschutzmaßnahmen sich für das Gebäude eignen und zum Einsatz kommen sollen, ist es sinnvoll, die Vorteile und Aspekte, die es zu beachten

⁴⁷⁷ KOMKO bauen o. J., S. 5.

⁴⁷⁸ Vgl. wetter.net 2019, o. S.; Paschotta o. J., o. S.

⁴⁷⁹ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 267; vgl. Baunetz Wissen Dämmstoffe o. J., o. S.

⁴⁸⁰ Vgl. KOMKO bauen o. J., S. 5 und S. 8.

gilt, bei der Auswahl miteinzubeziehen. Ist das Gebäude beispielsweise hohen Windlasten ausgesetzt, eignet sich ein innenliegender Sonnenschutz, wie Rollos und Lamellenraffstores oder statisches Sonnenschutzglas, vergleichsweise besser als außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen. Einen guten, vergleichbaren Überblick bietet hierfür die nachfolgende Tabelle 23.⁴⁸¹

Sonnenschutz	Vorteile	Zu beachten
Sonnenschutz außen – fest (Feststehende Lamellen, Sonnensegel etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Niedriger g-Wert (< 0,2) • Funktionsfähig auch bei großen Windlasten und Gebäudehöhen • Reinigung der festen Elemente vertretbar • Design-/Gestaltungselement • Hagelschutz für Fassade 	<ul style="list-style-type: none"> • Nur bedingte Anpassung an die tages-/jahreszeitlichen Strahlungsverhältnisse • Keine Anpassung an Nutzerverhältnisse • Aufwändige Schnittstellenplanung von Fassade und Glas • CE-Kennzeichnung nach EN 13659
Sonnenschutz außen – beweglich (Raffstores, Läden, Behänge, Rollos etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Niedriger g-Wert (< 0,2) • Variable Tageslichtnutzung • Anpassung an Nutzerbedürfnisse 	<ul style="list-style-type: none"> • Eingeschränkte Funktionsfähigkeit bei großen Windlasten und Gebäudehöhen • Reinigung der filigranen Elemente ist aufwendig • CE-Kennzeichnung nach EN 13659
Sonnenschutz innen (Lamellenraffstores, Vertikaljalousie, Rollos etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionsfähig auch bei großen Windlasten und Gebäudehöhen • Variable Tageslichtnutzung • Anpassung an Nutzerbedürfnisse • Einfacher Einbau und Integration in Fenster und Fassaden 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Effektivität für sommerlichen Wärmeschutz • Reinigung der filigranen Elemente ist aufwendig • Beeinflussung der Innenraumgestaltung • Ggf. erhöhte raumseitige Oberflächentemperatur • EN 13120 (keine CE-Kennzeichnung)
Sonnenschutzglas statisch	<ul style="list-style-type: none"> • Niedrige g-Werte möglich (0,2 – 0,5) • Funktionsfähig auch bei großen Windlasten und Gebäudehöhen • Leichte Reinigung • Einfacher Einbau, keine Schnittstellen zwischen Glas und Sonnenschutz 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Blendfreiheit (zusätzlicher Blendschutz notwendig) • Einfärbung Verglasung durch Beschichtung • Austausch nur als komplette Glaseinheit möglich • Keine Anpassung an Nutzerbedürfnisse und tages-/jahreszeitliche Strahlung • Erhöhte Temperatur an raumseitigen Oberflächen • CE-Kennzeichnung nach EN 1279
Markisen und Sonnenblenden	<ul style="list-style-type: none"> • Variabel • Keine Beeinträchtigung in der Sicht nach außen 	<ul style="list-style-type: none"> • CE-Kennzeichnung nach EN 13561 • Eingeschränkte Funktionsfähigkeit bei großen Windlasten und Gebäudehöhen
Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum (SZR) von Mehrscheiben-Isolierglas (MIG) (Rollos, Jalousien etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Niedriger g-Wert (~ 0,2) • Funktionsfähig auch bei großen Windlasten und Gebäudehöhen • Variable Tageslichtnutzung • Anpassung an Nutzerbedürfnisse • Reinigung des Sonnenschutzes nicht erforderlich • Einfacher Einbau und Integration in Fenster und Fassaden 	<ul style="list-style-type: none"> • Austausch nur als komplette Einheit möglich • Erhöhte Temperaturbelastung im SZR • Hohe Anforderung an Produktqualität und Gebrauchstauglichkeit • Hoher Kostenfaktor • Planung für Elektrik und Steuerung notwendig • Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ift-Richtlinie VE-07/2

Tabelle 23: Bewertungskriterien von Sonnenschutzsystemen⁴⁸²

Abschließend soll noch einmal zusammengefasst werden, dass für den sommerlichen Wärmeschutz eines Gebäudes bei Fensterflächen mit einer Ausrichtung nach Osten, Süden oder Westen außen- oder innenliegende Verschattungsmaßnahmen notwendig sind. Bei großen Fensterflächen ist hierbei der Einsatz außenliegender Verschattungs-

⁴⁸¹ Vgl. Spitzner 2013b, S. 24.

⁴⁸² Spitzner 2013b, S. 24.

vorrichtungen meist sinnvoller. Eine andere Möglichkeit bzw. parallel möglich ist auch der Einsatz von Sonnenschutzgläsern. Aufgrund der intensiven Sonneneinstrahlung auf dem Süden zugeneigte Flächen, ist besonders bei Fenstern mit Schrägverglasung im Süden eine wirksame Verschattung notwendig. Des Weiteren bieten sich auch Verschattungsmöglichkeiten durch auskragende Dächer oder Balkone an. Eine erhöhte Nachtlüftung führt zusätzlich zur Abkühlung der Räume. Durch den Einsatz dieser Sonnenschutzmaßnahmen kann die Kühlung durch Klimaanlage oder andere maschinelle Kühlleistungen in der Regel vermieden werden.⁴⁸³ „Sonnenschutz kann nur durch eine integrative Planung energieeffizient, kostengünstig und nachhaltig erreicht werden.“⁴⁸⁴ Es gilt daher, den Sonnen- und Wärmeschutz eines Gebäudes ernst zu nehmen und bei der Planung, sei es von Neubauten oder bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen bestehender Gebäude, ausreichend Bedeutung beizumessen. In diesem Rahmen sollte die Auswahl der geeigneten Sonnenschutzvorrichtungen gut und bestenfalls vorausschauend geplant werden.

Nachfolgend sollen die Meinung und die Sichtweise eines Architekten ein abschließendes Resümee des fünften Kapitels bilden.

5.5 Experteninterview mit dem Architekten Prof. Mario Kny

Stützend auf die vorangegangenen Kapitel wurde ein Experteninterview mit dem Architekten Prof. Mario Kny durchgeführt.

1. Wie wichtig wird der sommerliche Wärmeschutz bei der Planung eines Gebäudes eingestuft? Sind Sie als Architekt bei der Planung in der Pflicht, den sommerlichen Wärmeschutz zu beachten und einzuhalten?

Der sommerliche Wärmeschutz ist meiner Auffassung nach nahezu gleichwertig zum winterlichen Wärmeschutz zu betrachten. Ich sehe den Architekten durchaus in der Pflicht, den sommerlichen Wärmeschutz in seinen Entwürfen und in die Beratung des Bauherrn einfließen zu lassen.

⁴⁸³ Vgl. Spitzner 2013b, S. 25.

⁴⁸⁴ Demel und Benitz-Wildenburg 2014, S. 6.

2. Welche Sonnenschutz- bzw. Wärmeschutzvorrichtungen und Maßnahmen können Sie als Architekt empfehlen? Welche Materialien sind Ihrer Meinung nach besonders gut zur Dämmung geeignet?

Ich bevorzuge und empfehle außen vorgesetzte Raffstore- oder Jalousieanlagen, aber auch feste Verschattungsanlagen und die Ausnutzung von Balkon- und / oder Dachüberständen. Die Palette an Dämmmaterialien ist vielfältig. Die konkrete Auswahl wird immer am Objekt und in der Regel mit dem Bauherrn entschieden.

3. Welche Sonnenschutz- bzw. Wärmeschutzvorrichtungen und Maßnahmen werden üblicherweise eingebaut? Gibt es einen Standard?

Aus der Erfahrung heraus bevorzugen viele private Bauherrn nach wie vor die konventionelle Jalousie mit im Mauerwerk integriertem Rollladenkasten. Die hier auftretenden Kälte- bzw. Wärmebrücken werden dabei von den Bauherren oft unterschätzt. Einen Standard gibt es hier aber nicht, da jeder Schwachpunkt in der thermischen Hülle durch andere Maßnahmen kompensiert werden kann, um den Nachweis der Einhaltung des winterlichen und des sommerlichen Wärmeschutzes zu erbringen. Von gewerblichen und öffentlichen Bauherren werden zunehmend außen vorgesetzte Raffstoreanlagen eingesetzt, da hier auch ein interessanter gestalterischer Effekt erzielt werden kann.

4. Gehört der Nachweis eines wirksamen sommerlichen Wärmeschutzes zu Ihren Aufgaben als Architekt? Waren Sie bereits in der Pflicht einen Nachweis für ein Gebäude in Ihrem Auftrag zu erbringen?

Der Nachweis gehört üblicherweise in das Leistungsbild der HLS-Planung. Auch Energieberater sind hier die Leistungserbringer. Daher habe ich auch noch keinen Wärmeschutznachweis erstellt.

5. Bevorzugen oder empfehlen Sie eine massive oder eine leichte Bauweise im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz?

Ich bevorzuge sowohl für den winterlichen als auch für den sommerlichen Wärmeschutz eine massive Bauweise, gegebenenfalls eine Kombination aus beidem, da der massive Teil des Außenmauerwerks immer als Wärmespeicher wirkt und somit Aufheizung und Abkühlung verzögert. Hier spielen wieder die stationären Verschattungsanlagen eine

Rolle, die ein zu starkes Aufheizen des Außenmauerwerks verhindern, gleich ob es massiv oder leicht ist.

6. Wissen Sie, inwiefern eine nachträgliche Dämmung oder Sanierung der Fassaden bzw. der Außenmauern möglich und sinnvoll ist? Auch unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte?

Möglich ist eine nachträgliche Fassadendämmung und -sanierung in der Regel immer. Ob es sinnvoll und wirtschaftlich ist, entscheidet sich am konkreten Objekt über das Verhältnis Fenster- / Wandanteile, geplante Nutzung, vorhandenes Material etc.

7. Würden Sie synthetische oder natürliche Dämmmaterialien empfehlen?

Ich vermeide synthetische Dämmstoffe, da die Herstellung fossile Rohstoffe verbraucht, sie in ihrem Brandverhalten in der Regel bedenklich sind, nicht diffusionsoffen sind und damit das Gebäude luftdicht abschließen und beim Rückbau Sondermüll darstellen, der erst in mehreren 10.000 Jahren abgebaut ist. Wenn möglich und zum Gesamtkonzept passend, setze ich gern natürliche Dämmstoffe ein. Mit mineralischen Dämmstoffen habe ich ebenfalls gute Erfahrungen gemacht.

8. Können Sie grobe Kostenbereiche nennen für die Ihrer Meinung nach empfehlenswertesten Dämmmaterialien bzw. -maßnahmen? Mit welchem Kostenrahmen muss der Eigentümer bei einer nachträglichen Dämmung etwa rechnen?

Diese Frage lässt sich pauschal nicht beantworten, weil Material, -stärke, Flächenanteile im Einzelfall betrachtet werden müssen, um eine ökologisch sinnvolle und wirtschaftliche Lösung zu finden und dann kostenseitig zu bewerten.

Die Meinung und die Erfahrungen des Architekten untermauern die in den vorangegangenen Kapiteln getroffenen Aussagen.

6 Die Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes von Bestandsimmobilien an einem Beispiel

In diesem Kapitel soll anhand eines Beispielobjektes aufgezeigt werden, inwiefern der sommerliche Wärmeschutz dieser Immobilie verbessert werden kann, um die Richtlinien der Energieeinsparverordnung sowie zukünftig des Gebäudeenergiegesetzes zu erfüllen und das Gebäude den Entwicklungen des Klimawandels anzupassen sowie dabei eine höhere Behaglichkeit herzustellen. Es sollen die möglichen Arten beschrieben werden, auf welche Weise der sommerliche Wärmeschutz von bestehenden Wohnimmobilien verbessert werden kann, um eine Überhitzung des Gebäudes zu vermeiden.

6.1 Die Vorstellung der Beispielimmobilie

Zunächst soll die Beispielimmobilie kurz vorgestellt werden. Es sollen Hintergrundinformationen genannt, der Grundriss und die Lage sowie einige Informationen über den bestehenden Wärmeschutz beschrieben werden. Die Unterlagen des Beispielgebäudes wurden von dem Architekten Herrn Prof. Mario Kny für diese Bachelorarbeit zur Verfügung gestellt. Die Grundrisse sind in der Anlage 5 hinterlegt. Im Falle fehlender Angaben sollen Gegebenheiten und entsprechende Werte angenommen werden.

Bei dem Beispielgebäude handelt es sich um ein Bestandsgebäude, welches im Jahr 1930 errichtet wurde. 2017 erfolgte die Erweiterung des Gebäudes um einen Anbau. Das Einfamilienwohnhaus befindet sich im Bundesland Sachsen im Raum Chemnitz und ist somit laut DIN 4108-2: 2013-02 der gemäßigten Klimazone B angehörig.⁴⁸⁵

Das Hauptgebäude besteht aus einem Kellergeschoss, Erd- und Obergeschoss, umfasst insgesamt 165,82 m² und wurde in traditioneller Ziegelbauweise errichtet. Bei dem Bestandsmauerwerk handelt es sich um ein sogenanntes Hohlwandmauerwerk mit jeweils 12 cm Ziegeln auf der Außen- und Innenseite und einem 6 cm großen Luftraum im Zwischenraum. Die Geschossdecke des Kellergeschosses besteht aus ungedämmtem Stahlbeton. Die weiteren Geschossdecken sind aus Holzbauteilen beständig. Die Immo-

⁴⁸⁵ Vgl. Bosy 2001, o. S.

bilie verfügt über einen Holzdachstuhl sowie hölzerne Deckenbalken. Zwischen 1995 und 1997 erfolgte eine Ausstattung des Gebäudes mit neuen Kunststofffenstern. Vor der Sonneneinstrahlung wird das Objekt durch innen liegende, helle Plissees geschützt, mit Ausnahme der südöstlich gelegenen Fenster, welche mit keiner Sonnenschutzvorrichtung ausgestattet sind.

Der 2017 errichtete Anbau besteht aus einem Keller- und einem Erdgeschoss, die Fläche umfasst insgesamt 49,06 m². Das Mauerwerk wurde dem Bestandsgebäude optisch durch die Ziegelbauweise angepasst, die Außenwände sind zudem verputzt und zusätzlich mit einem Wärmedämm-Systemputz sowie armiertem Ausgleichputz und Armierungsgewebe ausgestattet. Im Rauminnen befindet sich ein Innenwandputz aus Gips-Kalk-Maschinenputz. Das Erdgeschoss wurde zudem gegen Trittschall (TS) und zusätzlich mittels expandierten Polystyrols (EPS),⁴⁸⁶ gedämmt. Die Geschossdecken des Anbaus bestehen aus Stahlbeton, welcher durch Dichtschlämme abgedichtet bzw. gedämmt wurde. Auch die Optik der Decke im Erdgeschoss wurde an die des Hauptgebäudes durch den Einbau von Holzdeckenbalken angepasst. Gedämmt wurde die Decke mit einer 10 cm dicken Mineralwolle der Wärmeleitgruppe 040 (bedeutet, der U-Wert entspricht etwa 0,40 W/(m²K)) zwischen den Deckenbalken. Das Dach wurde mit Bitumen-Dachschindeln gedeckt. Um einen wirksamen Feuchteschutz zu bieten, wurde eine Bitumen-Schalungsbahn als Dampfsperre eingebaut. Zusätzlich wurden 25 mm dicke OSB-Platten in der Stärke 4 zur Schalung verwendet, kombiniert mit einer 14 cm dicken Dämmschicht aus Mineralwolle mit der Wärmeleitgruppe 040 zwischen den Sparren. Der Anbau wurde weiterhin mit neuen Kunststofffenstern versehen, welche einen U_g-Wert von 0,8 W/(m²K) und einen Gesamt-U-Wert von 1,0 W/(m²K) aufweisen. Diese Werte lassen auf eine Drei-Scheiben-Isolierverglasung schließen.⁴⁸⁷ Außenraffstores aus Alu, mit einer Breite von 80 mm, schützen die Räume vor der Sonnenstrahlung.

Laut Paragraf 51, Absatz 2 des zukünftigen GEG sind die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (laut Paragraf 14) bei einer Erweiterung bzw. einem Ausbau des Gebäudes um eine zusammenhängende Nutzfläche von mehr als 50 Quadratmeter einzuhalten.⁴⁸⁸ Da die Nutzfläche des Anbaus des Beispielgebäudes mit insgesamt

⁴⁸⁶ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 317.

⁴⁸⁷ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 199.

⁴⁸⁸ Vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 40.

49,06 m² unterhalb dieser Grenze liegt, muss hierfür kein Nachweis eines wirksamen sommerlichen Wärmeschutzes erbracht werden.

Im Folgenden sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, den sommerlichen Wärmeschutz des Bestandsgebäudes zu verbessern und entsprechend dem Standard des Anbaus zeitgemäß aufzuwerten und anzupassen.

6.2 Die Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes der Immobilie

In diesem Kapitel soll aufgrund der vorangegangenen Erkenntnisse zum sommerlichen Wärmeschutz vor dem Hintergrund des Klimawandels und der damit an Bedeutung gewinnenden Maßnahmen zur Aufrüstung von Bestandsgebäuden eine Untersuchung stattfinden, inwiefern der sommerliche Wärmeschutz konkret das vorgestellte Beispielgebäude verbessern kann.

Aufgrund des Baujahres 1930 des Einfamilienwohnhauses und den Angaben des Architekten Herrn Prof. Mario Kny, ist stark anzunehmen, dass die Baustoffe des Bestandsgebäudes bereits in die Jahre gekommen sind und keinen größtmöglichen Beitrag mehr zum sommerlichen Wärmeschutz leisten können. Eine entsprechende Aufrüstung der Bauteile durch zuvor erläuterte Wärme- und Sonnenschutzmaßnahmen ist vor den gegenwärtigen und prognostizierten Temperaturentwicklungen durch den Klimawandel anzustreben.

Da sich das Gebäude in Sachsen, im Raum Chemnitz befindet, welches in der Klimaregion B liegt, ist es einem gemäßigten Klima ausgesetzt.⁴⁸⁹ Doch auch das Bundesland Sachsen erfährt kontinuierlich erhöhte Hitzebelastungen im Sommer und einen zunehmenden Temperaturanstieg. In nachfolgender Abbildung wird dieser Erwärmungstrend in Sachsen mittels der Daten des Deutschen Wetterdienstes durch das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie aufgezeigt.⁴⁹⁰

⁴⁸⁹ Vgl. Bosy 2001, o. S.

⁴⁹⁰ Vgl. Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft 2007, o. S.

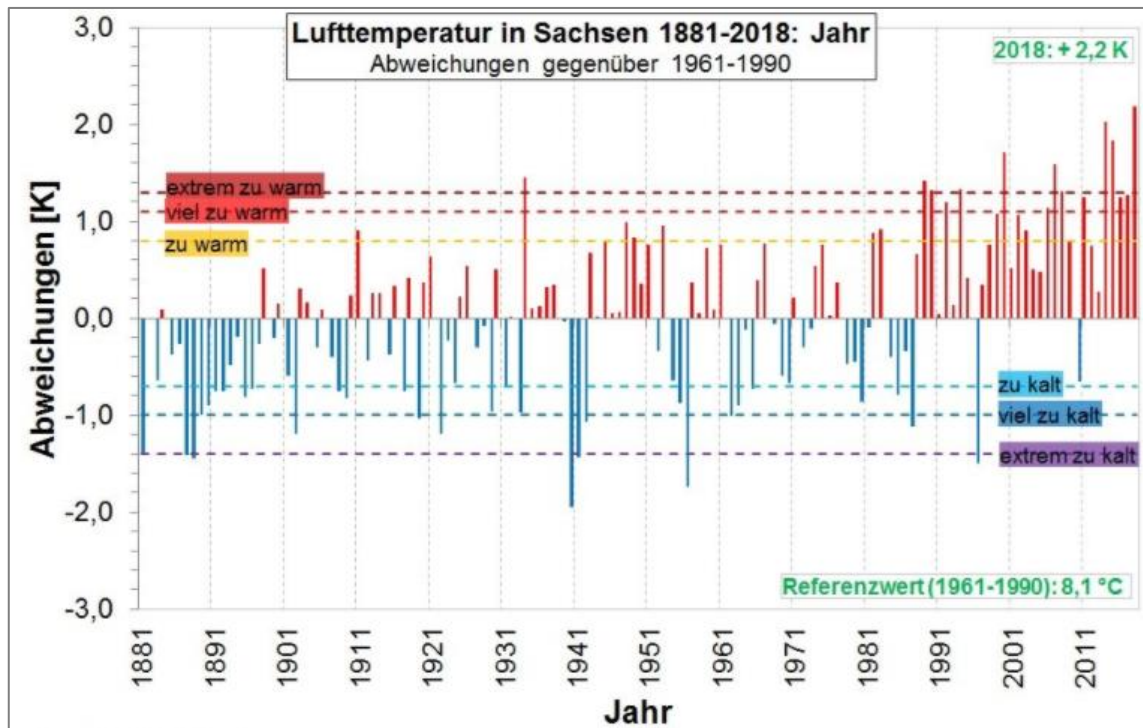


Abbildung 32: Abweichungen der Jahresmitteltemperatur [K] gegenüber 1961 – 1990 in Sachsen, 1881 bis 2018⁴⁹¹

Diese Statistik, welche die steigenden Abweichungen der Jahresmitteltemperatur von bereits über zwei Kelvin in Sachsen und somit die Überschreitung für den Menschen angenehmer, behaglicher Temperaturen aufzeigt, unterstützt die Aussage der wachsenden Bedeutung des sommerlichen Wärmeschutzes und der Notwendigkeit zur Aufrüstung von Bestandsgebäuden zur Vermeidung von Überhitzungen.

Die Reihenfolge der möglichen Maßnahmen zur Aufwertung der Immobilie soll sich an den vorangegangenen Kapiteln orientieren, weshalb zunächst auf mögliche Dämmmaßnahmen eingegangen werden soll. Anschließend soll die Möglichkeit der Verbesserung bzw. des Austausches von Fenstern und Verglasungen untersucht und nachfolgend sollen die für die Wohnimmobilie in Frage kommenden Sonnenschutzvorrichtungen diskutiert werden.

⁴⁹¹ Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft 2007, o. S.

6.2.1 Die Verbesserung durch wärmedämmende Maßnahmen

Wie im Kapitel 6.1 beschrieben, besteht das Bestandsgebäude aus einem Hohlwandmauerwerk in Ziegelbauweise, welches im Hohlraum mit einer 6 cm breiten Luftschicht gefüllt ist. Bei dieser Bauweise handelt es sich um eine mittlere bis schwere Bauart. Dadurch ist das Gebäude bereits besser gegen Überhitzung gewappnet als solche, die in der Leichtbauweise errichtet wurden. Die Bauweise des Bestandsgebäudes ist mittlerweile überholt und entspricht aus folgendem Grund nicht mehr dem aktuellen Standard.

Der luftgefüllte Hohlraum zwischen den Ziegeln galt vor einiger Zeit als notwendig, besonders effizient und langlebig. Eine ruhende Luftschicht sollte zu einer Verbesserung der Wärmedämmung führen. Diese Annahme wurde inzwischen durch die Erkenntnis ersetzt, dass der Verzicht einer Luftschicht zwischen den Mauerschalen keine bauphysikalischen Nachteile bewirkt und es stattdessen im Sinne des Wärmeschutzes sinnvoller ist, den Hohlraum zwischen den Schalen mit Dämmmaterialien auszustatten. Besonders im Winter wurde eine heftige Bewegung der Luft im Spalt aufgrund der Temperaturunterschiede festgestellt. Hier wurde beobachtet, dass das Einfüllen eines Dämmstoffes die Luft zur Ruhe bringt und somit der U-Wert erheblich verbessert werden kann.⁴⁹²

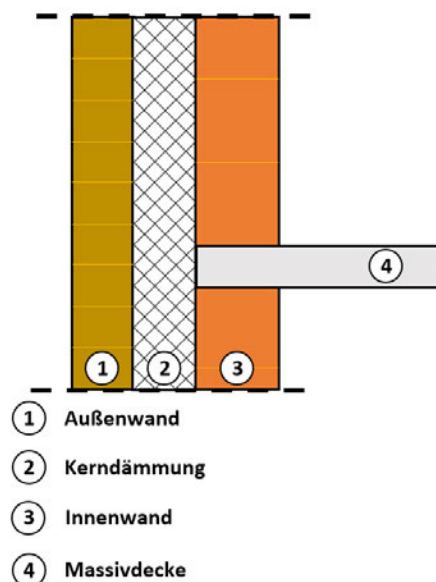


Abbildung 33: Kerndämmung von mehrschaligem Mauerwerk⁴⁹³

⁴⁹² Vgl. Nowotka 2020c, o. S.

⁴⁹³ In Anlehnung an Nowotka 2020c, o. S.

Die Abbildung 33 soll den Wandaufbau mit einer wirksamen Kerndämmung der inneren sowie der äußeren Mauerschale aufzeigen. In der Abbildung besteht die Außenschale des Mauerwerks aus hart gebrannten Ziegeln und die Innenschale aus normalen oder wärmedämmenden Ziegeln.

Da die Dämmschicht des Beispielgebäudes lediglich aus einer 6 cm breiten Luftschicht besteht, kann angenommen werden, dass die Dämmwirkung mit hoher Wahrscheinlichkeit zu schwach ausfällt. Dies kann zu einer Verminderung der Behaglichkeit in dem Einfamilienwohnhaus führen.

Um das Objekt besser gegen die sommerliche Wärme zu schützen, sollen die Außenwände durch die Hohlräumfüllung mit geeigneten Dämmstoffen gedämmt werden. Umgesetzt wird diese Modernisierungsmaßnahme durch das Einblasen des Dämmmaterials, wodurch der Hohlraum im Hohlwandmauerwerk lückenlos verfüllt wird. Hierfür werden Löcher in bestimmten Abständen in die Außenwand gebohrt. Das Einblasen des Dämmmaterials erfolgt über die Löcher mittels eines Schlauches und Gebläse. Die Dämmung erfolgt daher mit einblasfähigen Stoffen.⁴⁹⁴ Für die Verfüllung eignen sich Mineralwollekügelchen, Mineralfaserflocken, Perlite, Blähglas, EPS-Hartschaumgranulat, Holzfaser, Korkgranulat und Zelluloseflocken.⁴⁹⁵ Das Auswahlkriterium ist an erster Stelle die Wärmeleitfähigkeit. Diese sollte sich im Bereich 031 bis 045 der Wärmeleitgruppen (WLG) befinden und somit möglichst gering sein. Des Weiteren sollte auf eine niedrige Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ , welche zwischen 1 und 10 liegen sollte, geachtet werden. Diese Faktoren sind für einen geeigneten Dämmstoff maßgeblich.⁴⁹⁶ Dabei gilt es zu beachten, dass die Vorgaben der EnEV bzw. des GEG eingehalten werden müssen, wenn die Außenwände von Bestandsgebäuden ersetzt oder erneuert werden. Dies bedeutet, dass der in Anlage 1 vorgegebene Wärmedurchgangskoeffizient von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nach Vollendung der Sanierungsmaßnahme nicht überschritten werden darf.⁴⁹⁷

Weiterhin ist die Anpassung der Wände an die des Anbaus zu empfehlen. Das bedeutet, dass zusätzlich zu der oben beschriebenen Sanierung des Hohlwandmauerwerks eine Aufwertung der Wände mit einem wärmedämmendem Systemputz sowie armiertem

⁴⁹⁴ Vgl. Nowotka 2020c, o. S.

⁴⁹⁵ Vgl. Nowotka 2020c, o. S.; vgl. Nowotka 2020a, o. S.

⁴⁹⁶ Vgl. Nowotka 2020b, o. S.

⁴⁹⁷ Vgl. Arndt 2002, S. 192; vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 98 – 102..

Aus-gleichsputz und Armierungsgewebe erfolgen sollte. Das Armierungsgewebe kann beispielsweise aus natürlichen Rohstoffen wie Flachs, Hanf oder Jute bestehen.⁴⁹⁸ Neben den Möglichkeiten der Wärmedämmung durch die beschriebene Kerndämmung durch das Ausfüllen der Luftschicht des zweischaligen Mauerwerks und der Wärmedämmung durch das Auftragen von Wärmedämmputz auf der Außenseite, existieren weitere Optionen, das Gebäude zu dämmen.

Zu diesen weiteren Dämmmaßnahmen zählen, wie in Kapitel 5.2 kurz aufgeführt, etwa das Anbringen eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS) auf der Außenseite oder die Dämmung mittels einer Vormauerung bzw. Verblendschale. Auch auf der Innenseite des Gebäudes ist es möglich, eine Bekleidung zur Erzielung einer wärmedämmenden Wirkung anzubringen.⁴⁹⁹ Diese Methoden können allerdings einen Eingriff in die Optik des Ziegelmauerwerks bedeuten. Bei einer Innendämmung kann sich zudem die Fläche verringern. Da sich das Hohlwandmauerwerk des Beispielgebäudes ideal für die oben beschriebene Kerndämmung anbietet, soll für diese Dämmmethode im nächsten Kapitel ermittelt werden, inwiefern sich durch das Ergreifen dieser Maßnahme der U-Wert für die Außenwände verbessert. Um eine weitere optionale Sanierungsmethode aufzuzeigen, ist die Berechnung für einen neuen U-Wert durch den Einbau eines Wärmedämmverbundsystems unter Anlage 7 hinterlegt.

Da der Holzdachstuhl nicht als Wohnbereich genutzt wird und es sich hierbei um keinen beheizten oder beheizbaren Raum handelt, ist an dieser Stelle die Dämmung des Daches nicht notwendig. In diesem Fall ist es einfacher, preiswerter und weitaus sinnvoller, die oberste Geschossdecke entsprechend gut zu dämmen.⁵⁰⁰ Die Holzbalkendecken, welche im Erd- und Obergeschoss vorhanden sind, sind bereits gut für die Wärmedämmung geeignet und bedürfen dahingehend keiner Aufrüstung.⁵⁰¹ Bei Holz können jedoch andere Einflüsse wie beispielsweise Schädlingsbefall oder Feuchtigkeit eine Sanierung notwendig werden lassen.

Die Kellergeschossdecke aus reinem Stahlbeton sollte im Sinne des winterlichen Wärmeschutzes gedämmt werden, um den Verlust von Wärmeenergie zu vermeiden. Bei

⁴⁹⁸ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 2014, S. 7.

⁴⁹⁹ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 59.

⁵⁰⁰ Vgl. Effizienzhaus-online o. J., o. S.

⁵⁰¹ Vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 166 – 167.

Fußböden, die sich direkt über ungeheizten Räumen, wie hier dem Keller, befinden, ist eine größere Wärmedämmung notwendig als dies vergleichsweise bei normalen Trennwänden der Fall ist. „Da die hier üblichen massiven Rohdecken allein bestenfalls einen Wärmedurchlass-Widerstand von durchschnittlich $0,34 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ erreichen, sind zusätzliche Dämmschichten notwendig, die am zweckmäßigsten auf der Decke in der Fußbodenkonstruktion, möglichst nahe an der Fußbodenoberfläche [...] untergebracht werden.“⁵⁰² Die Dämmung kann mit den Materialien, welche in Kapitel 5.2.1 vorgestellt bzw. in Tabelle 16 dargestellt wurden, erfolgen. Empfehlenswert ist beispielsweise die Verwendung von Mineral- oder Schafwolle, Hanf oder Dämmplatten aus Holzfasern. Eine weitere Möglichkeit wäre, die Dämmung des Anbaus nachzuempfinden, indem der Stahlbeton im Hauptgebäude ebenfalls durch Dichtschlämme abgedichtet wird.

Nachdem eine Lösung zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes mittels geeigneter Wärmedämmmaßnahmen gefunden wurde, sollen mögliche Verbesserungsoptionen für die Fenster aufgezeigt werden.

6.2.2 Die Verbesserung durch Fenster und Verglasungen

Während der Anbau bei der Errichtung 2017 mit neuen Kunststofffenstern ausgestattet wurde, handelt es sich bei den Fenstern des Bestandsgebäudes um ältere Modelle, welche im Zeitraum von 1995 bis 1997 eingebaut wurden. Da man bei Fenstern aus Kunststoff in der Regel von einer Lebensdauer von etwa 40 bis 50 Jahren ausgeht, wäre hier ein erneuter altersbedingter Austausch noch nicht notwendig.⁵⁰³ Jedoch könnte mit einem Wechsel durch qualitativ hochwertigere Fenster der Beitrag zum sommerlichen Wärmeschutz erheblich verbessert werden. Da keine Angaben aus den Plänen hervorgehen, soll hier angenommen werden, dass es sich aktuell bei den Fenstern des Hauptgebäudes um Zweifachverglasungen handelt. Bei einer Zweifachverglasung beträgt der g-Wert laut Tabelle 7 etwa 0,75. Die Angabe dieser Werte variiert je nach Literatur. Die genauen Werte sind daher beim Hersteller zu erfragen. Es soll im Folgenden aber von dem genannten Wert ausgegangen werden. Dieser wird zur Berechnung in Kapitel 6.3.2 benötigt. Der U-Wert von zweifachverglasten Fenstern kann im Schnitt um die $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ betragen und soll für die Fenster des zu betrachtenden Beispielgebäudes

⁵⁰² Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 167.

⁵⁰³ Vgl. FOCUS online 2020, o. S.

angenommen werden.⁵⁰⁴ Dieser Wert lässt noch einiges an Verbesserungspotenzial zu. Die Mindestanforderung an den U-Wert beim Einbau neuer Fenster beträgt aktuell $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.⁵⁰⁵ Durch einen Austausch der Doppelverglasungen mit dreifachverglaste Fenstern, könnte ein U-Wert von bis zu $0,70$ oder $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht werden. Ein sehr guter Wert, der sogar unter dem Passivhausstandard liegt.⁵⁰⁶ Hier wäre die Anpassung an den Fensterstandard des Anbaus mit den oben genannten Werten $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $U_g = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ eine gute Möglichkeit zur Aufwertung des Wärmeschutzes. Das Zusammenspiel der U- und g-Werte der Dreifachverglasungen ist als sehr gut zu bewerten.⁵⁰⁷

Die größtmögliche Optimierung des Sonnenschutzes kann durch den Einsatz von Sonnenschutzverglasungen mit einem g-Wert zwischen $0,20$ und $0,50$ (Tabelle 7) erzielt werden. Diese Maßnahme hat ein besonders großes Potenzial, den sommerlichen Wärmeschutz des Gebäudes zusätzlich zu verbessern, allerdings bedeutet ein sehr niedriger g-Wert die Reduzierung der Lichtverhältnisse im Raum. Aufgrund der interessanten Werte soll für diese Verbesserungsoption dennoch eine Berechnung in Kapitel 6.3.2 erfolgen.

Insgesamt ist der Einbau neuer Fenster eine Frage des Preises und der Rentabilität, besonders vor dem Hintergrund, dass die Fenster ihren Lebenszyklus noch nicht vollendet haben. Unter Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und des Produktlebenszyklus ist der Austausch der Fenster als weniger sinnvoll einzustufen. Diese Option sollte im Rahmen der Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes aber durchaus aufgezeigt werden. Eine Berechnung hierzu erfolgt im Kapitel 6.3.2. In Bezug auf die Fenster existiert weiterhin die Möglichkeit, die U-Werte durch das Anbringen von beispielsweise Low-E-Beschichtungen oder ähnliche Maßnahmen zu verbessern (Kapitel 5.3).

⁵⁰⁴ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 18.

⁵⁰⁵ Vgl. Deutsche Fensterbau 2018, o. S.

⁵⁰⁶ Vgl. Deutsche Fensterbau 2018, o. S.; vgl. Bobran und Bobran-Wittfoht 2010, S. 199; vgl. Bounin et al. 2010, S. 269.

⁵⁰⁷ In Anlehnung an Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 17.

6.2.3 Die Verbesserung durch Sonnenschutzvorrichtungen

Eine zum Austausch von Fenstern vergleichsweise günstigere Alternative ist die Aufrüstung durch wirksame Sonnenschutzvorrichtungen. Bisher ist die Immobilie teilweise mit innenliegenden, hellen Plissees ausgestattet, welche laut Tabelle 10 etwa einen Abminderungsfaktor F_c von 0,75 besitzen. Ob diese Art des Sonnenschutzes für einen wirksamen Wärmeschutz ausreichend ist, ist fraglich und soll im Kapitel 6.3.2 überprüft werden. Da der Wert als nicht sonderlich gut zu bewerten ist, ist hier eine Verbesserungsmaßnahme sinnvoll.

Besonders Jalousien und Raffstores sind sehr gut als Schutz gegen Sonnenstrahlung geeignet und zeichnen sich durch exzellente F_c -Werte aus. So beträgt der Abminderungsfaktor für Jalousien und Raffstores für doppelverglaste Fenster laut den Tabellen 8, 10 und 22 etwa 0,25. Die Jalousien sollen für eine größtmögliche Verbesserung des Wärmeschutzes vor jedem Fenster eingebaut werden. Ein Nachweis, ob der Sonnen- und Wärmeschutz durch die Aufwertung mittels dieser Sonnenschutzvorrichtungen ausreichend ist, soll im folgenden Kapitel erbracht werden. Auch andere, in den oben genannten Tabellen aufgeführte Sonnenschutzvorrichtungen, wie beispielsweise Markisen oder Rollläden können sehr gut eingesetzt werden. Sie erzielen jedoch im Vergleich zu Jalousien und Raffstores nicht die besten Werte, weshalb die Wahl in diesem Beispiel auf letztere fällt.

Wie im Lageplan zu sehen ist, sind auf dem Grundstück des Einfamilienwohnhauses bereits einige Bäume vorhanden. Das Pflanzen weiterer Bäume zur Erzeugung von Schatten wäre hier nicht sinnvoll, um die notwendigen Lichtverhältnisse im Gebäude nicht zu reduzieren. Eine andere schattenspendende Möglichkeit wäre der Anbau eines Balkons am Kinderzimmer im 1. Obergeschoss. Dieser kann zusätzlich den Wohnkomfort positiv beeinflussen und eignet sich besonders gut in der südwestlichen Ausrichtung. Jedoch ist auch die Aufrüstung des Gebäudes durch einen Balkon mit nicht unerheblichen Kosten verbunden und keine zwingend notwendige Maßnahme. Es empfiehlt sich daher einen Balkon lediglich dann anzubauen, wenn dies der Wunsch der Gebäudeeigentümer ist und in deren Budget liegt. Es handelt sich aber um eine Option, die besonders dann gut umgesetzt werden kann, wenn die Fassade sowieso gerade saniert wird.

6.3 Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

In diesem Kapitel soll zunächst eine beispielhafte Ermittlung für die Außenwände des Bestandsgebäudes durchgeführt werden, um den Nachweis einer wirksamen Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes durch die im Kapitel 6.2.1 erläuterte Dämmmaßnahme des Hohlwandmauerwerks zu erbringen.

Im Anschluss daran sollen für die kritischen Räume die Nachweise des sommerlichen Wärmeschutzes durch den Sonneneintragskennwert S erbracht werden. Es sollen Berechnungen erfolgen, inwiefern der Wärmeschutz durch die in den Kapiteln 6.2.2 und 6.2.3 erläuterten Sonnenschutzmaßnahmen verbessert werden kann.

An dieser Stelle soll noch einmal angemerkt werden, dass sich sämtliche Berechnungen nur auf das seit 1930 bestehende Hauptgebäude beziehen. Die Angaben entsprechen denen der Pläne im Anhang, den Angaben des Architekten Herrn Prof. Kny und den Annahmen im Falle fehlender Informationen. Zudem handelt es sich um aufgezeigte Verbesserungsoptionen für das Beispielgebäude.

6.3.1 Der Nachweis durch wärmedämmende Maßnahmen

Zur Ermittlung, inwiefern der U-Wert der Außenwände durch die in Kapitel 6.2.1 beschriebene Sanierungsmethode, die Aufrüstung des Hohlwandmauerwerks mittels geeigneter Dämmmaterialien, verbessert werden kann, werden der aktuelle bzw. der vorherige U-Wert des Ziegelmauerwerks benötigt sowie die Dämmschichtdicke d und die Wärmeleitgruppe des Dämmmaterials.

Die nachfolgende Tabelle soll zur Ermittlung des neuen Wärmedurchgangskoeffizienten und der Ermittlung einer geeigneten Zusatzdämmung verwendet werden. Für das vorhandene Ziegelbauwerk soll ein vorhandener U_{alt} -Wert von $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen werden. Da der Luftraum zwischen den Ziegelwänden 6 cm bzw. 60 mm beträgt, muss sich entsprechend auch die Dicke des Dämmmaterials an 60 mm orientieren. An dieser Stelle ist kein Spielraum vorhanden.

Vorh. U-Wert des Bauteils U_{alt} In $W/(m^2K)$	WLG	Neuer U-Wert U_{neu} des verbesserten Bauteils in $W/(m^2K)$						
		Dicke d (mm) der Zusatzdämmung						
		50	60	80	100	120	140	160
1,4	030	0,420	0,368	0,296	0,247	0,212	0,186	0,165
	040	0,509	0,452	0,368	0,311	0,269	0,237	0,212
	050	0,583	0,522	0,432	0,368	0,321	0,285	0,255
	055	0,616	0,554	0,461	0,395	0,345	0,307	0,276

Tabelle 24: Die Ermittlung des neuen U-Werts nach erfolgter Verbesserung eines Bauteils durch Einsatz einer Zusatzdämmung mit der Dicke d und der Wärmeleitgruppe⁵⁰⁸

Letztendlich entscheidet sich die Verbesserung des neuen U-Werts an der Wärmeleitfähigkeit und somit der Wärmeleitgruppenangehörigkeit des Dämmmaterials. Wie in Kapitel 6.2.1 erläutert, eignen sich für diese Art der nachträglichen Wärmedämmung nur einblasfähige Dämmstoffe. Da es das Ziel ist, die Außenwand bestmöglich gegen Überhitzung schützen zu können, soll ein wärmedämmendes Material mit einer möglichst geringen Wärmeleitfähigkeit und somit einer möglichst geringen Wärmeleitgruppe von am besten 030 ausgewählt werden.

In Anbetracht der Wärmeleitfähigkeit und eines anzustrebenden, geringen Dampfdiffusionswiderstandes, eignen sich Mineralwollekügelchen oder Mineralfaserflocken am besten. Die entsprechenden Werte sind der Tabelle 16 zu entnehmen. Da es sich hierbei um synthetische Materialien handelt, werden diese sich vermutlich durch einen relativ günstigen Preis auszeichnen. Der große Nachteil ist hier die fehlende Nachhaltigkeit.

Wird Wert auf die Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit der Dämmstoffe gelegt, was zur Schonung der Umwelt sehr zu empfehlen ist, sind Materialien aus Holzfaser, Korkgranulat oder Zelluloseflocken mit Wärmeleitkennzahlen zwischen 0,040 und 0,06 $W/(mK)$ und μ -Werten von 1 bis 10 geeignet. Hier fallen die Kosten vergleichsweise etwas höher aus. Der Beitrag zur Umweltschonung und nachhaltigen Bauweise sollte hier bei der Bewertung berücksichtigt werden.

Je nachdem, für welches Produkt die Entscheidung ausfällt, werden U-Werte zwischen 0,368 und 0,583 $W/(m^2K)$ erzielt. Diese sind in der Tabelle 24 hervorgehoben. Um zwei Möglichkeiten konkret zu nennen, verbessert sich der U-Wert durch das Einblasen von

⁵⁰⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an Arndt 2002, S. 194.

Zelluloseflocken in den Zwischenraum des Hohlwandmauerwerks von $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf etwa $0,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und beim Einsatz von Mineralfaser auf rund $0,37 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Durch den Vergleich zwischen dem vorherigen und dem neuen Wärmedurchgangskoeffizient kann abschließend das folgende Fazit formuliert werden. Der Einsatz eines der genannten Dämmprodukte kann eine erhebliche Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes des Bestandsgebäudes bewirken und wird deshalb empfohlen, um die Immobilie ausreichend vor Überhitzung in den Sommermonaten zu schützen. Normalerweise gilt es, bei der Nachrüstung eines bestehenden Gebäudes einen neuen U-Wert von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ einzuhalten. Im Falle einer Kernsanierung zwischen den Mauer-schalen greift diese Anforderung allerdings nicht, da die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt ist. Laut EnEV gilt die Anforderung im Falle des Einbaus von Dämmschichten im Rahmen einer Kerndämmung von mehrschaligem Mauerwerk als erfüllt, „wenn der bestehende Hohlraum zwischen den Schalen vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt wird.“⁵⁰⁹ Laut Paragraph 47, Absatz 2 des GEG gelten die Anforderungen als erfüllt, „wenn die nach anerkannten Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke eingebaut wird, wobei ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ Watt pro Meter und Kelvin}$ einzuhalten ist. Abweichend von Satz 1 ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $0,045 \text{ Watt pro Meter und Kelvin}$ einzuhalten, soweit Dämm-Materialien in Hohlräume eingeblasen oder Dämm-Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden.“⁵¹⁰ Eine Berechnung des Einbaus einer Kerndämmung der *Planungshilfe Energiesparendes Bauen* in Anlage 6 kommt zu einem ähnlichen Ergebnis wie Tabelle 24.⁵¹¹

Auch durch die Verwendung von Wärmedämmputzen, kann der Wärmeschutz verbessert werden. Weitere Möglichkeiten sind hier, wie bereits im Kapitel 6.2.1 erwähnt, etwa die Dämmung der Gebäudeinnenseite mittels Bekleidung oder das Anbringen eines Wärmedämmverbundsystems auf der Außenseite. Bei diesen Maßnahmen ist der maximale Wärmedurchgangskoeffizient nach EnEV bzw. GEG einzuhalten. Eine Berechnung des Einbaus eines WDVS ist als Beispiel in Anlage 7 dokumentiert. Diese Methode erlangt einen niedrigeren und somit besseren U-Wert als die Kerndämmung des Luftraums

⁵⁰⁹ Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 264.

⁵¹⁰ Pabst und Kersten 2019, S. 37.

⁵¹¹ Vgl. Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 74 und 264; vgl. Pabst und Kersten 2019, S. 37.

des zweischaligen Mauerwerks. Die Anforderung der EnEV und des GEG an den nach einer Sanierung gewonnen U-Wert ist auf dieser Beispielrechnung jedoch nicht mehr aktuell. Während die veraltete Anforderung von $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfüllt wird, ist der Wert zur Erfüllung der aktuellen Forderung, eines Wärmedurchgangskoeffizienten von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, hier nicht ausreichend. In diesem Fall müsste die Dämmschichtdicke weiter nach oben reguliert werden, um einen besseren U-Wert zu erzielen. Eventuell sind beim Einbau eines WDVS auch die Ergreifung zusätzlicher wärmedämmender Maßnahmen wie das Auftragen von Putzen oder Innenbekleidungen sinnvoll. Weitere Berechnungen, in Hinblick auf die anderen genannten, möglichen Dämmmethoden, würden den Umfang der Arbeit zu weit ausdehnen und sollen deshalb keine Anwendung finden.

6.3.2 Der Nachweis durch Verglasung und Sonnenschutzvorrichtungen

In diesem Kapitel werden die Werte berechnet, die sich durch die Verbesserung der Fensterverglasungen und durch den Einsatz neuer, geeigneter Sonnenschutzvorrichtungen ergeben. Es soll das Sonneneintragskennwertverfahren, wie in Kapitel 4.2.1 vorgestellt, für die kritischen Räume des Bestandsgebäudes angewendet und der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes erbracht werden.

Bei den kritischen Räumen handelt es sich aufgrund der Ausrichtungen der Räume nach Südost, Südwest und Nordwest um das Wohnzimmer im Erdgeschoss und um das Kinderzimmer und das Schlafzimmer im 1. Obergeschoss. Der Nachweis ist für jeden kritischen Raum zu erbringen.⁵¹²

Es wird angenommen, dass die Fenster einen Neigungswinkel von 90° besitzen. Die normalen Fenstermaße werden mit $1,01 \text{ m} \times 1,26 \text{ m}$ angenommen, das Badfenster im EG mit $0,75 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}$, das Doppelfenster im Kinderzimmer mit $2,50 \text{ m} \times 2,01 \text{ m}$ und die Kellerfenster mit $1,00 \text{ m} \times 0,50 \text{ m}$. Für die folgenden Berechnungen sollen die Tabellenwerte verwendet werden. Für genaue Werte konkreter Bauteile empfiehlt es sich, diese beim Hersteller in Erfahrung zu bringen. Alle Ergebnisse werden gerundet. Bei den Berechnungen kann es zu Abweichungen kommen.

⁵¹² Vgl. Bounin et al. 2010, S. 295.

Zuerst soll die Notwendigkeit des Nachweises überprüft werden. Diese liegt vor, wenn, wie in Tabelle 6 dargestellt, der Fensterflächenanteil 10 % überschreitet.

Der Fensterflächenanteil f_{AG} berechnet sich durch folgende Formel:

$$f_{AG} = \frac{A_w}{A_G} \quad 513$$

Raum	Fensterflächenanteil f_{AG} in %	Berechnung
Wohnzimmer im EG	Fensterfläche A_w in m^2	Südost: 1,01 x 1,26 = 1,27 Südwest: = 2,54 West: = 1,27 Nordwest: = 1,27 = 6,35
	Nettogrundfläche A_G des Raumes in m^2	32,33
$f_{AG} = 6,35 \text{ m}^2 / 32,33 \text{ m}^2 = 0,20$ $f_{AG} = 20 \%$ Da $f_{AG} = 20\% > 10 \%$, muss ein Nachweis für das Wohnzimmer geführt werden.		

Raum	Fensterflächenanteil f_{AG} in %	Berechnung
Kinderzimmer im 1. OG	Fensterfläche A_w in m^2	Südost: = 2,54 Südwest: = 5,03 = 7,57
	Nettogrundfläche A_G des Raumes in m^2	16,26
$f_{AG} = 7,57 \text{ m}^2 / 16,26 \text{ m}^2 = 0,47$ $f_{AG} = 47 \%$ Da $f_{AG} = 47\% > 10 \%$, muss ein Nachweis für das Kinderzimmer geführt werden.		

Raum	Fensterflächenanteil f_{AG} in %	Berechnung
Schlafzimmer im 1. OG	Fensterfläche A_w in m^2	Südwest: = 1,27 Nordwest: = 1,27 = 2,54
	Nettogrundfläche A_G des Raumes in m^2	18,00
$f_{AG} = 2,54 \text{ m}^2 / 18,00 \text{ m}^2 = 0,14$ $f_{AG} = 14 \%$ Da $f_{AG} = 14\% > 10 \%$, muss ein Nachweis für das Schlafzimmer geführt werden.		

514

Die Berechnungen führen zu der Erkenntnis, dass der Nachweis eines wirksamen sommerlichen Wärmeschutzes für alle drei Räume erbracht werden muss. Bei dem Kinderzimmer handelt es sich dabei um den kritischsten Raum, da der Fensterflächenanteil insgesamt am größten ist.

⁵¹³ Vgl. Bounin et al. 2010, S. 294.

⁵¹⁴ Eigene Darstellung und Berechnung in Anlehnung an Bounin et al. 2010, S. 294.

Anschließend soll der zulässige Sonneneintragskennwert S_{zul} mittels der anteiligen Sonneneintragskennwerte S_x aus der Tabelle 9 bestimmt werden.

Faktoren	Zwischenrechnung	Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x
Klimaregion B für Sachsen		0,03
Schwere Bauart durch Ziegelbauweise		0,115
Erhöhte Nachtlüftung bei schwerer Bauart		0,03
Nach Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fenster	$0,10 \cdot (A_{w,nord} / A_{w,ges}) =$ $0,10 \cdot (8,87 \text{ m}^2 / 24,29 \text{ m}^2) =$ $0,10 \cdot 0,37 \text{ m}^2 = 0,037$	0,037
$S_{zul} = \sum S_x$		0,212

515

Der höchst zulässige Sonneneintragskennwert von $S_{zul} = 0,212$ darf nicht überschritten werden, um den sommerlichen Wärmeschutz laut EnEV und GEG einzuhalten. Die nachfolgenden Berechnungen sollen auf vier verschiedene Fälle angewendet werden.

Fall 1:

In diesem Fall soll die Berechnung des vorhandenen Sonneneintragskennwertes S erfolgen. Dieser soll zunächst für die aktuell vorherrschende Situation, d. h. für zweifachverglaste Fenster in Kombination mit innenliegenden, hellen Sonnenschutz-Plissees berechnet werden.

Für das Wohnzimmer ist gegeben:		
A_w	Fensterfläche in m ² : <ul style="list-style-type: none"> • Südost: • Südwest, West, Nordwest zusammen: 	1,27 5,08
A_G	Nettogrundfläche des Raumes in m ²	32,33
g	Gesamtenergiedurchlassgrad	0,75
F_c	Abminderungsfaktor: <ul style="list-style-type: none"> • Für keinen vorhandenen Sonnenschutz • für die innenliegenden Plissees in hellen Farben 	1,0 0,75
$S = \frac{\sum_j (A_{w,j} \cdot g_{total,j})}{A_G}; g_{total} = g \cdot F_c$		

⁵¹⁵ Eigene Darstellung und Berechnung in Anlehnung an Bounin et al. 2010, S. 295.

$$S = \frac{(1,27 \text{ m}^2 \cdot 0,75 \cdot 1,0) + (5,08 \text{ m}^2 \cdot 0,75 \cdot 0,75)}{32,33 \text{ m}^2}$$

S_{Wohnzimmer} = 0,118

Für das Kinderzimmer ist gegeben:		
A _w	Fensterfläche in m ² : • Südost: • Südwest:	2,54 5,03
A _G	Nettogrundfläche des Raumes in m ²	16,26
g	Gesamtenergiedurchlassgrad	0,75
F _c	Abminderungsfaktor: • Für keinen vorhandenen Sonnenschutz • für die innenliegenden Plissees in hellen Farben	1,0 0,75
$S = \frac{(2,54 \text{ m}^2 \cdot 0,75 \cdot 1,0) + (5,03 \text{ m}^2 \cdot 0,75 \cdot 0,75)}{16,26 \text{ m}^2}$ <p>S_{Kinderzimmer} = 0,291</p>		

516

Führt man diese Rechnung auf gleiche Weise für das Schlafzimmer fort, welches vollständig mit Plissees ausgestattet ist, so erhält man den folgenden Wert:

S_{Schlafzimmer} = 0,079

Während die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz im Wohn- und Schlafzimmer **erfüllt** sind, da gilt:

$$S_{\text{Wohnzimmer}} = 0,118$$

$$S_{\text{Schlafzimmer}} = 0,079 < S_x = 0,212$$

ist der sommerliche Wärmeschutz für den kritischsten Raum, das Kinderzimmer, **nicht ausreichend**, mit:

$$S_{\text{Kinderzimmer}} = 0,291 > S_{\text{zul}} = 0,212.$$

An dieser Stelle muss zwingend eine Aufrüstung erfolgen.

⁵¹⁶ Eigene Darstellung und Berechnung in Anlehnung an Bounin et al. 2010, S. 295.

Fall 2

Die in Kapitel 6.2 aufgezeigten Optimierungsmöglichkeiten betreffen zum einen den Austausch der Fensterverglasungen und zum anderen die Installation von Jalousien. In diesem Fall ist der Einsatz von Jalousien die weitaus günstigere, rentablere und unter Beachtung des Lebenszyklus der gegenwärtig eingebauten Fenster, die sinnvollere Alternative. Dennoch sollen beide Beispiele einmal durchgerechnet werden, um die verbesserten Werte des sommerlichen Wärmeschutzes für beide Optionen aufzuzeigen. Zum Abschluss soll der Wert beider Verbesserungsmaßnahmen in Kombination berechnet werden.

Die neuen Fenster sollen das größtmögliche Verbesserungspotenzial des Wärmeschutzes aufzeigen, weshalb der Einsatz von Sonnenschutzverglasungen simuliert werden soll. Laut Tabelle 7 betragen die g-Werte für diese 0,20 bis 0,50. Für die Berechnung wird ein optimistischer Wert von $g = 0,20$ angenommen. Die Sonnenschutzvorrichtungen bestehen, da hier nur der Austausch der Fenster berechnet werden soll, nach wie vor aus innen liegenden Plissees, ausgenommen auf der südöstlichen Seite, auf der kein Sonnenschutz vorhanden ist.

Für das Wohnzimmer ist gegeben:		
A_w	Fensterfläche in m ² : • Südost: • Südwest, West, Nordwest zusammen:	1,27 5,08
A_G	Nettogrundfläche des Raumes in m ²	32,33
g	Gesamtenergiedurchlassgrad	0,20
F_c	Abminderungsfaktor: • Für keinen vorhandenen Sonnenschutz • für die innenliegenden Plissees in hellen Farben	1,0 0,75
$S = \frac{\sum_j (A_{wj} \cdot g_{total,j})}{A_G}; g_{total} = g \cdot F_c$ $S = \frac{(1,27 \text{ m}^2 \cdot 0,20 \cdot 1,0) + (5,08 \text{ m}^2 \cdot 0,20 \cdot 0,75)}{32,33 \text{ m}^2}$ <p>SWohnzimmer, Sonnenschutzverglasung = 0,031</p>		

517

Führt man diese Rechnungen auf gleiche Weise für das Kinder- und das Schlafzimmer fort, so erhält man die Werte:

$$S_{\text{Kinderzimmer, Sonnenschutzverglasung}} = 0,077$$

$$S_{\text{Schlafzimmer, Sonnenschutzverglasung}} = 0,021.$$

$$\begin{aligned} \text{Da } S_{\text{Wohnzimmer, Sonnenschutzverglasung}} &= 0,031 \\ S_{\text{Kinderzimmer, Sonnenschutzverglasung}} &= 0,077 < S_x = 0,212 \\ S_{\text{Schlafzimmer, Sonnenschutzverglasung}} &= 0,021 \end{aligned}$$

kann die Erkenntnis gewonnen werden, dass der Austausch der zweifachverglasten Fenster durch Sonnenschutzgläser eine erhebliche Verbesserung des Wärmeschutzes bewirkt und den Anforderungen der EnEV und des GEG entspricht.

Fall 3

Nun soll die erneute Berechnung des Sonneneintragskennwertes S erfolgen, für den Fall, dass ein Sonnenschutz durch an jedem Fenster außen angebrachte Jalousien vorhanden ist. Es soll die Frage beantwortet werden, ob der Sonnen- bzw. der Wärmeschutz des Bestandsgebäudes durch das Installieren von Jalousien verbessert und entsprechend der EnEV bzw. des GEG eingehalten werden kann. Für diese Berechnung soll erneut der Wert für Doppelverglasungen angenommen werden, wie in Fall 1 bereits erfolgt.

Für das Wohnzimmer ist gegeben:		
A_w	Fensterfläche in m^2 :	6,35
A_G	Nettogrundfläche des Raumes in m^2	23,33
g	Gesamtenergiedurchlassgrad	0,75
F_c	Abminderungsfaktor für die Sonnenschutzvorrichtung Jalousie	0,25
$S = \frac{\sum_j (A_{wj} \cdot g_{total,j})}{A_G}; g_{total} = g \cdot F_c$ $S = \frac{6,35 m^2 \cdot 0,75 \cdot 0,25}{23,33 m^2}$		
$S_{\text{Wohnzimmer; Jalousie}} = 0,051$		

518

⁵¹⁸ Eigene Darstellung und Berechnung in Anlehnung an. Bounin et al. 2010, S. 295.

Führt man diese Rechnungen auf gleiche Weise für das Kinder- und das Schlafzimmer fort, so erhält man die Werte:

$$S_{\text{Kinderzimmer; Jalousie}} = 0,087$$

$$S_{\text{Schlafzimmer; Jalousie}} = 0,026.$$

$$\begin{aligned} \text{Da } S_{\text{Wohnzimmer; Jalousie}} &= 0,051 \\ S_{\text{Kinderzimmer; Jalousie}} &= 0,087 < S_x = 0,212 \\ S_{\text{Schlafzimmer; Jalousie}} &= 0,026 \end{aligned}$$

ist der sommerliche Wärmeschutz der kritischen Räume aufgrund der doppelverglasten Fenster in Kombination mit außen angebrachten Jalousien **ausreichend**. Es lässt sich das Fazit ziehen, dass das Beispielgebäude durch die Aufrüstung mit Jalousien wesentlich verbessert und die Anforderungen der EnEV und des GEG erfüllt werden können. Statt Jalousien sind Raffstores aufgrund der gleichen Werte ebenfalls geeignet.

Eine weitere Erkenntnis liegt darin, dass der Einsatz von Sonnenschutzgläsern effektiver ist als die Installation von Jalousien. Diese Erkenntnis ist mit den folgenden Werten zu belegen.

$$\begin{aligned} S_{\text{Wohnzimmer, Sonnenschutzverglasung}} &= 0,031 < S_{\text{Wohnzimmer, Jalousie}} = 0,051 \\ S_{\text{Kinderzimmer, Sonnenschutzverglasung}} &= 0,077 < S_{\text{Kinderzimmer, Jalousie}} = 0,087 \\ S_{\text{Schlafzimmer, Sonnenschutzverglasung}} &= 0,021 < S_{\text{Schlafzimmer, Jalousie}} = 0,026 \end{aligned}$$

Fall 4

In dem letzten Fall soll abschließend der Sonneneintragskennwert S für die Kombination aus Sonnenschutzgläsern mit Jalousien ermittelt werden. In diesem Fall soll S mit S_K für Kombination bezeichnet werden.

Für das Wohnzimmer ist gegeben:		
A_w	Fensterfläche in m ² :	6,35
A_G	Nettogrundfläche des Raumes in m ²	23,33
g	Gesamtenergiedurchlassgrad	0,20
F_c	Abminderungsfaktor für die Sonnenschutzvorrichtung Jalousie	0,25
$S = \frac{\sum_j (A_{wj} \cdot g_{total,j})}{A_G}; g_{total} = g \cdot F_c$		
$S = \frac{6,35 \text{ m}^2 \cdot 0,20 \cdot 0,25}{23,33 \text{ m}^2}$		

$S_{\text{Wohnzimmer, K}} = 0,0098$

519

Führt man diese Rechnungen auf gleiche Weise für das Kinder- und das Schlafzimmer fort, so erhält man die Werte:

$$S_{\text{Kinderzimmer, K}} = 0,0233$$

$$S_{\text{Schlafzimmer, K}} = 0,0071.$$

Mit $S_{\text{Wohnzimmer, K}} = 0,0098$
 $S_{\text{Kinderzimmer, K}} = 0,0233$ $< S_x = 0,212$
 $S_{\text{Schlafzimmer, K}} = 0,0071$

liegen die Sonneneintragskennwerte S wie zu erwarten weit unter dem maximal zulässigen anteiligen Sonneneintragskennwert S_x . Die Kombination aus Sonnenschutzgläsern mit außen montierten Jalousien sorgt für eine zusätzliche Steigerung bzw. Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes, da gilt:

$$\begin{array}{lll} S_{\text{Wohnzimmer, K}} = 0,0098 < S_{\text{Wohnzimmer, Sonnenschutzverglasung}} = 0,031 < S_{\text{Wohnzimmer, Jalousie}} = 0,051 \\ S_{\text{Kinderzimmer, K}} = 0,0233 < S_{\text{Kinderzimmer, Sonnenschutzverglasung}} = 0,077 < S_{\text{Kinderzimmer, Jalousie}} = 0,087 \\ S_{\text{Schlafzimmer, K}} = 0,0071 < S_{\text{Schlafzimmer, Sonnenschutzverglasung}} = 0,021 < S_{\text{Schlafzimmer, Jalousie}} = 0,026 \end{array}$$

Anhand der Fälle 1 bis 4 konnten die Optionen für die Verbesserung des Wärmeschutzes des Bestandsgebäudes aufgezeigt und die Werte konkret berechnet werden.

Inwiefern diese Maßnahmen tatsächlich ausgeführt werden können, ob diese im wirtschaftlichen Rahmen liegen und inwiefern andere Verbesserungsmöglichkeiten geeignet sind, muss im konkreten Fall genau geplant und geprüft werden. Im Falle von Unsicherheiten ist es sinnvoll, einen Experten in die Planung und Entscheidungen miteinzu beziehen und Kostenvoranschläge auszuwerten. Je nach Art und Umfang der Maßnahme ist eine Anfrage bei der KfW zur finanziellen Unterstützung empfehlenswert.

⁵¹⁹ Eigene Darstellung und Berechnung in Anlehnung an. Bounin et al. 2010, S. 295.

7 Fazit

Abschließend kann gesagt werden, dass anhand des Beispielgebäudes mögliche Verbesserungsmaßnahmen zur Vermeidung der Überhitzung der Immobilie aufgezeigt werden konnten. Unter Betrachtung der durch den Klimawandel bedingten Temperaturentwicklungen, im Allgemeinen für Deutschland und im konkreten Anwendungsfall für Sachsen, konnte die Notwendigkeit der Aufrüstung von Bestandsgebäuden zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes nachgewiesen werden. Auch unter Beachtung der Richtlinien und Anforderungen der gegenwärtigen Energieeinsparverordnung und des in Kürze in Kraft tretenden Gebäudeenergiegesetzes, konnte der Nachweis erbracht werden, dass Handlungsbedarf bzw. eine Notwendigkeit zur Ergreifung von Wärme- und Sonnenschutzmaßnahmen, besonders für kritische Räume, besteht. In diesem Verlauf konnte weiterhin der Nachweis des wirksamen Wärmeschutzes unter Annahme des Einbaus der zuvor aufgezeigten Dämm- und Sonnenschutzvorrichtungen als Verbesserungsmaßnahme der gegenwärtigen, teils mangelhaften Situation durchgeführt werden.

Neben den theoretischen Ausführungen in den Kapiteln 1 bis 5 konnte auch die Anwendung der Erkenntnisse am Beispielgebäude in Kapitel 6 bestätigen, dass neben dem winterlichen, auch dem sommerlichen Wärmeschutz mehr Bedeutung beigemessen werden muss. Trotz der beobachtbaren Temperaturanstiege und der Zunahme an Extremwetterereignissen durch den Klimawandel, handelt die Immobilienbranche „bisher überwiegend reaktiv und bereitet sich kaum proaktiv auf die anstehenden Veränderungen vor.“⁵²⁰

Diese Gegebenheit führt zu dem Fazit, dass an dieser Stelle für die Zukunft noch ein großer Handlungsbedarf besteht.

⁵²⁰ Bienert und Hirsch 2013, S. 7.

8 Anlagen

Anlage 1: Höchstwerte Wärmedurchgangskoeffizient

Anlage 7 zu § 48 des GEG: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden⁵²¹

Nummer	Erneuerung, Ersatz oder erstmaliger Einbau von Außenbauteilen	Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Raum-Solltemperatur $\geq 19\text{ °C}$	Zonen von Nichtwohngebäuden mit Raum-Solltemperatur von 12 bis $< 19\text{ °C}$
		Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{max}	
Bauteilgruppe: Außenwände			
1a ¹⁾	Außenwände: - Ersatz oder erstmaliger Einbau.	$U = 0,24\text{ W/(m}^2\text{-K)}$	$U = 0,35\text{ W/(m}^2\text{-K)}$
1b ^{1), 2)}	Außenwände: - Anbringen von Bekleidungen (Platten oder plattenartige Bauteile), Verschalungen, Mauervorsatzschalen oder Dämmschichten auf der Außenseite einer bestehenden Wand oder - Erneuerung des Außenputzes einer bestehenden Wand.	$U = 0,24\text{ W/(m}^2\text{-K)}$	$U = 0,35\text{ W/(m}^2\text{-K)}$
Bauteilgruppe: Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster, Glasdächer, Außentüren und Vorhangfassaden			
2a	Gegen Außenluft abgrenzende Fenster und Fenstertüren: - Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils oder - Einbau zusätzlicher Vor- oder Innenfenster.	$U_w = 1,3\text{ W/(m}^2\text{-K)}$	$U_w = 1,9\text{ W/(m}^2\text{-K)}$
2b	Gegen Außenluft abgrenzende Dachflächenfenster: - Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils oder - Einbau zusätzlicher Vor- oder Innenfenster.	$U_w = 1,4\text{ W/(m}^2\text{-K)}$	$U_w = 1,9\text{ W/(m}^2\text{-K)}$

⁵²¹ Pabst und Kersten 2019, S. 98 – 102.

2c ³⁾	Gegen Außenluft abgrenzende Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster: - Ersatz der Verglasung oder verglaster Flügelrahmen.	$U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Keine Anforderung
2d	Vorhangfassaden in Pfosten-Riegel-Konstruktion, deren Bauart DIN EN ISO 12631:2013-01 entspricht: - Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils.	$U_c = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$U_c = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
2e ³⁾	Gegen Außenluft abgrenzende Glasdächer: - Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils oder - Ersatz der Verglasung oder verglaster Flügelrahmen.	$U_w/U_g = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$U_w/U_g = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
2f	Gegen Außenluft abgrenzende Fenstertüren mit Klapp-, Falt-, Schiebe- oder Hebemechanismus: - Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils.	$U_w = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$U_w = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
3a ⁴⁾	Gegen Außenluft abgrenzende Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster mit Sonderverglasung: - Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils oder - Einbau zusätzlicher Vor- oder Innenfenster.	$U_w/U_g = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$U_w/U_g = 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
3b ⁴⁾	Gegen Außenluft abgrenzende Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster mit Sonderverglasung: - Ersatz der Sonderverglasung oder verglaster Flügelrahmen.	$U_g = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Keine Anforderung
3c ^{3), 4)}	Vorhangfassaden in Pfosten-Riegel-Konstruktion, deren Bauart DIN EN ISO 12631:2013-01 entspricht, mit Sonderverglasung: - Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils.	$U_c = 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$U_c = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
4	Einbau neuer Außentüren (ohne rahmenlose Türanlagen aus Glas, Karusselltüren und kraftbetätigte Türen).	$U = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (Türfläche)	$U = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (Türfläche)

Bauteilgruppe: Dachflächen sowie Decken und Wände gegen unbeheizte Dachräume			
5a ¹⁾	Gegen Außenluft abgrenzende Dachflächen einschließlich Dachgauben sowie gegen unbeheizte Dachräume abgrenzende Decken (oberste Geschossdecken) und Wände (einschließlich Abseitenwänden): - Ersatz oder - erstmaliger Einbau. Anzuwenden nur auf opake Bauteile.	U = 0,24 W/(m ² ·K)	U = 0,35 W/(m ² ·K)
5b ^{1), 5)}	Gegen Außenluft abgrenzende Dachflächen einschließlich Dachgauben sowie gegen unbeheizte Dachräume abgrenzende Decken (oberste Geschossdecken) und Wände (einschließlich Abseitenwände): - Ersatz oder Neuaufbau einer Dachdeckung einschließlich der darunter liegenden Lattungen und Verschalungen oder - Aufbringen oder Erneuerung von Bekleidungen oder Verschalungen oder Einbau von Dämmschichten auf der kalten Seite von Wänden oder - Aufbringen oder Erneuerung von Bekleidungen oder Verschalungen oder Einbau von Dämmschichten auf der kalten Seite von obersten Geschossdecken. Anzuwenden nur auf opake Bauteile.	U = 0,24 W/(m ² ·K)	U = 0,35 W/(m ² ·K)
5c ^{1), 5)}	Gegen Außenluft abgrenzende Dachflächen mit Abdichtung: - Ersatz einer Abdichtung, die flächig das Gebäude wasserdicht abdichtet, durch eine neue Schicht gleicher Funktion (bei Kaltdachkonstruktionen einschließlich darunter liegender Lattungen). Anzuwenden nur auf opake Bauteile.	U = 0,20 W/(m ² ·K)	U = 0,35 W/(m ² ·K)

Bauteilgruppe: Wände gegen Erdreich oder unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) sowie Decken nach unten gegen Erdreich, Außenluft oder unbeheizte Räume			
6a ¹⁾	Wände, die an Erdreich oder an unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) grenzen, und Decken, die beheizte Räume nach unten zum Erdreich oder zu unbeheizten Räumen abgrenzen: - Ersatz oder - erstmaliger Einbau.	$U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	Keine Anforderung
6b ^{1), 5)}	Wände, die an Erdreich oder an unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) grenzen, und Decken, die beheizte Räume nach unten zum Erdreich oder zu unbeheizten Räumen abgrenzen: - Anbringen oder Erneuern von außenseitigen Bekleidungen oder Verschalungen, Feuchtigkeitssperren oder Drainagen oder - Anbringen von Deckenbekleidungen auf der Kaltseite.	$U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	Keine Anforderung
6c ^{1), 5)}	Decken, die beheizte Räume nach unten zum Erdreich, zur Außenluft oder zu unbeheizten Räumen abgrenzen: - Aufbau oder Erneuerung von Fußbodenaufbauten auf der beheizten Seite.	$U = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	Keine Anforderung
6d ¹⁾	Decken, die beheizte Räume nach unten zur Außenluft abgrenzen: - Ersatz oder - erstmaliger Einbau.	$U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

6e ^{1), 5)}	Decken, die beheizte Räume nach unten zur Außenluft abgrenzen, <ul style="list-style-type: none"> - Anbringen oder Erneuern von außenseitigen Bekleidungen oder Verschalungen, Feuchtigkeitssperren oder Drainagen oder - Anbringen von Deckenbekleidungen auf der Kaltseite. 	U = 0,24 W/(m ² ·K)	U = 0,35 W/(m ² ·K)
<p>¹⁾ Werden Maßnahmen nach den Nummern 1a, 1b, 5a, 5b, 5c, 6a, 6b, 6c, 6d oder 6e ausgeführt und ist die Dämmschichtdicke im Rahmen dieser Maßnahmen aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn die nach anerkannten Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke eingebaut wird, wobei ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,035 \text{ W/(m·K)}$ einzuhalten ist. Abweichend von Satz 1 ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,045 \text{ W/(m·K)}$ einzuhalten, soweit Dämm-Materialien in Hohlräume eingeblasen oder Dämm-Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden. Wird bei Maßnahmen nach Nummer 5 b eine Dachdeckung einschließlich darunter liegender Lattungen und Verschalungen ersetzt oder neu aufgebaut, sind die Sätze 1 und 2 entsprechend anzuwenden, wenn der Wärmeschutz als Zwischensparrendämmung ausgeführt wird und die Dämmschichtdicke wegen einer innenseitigen Bekleidung oder der Sparrenhöhe begrenzt ist. Die Sätze 1 bis 3 sind bei Maßnahmen nach Nummern 5a, 5b, und 5c nur auf opake Bauteile anzuwenden.</p> <p>²⁾ Werden Maßnahmen nach der Nummer 1b ausgeführt, müssen die dort genannten Anforderungen nicht eingehalten werden, wenn die Außenwand nach dem 31. Dezember 1983 unter Einhaltung energiesparrechtlicher Vorschriften errichtet oder erneuert worden ist.</p> <p>³⁾ Bei Ersatz der Verglasung oder verglasten Flügelrahmen gelten die Anforderungen nach Nummern 2c, 2e und 3c nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme der vorgeschriebenen Verglasung ungeeignet ist. Werden bei Maßnahmen nach Nummer 2c oder bei Maßnahmen nach Nummer 2e Verglasungen oder verglaste Flügelrahmen ersetzt und ist die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahmen aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn eine Verglasung mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von höchstens $1,3 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ eingebaut wird. Werden Maßnahmen nach Nummer 2c an Kasten- oder Verbundfenstern durchgeführt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn eine Glasplatte mit einer infrarot-reflektierenden Beschichtung mit einer Emissivität $\epsilon_n \leq 0,2$ eingebaut wird.</p> <p>⁴⁾ Sonderverglasungen im Sinne der Nummern 3a, 3b und 3c sind</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schallschutzverglasungen mit einem bewerteten Schalldämmmaß der Verglasung von $R_{w,R} \geq 40 \text{ dB}$ nach DIN EN ISO 717-1:2013-06 oder einer vergleichbaren Anforderung, - Isolierglas-Sonderaufbauten zur Durchschusshemmung, Durchbruchhemmung oder Sprengwirkungshemmung nach anerkannten Regeln der Technik oder - Isolierglas-Sonderaufbauten als Brandschutzglas mit einer Einzelelementdicke von mindestens 18 mm nach DIN 4102-13: 1990-05 oder einer vergleichbaren Anforderung. <p>⁵⁾ Werden Maßnahmen nach den Nummern 5b, 5c), 6b), 6c) oder 6e) ausgeführt, müssen die dort genannten Anforderungen nicht eingehalten werden, wenn die Bauteilfläche nach dem 31. Dezember 1983 unter Einhaltung energiesparrechtlicher Vorschriften errichtet oder erneuert worden ist.</p>			

Anlage 2: Kennzahlen Baustoffe

Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen von Baustoffen (Auszug aus DIN V 4108-4: 2007-06 und DIN EN 12524)⁵²²

Baustoff	nach Stoffnorm DIN	Rohdichte ρ in kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m · K)	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ^1
1. Putze, Mörtel, Estriche				
Kalkmörtel, Kalkzementmörtel		1800	1,00	15/35
Zementmörtel		2000	1,60	15/35
Kalkgipsmörtel, Gipsmörtel		1400	0,70	10
Gipsputz ohne Zuschlag		1200	0,51	10
Wärmedämmputz 060 080	18550	≥ 200	0,060 0,080	5/20
Zementestrich		2000	1,4	15/35
Gussasphaltestrich [*]		2100	0,70	dampfdicht
2. Großformatige Bauteile				
Normalbeton (Kies- oder Splittbeton mit geschlossenem Gefüge) mittlere Rohdichte* hohe Rohdichte* armiert mit 1% Stahl* armiert mit 2% Stahl*	1045 EN 206	2200	1,65	70/120
		2400	2,00	80/130
		2300	2,30	80/130
		2400	2,50	80/130
Leichtbeton und Stahlleichtbeton mit geschlossenem Gefüge unter Verwendung von Blähton, Blähschiefer, Naturbims	EN 206	800	0,39	70/150
		1000	0,49	
		1200	0,62	
		1400	0,79	
		1500	0,89	
Leichtbeton mit haufwerksporigem Gefüge, mit porigen Zuschlägen	4226	600	0,22	5/15
		800	0,28	
		1000	0,36	
		1200	0,46	
		1400	0,57	
		1600	0,75	
3. Bauplatten				
Wandbauplatten aus Gips	18163	750	0,35	5/10
		900	0,41	
		1200	0,58	
¹ Es ist jeweils der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen. [*] Nach DIN EN 12524				

⁵²² Bounin et al. 2010, S. 224 – 228.

Baustoff	DIN	ρ in kg/m ³	λ in W/(m · K)	μ ¹
3. Bauplatten (Forts.)				
Gipsplatten*	EN 520	800	0,25	8/25
Faserzementplatten	274	2000	0,58	20/50
Porenbetonbauplatten, unbe- wehrt	4166			
– mit normaler Fugendicke und Mauermörtel	1053-1	500 600 700	0,22 0,24 0,27	5/10
– dünnfugig verlegt		500 600 700	0,16 0,19 0,22	5/10
Wandbauplatten aus Leichtbeton	18162	800 1000 1400	0,29 0,37 0,58	5/10
4. Mauerwerk einschließlich Mörtelfugen				
Mauerwerk aus Vollklinker	105	2000	0,96	50/100
Hochlochklinker		1800	0,81	50/100
Vollziegel, Hochlochziegel		1200 1400 1600 1800	0,50 0,58 0,68 0,81	5/10
Mauerwerk aus Leichthochloch- ziegel Typ W, mit Leichtmörtel verlegt	105	700 800 900	0,21 0,23 0,24	5/10
Mauerwerk aus Kalksandsteinen	106	1000 1200 1400	0,50 0,56 0,70	5/10
Mauerwerk aus Kalksand-Plan- steinen		1600 1800 2000	0,79 0,99 1,1	15/25
Mauerwerk aus Porenbeton- Plansteinen (PP)	4165	500 600 700 800	0,16 0,19 0,22 0,25	5/10
¹ Es ist jeweils der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen. * Nach DIN EN 12524				

Baustoff	DIN	ρ in kg/m ³	λ in W/(m · K)	μ^1
4. Mauerwerk einschließlich Mörtelfugen (Forts.)				
Hohlblocksteine aus Leichtbeton	18151	600	0,32	
2-K-Steine, bis 240 mm breit		800	0,41	
3-K-Steine, bis 300 mm breit		1000	0,52	5/10
4-K-Steine, bis 365 mm breit		1200 1400	0,60 0,72	
Leichtbeton-Vollsteine	18152	600	0,34	5/10
		800	0,40	
		1000	0,46	
		1200	0,54	
		1600 1800	0,74 0,87	10/15
5. Wärmedämmstoffe (Bemessungswerte Kategorie II nach DIN 4108-4:2007-06)				
Mineralwolle (MW) Wärmeleitfähigkeitsstufen WLS 030 / 031 / 032 ... 050	EN 13162		0,030 ... 0,050	1
Expandierter Polystyrolschaum (EPS) Wärmeleitfähigkeitsstufen WLS 030 / 031 / 032 ... 050	EN 13163		0,030 ... 0,050	20/100
Extrudierter Polystyrolschaum (XPS) Wärmeleitfähigkeitsstufen WLS 026 / 027 / 028 ... 040	EN 13164		0,026 ... 0,040	80/250
Polyurethan-Hartschaum Wärmeleitfähigkeitsstufen WLS 020 / 021 / 022 ... 045	EN 13165		0,020 ... 0,045	40/200
Schaumglas (CG) Wärmeleitfähigkeitsstufen WLS 038 / 039 / 040 ... 055	EN 13168		0,038 ... 0,055	dampf- dicht
Holzwole-Leichtbauplatten ² (Homogene Platten, WW) Wärmeleitfähigkeitsstufen WLS 060 / 061 / 062 ... 10	EN 13168	360–460	0,060 ... 0,10	2/5
¹ Es ist jeweils der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen				
² < 10 mm dicke Platten werden wärmeschutztechnisch nicht berücksichtigt.				

Baustoff	DIN	ρ in kg/m ³	λ in W/(m · K)	μ^1
5. Wärmedämmstoffe (Forts.)				
Holzwolle-Mehrschichtplatten (WW-C) – mit Polystyrolschaum (EPS) Wärmeleitfähigkeitsstufen WLS 030 / 031 / 032 ... 050	EN 13168	460–650	0,030 ... 0,050	20/50
– mit Mineralwolle (MW) Wärmeleitfähigkeitsstufen WLS 030 / 031 / 032 ... 050			0,030 ... 0,050	1
– mit Holzwooldeckschichten Wärmeleitfähigkeitsstufen WLS 10 / 11 / 12 / 13 / 14			0,10 ... 0,14	2/5
Expandierter Kork (CB) Wärmeleitfähigkeitsstufen WLS 040 / 041 / 042 ... 055	EN 13170		0,040 ... 0,055	5/10
Holzfaserdämmstoffe (WF) Wärmeleitfähigkeitsstufen WLS 032 / 033 / 034 ... 060	EN 13171		0,032 ... 0,060	5
6. Holz und Holzwerkstoffe*				
Hartholz*		700	0,18	50/200
Weichholz*		500	0,13	20/50
Sperrholz*	EN 313– EN 315 EN 636	300	0,09	50/150
		500	0,13	70/200
		700	0,17	90/220
		1000	0,24	110/250
Spanplatten*	EN 312	300	0,10	10/50
		600	0,14	15/50
		900	0,18	20/50
OSB-Platten*	EN 300	650	0,13	30/50
Zementgebundene Spanplatte		1200	0,23	30/50
Holzfaserdämmstoffe Holzfas- erplatten* + MDF-Platten*	68755 EN 316 EN 622	250	0,07	2/5
		400	0,10	5/10
		600	0,14	10/12
		800	0,18	10/20
¹ Es ist jeweils der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen. * Nach DIN EN 12524				

Baustoff	DIN	ρ in kg/m ³	λ in W/(m · K)	μ^1
7. Beläge und Abdichtstoffe				
Linoleum*	EN 548	1200	0,17	800/1000
Korkfliesen		> 400	0,065	20/40
Kunststoffbeläge*, z. B. auch PVC		1700	0,25	10 000
Bitumendachbahnen	52128	1200	0,17	10 000/80 000
Nackte Bitumendachbahnen	52129	1200	0,17	2000/20 000
8. Sonstige gebräuchliche Stoffe				
Keramikplatten*, Fliesen		2300	1,3	dampfdicht
Glas*		2500	1,0	dampfdicht
Stahl*		7800	50	dampfdicht
Kupfer*		8900	380	dampfdicht
Aluminiumlegierungen*		2800	160	dampfdicht
Lehmbaustoffe		600 1200 1800	0,17 0,47 0,91	5/10
¹ Es ist jeweils der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen. * Nach DIN EN 12524				

Anlage 3: Preisübersicht Dämmstoffe

Preisübersicht für Dämmstoffe⁵²³

Typ	Dämmstoff	Besonderheiten	Hitzeschutz	Preis, netto (Dicke für U-Wert 0,24)
Organisch	Flachs	Resistenz gegenüber Fäulnis	schlecht	ca. 15 €/m ² (17 cm)
	Hand (Matte / Platte)	Widerstandsfähig gegenüber Feuchtigkeit und Fäulnis	schlecht	26 - 42 €/m ² (18 cm / 19 cm)
	Holzfaser	Hohe Wärmekapazität	gut	6* - 16 €/m ² (ab 4 cm* / 16 cm)
	Halbwolle	Resistenz gegenüber Ungeziefer, Verrottung und Pilzbelastung	gut	178 €/m ² (34 cm)
	Jute	Schadstofffrei und biologisch abbaubar	gut	17 €/m ² (15 cm)
	Kokosfaser	Besonders bruchfest, sehr gute Alternative zu synthetischen Dämmstoffen	mittel	35 €/m ² (18 cm)
	Kork	Diffusionsoffen, sehr druckbelastbar	mittel - gut	94 €/m ² (18 cm)
	Schafwolle	Besonders diffusionsoffen, reinigt Raumluft	gut	20 €/m ² (16 cm)
	Schilf	Resistenz gegen Fäulnis und Feuchtigkeit	schlecht	89 €/m ² (27 cm)
	Seegras	Hohe Feuchtigkeitsbeständigkeit, resistent gegen Milben, Mäuse und anderes Ungeziefer	gut	16 €/m ² (19 cm)
	Stroh	Diffusionsoffen	gut	6 - 13* €/m ² (18 cm / ab 4 cm*)
	Zellulose	Feuchtigkeitsregulierend, schimmelbeständig	gut	6 €/m ² (16 cm)
Mineralisch	Blähton	Nicht brennbar, resistent gegenüber Feuchtigkeit und Frost, guter Schallschutz	gut	20,00* €/m ² (ab 4 cm* / 72 cm)
	Calciumsilikat	Höchste Brandschutzklasse, alkalische Eigenschaften verhindern Schimmel	mittel	293 €/m ² (24 cm)
	Glaswolle (Matte)	Nicht brennbar, Resistenz gegenüber Schimmel und Ungeziefer	mittel	7 - 9* €/m ² (24 cm / ab 4 cm*)
	Mineralschaum	Formstabil, druckfest, nicht brennbar	gut	53 €/m ² (20 cm)
	Perlit	Wasserabweisend, ungezieferbeständig, verrottet nicht	gut	32 €/m ² (20 cm)
	Schaumglas	Schlechter Schallschutz, keine Formbarkeit	mittel	109 €/m ² (16 cm)
	Steinwolle (Matte, weich)	Nicht brennbar, Resistenz gegenüber Schimmel und Ungeziefer	mittel	13* - 30 €/m ² (14 cm)
Synthetisch	Extrudiertes Polystyrol (XPS)	Unempfindlich gegenüber Wasser, trittfest, leicht entflammbar	gut	24,00 €/m ² (14 cm)
	Expandiertes Polystyrol (EPS)	Hohe Feuchtigkeitsbeständigkeit	gut	9 - 15 €/m ² (14 cm / ab 4 cm*)
	Polyurethan (PUR)	Elastisch	gut	21 €/m ² (10 cm)
	Polyisocyanurat-Hartschaum (PIR)	Witterungsbeständig, wasserabweisend, druckbeständig	gut	77 €/m ² (19 cm)

⁵²³ Kloth o. J., o. S.

Anlage 4: Endverbraucherpreise Dämmstoffe

Endverbraucherpreise für nachwachsende Dämmstoffe und konventionelle Dämmstoffe⁵²⁴

Dämmstoff (WLS)	Preis* (ca.) pro m ² in Euro bei U=0,24 W/(m ² K)
Expandierter Kork (045)	93,75
Grasfaser (042)	12,25
Hanfasermatte (043)	25,62
Hanfplatte (045)	42,19
Holzfaser Einblasdämmung (040)	5,83
Holzfasermatte (036)	15,00
Holzweichfaserplatte nass (040)	38,33
Holzweichfaserplatte trocken (040)	59,5
Holzwoolleichtbauplatte (080)	177,67
Jutematte (042)	16,63
Neptunballfaser Einblasdämmung (046)	30,67
Schilfrohmatten (065)	88,83
Seegrass (046)	16,29
Stroh Einblasdämmung (043)	12,54
Zellulose Einblasdämmung (039)	5,69
Expandiertes Polystyrol (EPS) Platte (035)	9,04
Extrudiertes Polystyrol (XPS) Platte (036)	24,00
Glaswolle Einblasdämmung (035)	8,75
Glaswolle (Matte) (032)	5,07
Polystyrol Einblasdämmung (035)	16,04
PUR Platten alu (023)	20,70
Steinwolle (Matte) (035)	7,29

⁵²⁴ Deutsche Umwelthilfe e. V. 2020, S. 18.

Anlage 5: Pläne Beispielgebäude

Die Grundriss-, Lage- und Fundamentpläne des Bestandsgebäudes⁵²⁵

Tragbauwerk	Tragbauwerk
Beauftragter	Architekt

Planungsgegenstand

Entwurfsplanung

Plan ist urheberrechtlich geschützt. Ohne Zustimmung darf dieser Plan weder vervielfältigt noch Dritten zugänglich gemacht werden!

Planung des Tragwerksplans und der Sonderfestelegungen. Beachten! Bei Umstrukturierungen einverstanden der Architekt und die Bauabteilung! Alle Maße sind vor Ort eigenverantwortlich zu überprüfen!

Im Bestand ist mit Maßabweichungen außerhalb der zulässigen Toleranzen zu rechnen. Abweichungen sind unverzüglich dem Bauherrn und Architekten mitzuteilen.

Änderung	Datum	Sign.

Bauherr

Beauftragter

Plan: **Grundriß Kellergeschoß** Maßstab: **1:100**

Planautor: **21.07.2017**

Architekturbüro **Prof. Mario Kny** Bearbeiter: **m.kny**

Altmarkt 19 05648 Wittweitz
Architekturbüro Sachsen 0400 Telefon: 03727 140 240
Fax: 03727 140 070
E-Mail: 03727 140 070

Plan-Nr.: **AP 01.01**

⁵²⁵ Unterlagen des Architekten Prof. Mario Kny

Freigebevermerk Bauch	Freigebevermerk Architekt
---------------------------------	-------------------------------------

Planungsstand

Entwurfsplanung

Plan ist urheberrechtlich geschützt! Ohne Zustimmung darf dieser Plan weder vervielfältigt noch Dritten zugänglich gemacht werden!

Planung des Tragwerksplänen und der Sonderfachleute beachten! Bei Unstimmigkeiten entscheidet der Architekt und die Bauleitung! Alle Maße sind vor Ort eigenverantwortlich zu überprüfen!

Im Bestand ist mit Maßabweichungen außerhalb der zulässigen Toleranzen zu rechnen. Abweichungen sind unverzüglich dem Bauherrn und Architekten mitzuteilen.

Nr.	Änderung	Datum	Sign.

Bauprojekt

Baucher

Plan **Maßstab**

Grundriß Erdgeschoß **1:100**

Planverfasser **Datum**

Architekturbüro Prof. Mario Kny **21.07.2017**

Altmarkt 19 33648 Bielefeld Fon: 05271 360 360
Architekturbüro Sadzian 3408 Fax: 05271 360 376
Architekturbüro Sadzian 3408 Fax: 05271 360 376 **Bearbeiter**
m.kny

Plan-Nr. **AP 02.01**

Freigebevermerk Baucher	Freigebevermerk Architekt
-----------------------------------	-------------------------------------

Planungsstand

Entwurfsplanung

Plan ist urheberrechtlich geschützt! Ohne Zustimmung darf dieser Plan weder vervielfältigt noch Dritten zugänglich gemacht werden!

Planung des Tragwerksplänen und der Sonderfachleute beachten! Bei Unstimmigkeiten entscheidet der Architekt und die Bauleitung! Alle Maße sind vor Ort eigenverantwortlich zu überprüfen!

Im Bestand ist mit Maßabweichungen außerhalb der zulässigen Toleranzen zu rechnen. Abweichungen sind unverzüglich dem Bauherrn und Architekten mitzuteilen.

Nr.	Änderung	Datum	Sign.

Bauprojekt

Baucher

Plan **Maßstab**

Grundriß Obergeschoß **1:100**

Planverfasser **Datum**

Architekturbüro Prof. Mario Kny **21.07.2017**

Altmarkt 19 33648 Bielefeld Fon: 05271 360 360
Architekturbüro Sadzian 3408 Fax: 05271 360 376
Architekturbüro Sadzian 3408 Fax: 05271 360 376 **Bearbeiter**
m.kny

Plan-Nr. **AP 03.01**

Bestand <- Erweiterung

Schnitt A - A

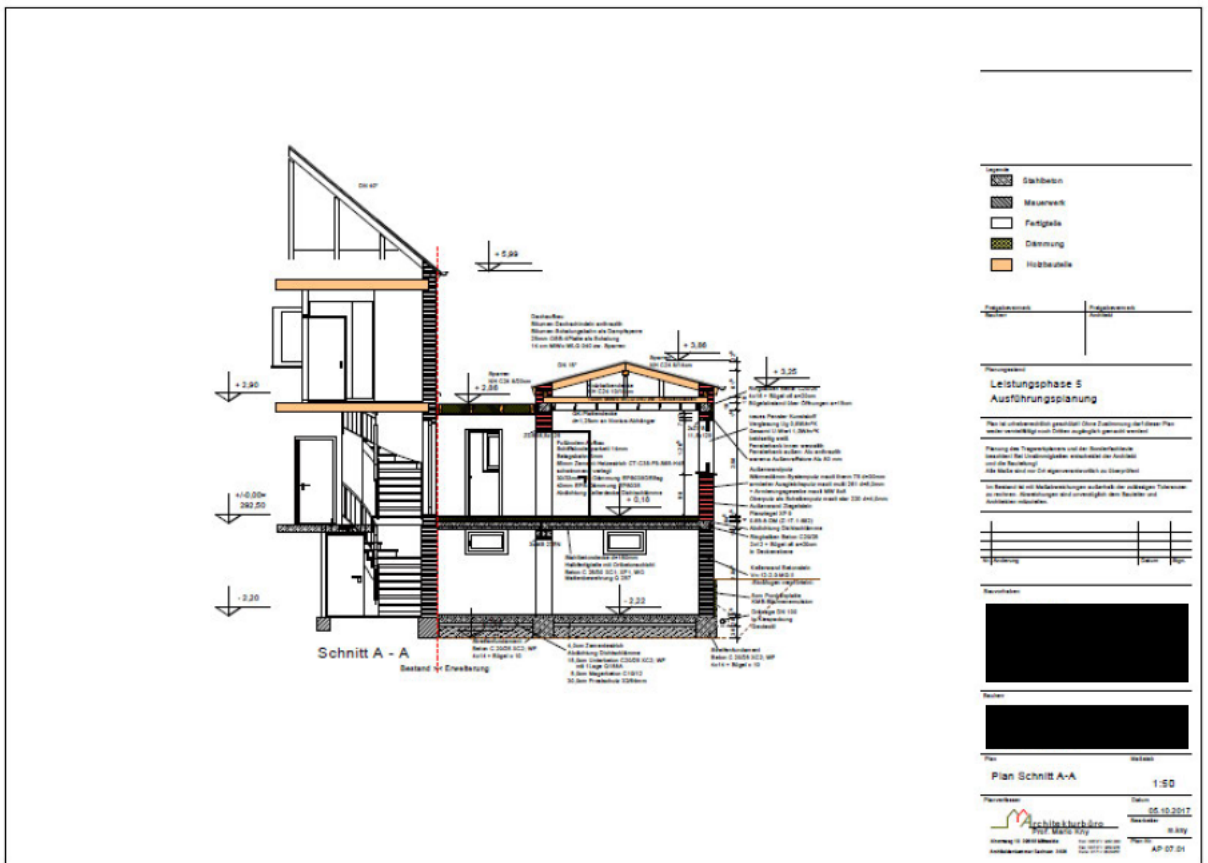
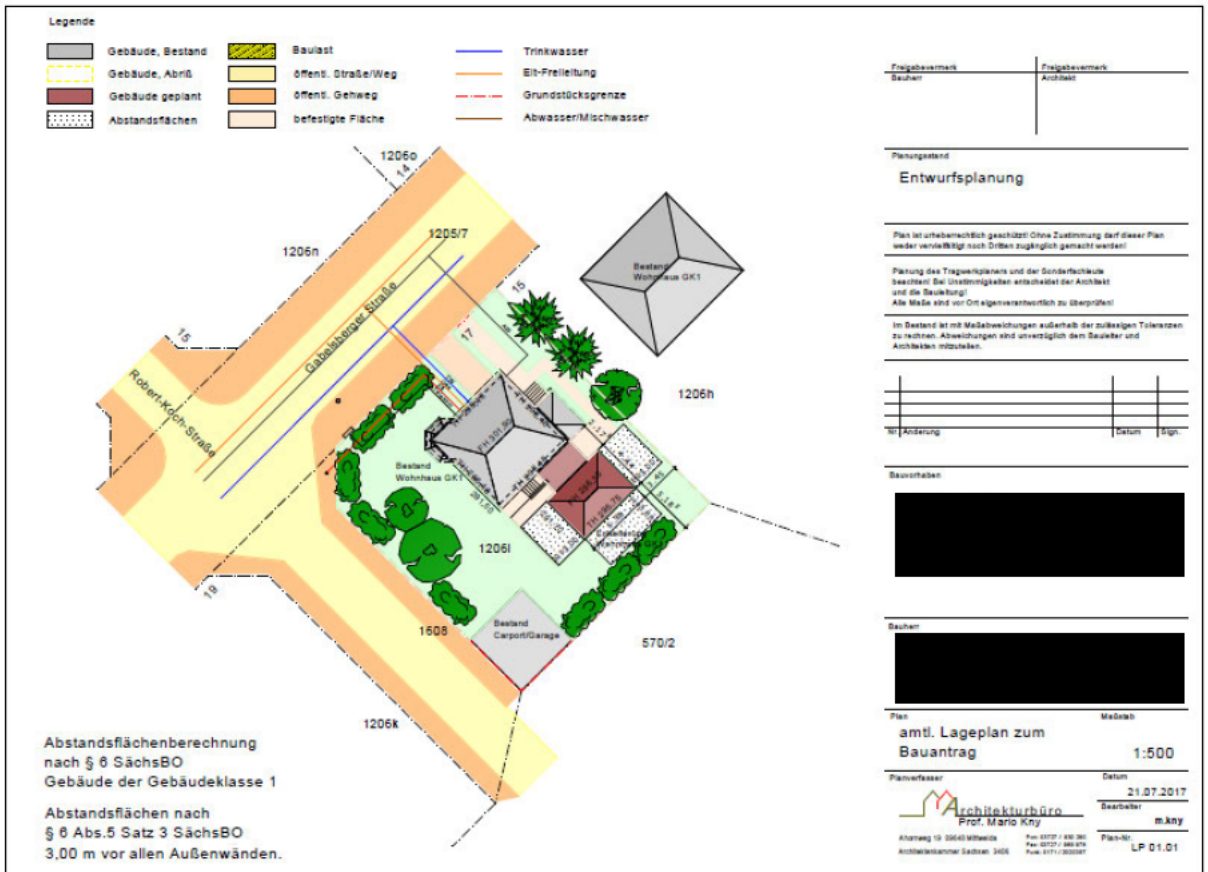
Ansicht von Nordost

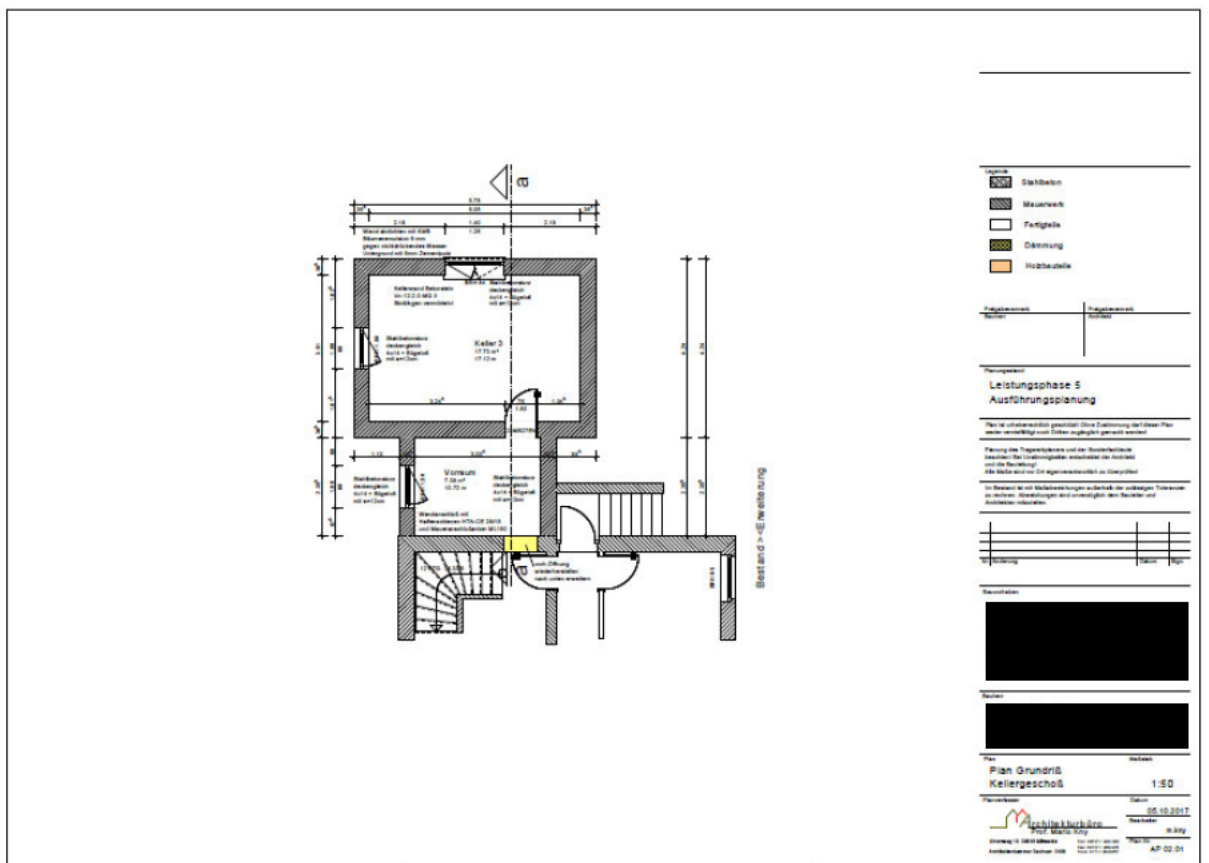
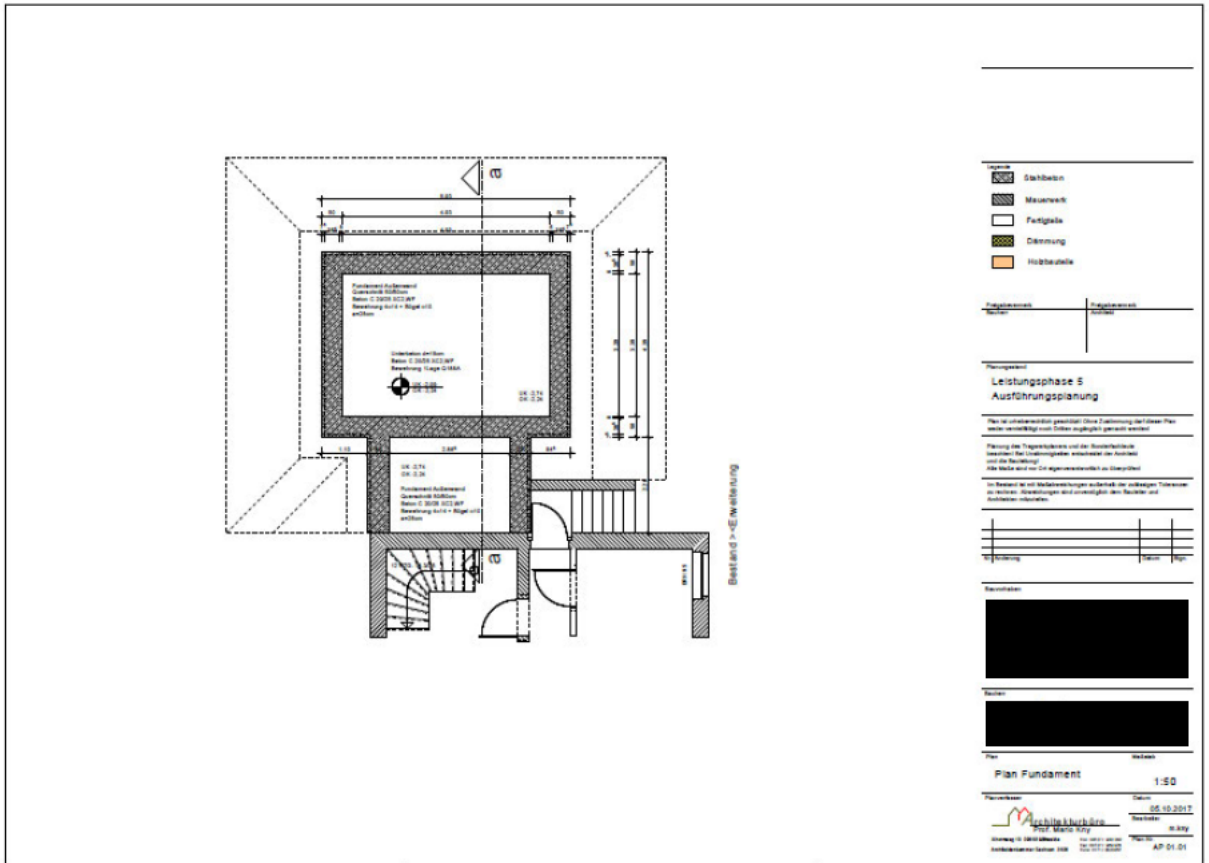
<u>Fragebezeichnung</u> Baueiter	<u>Fragebezeichnung</u> Architekt						
<u>Planungsstand</u> Entwurfsplanung							
Plan ist urheberrechtlich geschützt! Ohne Zustimmung darf dieser Plan weder vervielfältigt noch Dritten zugänglich gemacht werden!							
Planung des Tragwerksplaners und der Sonderfachleute beachten! Bei Unstimmigkeiten entscheidet der Architekt und die Bauleitung! Alle Maße sind vor Ort eigenverantwortlich zu überprüfen!							
Im Bestand ist mit Maßabweichungen außerhalb der zulässigen Toleranzen zu rechnen. Abweichungen sind unverzüglich dem Bauleiter und Architekten mitzuteilen.							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Keine Änderung</td> <td>Kein</td> <td>Sign.</td> </tr> </table>					Keine Änderung	Kein	Sign.
Keine Änderung	Kein	Sign.					
<u>Beurteilungen</u>							
<u>Baueiter</u>							
<u>Plan</u> <u>Maßstab</u>							
Schnitt A - A 1:100							
<u>Planverfasser</u>	<u>Datum</u>						
Architekturbüro Prof. Mario Kny	21.07.2017 Bearbeiter: m.kny						
Abteilung 19 0040 Kitzbühel Architektenamtler Sedlitz 3405	Fax: 03771 / 360.200 Fax: 03771 / 360.276 Fax: 03771 / 360.287						
	<u>Plan-Nr.</u> AP 04.01						

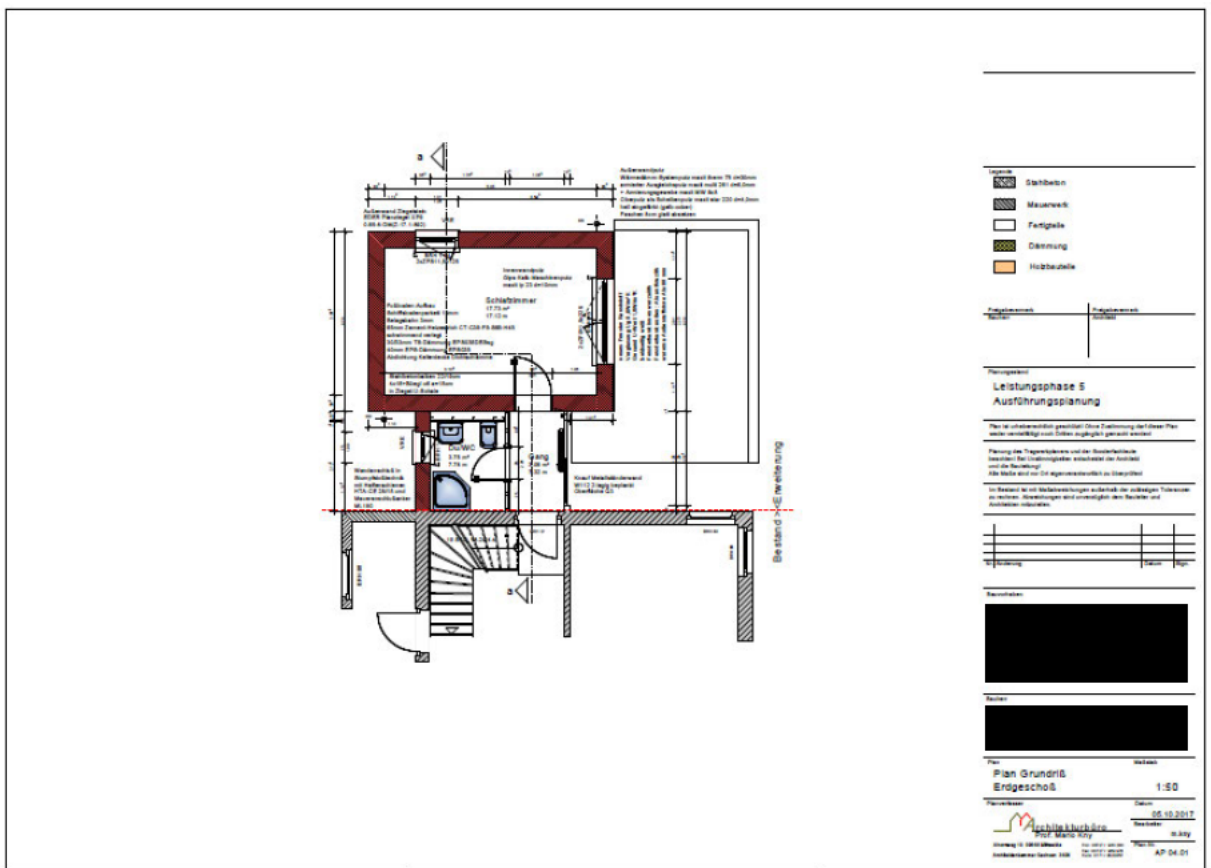
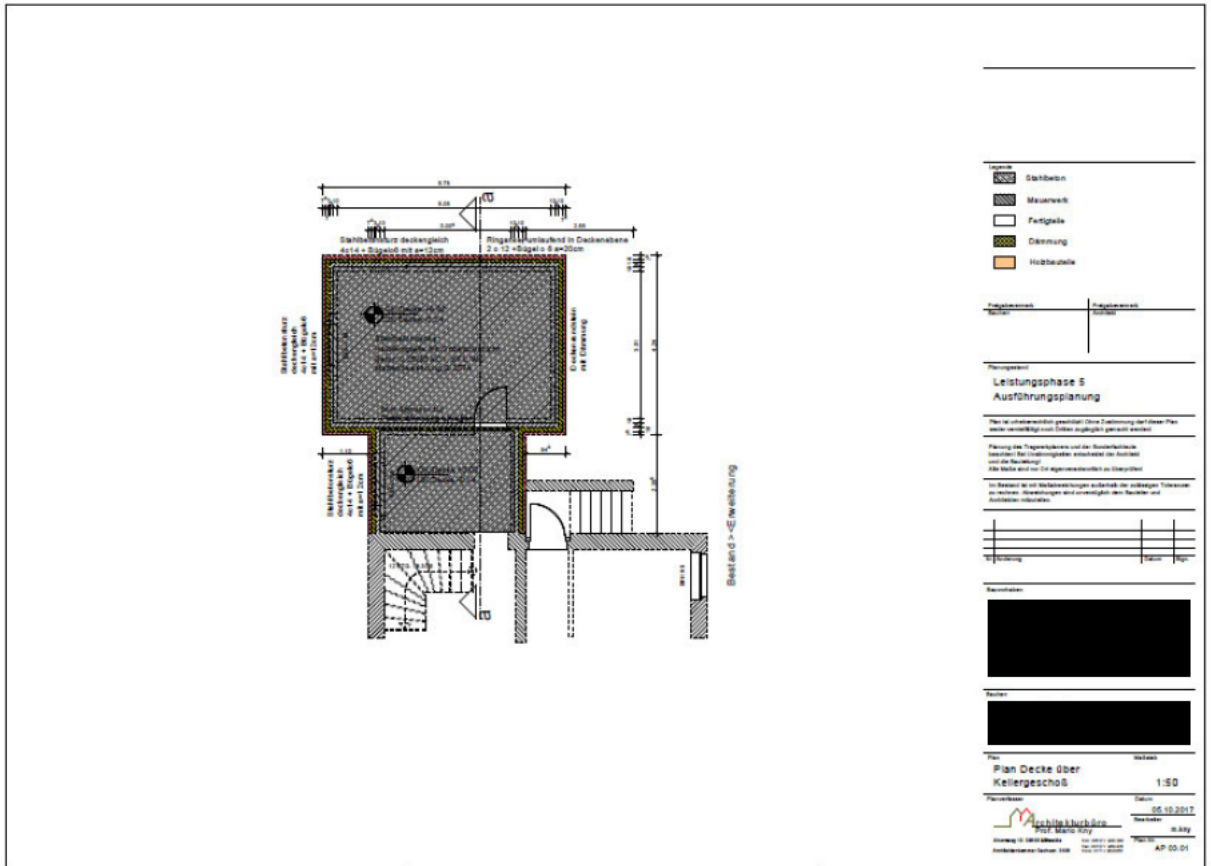
Ansicht von Südost

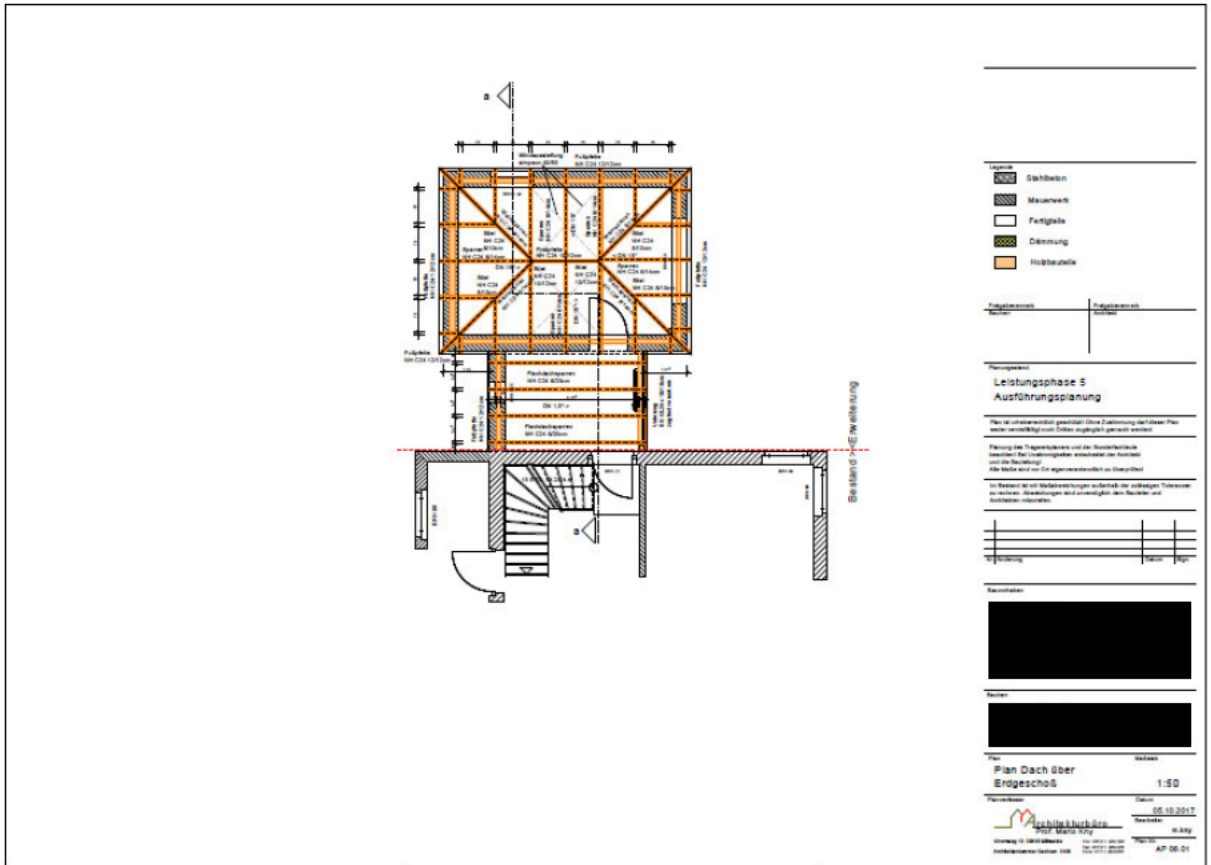
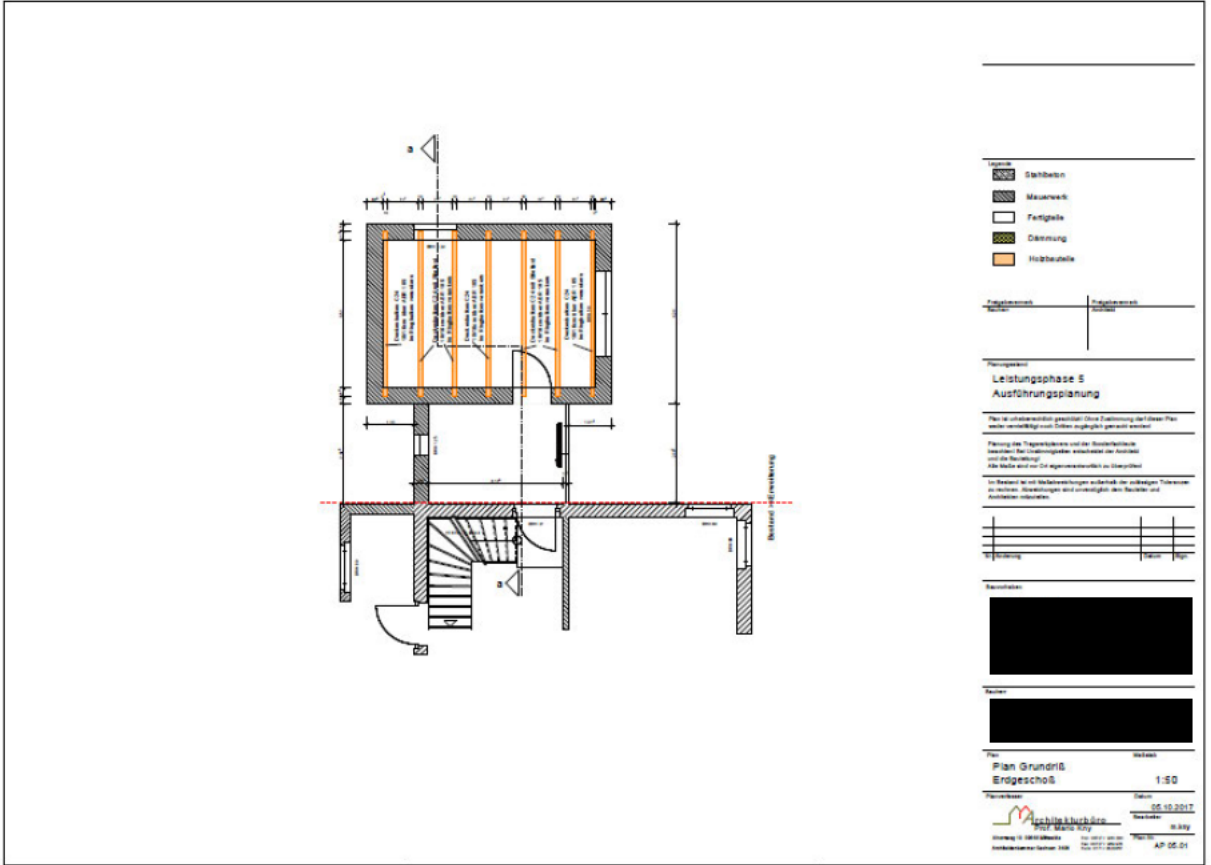
Ansicht von Südwest

<u>Fragebezeichnung</u> Baueiter	<u>Fragebezeichnung</u> Architekt						
<u>Planungsstand</u> Entwurfsplanung							
Plan ist urheberrechtlich geschützt! Ohne Zustimmung darf dieser Plan weder vervielfältigt noch Dritten zugänglich gemacht werden!							
Planung des Tragwerksplaners und der Sonderfachleute beachten! Bei Unstimmigkeiten entscheidet der Architekt und die Bauleitung! Alle Maße sind vor Ort eigenverantwortlich zu überprüfen!							
Im Bestand ist mit Maßabweichungen außerhalb der zulässigen Toleranzen zu rechnen. Abweichungen sind unverzüglich dem Bauleiter und Architekten mitzuteilen.							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Keine Änderung</td> <td>Kein</td> <td>Sign.</td> </tr> </table>					Keine Änderung	Kein	Sign.
Keine Änderung	Kein	Sign.					
<u>Beurteilungen</u>							
<u>Baueiter</u>							
<u>Plan</u> <u>Maßstab</u>							
Ansichten 1:100							
<u>Planverfasser</u>	<u>Datum</u>						
Architekturbüro Prof. Mario Kny	21.07.2017 Bearbeiter: m.kny						
Abteilung 19 0040 Kitzbühel Architektenamtler Sedlitz 3405	Fax: 03771 / 360.200 Fax: 03771 / 360.276 Fax: 03771 / 360.287						
	<u>Plan-Nr.</u> AP 05.01						



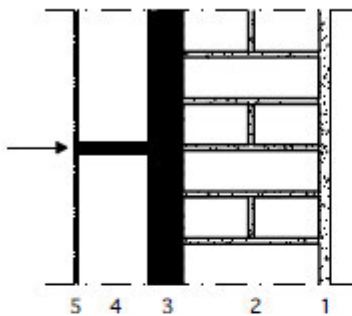






Anlage 6: Berechnung Kerndämmung

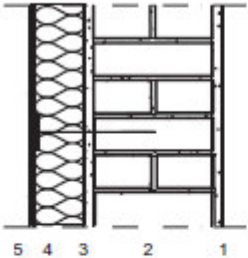
Die Berechnung der wärmeschutztechnischen Verbesserung bei Kerndämmung einer Luftschicht in einem zweischaligen Mauerwerk⁵²⁶

Bauteil		Außenwand		
Maßnahme		Kerndämmung vorh. Luftschicht		
		<ol style="list-style-type: none"> 1 Innenputz vorh. 2 Ziegelmauerwerk vorh. 3 vorh. Luftschicht, eingedämmter Dämmstoff 4 Vormauerung vorh. 5 Schlagregenschutz von Putzflächen, Hydrophobierung von Sichtmauerwerk 		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K W
1 Innenputz (Kalk/Gips)	1400	0,02	0,70	0,0286
2 Ziegelmauerwerk	1600	0,24	0,68	0,3529
3 Wärmedämmung in vorh. Luftschicht		0,05	0,04	1,2500
4 Vormauerung (Ziegel)	2000	0,12	0,96	0,1250
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x KW				1,7565
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x KW				0,13
Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x KW				0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				1,9265
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,5191
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Punkt 1., letzter Satz				Gilt als erfüllt

⁵²⁶ Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 74; vgl. Arndt 2002, S. 194.

Anlage 7: Berechnung WDVS

Die Berechnung der wärmeschutztechnischen Verbesserung bei Einbau eines Wärmedämm-Verbundsystems⁵²⁷

Bauteil		Außenwand		
Maßnahme		Wärmedämm-Verbundsystem		
				
<ol style="list-style-type: none"> 1 Innenputz vorh. 2 Ziegelmauerwerk vorh. 3 Außenputz vorh. 4 Wärmedämmung, geklebt + gedübelt 5 Außenputz, armiert 				
Baustoffschichten von innen nach außen	Rohdichte ρ kg/m ³	Schichtdicke d m	Wärmeleitfähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K / W
1 Innenputz (GipsKalk)	1400	0,02	0,70	0,0286
2 Ziegelmauerwerk	1600	0,24	0,68	0,3529
3 Außenputz (Kalk-Zement)	1800	0,02	0,87	0,0230
4 Wärmedämmung		0,10	0,04	2,5000
5 Außenputz, mineralisch	1800	0,01	0,87	0,0115
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x KW				2,9180
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x KW				0,13
Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x KW				0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_f in m ² x KW				3,0880
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,3240
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 1b				≤ 0,35

⁵²⁷ Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau 2003, S. 70; vgl. Arndt 2002, S. 194.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Arndt, Horst (2002): Wärmeschutz und Feuchte in der Praxis. Funktionssicher und Energie sparend bauen. 2., stark bearb. Aufl. Berlin: Verl. Bauwesen.

Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz Fachkommission Bauplanung Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau (2003): Planungshilfe Energiesparendes Bauen. Hg. v. Landesinstitut für Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (LB). Landesinstitut für Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (LB). Aachen. Online verfügbar unter https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/buw/hochbau/iia2_energetischesanierung_planungshilfe_energiesparendes_bauen.pdf, zuletzt geprüft am 31.05.2020, um 15:55 Uhr.

Baunetz Wissen Bauphysik (Hg.) (o. J.): EnEV: Anforderungen an Bestandsgebäude. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/waermeschutz/enev-anforderungen-an-bestandsgebaeude-4411473>, zuletzt geprüft am 31.05.2020, um 13:28 Uhr.

Baunetz Wissen Dämmstoffe (Hg.) (o. J.): Sommerlicher Wärmeschutz. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/drucken/sommerlicher-waermeschutz-2622117>, zuletzt geprüft am 29.05.2020, um 15:42 Uhr.

Baunetz Wissen Sonnenschutz (Hg.) (o. J.): Sommer-Klimaregionen A, B und C. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/glossar/s/sommer-klimaregionen-a-b-und-c-47757>, zuletzt aktualisiert am 24.06.2020.000Z, zuletzt geprüft am 24.06.2020, um 14:18 Uhr.

Baunetz_Wissen (Hg.) (o. J.): Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert). BauNetz. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/glas/fachwissen/bauphysik/gesamtenergiedurchlassgrad-g-wert-159244>, zuletzt aktualisiert am 27.07.2020.000Z, zuletzt geprüft am 27.07.2020, um 11:42 Uhr.

Bienert, Sven; Hirsch, Jens (2013): ImmoRisk. Risikoabschätzung der zukünftigen Klimafolgen in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft; ein Projekt des Forschungsprogramms ExWoSt des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) betreut vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Unter Mitarbeit von Ute Birk und Tobias Held. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin. Deutschland. Berlin (Forschungen / Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Heft 159). Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-201308029207>, zuletzt geprüft am 09.06.2020, um 16:27 Uhr.

Bobran, Hans W.; Bobran-Wittfoht, Ingrid (2010): Handbuch der Bauphysik. Schallschutz - Raumakustik - Wärmeschutz - Feuchteschutz ; mit 167 Tabellen. 8., überarb. und erw. Aufl. Köln: R. Müller.

Bosy, Bruno (o. J.): Luftfeuchte - relative Luftfeuchte. Bruno Bosy. o. O. Online verfügbar unter http://www.bosy-online.de/relative_Luftfeuchte.htm, zuletzt aktualisiert am 19.03.2018.000Z, zuletzt geprüft am 13.07.2020, um 13:04 Uhr.

Bosy, Bruno (2001): Sommerlicher Wärmeschutz. Hg. v. www.bosy-online.de. o. O. Online verfügbar unter http://www.bosy-online.de/sommerlicher_Waermeschutz.htm, zuletzt geprüft am 05.06.2020, um 11:28 Uhr.

Bounin, Katrina; Graf, Walter; Schulz, Peter (2010): Schallschutz, Wärmeschutz, Feuchteschutz, Brandschutz. Handbuch Bauphysik. [9. Aufl.], vollst. überarb. Neuausg. München: Dt. Verl.-Anst.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hg.) (2014): Wissenschaftliche Grundlagen. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/wissenschaftliche-grundlagen/>, zuletzt aktualisiert am 31.05.2020.000Z, zuletzt geprüft am 31.05.2020, um 17:44 Uhr.

Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Darmstadt. Online verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/gebaeudebestand/prj/Endbericht_Datenerhebung_Wohngeb%C3%A4udebestand_2016.pdf, zuletzt geprüft am 02.06.2020, um 19:20 Uhr.

Cziesielski, Erich (Hg.) (1988): Bautechnik. Bauphysik. Wärmeschutz. Unter Mitarbeit von Karl Gertis, Robert von Halász und Karl Kordina. 29. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer (Hütte - Taschenbücher der Technik, 5). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-95545-7>, zuletzt geprüft am 02.06.2020, um 13:23 Uhr.

Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software; KERN ingenieurkonzepte (Hg.) (o. J.): Thermische Gebäudesimulation nach DIN 4108-2:2012. zum Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutzes. Online verfügbar unter www.bauphysik-software.de; https://www.bauphysik-software.de/downloadtutor/ThermSim_Nutzen.pdf, zuletzt geprüft am 03.05.2020, um 18:11 Uhr.

Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software; KERN ingenieurkonzepte (Hg.) (2019): Sommerlicher Wärmeschutz Thermische Simulation. Online verfügbar unter <https://www.bauphysik-software.de/de-de/component/phocadownload/download/6e21cfa029ade35778276c0fe55a2b840841d6d42381bdb6b2de22f2071573aa.ht>

ml; <https://www.bauphysik-software.de/de-de/sows-thermsim/view/form.html>, zuletzt geprüft am 07.06.2020, um 18:50 Uhr.

Demel, Manuel; Benitz-Wildenburg, Jürgen (2014): EnEV 2016 - Sommerlicher Wärmeschutz. Einfacher Nachweis mit ift-Diagrammverfahren. Hg. v. ift Rosenheim. Rosenheim. Online verfügbar unter https://www.ift-rosenheim.de/documents/10180/671018/FA_ift1405_Benitz_Demel.pdf, zuletzt geprüft am 27.07.2020, um 09:58 Uhr.

Deutsche Fensterbau (Hg.) (2018): U-Wert. Der Wärmedurchgangskoeffizient als Maß für die Energieeffizienz eines Fensters. Online verfügbar unter <https://www.deutsche-fensterbau.de/u-wert/>, zuletzt aktualisiert am 31.08.2020, zuletzt geprüft am 03.09.2020, um 11:30 Uhr.

Deutsche Umwelthilfe e. V. (Hg.) (2019): Dämmen mit nachwachsenden Rohstoffen - Mehr als nur Wärmedämmung. Eine Broschüre mit sechs Praxisbeispielen. Online verfügbar unter https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Energieeffizienz/190711_D%C3%A4mmen_mit_NawaRo-Mehr_als_nur_W%C3%A4rmed%C3%A4mmung.pdf, zuletzt geprüft am 31.08.2020, um 19:33 Uhr.

Deutsche Umwelthilfe e. V. (Hg.) (2020): Ökologisch und leistungsstark - Dämmen mit nachwachsenden Rohstoffen. Online verfügbar unter https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Energieeffizienz/Gebaeude/Praxisbroschure_NawaRo-Daemmstoffe_Web_2522020.pdf, zuletzt geprüft am 31.08.2020, um 19:09 Uhr.

Deutscher, Peter; Elsberger, Martin; Rouvel, Lothar (2000): Sommerlicher Wärmeschutz. Eine einheitliche Methodik für die Anforderungen an den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz. Teil 1, Teil 2. Hg. v. Lothar Rouvel. o. O. Online verfügbar unter http://www.gebsimu.de/Rouvel__Sommerlicher_Waermeschutz__Bauphysik_2000_2_und_2000_3.pdf, zuletzt geprüft am 31.05.2020, um 21:03 Uhr.

Dittmann, Matthias (o. J.): Dämmung - die passende Wärmedämmung für Fassade und Dach. Hg. v. bauen.de. o. O. Online verfügbar unter <https://www.bauen.de/daemmung.html>, zuletzt aktualisiert am 26.08.2020, zuletzt geprüft am 26.08.2020, um 15:13 Uhr.

Effizienzhaus-online (Hg.) (o. J.): Wärmedämmung: Tipps für die energetische Sanierung. Wärmedämmung minimiert Wärmeverluste und erhöht den Wohnkomfort. Online verfügbar unter <https://www.effizienzhaus-online.de/waermedaemmung/>, zuletzt geprüft am 29.05.2020Uhr.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hg.) (2014): Marktübersicht Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Online verfügbar unter

http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/r/broschuere_daemmstoffe-web_v02.pdf, zuletzt geprüft am 31.08.2020, um 19:37 Uhr.

FOCUS online (Hg.) (2020): Lebensdauer von Fenstern - Nach dieser Zeit sollten sie ausgetauscht werden. Online verfügbar unter https://praxistipps.focus.de/lebensdauer-von-fenstern-nach-dieser-zeit-muessen-sie-ausgetauscht-werden_97741, zuletzt aktualisiert am 03.09.2020, zuletzt geprüft am 03.09.2020, um 10:55 Uhr.

Gmünder, Simon (2012): Klimawandel. Ursachen, Folgen und Handlungsmöglichkeiten. Quartalsplanung. Unter Mitarbeit von Felix Keller. Hg. v. ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. o. O. Online verfügbar unter <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/dual/educeth-dam/documents/Unterrichtsmaterialien/geographie/Umweltlehre/klimawandel-verschiedene-methoden/klimawandel.pdf>, zuletzt geprüft am 04.06.2020, um 11:09 Uhr.

Graßl, Hartmut; Kemfert, Claudia; Knie, Andreas u.a. (2017): CO₂-Gehalt übersteigt 410 ppm. Hg. v. Klimaretter.info Das Magazin zur Klima- und Energiewende. o. O. Online verfügbar unter <http://www.klimaretter.info/umwelt/nachricht/23013-co2-gehalt-uebersteigt-410-ppm>, zuletzt aktualisiert am 22.06.2020.000Z, zuletzt geprüft am 22.06.2020, um 11:44 Uhr.

Hegger, Manfred; Auch-Schwelk, Volker; Fuchs, Matthias; u.a. (Hg.) (2005): Baustoff Atlas. Unter Mitarbeit von Jürgen Volkwein, Martin Zeumer, Christoph Drebes und u.a. Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG. München.

Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Stark, Thomas; u.a. (Hg.) (2007): Energie Atlas. Nachhaltige Architektur. Unter Mitarbeit von Natascha Altensen, Hans Drexler, Laura Eckel und u.a. Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG. München.

Heinrich, Ingo; Imbery, Florian; Kandarr, Jana (2019): Juli 2019 global heißester Monat seit Beginn der Wetteraufzeichnung. Hg. v. ESKP Wissensplattform Erde und Umwelt Earth System Knowledge Platform. o. O. Online verfügbar unter <https://www.eskp.de/klimawandel/juli-2019-global-heissester-monat-seit-beginn-der-wetteraufzeichnung-9351062/>, zuletzt aktualisiert am 23.06.2020.000Z, zuletzt geprüft am 23.06.2020, um 15:46 Uhr.

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (2009-2011): Institut Wohnen und Umwelt (IWU). ImmoKlima. Unter Mitarbeit von Christian von Malottki, Iris Behr und Peter Werner. Online verfügbar unter <https://www.iwu.de/research/gebaeudebestand/immoklima/>, zuletzt aktualisiert am 09.06.2020.000Z, zuletzt geprüft am 09.06.2020, um 16:54 Uhr.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) (Hg.) (2011): Klimaänderung 2007. Wissenschaftliche Grundlagen: Häufig gestellte Fragen und Antworten. Online verfügbar unter

https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/2011_Downloads/IPCC_FAQ_2007_D.pdf, zuletzt geprüft am 17.06.2020, um 13:43 Uhr.

IPCC (Hg.) (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC). Unter Mitarbeit von S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt et al. Bern/Wien/Berlin, 2007: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle. Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/IPCC2007-WG1_german.pdf, zuletzt geprüft am 17.06.2020, um 13:50 Uhr.

Kern, Andreas (2019): Simulationsrechnungen für energieeffizientes Bauen. Hintergründe, Aufwand und Vorteile. Hg. v. Dämmwerk Bauphysik + EnEV-Software. o. O. Online verfügbar unter https://www.bauphysik-software.de/images/pdf/FB_Kern_Simulationsrechnungen_08.2019.pdf, zuletzt geprüft am 13.08.2020, um 10:39 Uhr.

Kirch, Wolfgang (2019): Diffusionsoffen bauen. diffusionsoffen - diffusionsfähig - diffusionsdicht. Hg. v. Bio-Solar-Haus. Online verfügbar unter <https://www.bio-solar-haus.de/hausbau/diffusionsoffen-bauen>, zuletzt aktualisiert am 25.11.2019, zuletzt geprüft am 16.07.2020.608Z.

klimafakten.de (Hg.) (2012): Behauptung: „Die Erderwärmung wird Deutschland kaum Probleme bereiten“. Online verfügbar unter <https://www.klimafakten.de/behauptungen/behauptung-die-erderwaermung-wird-deutschland-kaum-probleme-bereiten>, zuletzt aktualisiert am 25.09.2019+02:00, zuletzt geprüft am 23.06.2020, um 15:13 Uhr.

klimafakten.de (Hg.) (2017): Klimawandel - eine Faktenliste. Unter Mitarbeit von Carel Mohn, Eva Freundorfer und Toralf Staud. Online verfügbar unter <https://www.klimafakten.de/meldung/klimawandel-eine-faktenliste>, zuletzt aktualisiert am 21.08.2018+02:00, zuletzt geprüft am 10.06.2020, um 11:15 Uhr.

Kloth, Philipp (o. J.): Dämmstoffe - alle Arten in der Übersicht. o. O. Online verfügbar unter <https://www.energieheld.de/daemmung/daemmstoffe>, zuletzt aktualisiert am 10.05.2018, zuletzt geprüft am 28.08.2020, um 12:34 Uhr.

KOMKO bauen (Hg.) (o. J.): Wärmeschutz und Behaglichkeit. Initiative kostengünstig qualitätsbewusst Bauen umweltgerecht innovativ bezahlbar. Online verfügbar unter http://www.komko-bauen.de/upload/komko/pdf/5_3_0106.pdf, zuletzt geprüft am 03.05.2020, um 17:19 Uhr.

Künzel, Hartwig M.; Sedlbauer, Klaus (o. J.): Reflektierende Flachdächer - sommerlicher Wärmeschutz kontra Feuchteschutz. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. o. O.

Online verfügbar unter <https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/ibp-neu/de/dokumente/ibpmitteilungen/451-500/482.pdf>, zuletzt geprüft am 02.06.2020, um 11:39 Uhr.

Maas, Anton (2016): EnEV 2016. Die Energieeinsparverordnung. Effizient planen und bauen mit Kalksandstein. Hg. v. Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. KS-ORIGINAL GMBH. Hannover. Online verfügbar unter <https://www.heinze.de/pdfdownload/?pdf=/m2/42/63442/pdf/87/20501187px595x842.pdf>, zuletzt geprüft am 23.07.2020, um 10:47 Uhr.

Masson-Delmotte, Valérie; Zhai, Panmao; Pörtner, Hans-Ottou.a. (2018): Global warming of 1.5°C. Unter Mitarbeit von Debra Roberts, Jim Skea und Priyadarshi R. u.a. Shukla. Hg. v. ipcc intergovernmental panel on climate change. [Geneva, Switzerland] (Special report). Online verfügbar unter https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf, zuletzt geprüft am 10.06.2020, um 11:04 Uhr.

Max-Planck-Institut für Meteorologie (Hg.) (o. J.): Auswirkung menschlichen Handelns auf das Klima. Wie funktioniert der Treibhauseffekt? Max-Planck-Institut für Meteorologie. Online verfügbar unter https://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/download/Poster/Treibhauseffekt_d06.pdf, zuletzt geprüft am 16.06.2020, um 17:09 Uhr.

Müller, Hans-Stefan (2019): Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 [2013-02]. Hg. v. energieberatung müller energie-m. o. O. Online verfügbar unter <https://energie-m.de/info/nachweis-sommerlicher-waermeschutz.html>, zuletzt geprüft am 29.05.2020, um 15:38 Uhr.

NATURSTROM AG (2016): Klimawandel: Deutschland 1,4 Grad wärmer als 1881. Hg. v. energiezukunft für Erneuerbare Energien und die bürgernahe Energiewende. o. O. Online verfügbar unter <https://www.energiezukunft.eu/klimawandel/klimawandel-deutschland-14-grad-waermer-als-1881/>, zuletzt aktualisiert am 23.06.2020.000Z, zuletzt geprüft am 23.06.2020, um 12:38 Uhr.

Nees, Melanie (2020): Diffusionsoffen bauen und Schimmel vermeiden. Hg. v. Das Haus. o. O. Online verfügbar unter <https://www.haus.de/bauen/diffusionsoffen-was-heisst-das>, zuletzt aktualisiert am 22.06.2020+0200, zuletzt geprüft am 16.07.2020, um 15:24 Uhr.

NOAA National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration (Hg.) (2020a): Climate at a Glance | National Centers for Environmental Information (NCEI). Online verfügbar unter <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/ocean/ytd/12/1880-2017>, zuletzt aktualisiert am 22.06.2020.000Z, zuletzt geprüft am 22.06.2020, um 10:02 Uhr.

NOAA National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration (Hg.) (2020b): Global Climate Report - Annual 2016 | State of the Climate | National Centers for Environmental Information (NCEI). Online verfügbar unter

<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613>, zuletzt aktualisiert am 22.06.2020.000Z, zuletzt geprüft am 22.06.2020, um 10:44 Uhr.

Nowotka, Frank (2020a): einblasfähige Dämmstoffe. Hg. v. energytools Forum & Tipps. Bayern. Online verfügbar unter <https://energytools.de/bauen/baustoffe/daemmstoffe/einblasfaehige-daemmstoffe/>, zuletzt aktualisiert am 03.02.2020, zuletzt geprüft am 07.09.2020, um 15:30 Uhr.

Nowotka, Frank (2020b): Einblasfähige Dämmstoffe. Hg. v. energytools Forum & Tipps. Bayern. Online verfügbar unter <https://energytools.de/wissen-erfahrungen-tipps/hausbau-und-erneuerung/bau-und-daemmstoffe/einblasfaehige-daemmstoffe/>, zuletzt aktualisiert am 03.02.2020, zuletzt geprüft am 07.09.2020, um 16:18 Uhr.

Nowotka, Frank (2020c): Kerndämmung und Sanierung von Hohlwandmauerwerk. Infos und Tipps zum Neubau mehrschaliger Wände mit Kerndämmung und zur Sanierung von Hohlwandmauerwerk im Altbau mit Einblasdämmung. Hg. v. energytools Forum & Tipps. Bayern. Online verfügbar unter <https://energytools.de/wissen-erfahrungen-tipps/hausbau-und-erneuerung/bauteile-und-konstruktionen/waermegeedaemmte-aussenwaende/kerndaemmung-und-sanierung-von-hohlwandmauerwerk/>, zuletzt aktualisiert am 03.02.2020+01:00, zuletzt geprüft am 07.09.2020, um 12:51 Uhr.

OBI Redaktion; OBI Magazin (Hg.) (o. J.): Der richtige Dämmstoff für jeden Einsatzort. Online verfügbar unter <https://www.obide.de/magazin/bauen/baustoffe/daemmstoff-berater>, zuletzt aktualisiert am 25.10.2019, zuletzt geprüft am 27.08.2020, um 14:23 Uhr.

Pabst; Kersten (2019): Gesetzentwurf der Bundesregierung. Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude. o. O. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/gesetz-zur-vereinheitlichung-des-energieeinsparrechts-fuer-gebäude.pdf?__blob=publicationFile&v=8, zuletzt geprüft am 15.07.2020, um 12:55 Uhr.

Paschotta, Rüdiger (o. J.): Wärmeschutz. Hg. v. RP-Energie-Lexikon. o. O. Online verfügbar unter <https://www.energie-lexikon.info/waermeschutz.html>, zuletzt geprüft am 29.05.2020, um 15:35 Uhr.

Penseler, Michael (2014 / 2015): Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes im Gebäude der Kleinwachauer Werkstätten. Hg. v. Technische Universität Dresden. Technische Universität Dresden Fakultät Architektur Institut für Bauklimatik Professur für Technischen Ausbau und Klimagerechtes Bauen. o. O. Online verfügbar unter https://tu-dresden.de/bu/architektur/ibk/ressourcen/dateien/lecture/lectures_arch_dir/posters_scientific-theses/WissA_PenselerM.pdf?lang=de, zuletzt geprüft am 31.05.2020, um 14:23 Uhr.

Plathner, Philipp (o. J.): Sommerlicher Wärmeschutz - ungelöst? Die Bewertung transparenter Bauteile im sommerlichen Wärmeschutz. Hg. v. ift Rosenheim. Rosenheim.

Online verfügbar unter <https://www.ift-rosenheim.de/documents/10180/167230/2002-10+Fachartikel+Sommerlicher+W%C3%A4rmeschutz+%E2%80%93+un-gel%C3%B6st.pdf/055894e0-0968-4b89-ab3b-a24672c9464a?version=1.0>, zuletzt geprüft am 29.05.2020, um 15:31 Uhr.

Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (Hg.) (2007): Beobachtete Klimaentwicklung. Online verfügbar unter <https://www.klima.sachsen.de/beobachtete-klimaentwicklung-12373.html>, zuletzt aktualisiert am 27.08.2020, zuletzt geprüft am 02.09.2020, um 14:26 Uhr.

Spitzner, Martin H. (2013a): Neue DIN 4108-2 - "Mindestanforderungen an den Wärmeschutz". Änderungen beim Anwendungsbereich, Mindestwärmeschutz und Wärmebrücken. Hg. v. ift Rosenheim. Rosenheim. Online verfügbar unter https://www.ift-rosenheim.de/documents/10180/131529/FA_WKSB1304_DIN_4108-2/d8a27b5c-f2a2-f659-0a31-c879f8e9d621, zuletzt geprüft am 31.05.2020, um 14:09 Uhr.

Spitzner, Martin H. (2013b): Sommerlicher Wärmeschutz. DIN 4108-2 und Energieeinsparverordnung EnEV - Mindestanforderungen und Nachweismöglichkeiten Müssen Glasflächen in Zukunft kleiner werden? Hg. v. ift Rosenheim und ift-Fachtagung Transparente Gebäudehülle 2013. Rosenheim. Online verfügbar unter https://www.ift-rosenheim.de/documents/10180/131529/FA_iftBST1306_Spitzner.pdf/3c555a1e-7300-4231-9f6e-99f0b7bf69ec, zuletzt geprüft am 31.05.2020, um 13:16 Uhr.

Tuschinski, Melita (o. J.): GebäudeEnergieGesetz - GEG - löst ab 1. Okt. EnEV, EnEG und EEWärmeG ab! Neues GebäudeEnergieGesetz GEG 2020 kommt! Hg. v. EnEV-online. o. O. Online verfügbar unter <https://www.enev-online.eu/>, zuletzt aktualisiert am 07.07.2020.000Z, zuletzt geprüft am 16.07.2020, um 16:52 Uhr.

Verbraucherzentrale (Hg.) (o. J.): Tipps: So packen Sie die Wärmedämmung fürs Eigenheim richtig an. Online verfügbar unter <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/energetische-sanierung/tipps-so-packen-sie-die-waermedaemmung-fuers-eigenheim-richtig-an-40001>, zuletzt geprüft am 31.05.2020, um 11:47 Uhr.

wetter.net (Hg.) (2019): 2020 soll neue Hitzerekorde bringen! Online verfügbar unter <https://www.wetter.net/wetter-news/2020-soll-neue-hitzerekorde-bringen>, zuletzt aktualisiert am 14.07.2020.000Z, zuletzt geprüft am 14.07.2020, um 12:10 Uhr.

Wimmer, Robert; Hohensinner, Hannes; Janisch, Luise u.a. (2001): Wandsysteme aus nachwachsenden Rohstoffen. Wirtschaftsbezogene Grundlagenstudie Endbericht. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien. Online verfügbar unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/download/endbericht_wimmer_ws1.pdf, zuletzt geprüft am 16.07.2020, um 11:52 Uhr.

Wind, G.; Heschl, Ch. (o. J.): Graue Energie - ein wesentlicher Faktor zur Energieoptimierung von Gebäuden. Hg. v. Studienzentrums Pinkafeld. Österreich. Online verfügbar

unter <http://ibwind.at/download/GraueEnergie081121.pdf>, zuletzt geprüft am 07.08.2020, um 13:21 Uhr.

Wittig, Stefan; Schuchardt, Bastian (2012): Themenblatt: Anpassung an den Klimawandel: Bauen und Wohnen in der Stadt. Hg. v. Umweltbundesamt KomPass - Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung. o. O. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/364/publikationen/kompass_themenblatt_bauen_und_wohnen_2015_net.pdf, zuletzt geprüft am 09.06.2020, um 16:29 Uhr.

Zeumer, Martin; John, Viola; Hartwig, Joost (2009): Nachhaltiger Materialeinsatz - Graue Energie im Lebenszyklus. Sustainable Use of Materials - Grey Energy in the Life Cycle. In: *DETAIL Green* (1), S. 54–60. Online verfügbar unter <http://www.bauteilnetz.de/bauteilnetz/downloads/3d33e7d7bf1ea234ee06757b2e81867bc91085f8/Nachhaltiger.Materialeinsatz.Graue.Energie.pdf>, zuletzt geprüft am 07.08.2020, um 13:10 Uhr.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 14.09.2020



Alina Sailer