



Erörterung, Vergleich und Kritik vorhandener Nachweisverfahren
zum Sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden

Examination, comparison and assessment of existing verification
methods for the overheating risk of buildings

Diplomarbeit

TU Dresden
Fakultät für Architektur und Fakultät für Bauingenieurwesen
Institut für Bauklimatik
Professur für Bauphysik

Bearbeiterin

Oda Budny
4045539

Erstgutachterin

Dr. Peggy Freudenberg

Zweitgutachter

Dr. Gregor Scheffler
Ingenieurbüro Dr. Scheffler und Partner GmbH

Abgabe:

Dresden, den 10.03.2021

Abstract

Im Rahmen des Klimawandels nimmt die Dauer und Häufigkeit von Hitzeperioden und damit auch die Relevanz des Sommerlichen Wärmeschutzes zu. Aus diesem Grund werden die vereinfachten Nachweisverfahren zum Sommerlichen Wärmeschutz aus dem deutschsprachigen Raum werden erläutert, verglichen und hinsichtlich ihrer Eignung kritisiert. Das Sonneneintragskennwerte-Verfahren nach DIN 4108-2: 2013, das vereinfachte Verfahren nach Häupl und das Verfahren I nach SIA 180 werden auf zehn unterschiedliche Anwendungsszenarien angewendet. Diese variieren in Geometrie und Klimaregion, Baukonstruktionen, Fenstereigenschaften, Nutzung, Inneren Wärmelasten und Lüftungsverhalten. Die Ergebnisse der vereinfachten Nachweisverfahren werden mit den Ergebnissen aus Thermischen Raumsimulationen verglichen. Anhand einer Parametervariation werden die Dimensionierungen der Sonnenschutz- und Lüftungsmaßnahmen, die den Zulässigkeitsentscheidungen der Verfahren zu Grunde liegen verglichen.

Dabei stellt sich heraus, dass das Verfahren I nach SIA 180 sehr hohe Anforderungen an den Sommerlichen Wärmeschutz stellt und keinen Raum für zulässig hält. Die Einschätzung des Überhitzungsrisiko durch das Sonneneintragskennwerte-Verfahren nach DIN 4108-2: 2013 weicht in drei von zehn Fällen und das Häupl-Verfahren in fünf von zehn Fällen von der Simulation ab. Die Verfahren erweisen sich nur in engen Anwendungsgrenzen als geeignet.

In the context of climate change, the duration and frequency of heatwaves is increasing, and with it the relevance of overheating protection of buildings. For this reason the simplified verification methods for overheating protection from German-speaking countries are explained, compared and assessed regarding their appropriateness. The Solar Transmittance Value Method according to DIN 4108-2: 2013, the Simplified Method according to Häupl and Procedure I according to SIA 180 are applied to ten different scenarios. These vary in geometry and climatic region, building construction, window characteristics, use, internal heat loads and ventilation behavior. The results of the simplified verification methods are compared with the results from thermal room simulations. By means of a parameter variation, the dimensioning of the solar protection and ventilation measures, on which the admissibility decisions of the methods are based, are compared.

It is found that Procedure I according to SIA 180 sets very high requirements for overheating protection so that no room is considered acceptable. The estimation of the overheating risk by the Solar Transmittance Value Procedures according to DIN 4108-2: 2013 deviates from the simulation in three out of ten cases and the Häupl Procedure in five out of ten cases. The methods prove to be suitable only within narrow application limits.



Arbeit: Diplomarbeit

Student: Oda Budny (Matr.-Nr. 4045539)

Titel (Deutsch): "Erörterung, Vergleich und Kritik vorhandener Nachweisverfahren zum Sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden"

Titel (Englisch): "Examination, comparison and assessment of existing verification methods for the overheating risk of buildings"

Einleitung:

Die globale Erwärmung ist in der Wissenschaft unumstritten. Das Intergovernmental Panel of Climate Change IPCC hat das 1,5-Grad Ziel zur Begrenzung der globalen Erwärmung gesetzt. Für den Bausektor, mit Fokus auf der Planung, hat dies eine Bedeutungszunahme des klimaangepassten Bauens zur Folge. Besonders im Sommerlichen Wärmeschutz kann ein optimaler Einsatz baulicher passiver Maßnahmen dazu führen, den Einsatz von Kühlenergie flächendeckend zu verhindern. Die SWS-Nachweisverfahren sagen die Überhitzungswahrscheinlichkeit von Nichtwohngebäuden bisher sehr unzureichend voraus (Freudenberg 2016, S. 199). Dennoch haben sie bauwirtschaftlich gesehen aufgrund der Nachweisforderung für Neubauten sowohl in der EnEV als auch ab November 2020 im GEG ein hohes Einflusspotential.

Aufgabenstellung:

Die Diplomarbeit befasst sich mit den aktuellen Nachweisverfahren für die Bewertung des Überhitzungsrisikos von Gebäuden. Diese Eigenschaft der Gebäude, während der sommerlichen Jahreszeiten raumklimastabilisierend zu wirken, wird auch als Sommerlicher Wärmeschutz bezeichnet. Hier wirken zahlreiche physikalische Prozesse zusammen, welche in unterschiedlichen Verfahrensansätzen vielfältig abgebildet werden. Ein erster Schritt dieser Arbeit besteht daher in der Beschreibung der physikalischen Zusammenhänge der sommerlichen Wärmebilanz. Aufbauend darauf werden bestehende Verfahren und deren Vereinfachungen erläutert. Zu diesen Erläuterungen gehören die Vereinfachungsansätze der Verfahren (z.B. betrachtete Zeitphase, berücksichtigte Bauwerkseigenschaften, Nutzungseigenheiten und Klimarandbedingungen) ebenso wie die zur Bewertung herangezogenen Kennwerte (z.B. Temperaturkennwerte mit unterschiedlichen Grenzwerten) mit deren Bezug zur Behaglichkeitsempfindung. In Ergänzung zu dieser Verfahrensgegenüberstellung soll eine Verfahrensbewertung vorgenommen werden. Zu diesem Zweck werden verschiedene Gebäude- bzw. Raumtypen ausgewählt, mit den verschiedenen Verfahren bewertet und final mit dem Ergebnis von Simulationsrechnung gegenübergestellt. Aus dieser Gegenüberstellung ergeben sich Schlussfolgerungen zur Anwendbarkeit der Verfahren auf bestimmte Gebäude/Raumeigenschaften sowie zu Anpassungsmöglichkeiten der Verfahren.

Ziel:

Das Ziel der Arbeit besteht darin, eine Übersicht über diese Verfahren zu erstellen und ihre Eignung in Bezug auf unterschiedliche Gebäudetypen zu bewerten.

Arbeitsschritte

- Erläuterung der sommerlichen Wärmebilanzanteile eines Gebäudes
- Auswahl der Nachweisverfahren zum Sommerlichen Wärmeschutz
- Dokumentation der Hintergründe und Berechnungsschritte der Verfahren
- Vergleich der Verfahren in Bezug auf die o.g. Aspekte
- Aufstellung von Gebäude- bzw. Raumtypen für den Verfahrensvergleich
- Festlegungen von Wertevariationen für den Verfahrensvergleich
- Anwendung der Verfahren für die ausgewählten Gebäude- bzw. Raumtypen sowie für die ausgewählten Variationen derer Eigenschaften
- Simulation der ausgewählten Gebäude- bzw. Raumtypen einschließlich der Variationen für deren Eigenschaften
- Vergleich und Bewertung der Ergebnisse
- Schlussfolgerungen aus den Verfahrens- und Simulationsergebnissen

Betreuung:

Dr.-Ing. P. Freudenberg

Dr.-Ing. G. Scheffler

Termine:

Start:

10.11.2020

Konsultationen

im 2-wöchigen Turnus

Zwischenpräsentation:

14.-18.12.2020

Konsultationen

im 1-wöchigen Turnus

Abgabe:

10.03.2021

Sonstiges:

Cloud-Ordner für den Datenaustausch

<https://cloudstore.zih.tu-dresden.de/index.php/s/SBeD7YBxxGyr2GE>

Der Link ist vom Studenten und vom Betreuer für die Bearbeitung zu nutzen. Nach jeder Besprechung ist vom Studenten ein Protokoll zu erstellen und im o.g. Ordner abzulegen. Eine Vorlage befindet sich bereits im Unterordner „Protokolle“. Ebenso befindet sich im Ordner „Aufgabenstellung“ dieses Dokument sowie im Ordner „Schriftfassung“ eine Vorlage für die Diplomarbeit im Word-Format.

Dresden, 19.10.2020

Prof. Dr.-Ing. J. Grunewald

Dresden, 19.10.2020

Dr.-Ing. P. Freudenberg

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	III
1 Einleitung.....	1
2 Bauphysikalische Grundlagen	4
2.1. Sommerliche Wärmebilanz.....	4
2.2. Außenklima	6
2.2.1. Solarstrahlung	6
2.2.2. Außentemperatur	9
2.3. Thermisches Empfinden des Menschen.....	10
3 Grundlagen zum Sommerlichen Wärmeschutz	12
3.1. Sommerlicher Wärmeschutz	12
3.2. Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes	13
4 Verfahren des Sommerlichen Wärmeschutzes	15
4.1. TGL 35424/04	15
4.2. Verfahren auf Basis der DIN 4108-6 /DIN V 18599	17
4.3. Häupl-Verfahren	17
4.4. Sonneneintragskennwerteverfahren.....	20
4.4.1. DIN 4108-2	20
4.4.2. Methodik des Verfahrens	22
4.5. SIA 180.....	25
5 Qualitativer Verfahrensvergleich.....	28
5.1. Vergleichende Verfahrensbewertung.....	28
5.1.1. Umfang der Realitätsabbildung	28
5.1.2. Bewertungsansätze.....	35
5.1.3. Anwendungsbereich der Verfahren	36
5.1.4. Anwendungsfreundlichkeit für die bauphysikalische Planung	37
5.2. Diskussion und Verfahrensauswahl	38
6 Methode des quantitativen Verfahrensvergleichs	40
6.1. Thermische Raumsimulation.....	41
6.2. Parametervariation	42

7	Anwendungsszenarien	46
7.1.	Klimarandbedingungen	46
7.2.	Konstruktionen, Bauart und WD-Standard	48
7.3.	Verglasungen und Sonnenschutz	49
7.4.	Sonnenschutzsteuerung	50
7.5.	Lüftungsannahmen	51
7.6.	Innere Wärmelasten.....	52
7.7.	Überblick Anwendungsszenarien	53
8	Verfahrensanwendung auf die Szenarien	56
8.1.	Berechnungen und Einzelauswertung.....	56
8.1.	Auswertung zur Eignung der Verfahren	98
8.2.	Diskussion der Eignung der Verfahren.....	100
9	Fazit und Ausblick	102
	Literaturverzeichnis	105
	Abbildungsverzeichnis.....	109
	Tabellenverzeichnis.....	112
	Anlagenverzeichnis	114
	Erklärung zur selbständigen Anfertigung der Diplomarbeit	115

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzungen

BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DWD	Deutscher Wetterdienst
EFH	Einfamilienhaus
GEG	Gebäudeenergiegesetz
MFH	Mehrfamilienhaus
SEK	Sonneneintragskennwerte
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SWS	Sommerlicher Wärmeschutz
TGL	Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen
TRY	Testreferenzjahre
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
WSK	Wärmeschutzklasse (Begriff der TGL)

Physikalische Größen

Symbol	Basiseinheit	Beschreibung
ϑ	°C	Temperatur
\dot{Q}	W=J/s	Wärmestrom
q	W/m ²	Wärmestromdichte
c	J/kgK	Spezifische Wärmekapazität
ρ	kg/m ³	Rohdichte, massenbezogen
A	m ²	Fläche
A_{net}	m ²	Nettogrundfläche
C_{wirk}	Wh/m ² K	Speicherwirksame Bauteilmasse nach DIN EN ISO 13786 Anhang C
C_B	Wh/m ² K	Speicherwirksame Bauteilmasse nach Häupl
F_c	-	Sonnenschutzabminderungsfaktor
F_s	-	Baulicher Verschattungsfaktor
f_{wg}	-	Grundflächenbezogener Fensteranteil
f_{wf}	-	Fassadenbezogener Fensteranteil
g_{tot}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad
g_{\perp}	-	Energiedurchlassgrad einer Verglasung für den senkrechten Strahlungseinfall
h	m	Raumhöhe
n_L	1/h	Luftwechselrate
$q_{\text{S},\alpha\beta}$	W/m ²	Globale Strahlungsintensität auf ein Bauteil mit der Ausrichtung α und der Neigung β
R_{si}	m ² K/W	Wärmeübergangskoeffizient innen
R_{se}	m ² K/W	Wärmeübergangskoeffizient außen
t_{op}	°C	Operative Raumtemperatur
t_{air}	°C	Raumlufttemperatur
U	W/m ² K	U-Wert
V	m ³	Volumen

Indices

Symbol	Beschreibung
air	Raumluft
AUL	Außenluft
Bc	Opakes Bauteil (building component)
e	Außen
ebc	Außenbauteil
i	Innen
l	Interne oder Innere Wärmeabgabe betreffend, z.B. \dot{Q}_I
ibc	Inneres opakes Bauteil (internal building component)
L	Lüftung betreffend, z.B. \dot{Q}_L
licht	Lichte Maße
light	Beleuchtung (lighting)
op	operativ
pers	Personen
S	Solare Strahlung betreffend, z.B. \dot{Q}_S
se	Außenoberfläche
si	Innenoberfläche
T	Transmission betreffend, z.B. \dot{Q}_T
win	Fenster (window) und andere transparente Bauteile

1 Einleitung

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2014, S. 10) prognostiziert, dass die mittlere Oberflächentemperatur der Erde im 21. Jhd. unter jeglichen Szenarien der künftigen Treibhausgasemissionen zunimmt. Deswegen sei es sehr wahrscheinlich, dass Hitzewellen häufiger werden und länger andauern. Die Prognosen beziehen sich auf die Jahre 2081-2100 und werden im Verhältnis zu den Jahren 1856-2005 betrachtet.

Die Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes belegen, dass die Hitzewellen in deutschen Großstädten bereits in den letzten 30 Jahren stark zugenommen haben. Als Hitzewellen bezeichnet der Deutsche Wetterdienst 14-tägige Perioden mit einem mittleren Tagesmaximum der Lufttemperatur von 30°C. Zudem publizierte das Deutsche Klima-Konsortium et al. (2020, S. 13–16), dass neun der zehn wärmsten Jahre seit 1881 nach dem Jahr 2000 aufgetreten sind. Im Jahr 2014, 2018 und 2019 wurde die langjährige Durchschnittstemperatur sogar um mind. 2.5°C überschritten. Auch die Anzahl der sommerheißen Tage, an denen die Tages-temperatur die 30°C-Grenze überschritt, hat bereits zugenommen.

Die Relevanz des *Sommerlichen Wärmeschutzes* (SWS) wird also entsprechend der Klimaentwicklung steigen. Die aktuelle und künftige Herausforderung des SWS liegt in der Gewährleistung behaglicher Innenraumtemperaturen bei steigenden Außen-temperaturen und gleichzeitiger Vermeidung der Entstehung von Treibhausgas-emissionen. Unnötige Treibhausgasemissionen entstehen z.B. durch den Einsatz von Klimaanlage aber auch durch die Produktion, den Betrieb und die Entsorgung überdimensionierter Sonnenschutz- und Lüftungsanlagen oder durch den falschen Betrieb von Anlagen. Ein Beispiel hierfür ist eine zeitlich ungünstige Regelung der Lüftung, die dazu führt, dass warme Außenluft ins Gebäude gesogen wird oder ein Sonnenschutz, der nur innerhalb der Nutzungszeiten aktiviert wird, obwohl die solaren Strahlungslasten in den frühen Morgen- oder späten Abendstunden außerhalb der Nutzungszeit auftreten. Es muss also zunehmend Wert darauf gelegt werden, integral geplante passive bauliche Maßnahmen und Steuerungs-mechanismen zur Reduktion der Überhitzungswahrscheinlichkeit von Gebäuden sowohl im Neubau und als auch in der Sanierung flächendeckend und erfolgreich umzusetzen. Deswegen wird in dieser Diplomarbeit die übergeordnete Frage nach den Möglichkeiten und Grenzen der bestehenden vereinfachten Nachweise des SWS in Hinblick auf eine klimaangepasste und -optimierte Gebäudeplanung gestellt. Der Diskussion dieser Frage werden Berechnungen zu zehn verschiedenen Anwendungsszenarien (Gebäudenutzungen und -typen) zu Grunde gelegt.

Zur Beantwortung dieser Fragestellung müssen drei häufig voneinander entkoppelte Bezugshorizonte erläutert werden: der Stand der Forschung, der Stand der Technik und der Stand der Anwendung.

Die Wissenschaft verfügt über Software für die *Thermische Gebäudesimulation* und eine ausreichend genaue Simulation der physikalischen Prozesse in Fenstern und

Bauteilen. Es sind darüber hinaus Geometriemodelle zur Modellierung des solaren Strahlungseinfalls und der Verschattung verfügbar. Auch die Wechselwirkung zwischen dem Menschen und dem Raumklima, sowie die menschliche Bewertung des Innenraumklimas sind erforscht. Für bestimmte Nutzungen (Büro, Krankenhaus) wurden daraus Bewertungsansätze abgeleitet (u.a. Freudenberg 2016; Hellwig 2005; de Dear, Brager 2002). Auf der anderen Seite existieren statistische Verfahren zur Auswertung von Temperatur- und Strahlungsmesswerten aus Gebäuden. Es scheint jedoch, dass bisher keine kongruente Zusammenführung dieses Wissens in Bezug auf den SWS vorgenommen wurde. Modelle des zukünftigen Klimas, des sich reell einstellenden Luftwechsels in Räumen und der Wärmeabgabe von Geräten weisen noch einigen Forschungsbedarf auf.

Der Stand der Technik in Deutschland, verstanden als die Veröffentlichungen des Deutschen Instituts für Normung (DIN), in Bezug auf den SWS ist mangelhaft. Das Handrechenverfahren nach DIN 4108-2 hat einen begrenzten Anwendungsbereich. Für die Gebäudesimulation wurden nur sehr begrenzte Randbedingungen und minimalistische Auswertungs- und Bewertungsansätze zusammengestellt. Im Vereinigten Königreich und Kanada wird die Festsetzung verschiedener Bewertungskennwerte für Jahressimulationen der thermischen Raumüberhitzung diskutiert (u.a. Laouadi, Bartko, Lacasse 2020). In Österreich wurde nach starker Kritik an der ÖNORM B 8110-3 (Ivankovic, Hafellner, Kautsch 2019; Pech 2018; Nackler 2017) im Juni 2020 das Handrechenverfahren herausgenommen. Nun bleibt als Nachweisverfahren für den SWS nur noch die Simulation des Tagesverlaufs der operativen Raumtemperatur eines Sommertages.

Der Stand der Anwendung seitens der Planer*innen ist prekär. Das im November 2020 verabschiedete Gebäudeenergiegesetz (GEG) fordert für alle neu zu errichtenden Gebäude und Gebäudeerweiterungen von mehr als 50 m² Grundfläche den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2. Die im GEG festgeschriebene umfassende Anwendungspraxis der DIN 4108-2 übersteigt damit die wissenschaftlich formulierten Einschränkungen des Geltungsbereiches sowohl des *Sonneneintragskennwerte-Verfahrens* (SEK) als auch der dort festgelegten Simulationsrandbedingungen. Planenden, denen diese Mängel bewusst sind, sind im Zwiespalt. Einerseits werden sie beauftragt, Nachweise nach DIN 4108-2 zu führen, was durchaus wirtschaftlich reizvoll ist. Andererseits sind sie als Expert*innen dazu verpflichtet ihre Auftraggeber*innen darüber aufzuklären, dass diese Verfahren für einige Anwendungsfälle das Überhitzungsrisiko falsch einschätzen. Darüber hinaus herrscht unter Planer*innen Unsicherheit über die Notwendigkeit von Nachrüstungsmaßnahmen zum SWS in Bestandsgebäuden.

Um Planungssicherheit zu schaffen und die Unstimmigkeiten zwischen dem Stand der Forschung, Technik und Anwendung aufzuzeigen wird in dieser Diplomarbeit eine Erörterung, ein Vergleich und eine Kritik der vorhandenen Nachweisverfahren zum SWS im deutschsprachigen Raum vorgenommen. Dabei werden auf Grund ihrer wirtschaftlichen Bedeutsamkeit die vereinfachten Handrechenverfahren betrachtet.

Die Diplomarbeit umfasst eine Erläuterung der Verfahren zum SWS im deutschsprachigem Raum, sowie einen qualitativen und quantitativen Verfahrensvergleich. Es wird der Umfang der Realitätsabbildung, (Nachweisperiode, berücksichtigte Einflussfaktoren und physikalische Zusammenhänge, Randbedingungen), die Bewertungsansätze und der Anwendungsbereich verglichen, sowie die Anwendungsfreundlichkeit der Verfahren diskutiert. Im zweiten Teil werden für zehn Anwendungsszenarien (Raumeigenschaften/Nutzungen) Berechnungen nach dem SEK-Verfahren gemäß DIN 4108-2, dem vereinfachten Häupl-Verfahren und dem Verfahren I nach SIA 180 vorgenommen. Zusätzlich wird das Überhitzungsrisiko für die Anwendungsszenarien durch *Thermische Raumsimulation* mit der Software *Therakles* bestimmt. Zuerst werden die Zulässigkeitsentscheidungen der vereinfachten Verfahren mit der Bewertung durch die detailliertere Raumsimulation verglichen. Danach werden die Sonnenschutzmaßnahmen und Nachtluftwechselraten, die notwendig wären, um den Nachweis nach den jeweiligen Verfahren zu erfüllen, durch zwei Parametervariationen ermittelt und miteinander verglichen. Zudem wird die Abhängigkeit der Nachtluftwechselrate von den inneren Wärmelasten dargestellt.

Die Diplomarbeit ist wie folgt gegliedert: In Kapitel 2 wird die *Sommerliche Wärmebilanz*, die Außenklimarandbedingungen und das Thermische Empfinden von Menschen theoretisch erläutert. In Kapitel 3 folgen anwendungsbezogene Grundlagen zum SWS. In Kapitel 4 werden die vereinfachten Verfahren zum SWS im deutschsprachigen Raum erläutert. Darauf folgend werden diese in Kapitel 5 qualitativ miteinander verglichen. Die Methodik des Vergleichs und der Parametervariation wird in Kapitel 6 erläutert. Die Aufstellung der Anwendungsszenarien folgt in Kapitel 7. In Kapitel 8 werden die einzelnen Berechnungsfälle und Ergebnisse dargestellt und ausgewertet, die Einschätzungen der Verfahren für die Szenarien verglichen und ihre Eignung für bestimmte Gebäudetypen diskutiert. Abschließend folgen ein Fazit und Ausblick in Kapitel 8.

2 Bauphysikalische Grundlagen

Die *Sommerliche Wärmebilanz* zählt zu den Anwendungsgebieten der Thermodynamik. Generell basiert die *Sommerliche Wärmebilanz* auf einem Raummodell, einem Geometriemodell, einem Bauteilmodell für opake und einem für transparente Bauteile. Ziel ist es über eine Energiebilanzierung anhand der unabhängigen Randbedingungen, Außenklima und Nutzung, die Raumtemperatur vorherzusagen. Diese Raumtemperatur wird in Abhängigkeit des thermischen Raumklimaempfindens von Menschen bewertet.

Das Kapitel 2.1 widmet sich der Wärmebilanzierung eines Raumes. Daraufhin wird in Kapitel 2.2 das Außenklima, welches die Haupteinwirkung auf den Raum darstellt, erläutert. Letztlich soll in Kapitel 2.3 der Bezug zur menschlichen Raumklimaempfindung hergestellt werden.

2.1. Sommerliche Wärmebilanz

Der Temperaturverlauf in einem Raum wird aus einer Wärmebilanzgleichung für den Raum ermittelt. Der Raum wird in der Wärmebilanzierung über ein Luftvolumen mit einer Wärmespeicherkapazität und den raumumfassenden Bauteilen mit ihren jeweiligen Wärmespeicherkapazitäten definiert. Daher werden zwei Energiebilanzierungen vorgenommen, eine Raumlufbilanz und eine Bauteilbilanz (Nicolai 2013; Häupl et al. 2017). Des Weiteren werden für den Sommerfall die physikalischen Prozesse am Fenster detailliert betrachtet. Dabei sind die solaren Strahlungslasten, ein Transmissions- bzw. Wärmespeicherstrom, der Lüftungswärmeaustausch, sowie die inneren Wärmelasten als Bilanzanteile zu betrachten. Abbildung 2.1 veranschaulicht welche Raumeinwirkungen, welcher Bilanzierung zugeordnet werden und wo die Schnittpunkte zwischen den Bilanzen sind. Das Problem der wechselseitigen Abhängigkeit der Bauteilbilanzierungen von der Raumlufbilanz wird durch eine iterative Berechnung gelöst.

Die Außenlufttemperatur und die solare Strahlung wirken auf die äußeren Bauteiloberflächen ein. Die Bauteilflächen stehen über Konvektion im Wärmeaustausch mit der Außenluft und absorbieren die solare Strahlung. Die Innenoberflächen der Bauteile stehen im konvektiven Wärmeaustausch mit der Raumluf und werden über solare Strahlung, die durch verglaste Flächen eintritt, direkt erwärmt. Da die Einwirkungen zeitabhängig sind, wird der instationäre Wärmetransport durch die mehrschichtige Bauteilkonstruktion nach dem Fourierschen Gesetz in Kombination mit dem Energieerhaltungssatz berechnet. Im Winterfall entwickelt sich im Bauteil ein Temperaturgefälle nach außen, sodass ein nach außen gerichteter Transmissionswärmestrom angenommen werden kann. Im Sommerfall dahingegen werden vor allem bei gedämmten Außenbauteilen die speicherwirksamen Bauteilschichten am Tag mit Wärme beladen und in der Nacht entladen. Dementsprechend stellt sich am Tag ein Wärmespeicherstrom von der

Raumluft oder Außenluft in Richtung der Bauteile und nachts vom Bauteil in Richtung der Raumluft bzw. Außenluft ein. Auch die Innenbauteile sind am Wärmespeicherprozess im Raum beteiligt.

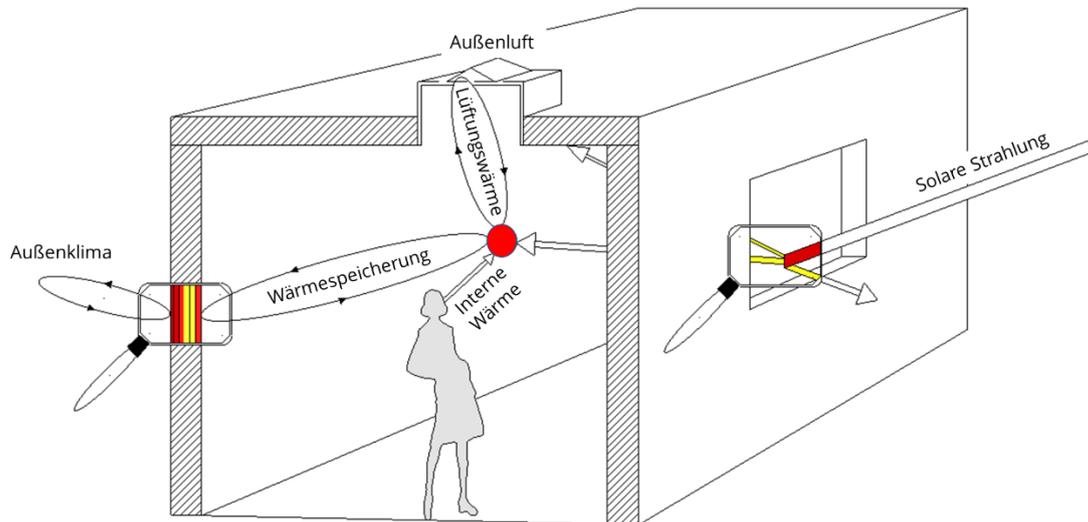


Abbildung 2.1: Darstellung der physikalischen Prozesse in der Sommerlichen Wärmebilanz

Die auf das Fenster bzw. ein transparentes Bauteil auftreffende solare Strahlung wird von der Verglasung reflektiert, transmittiert und absorbiert. Anhand des Gesamtenergiedurchlassgrads des Fensters wird der Anteil der noch verbleibenden Strahlung bestimmt, der im Fenster in Folge der absorbierten Strahlungsenergie an den Raum abgegeben (emittiert) oder direkt in den Raum durchgelassen (transmittiert) wird. Bei senkrechtem Einfallswinkel der solaren Strahlung auf das transparente Bauteil ist der Gesamtenergiedurchlassgrad am größten, bei geringen Einfallswinkeln der solaren Strahlung ab 60° nimmt der Betrag stark ab. Der Strahlungswärmestrom durch transparente Bauteile ist immer positiv in Richtung des Raumes. Über ein Geometriemodell kann ermittelt werden, welcher Anteil der in den Raum gelangenden solaren Strahlung von den inneren Bauteiloberflächen absorbiert und welcher Anteil konvektiv an die Raumluft abgegeben wird.

Wenn das Bauteilverhalten infolge der Außenklimateinwirkungen bekannt ist, kann unter Annahme des Nutzer*innenverhaltens in Bezug auf die Lüftung und internen Wärmelasten aus der Energiebilanz der Raumluft die Raumlufttemperatur berechnet werden. Bei Betrachtung eines frei klimatisierten Gebäudes im Sommer muss keine Wärmeabgabe von gebäudetechnischen Anlagen berücksichtigt werden. Die operative Temperatur, die sich im Raum einstellt, wird im Vergleich zum Winterfall stark von der Dynamik der Einwirkungen beeinflusst. Diese entscheidet über das Verhältnis der Raumlufttemperatur zur Außenlufttemperatur. Während im Winterfall die Außenlufttemperatur durchgängig unterhalb der Raumlufttemperatur liegt, verändert sich das Temperaturverhältnis im Sommer innerhalb des Tages. Dementsprechend stellt sich kein konstanter Lüftungswärmestrom ein.

Die Lüftung wirkt in Verbindung mit der Wärmespeicherung stabilisierend auf die Raumlufttemperatur, wenn nachts und am Morgen die kühlere Luft genutzt wird, um die speicherwirksamen Bauteilmassen zu entladen. Je nach Bauart, zeitlichem Verlauf und Höhe der solaren Strahlungslasten sowie internen Wärmelasten kann eine erhöhte Taglüftung eine Aufheizung oder Entlastung der Raumluft bewirken.

In der *Sommerlichen Wärmebilanz* sind neben den Randbedingungen die wirksame Wärmespeicherkapazität der Bauteile, die Tag- und Nachtlüftung und der Gesamtenergiedurchlassgrad eines transparenten Bauteils von zentraler Bedeutung.

2.2. Außenklima

Für thermische Berechnungen in der Sommerperiode wird die Betrachtung des Außenklimas auf die Außenlufttemperatur und die kurzwellige Solarstrahlung beschränkt. Die relative Luftfeuchte und der Schlagregen spielen bei hygrothermischen Berechnungen und der Berechnung des langwelligen Strahlungsaustauschs vor allem im Winterfall eine Rolle. Da für die Innenraumbehaglichkeit in der Sommerperiode zusätzlich zur operativen Raumtemperatur, die Luftgeschwindigkeit relevant ist, müssten im Fall freier Lüftung und für die Abschätzung des konvektiven Wärmetransportes Strömungs- und Windmodelle aufgestellt werden. In der Praxis wird dieser Einflussparameter allerdings aufgrund des hohen Berechnungsaufwandes und der unzureichenden Verfügbarkeit lokaler Klimadaten-sätze (Wind) vernachlässigt.

Das Überhitzungsrisiko eines Raumes infolge der Außenklimateinwirkungen ist vor allem bei Gleichzeitigkeit solarer Einstrahlung und hohen Außentemperaturen vorhanden. Aus diesem Grund soll im Folgenden ein besonderer Wert auf die Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Außenklimateinwirkungen gelegt werden.

2.2.1. Solarstrahlung

Die kurzwellige Solarstrahlung tritt ausschließlich während des Tages in die Atmosphäre ein und beeinflusst das Klima. Ein Teil der solaren Strahlung wird von der Atmosphäre, ein Teil von den Wolken und ein Teil von der Erde sowohl absorbiert als auch reflektiert. Die absorbierte Strahlung erwärmt die Atmosphäre, ihr Einfluss wird also nur durch die Temperaturmessung der Außenluft erfasst. Die reflektierte Strahlung fällt als diffuse Strahlung auf Bauteilflächen. Sie kann im Schatten gemessen werden und wird häufig anhand der Albedo der umgebenden Oberflächen berechnet. Die direkte Solarstrahlung wird als Strahlungsintensität auf eine horizontale Fläche oder in Normalstrahlungsrichtung erfasst. Abbildung 2.2 und Abbildung 2.3 zeigen den Tagesverlauf der Sonne an einem Sommertag in Wien. Es zeigt sich die Abhängigkeit der solaren Direktstrahlung vom Azimut und der Sonnenhöhe. Diese wiederum variieren je nach Breitengrad und Höhenlage des Betrachtungsstandortes. Die Anzahl an Sonnenstunden reduziert sich bei Horizont-

überhöhung oder -einengung. Die Strahlungsintensität wird auch durch die Witterung beeinträchtigt, vor allem durch den Bewölkungsgrad.

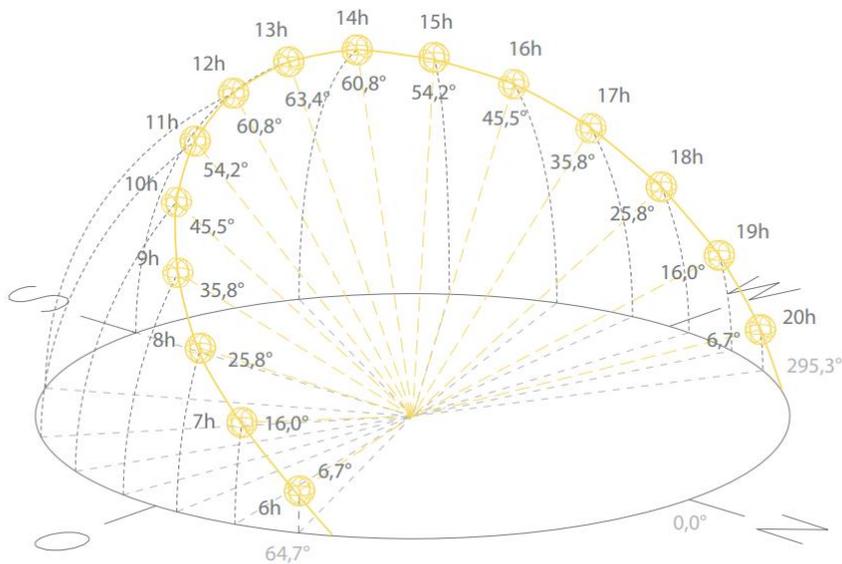


Abbildung 2.2: 3D-Darstellung des Sonnengangs für den Standort Wien, Innere Stadt am 15. Juli. (Nackler 2017, Abb. 2.3)

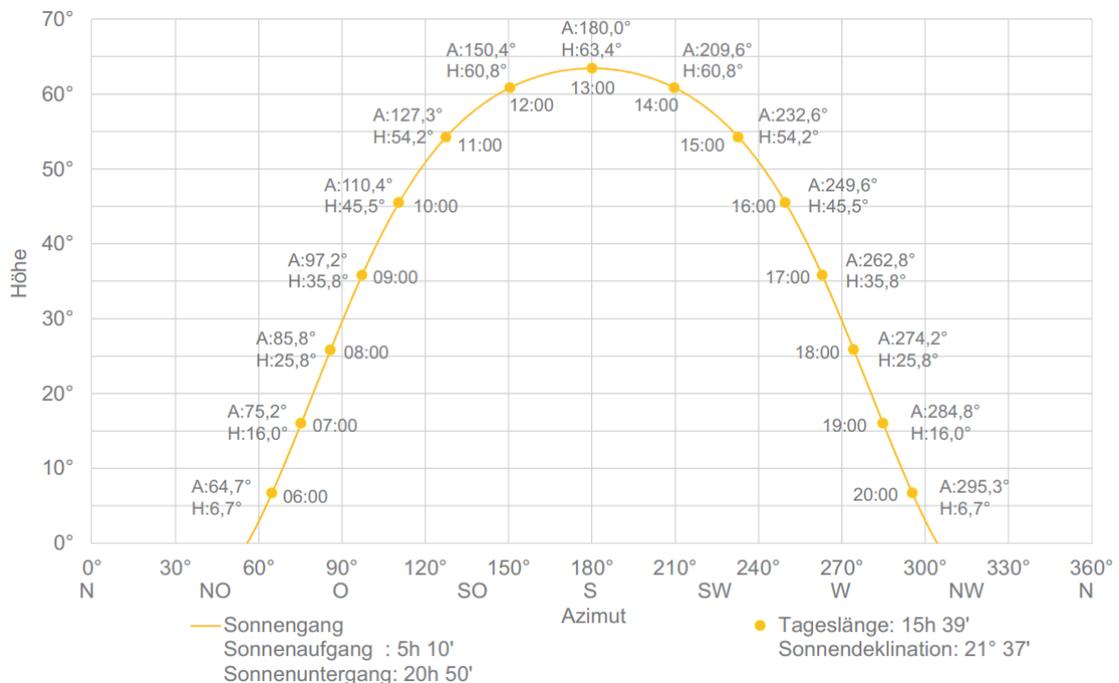


Abbildung 2.3: 2D-Darstellung des Sonnengangs für den Standort Wien, Innere Stadt am 15. Juli. (Nackler 2017, Abb. 2.2)

Die diffuse und direkte horizontale Solarstrahlung werden als horizontale Globalstrahlung zusammengefasst. Die Globalstrahlung hat einen starken Einfluss innerhalb der sommerlichen Wärmebilanz, da sie äußere und innere Bauteilflächen erwärmt. Im Sommer ist der Anteil der direkten Strahlung höher als der Anteil der diffusen Strahlung.

Die solare Globalstrahlungsintensität [W/m^2] ist also abhängig von:

1. Sonnenhöhe
2. Azimut
3. Standort (Breitengrad, Höhenlage)
4. Horizontüberhöhung, Horizonteinengung (Hang-, Tallage)
5. Bewölkung
6. Albedo

Die Strahlungsstromdichte auf Bauteilflächen in [W/m^2] ist zusätzlich abhängig von:

7. Neigungswinkel der Bauteilfläche
8. Ausrichtung der Fläche nach den Himmelsrichtungen
9. Baulicher Verschattung

Die geometrische Umrechnung der Globalstrahlungsströme muss stundenweise anhand des Sonnenhöhenwinkels und der Bauteilneigung, sowie des Azimuts und der Bauteilausrichtung nach den Himmelsrichtungen vorgenommen werden. Die genauen Berechnungsschritte liefert Kalogirou (2009). Die von außen auf das Bauteil fallende direkte und diffuse Strahlung kann als globale Strahlungsintensität $q_{S,\alpha\beta}$ in [W/m^2] zusammengefasst werden. Beispielhaft werden in der Abbildung 2.4 die Messergebnisse der Strahlungsintensität auf vertikale Bauteile von Schild/Willems (2013) zur Sommersonnenwende und Tag-Nachtgleiche wiedergegeben. Es zeigt sich die Verlagerung der maximalen Strahlungsintensitäten von der Orientierung Süd, Südost und Südwest zur Tag-Nachtgleiche am 21. März und September im Zeitraum von 7:00 bis 18:00 Uhr hin zur Orientierung Ost, West am 21. Juni im Zeitraum zwischen 4:10 bis 20:00 Uhr zur Sommersonnenwende. Diese Auswertung der Messdaten zeigt, dass die solare Strahlungseinwirkung durch südliche Fensterflächen auf einen Raum auch im Frühling und Herbst seinen Jahreshöhepunkt erreichen kann.

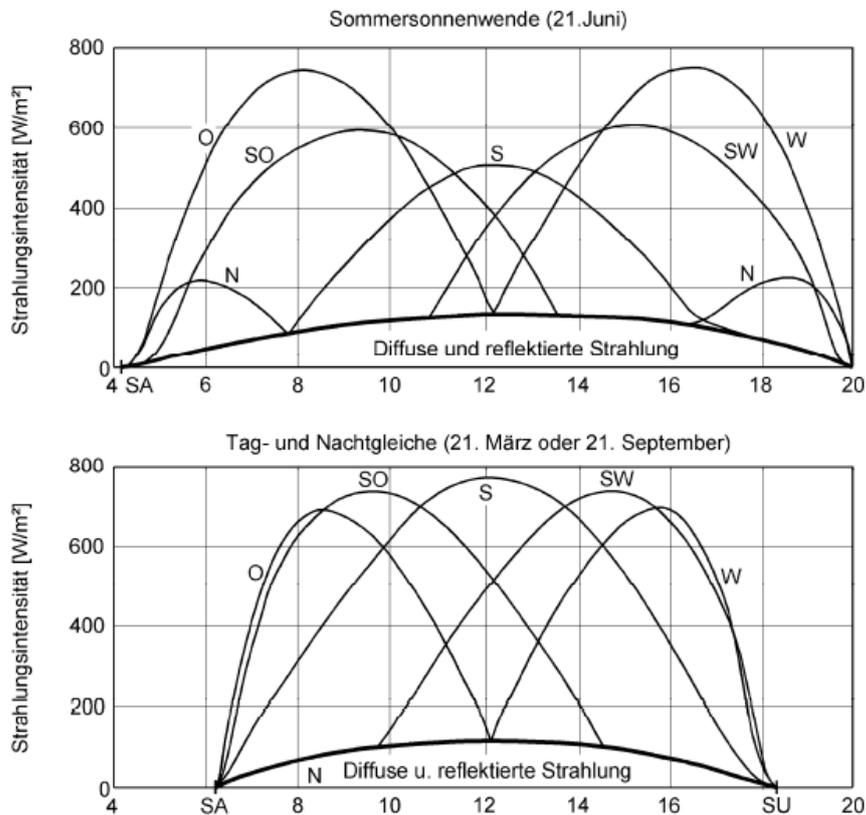


Abbildung 2.4: Zeitlicher Verlauf der Strahlungsintensitäten auf vertikale Bauteile, Messung in Holzkirchen (SA: Sonnenaufgang, SU: Sonnenuntergang) (Schild, Willems 2013, Abb. 5.2-10)¹

2.2.2. Außentemperatur

Es gibt zwei Arten sich der Außentemperatur anzunähern. Einerseits werden Klimadatensätze aus Messdaten zusammengesetzt, andererseits können ohne Kenntnis des lokalen Klimas vereinfachte Designperioden für den SWS definiert werden. In den Handrechenverfahren zur ingenieurmäßigen Bemessung ist es üblich vereinfachte Designperioden zu formulieren. Simulationen greifen auf Klimadatensätze zurück.

Bei der Bildung einer Designperiode oder Auswahl von Klimadaten müssen in Bezug auf die Außenlufttemperatur zwei Arten von Faktoren berücksichtigt werden:

1. Standortabhängigen Faktoren
 - a. Längen- und Breitengrad des Standorts
 - b. Regionalklima, Mesoklima, Mikroklima (Küste, Mittelland, Gebirge ...)
 - c. Höhe über dem Meeresspiegel
 - d. Bebauungsumgebung (städtisch, ländlich)

¹ Messdaten von Gertis (1970): Die Erwärmung von Räumen infolge Sonneneinstrahlung durch Fenster. In Sonneneinstrahlung- Fenster- Raumklima. Berlin: Verlag Ernst & Sohn.

2. Zeitlichen Faktoren
 - a. Tagesamplitude
 - b. Jahreszeit
 - c. Klimawandel

Bei der Nutzung von Klimadatensätzen, stellt sich die Frage danach, welche Zeiträume für die Bemessung des SWS herangezogen und wie Temperaturen bewertet werden. Als Kriterien für die Einordnung von Außentemperaturen können die klimatologischen Kenntage herangezogen werden. Der meteorologische Sommer liegt zwischen dem 1. Juni und dem 31. August. Dieser Zeitraum weist in Deutschland die höchsten Lufttemperaturen auf. Zur Charakterisierung des Sommers bieten sich der *Sommertag*, der *Heiße Tag*, der *Wüstentag* und die *Tropennacht* an (Schlitzberger 2014, S. 26). Der heiße Tag wurde ehem. Tropentag genannt. Die Kenntage werden über die maximale Temperatur am Tag bzw. die minimale Temperatur in der Nacht definiert. Die genauen Definitionen sind Tabelle 2.1 zu entnehmen.

Tabelle 2.1: Temperaturkriterien der klimatologischen Kenntage

Klimatolog. Kenntag	Temperaturkriterium
Sommertag	Max. der Lufttemperatur $\geq 25^{\circ}\text{C}$
Heißer Tag	Max. der Lufttemperatur $\geq 30^{\circ}\text{C}$
Wüstentag	Max. der Lufttemperatur $\geq 35^{\circ}\text{C}$
Tropennacht	Min. der Lufttemperatur $\geq 20^{\circ}\text{C}$

2.3. Thermisches Empfinden des Menschen

Es gibt zwei Arten von Modellen zur Beschreibung der menschlichen Empfindung und Behaglichkeitsbewertung des Raumklimas. Einerseits gibt es statische Modelle, die auf der Wärmebilanz des Menschen basieren, wie z.B. das PMV-Modell von Fanger und andererseits adaptive Modelle, die davon ausgehen, dass der Mensch auf unbehagliche Raumklimazustände mit psychischer und physischer Adaption sowie Verhaltensanpassungen reagiert. Hellwig (2005) zeigte, dass das modifizierte PMV-Modell für mechanisch ventilerte Büroräume aussagekräftig ist, während für frei belüftete Bürogebäude der adaptive Ansatz nach ASHRAE Standard 55 die operative Komforttemperatur am besten vorhersagt.

Zhang und Zhao (2010) fassen die Literatur zu den adaptiven Modellen zusammen und leiten drei Anpassungsprozesse ab, die in Gang gesetzt werden, wenn ein Mensch mit dem thermischen Raumklima unzufrieden ist. Dabei wird angenommen, dass die Raumklimakenngrößen, an denen Menschen diese Unzufriedenheit verspüren, je nach Geschlecht, Alter, Bekleidung und Aktivitätsgrad variieren. Die erste Reaktion auf die Unzufriedenheit mit der Raumtemperatur ist eine Verhaltensanpassung, z.B. Anpassen der Bekleidung, Öffnen der Fenster, Nutzung eines Ventilators. Die zweite Reaktion ist eine physische Akklimatisierung

des Körpers an die thermische Umgebung. Die dritte Reaktion ist eine psychische Anpassung im Sinne der Veränderung der Erwartungshaltung. Positiv beeinflusst, wird die Raumklimaakzeptanz, wenn Menschen sich in der Kontrolle über ihren thermischen Komfort als handlungsmächtig wahrnehmen. Zudem ist bei freier Belüftung die Erwartung des Menschen an das Raumklima generell geringer.

Der ASHRAE-Standard beruht auf dem adaptiven Modell nach de Dear und Brager. Auf Grundlage von Daten aus 160 Bürogebäuden ermitteln sie einen linearen Zusammenhang zwischen der optimalen Raumtemperatur und der Monatsmitteltemperatur der Außenluft (de Dear, Brager 2002). Als Kriterium für die oberen und unteren Grenzwerte der behaglichen Raumtemperatur wird das 80 % und 90 %-Quantil angesetzt, d.h. es wird eine Unzufriedenheit von 20 bzw. 10 % der Menschen mit dem Raumklima akzeptiert.

3 Grundlagen zum Sommerlichen Wärmeschutz

Die klimaangepasste und -optimierte Gebäudeplanung in Bezug auf den Sommer wird in der Normung und Praxis als Sommerlicher Wärmeschutz verhandelt. Die Zielstellung des Sommerlichen Wärmeschutzes bzw. der Verfahren ist unterschiedlich bzw. häufig nicht differenziert dargestellt.

Im folgenden Abschnitt 3.1 wird der Versuch unternommen, die vorangegangenen theoretischen Modelle mit den konkreten Anforderungen an die Planung von Gebäuden in einen Zusammenhang zu bringen. Die vereinfachten Verfahren, die vorgestellt werden, sind bis auf das Häupl-Verfahren Nachweisverfahren. Über die Verpflichtung zum Nachweis des SWS durch das GEG kontrolliert der Staat, ob die Maßnahmen zum SWS ausreichend sind. Das Häupl-Verfahren dahingegen ist auch als Vorbemessungsverfahren gedacht. Es bietet der/dem Planer*in die Möglichkeit, eine sinnvolle Maßnahmenkombination zu finden und sie zu dimensionieren. Für diesen Schritt fehlt in der nachweisfokussierten Normung ein Verfahren bzw. Konzept.

In Abschnitt 3.2 werden die Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes erläutert, da sie in der Forschung und Praxis als Datengrundlage für die Beschreibung des Außenklimas in Deutschland dienen. Es wird gezeigt, wie sich die Klimadaten entwickelt haben, um die Notwendigkeit der Anpassung der Verfahren an den Klimawandel zu überprüfen.

3.1. Sommerlicher Wärmeschutz

Ausgehend von der Sommerlichen Wärmebilanz lassen sich drei Stellgrößen zur Beeinflussung der Temperaturentwicklung in einem Raum ableiten. An diesen können die planerischen Maßnahmen des SWS ansetzen. Folgende Maßnahmen werden als passive Maßnahmen des SWS berücksichtigt.

- Dimensionierung der Baukonstruktionen
 - Thermische Entkopplung durch Wärmedämmung
 - Erhöhung der wirksamen Wärmespeicherkapazität des Raumes
- Lüftungssteuerung
 - Auslegung einer temperaturgeführten Taglüftung
 - Auslegung einer temperaturgeführten Nachtlüftung
- Reduktion des solaren Strahlungseinfalls
 - Verringerung der Fensterflächen
 - Festlegung der Ausrichtung und Neigung der Fenster
 - Auswahl der Verglasungseigenschaften der Fenstern
 - Auswahl eines Sonnenschutzes
 - Steuerung des Sonnenschutzes
- Passive Kühlung

Die Aufgabe des Planenden ist es, ein integrales Konzept zu erstellen, indem die Maßnahmen des SWS so aufeinander abgestimmt sind, dass die Nutzung des Gebäudes im Sommer gewährleistet wird. Als Sommer wird eine Periode gleichzeitig auftretender hoher Außentemperaturen und Strahlungslasten verstanden. Dabei ist unklar, ob es sich um normale Sommertemperaturen, Hitzeperioden, das aktuelle oder zukünftige Klima handelt.

Als Bewertungsmaßstab für den SWS dienen die Behaglichkeitsanforderungen der Nutzer*innen, obwohl diese nur in der Nutzungszeit eines Aufenthaltsraumes maßgebend sind. Für die Nichtnutzungszeit eines Aufenthaltsraumes und einen Nichtaufenthaltsraum werden bisher keine abweichenden Bewertungskriterien erwogen.

3.2. Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes

Als Datengrundlage für Klimarandbedingungen zur Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden sind die Testreferenzjahre (TRY) des Deutschen Wetterdienstes herausgegeben worden. In den Jahren 2004 und 2011 wurden mittlere Klimadatenätze für 15 Repräsentanzstationen herausgegeben, um „charakteristische Witterungsverläufe eines kompletten Jahres“ zu repräsentieren (DWD, BBSR 2017). Die Datensätze 2004 wurden auf Grundlage von Daten aus der Klimaperiode 1961-1990 erstellt, die Datensätze 2011 auf der Grundlage des Messzeitraumes 1988-2007 (DWD et al. 2014).

Im Jahr 2011 wurde zusätzlich ein Tool zur Aufprägung des Höheneffektes und des Stadtklimaeffektes zur Verfügung gestellt. Die Klimadaten sind zuvor nur für Höhenlagen der Repräsentanzstationen ∓ 100 Höhenmeter gültig gewesen. Darüber hinaus wurde für jede Region ein Extremwetterdatensatz mit einem sehr kalten Winter (Dezember bis Februar) bzw. einem sehr heißen Sommer (Juni bis August) herausgegeben. Zur Berücksichtigung des Klimawandels wurden Zukunfts-Datensätze für mittlere und extreme Jahre herausgegeben, die das Klima im Jahre 2021-2050 prognostizieren. (DWD, BBSR 2017)

Ein Vergleich der Testreferenzjahre anhand der klimatologischen Kenntage für alle 15 Klimaregionen liegt von Schlitzberger (2014, S. 24 ff) vor. Auf dieser Auswertungsgrundlage wurden in Tabelle 3.1 die Häufigkeiten der klimatologischen Kenntage für die Klimaregionen nach DIN 4108-2 zusammengestellt. Nach Auswertung der TRY-Datensätze für extremes und zukünftiges Klima von Schlitzberger (2014, S. 26f) nehmen die Sommertage in der TRY-Region 4 Potsdam von 40 auf 58 Tage zu und die heißen Tage von 5 auf 10 Tage. Die Anzahl an Tropennächten, in denen die Temperatur nicht unter 20°C fällt, dahingegen bleibt bei einer Nacht. Allein zwischen dem Klimadatenatz von 2004 zu 2011 zeigt sich eine zunehmende Verschärfung der Klimarandbedingungen für den SWS.

Tabelle 3.1: Häufigkeiten der klimatologischen Kenntage in den verschiedenen TRY-Datensätzen von 2004 und 2011 für die Klimaregionen nach DIN 4108-2

Klima-region	Klimat. Kenntag	Mittleres-TRY 2004	Mittleres-TRY 2011	Extrem-TRY 2011	Zukunfts-TRY 2035	Zukunfts-Extrem-TRY 2035
A	Sommertag	6	14	29	20	36
A	Heißer Tag	0	2	4	2	8
A	Tropennacht	0	1	1	2	2
B	Sommertag	28	40	61	58	69
B	Heißer Tag	0	5	20	10	26
B	Tropennacht	1	1	3	1	4
C	Sommertag	49	54	69	79	93
C	Heißer Tag	10	11	21	31	45
C	Tropennacht	2	2	7	3	6

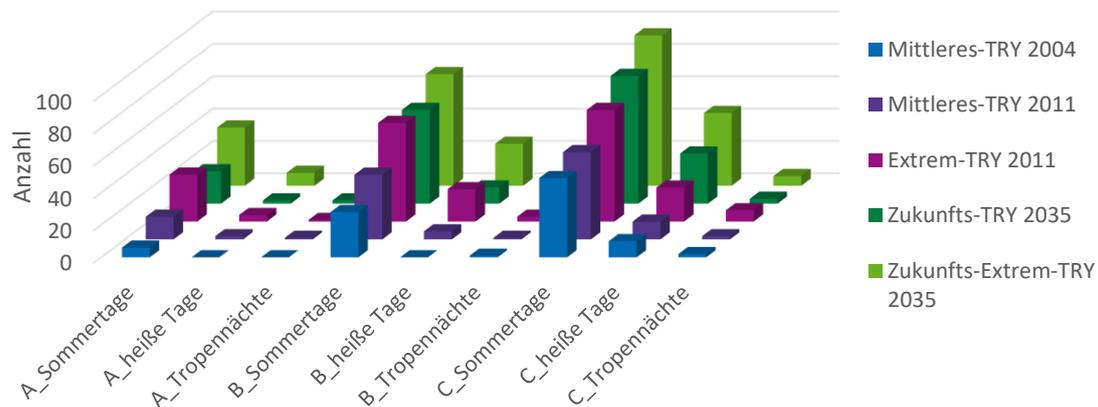


Abbildung 3.1: Veranschaulichung der Häufigkeiten der klimatologischen Kenntage in den verschiedenen TRY-Datensätzen von 2004 und 2011 für die Klimaregionen nach DIN 4108-2

Die Testreferenzjahre 2017 sind in 1 km²-räumlicher Auflösung für jeden Ort in Deutschland erhältlich. Insgesamt wurden 340 000 Testreferenzjahre gebildet. Die Datensätze 2017 sind aus Mess- und Beobachtungsreihen von DWD-Stationen zusammengesetzt, die zwischen 1995 und 2012 gewonnen wurden. Dabei wurde darauf geachtet, dass die langjährigen monatlichen und jahreszeitlichen Mittelwerte der Repräsentanzstationen eingehalten sind. Die einzelnen Witterungsabschnitte wurden durch Glättungs- und Interpolationsverfahren aneinander angeglichen. Die Höheneffekte und städtischen Wärmeineffekte sind in den Datensätzen von 2017 bereits integriert. Die Zukunfts-TRYs sind für die Periode von 2031-2060 datiert. (DWD, BBSR 2017)

Die kurzweiligen Strahlungsdaten sind bis 2007 nur an einigen Repräsentanzstationen erfasst worden. Für die Standorte, für die keine bodenbasierten Messdaten verfügbar sind, wurden auch Satellitendaten berücksichtigt (DWD, BBSR 2017).

4 Verfahren des Sommerlichen Wärmeschutzes

Bei den nachfolgenden Verfahren handelt es sich um Nachweisverfahren oder Verfahren, die als Nachweisverfahren für den SWS entwickelt wurden, aber keinen Eingang in die Normung erhielten. Es wurde gemäß der Aufgabenstellung eine Beschränkung auf Handrechenverfahren vorgenommen. Dabei wurden verschiedene Verfahren aus Deutschland, sowie die gültigen Normen aus der Schweiz und Österreich berücksichtigt. Das Handrechenverfahren aus Österreich wurde im Juni 2020 aufgrund starker Kritik allerdings aus der Norm genommen, weswegen es keine Erwähnung mehr findet.

4.1. TGL 35424/04

Die TGL 35424/04 ist 1981 als DDR Standard *Bautechnischer Wärmeschutz – Wärmeschutz in der warmen Jahreszeit* veröffentlicht worden. Sie wurde für die Planung von Gebäuden entwickelt, deren Nutzung ein bestimmtes Raumklima erfordert.

Aus dem Geltungsbereich wurden folgende Gebäudetypen explizit ausgeschlossen: Kühlbauten und Gewächshäuser, Schlaf- und Nebenräume in ausgebauten Dachgeschossen von Einfamilienhäusern, leichte Erholungsbauten, z.B. Bungalows, und unterlüftete Leichtbauten, z.B. umsetzbare Raumzellen, mit Standzeiten bis zu 8 Jahren.

Grundsätzlich beruht das Verfahren auf der Grundannahme, dass die Aufheizung im Gebäude über mehrere Tage beschränkt wird, wenn die speicherwirksame Bauwerksmasse auf die äußere Wärmelast eines Sommertages ausgelegt wird. Die Nutzungslasten (innere Wärmelast) dahingegen sollen durch die Nutzungssenken (Lüftung) abgestimmt werden. Durch überschüssige Speicherkapazitäten des Bauwerks kann die zulässige innere Wärmelast erhöht bzw. Lüftungsbedarf gesenkt werden. Als Nachweiskriterium für den kritischen Raum werden die folgenden nutzflächenbezogenen Wärmeströme einander gegenüber gestellt:

$$q_{e,vorh}(\dot{Q}_{T,ebc};\dot{Q}_S;\dot{Q}_{T,ibc}) \leq q_{e,zul}(m_B;WSK) \quad (1)$$

$$q_{i,vorh}(\dot{Q}_{pers};\dot{Q}_Z;Q_M;Q_U;Q_{light}) \leq q_{i,zul}(\dot{Q}_L;(q_{e,zul}-q_{e,vorh})) \quad (2)$$

Die vorhandene äußere Wärmelast $q_{e,vorh}$ wird als Summe des grundflächenbezogenen Wärmestroms durch opake Außenbauteile, Fenster und Innenbauteile bestimmt. Dabei wird die Transmissionswärmestromdichte durch opake Bauteile q_T anhand des Wärmedurchgangswiderstandes der Außenbauteile, nicht des U-Wertes, dem Absorptionsgrad der äußeren Bauwerksoberflächen und der Ausrichtung des Außenbauteils bestimmt. Anderes als in den anderen Verfahren wird q_T mit den Innenflächen des opaken Bauteils multipliziert. Die Transmissions-

wärmeströme durch Innenbauteile $q_{T,ibc}^2$ werden nur betrachtet, wenn die Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ zwischen den Räumen größer als 2 K ist.

Die Wärmestromdichte durch Fenster q_s wird anhand vorgegebener in der DDR üblicher Kombinationen von Außenverglasungen mit Sonnenschutzvorrichtungen sowie der Fensterflächenausrichtung variiert. Die 15 Varianten von Verglasung und Sonnenschutz decken die heutigen Fensterstandards, die Vielfalt an Verglasungsarten und Sonnenschutzeinrichtungen auf dem Markt sowie ihrer Steuerungsmöglichkeiten nicht ab. Eine bauliche und standortabhängige Verschattung findet keine Berücksichtigung.

Die zulässige äußere Wärmelast $q_{e,zul}$ bestimmt sich aus der speicherwirksamen Bauwerksmasse m_B und der Wärmeschutzklasse WSK, welche von der Außenlufttemperatur am Standort und der Nutzungsart des Bauwerks abhängt.

Die inneren Wärmelasten $q_{i,vorh}$ sind sehr umfassend berücksichtigt. Sie setzen sich aus der Wärmeabgabe durch Personen q_{pers} , Tiere q_z , Maschinen q_M und Apparate und Geräte q_U , sowie der Beleuchtung q_{light} zusammen. Die zulässige innere Wärmelast ist die Summe aus dem Wärmestrom je m^2 Lüftungsfläche q_L , welcher in Abhängigkeit der WSK, der Unterscheidung der Lüftungsart nach einseitig oder Quer- und Schachtlüftung sowie Dauer- oder Stoßlüftung in den Tabellen vorgegeben ist. Eine Nachtlüftung wird nicht berücksichtigt.

Bei den Wärmestromdichten, die den Tabellen entnommen werden, handelt es sich um Tagesmittelwerte. Diese werden durch verschiedene Faktoren angepasst, welche bei Bedarf der TGL 35424/04 entnommen werden können. Wie die Tabellenwerte entstanden sind und die Wichtungen des Einflusses der verschiedenen Parameter auf den Wärmestrom vorgenommen worden sind, ist aus der Norm nicht ersichtlich. Für die aktuellen Bauteile und Wärmeschutzstandards sind keine Tabellenwerte formuliert.

Die Außenklimarandbedingungen stammen aus TGL 35424/01. Diese sieht für die warme Jahreszeit auf dem ehemaligen Gebiet der DDR zwei Gebiete gleicher Außenlufttemperatur vor. Die Gebiete sind über die Höhenlage über dem Meeresspiegel definiert.

Tabelle 4.1: Außenlufttemperaturannahmen gemäß TGL 35424/01 Tab. 2

Gebiet	Höhe ü. dem Meeresspiegel [m]	Außenlufttemperatur [°C]	
		Tagesmittelwert	Tagesmaximum
1	Bis 400	24	32
2	Über 400 und Bezirk Rostock	22	29

² Diese Bezeichnung ist in Ermangelung eines Oberbegriffes in der TGL 35424/04 selbst gewählt worden.

4.2. Verfahren auf Basis der DIN 4108-6 /DIN V 18599

In einer Vielzahl an Publikationen und Forschungsprojekten wurde der Versuch unternommen, den Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutzes an die Monatsbilanzierung zur Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs zu koppeln. Die Grundidee besteht in der Annahme, dass ein direkter Zusammenhang zwischen den nicht nutzbaren Wärmegewinnen einer Zone und deren Übertemperaturgradstunden besteht. Allerdings sind diverse Korrekturfaktoren notwendig, um diesen Zusammenhang aufzuzeigen.

Rouvel und Kolmetz (1997), Hauser und Otto (1998) sowie Deutscher, Elsberger und Rouvel (2000) haben Verfahren auf Grundlage der DIN V 4108-6 entwickelt. Höttges und Kempkes (2010) haben untersucht, ob sich diese Verfahren auf die DIN V 18599 übertragen lassen. Parameterstudien zum Vergleich von Übertemperaturgradstunden aus Jahressimulationen mit der Hauser Software und der Monatsbilanzierung des Jahreskühlenergiebedarfs nach DIN V 18599 haben gezeigt, „dass bei den Randbedingungen sowie bei den Verfahrensansätzen der DIN V 18599 in einigen Punkten Überarbeitungsbedarf besteht und ggf. eine Weiterentwicklung notwendig erscheint“ (Höttges, Kempkes 2010, S. 73). Dies betrifft die Abbildung der Nachtlüftung, der Sonnenschutzsteuerung und der Randbedingungen für den Sommerfall. Derzeit gibt es kein Verfahren zum Sommerlichen Wärmeschutz, welches Korrekturfaktoren für die DIN V 18599 bereitstellt.

4.3. Häupl-Verfahren

Häupl (2008) hat zwei analytische Verfahren zur Berechnung der Raumtemperatur innerhalb eines Raumes bei freier Klimatisierung außerhalb der Heizperiode entwickelt. Das erste Verfahren ist ein vereinfachtes Vorbemessungsverfahren für den SWS und dient der Zulässigkeitsbeurteilung eines kritischen Raumes. Das zweite Verfahren ermittelt die Raumtemperatur bei beliebigen Klima- und Nutzungsgängen in 4-stündigen Zeitschritten. Dafür werden drei Energiebilanzen gebildet. Das Verfahren ist genauer und universeller einsetzbar, allerdings nicht mit vertretbarem Aufwand händisch zu lösen. Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Arbeit nur das Vorbemessungsverfahren zum Sommerlichen Wärmeschutz behandelt.

Für das vereinfachte Verfahren wurden keine Einschränkungen des Gültigkeitsbereiches angegeben. Es ist explizit für thermisch kritische Räume entwickelt, die unter einem Warmdach liegen, große Ost-, West- oder Südorientierte Fensterflächen, eine geringe speicherwirksame Bauwerksmasse oder hohe innere Wärmequellen aufweisen.

Betrachtet wird die Wärmestrombilanz eines thermisch kritischen Raumes im eingeschwungenen Zustand. Das Modell beruht auf der Annahme, dass in einem Raum bei Einsatz einer Schönwetterperiode ein exponentieller Aufheizprozess der tagesgemittelten Raumlufttemperatur in Gang gesetzt wird. Abbildung 4.1 zeigt den Raumtemperaturverlauf, den Häupl seinen Überlegungen zu Grunde legt. Die

tagesgemittelte Endtemperatur des Raumes im eingeschwungenen Zustand wird als konstant betrachtet. Als Bewertungskriterium des Gebäudes dient die Raumtemperaturzunahme nach einer definierten Zeitperiode.

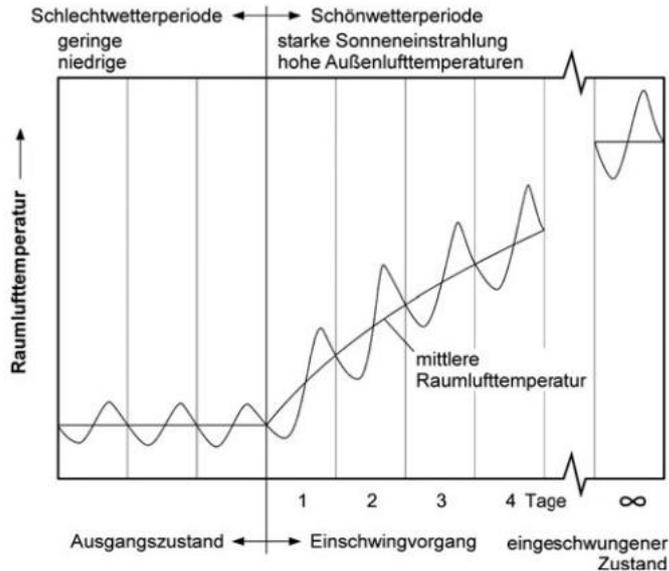


Abbildung 4.1: Häupls Annahmen zum Einschwingvorgang der Raumlufttemperatur während einer Schönwetterperiode Quelle: (Häupl 2017, S. 108 Bild 6.4)

Der Raum wird als eine nutzflächenbezogene speicherwirksame Bauwerksmasse mit einem Luftvolumen angenähert, wobei der Wärmeaustausch zwischen der Raumluft und den Bauteiloberflächen vernachlässigt wird. Die Bauteile und die Luft weisen also die gleiche Temperatur auf, im folgenden Raumtemperatur ϑ_R genannt.

Die Wärmestrombilanz ist eine Differentialgleichung nach Gleichung (3) und wird über Trennung der Variablen mit einer einfachen Exponentialfunktion gelöst.

$$\dot{Q}_{Room}(\vartheta'_R(t)) = \dot{Q}_{S,win} + \dot{Q}_{S,bc} + \dot{Q}_T(\overline{\vartheta_{AUL}} - \vartheta_R(t)) + \dot{Q}_L(\overline{\vartheta_{AUL}} - \vartheta_R(t)) + \dot{Q}_I \quad (3)$$

Der von der Bauwerksmasse gespeicherte Wärmestrom \dot{Q}_{Room} wird mit dem solaren Strahlungswärmestrom durch Fenster $\dot{Q}_{S,win}$ und opaken Bauteilen $\dot{Q}_{S,bc}$ sowie den temperaturabhängigen Wärmeströmen in Folge der Transmission \dot{Q}_T und in Folge der Lüftung \dot{Q}_L sowie den internen Wärmelasten \dot{Q}_I gleichgesetzt. Die Bilanzanteile werden ermittelt und auf die Nettogrundfläche des Raumes bezogen. Der Wärmestrom in den Raum \dot{Q}_{Room} ergibt sich aus der speicherwirksamen Wärmekapazität des Raumes und der zeitlichen Ableitung der Raumtemperatur.

$$\dot{Q}_{Room} = c_{bc} \cdot \frac{d\vartheta_R}{dt} \quad (4)$$

Die Berechnung erfolgt in drei Schritten:

1. Ermittlung der stationären Endtemperatur der Raumluft

$$\vartheta_{si\infty} = \vartheta_{AUL} + \frac{\dot{q}_s + |\Delta\vartheta_{AUL}| \cdot 0.5(\dot{q}_{day} - \dot{q}_{night}) + \dot{q}_I}{\dot{q}_T + 0.5(\dot{q}_{night} + \dot{q}_{day})} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5)$$

Die Endtemperatur des Raumes ist unabhängig von der speicherwirksamen Bauwerkskapazität. Als Randbedingung wird die mittlere Außenlufttemperatur der Hitzeperiode von Häupl mit 24°C angenommen. Die Tag- und Nachtlüftung wird berücksichtigt, indem vereinfacht für 12h die Tagestemperatur von 30°C und für die anderen 12 h die Nachttemperatur von 18°C angenommen wird. Die angenommene Tagesschwankung wird mit $\Delta\vartheta_{AUL} = \pm 6 \text{ K}$ berechnet.

2. Ermittlung der Thermischen Einstellzeit

$$\tau = 3 + \frac{C_{wirk}}{\dot{q}_T + 0.5(\dot{q}_{night} + \dot{q}_{day})} \quad [\text{h}] \quad (6)$$

Die *Thermische Einstellzeit* ist die Zeitspanne, die es dauert, bis das 95%-Quantil der Endtemperatur erreicht wird, sie ist ein Kennwert für die thermische Trägheit des Raumes. Sie hängt von der wirksamen Speicherkapazität des Bauwerks, der Lüftung und der Transmission ab. Häupl berechnet die Wärmekapazität der speicherwirksamen Bauwerksmasse anhand des ganzen Bauteilquerschnitts für Außenbauteile und der halben Dicke der Innenbauteile.

3. Nachweis der Zulässigkeit der mittleren Raumlufttemperaturzunahme nach der Bewertungsperiode

$$\Delta\vartheta_i(t) = (\vartheta_{R\infty} - \vartheta_{R0}) \cdot \left(1 - e^{-3\frac{t}{\tau}}\right) \leq \Delta\vartheta_{i,zul} \quad [\text{K}] \quad (7)$$

Die Raumlufttemperatur nach der Bewertungsperiode t ergibt sich aus der stationären Endtemperatur gemäß Gleichung (6) abzüglich der mittleren Anfangsraumtemperatur ϑ_{R0} , die Häupl auf 20°C festlegt. Die Stauchung der Exponentialfunktion wird vom Verhältnis der Bewertungsperiode zur *Thermischen Einstellzeit* bestimmt.

Zur Bewertung der Zulässigkeit eines Raumes im Rahmen des Sommerlichen Wärmeschutzes schlägt Häupl vor, die mittlere Raumtemperaturzunahme nach der definierten Zeitperiode von 5 Tagen bzw. 120 h auf 6 K zu beschränken. Bei Annahme einer mittleren Anfangstemperatur von 20°C führt dies zu einer maximal zulässigen mittleren Raumtemperatur von 26°C. Es werden keine Angaben zu Lüftungsannahmen, den zu verwendenden solaren Strahlungsintensitäten auf die Bauteile oder internen Wärmelasten gemacht. Des Weiteren ist im Rahmen der Berechnung des Strahlungswärmestroms durch transparente Bauteile unklar, wie der Glasdurchlassgrad nach Häupl definiert ist.

4.4. Sonneneintragskennwerteverfahren

Das Sonneneintragskennwertverfahren wurde von Hauser und Gertis (1979) als Normungsvorschlag kurz nach der Aufnahme des Sommerlichen Wärmeschutzes in die DIN 4108 entwickelt. Es basiert auf einem Schema mit Bonus und Malus-Werten, die den Einfluss der relevanten physikalischen Zusammenhänge des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden gewichten. Die damals entworfene Grundstruktur hat sich bis in die DIN 4108-2: 2013 erhalten. Die weitreichenden Ergänzungen der aktuellsten Form gehen auf Schlitzberger (2014) zurück. Schlitzberger schlägt darüber hinaus ein erweitertes Modell vor. Es bietet differenziertere Möglichkeiten zur Erfassung des Klimas, enthält mehr Korrekturfaktoren und erlaubt die Variation der inneren Wärmelasten. Jedoch wurden nur für eine Klimaregion die Sonneneintragskennwerte kalibriert. Da das Prinzip des Verfahrens sich vom SEK-Verfahren nicht unterscheidet, wird es in dieser Arbeit nicht weiter erläutert.

Im Folgenden Abschnitt 4.4.1 wird zuerst das in Deutschland gültige Verfahren der DIN 4108-2: 2013 erläutert. Da das Verfahren nicht physikalisch interpretierbar ist, wird in Abschnitt 4.4.2 die Methodik, nach denen die Bonus- und Maluswerte entwickelt wurden, genauer erläutert.

4.4.1. DIN 4108-2

Der Gültigkeitsbereich des Verfahrens wurde in der DIN 4108-2: 2013 nicht auf bestimmte Gebäude oder Nutzungen eingeschränkt. Allerdings geht aus der Methodik hervor, dass es für Wohnungen, Einzelbüros und Gebäude mit vergleichbarer Nutzung konzipiert wurde. Die Kennwerte der DIN 4108-2: 2013 wurden für neuerrichtete Gebäude mit Dämmstandards nach EnEV 2009 oder höher ausgelegt. Die Zieldefinition der DIN 4108-2: 2013 weist ebenfalls indirekt auf diese Beschränkungen hin:

„Bei Gebäuden mit Wohnungen oder Einzelbüros und Gebäuden mit vergleichbarer Nutzung sind im Regelfall Anlagen zur Raumluftkonditionierung bei ausreichenden baulichen und planerischen Maßnahmen entbehrlich. Nur in besonderen Fällen (z.B. große interne Wärmequellen, große Menschenansammlungen, besondere Nutzungen) können Anlagen zur Raumluftkonditionierung notwendig werden.“

(DIN 4108-2: 2013, S. 13)

Das Verfahren ist also ausdrücklich für den „Regelfall“ entwickelt worden und sieht für den „besonderen Fall“ Anlagen zur Raumluftkonditionierung vor. Der Anspruch im Rahmen des klimaangepassten Bauens die passiven Maßnahmen bis an ihre Grenzen auszuschöpfen ist also nicht formuliert.

Das vereinfachte Nachweisverfahren nach DIN 4108-2: 2013-02 basiert auf der Gegenüberstellung eines vorhandenen und zulässigen Sonneneintragskennwertes für einen kritischen Raum. Das Nachweiskriterium lautet:

$$S_{\text{vorh}} \leq S_{\text{zul}} \quad (8)$$

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} setzt sich nach Gleichung (9) zusammen.

$$S_{\text{vorh}} = \sum_j \frac{A_{\text{win},j} \cdot g_{\text{tot},j}}{A_{\text{net}}} \quad [-] \quad (9)$$

Dabei kann der Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} des Glases inkl. der Wirkung des Sonnenschutzes nach Gleichung (10), nach DIN EN 13363-1, DIN EN 13363-2 oder Herstellerangaben angenommen werden. Die DIN EN 13363 dient der Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades von Sonnenschutz-einrichtungen in Kombination mit der Verglasung. Der Teil 1 umfasst ein vereinfachtes Verfahren, während der Teil 2 ein detailliertes Verfahren abbildet. Die Normen wurden zurückgezogen, dafür wurde 2018 die DIN EN ISO 52022-1 mit einem vereinfachten und DIN EN ISO 52022-3 mit einem detaillierten Verfahren zur *Ermittlung der solaren und tageslichtbezogenen Eigenschaften von Sonnenschutz in Kombination mit Verglasung* herausgegeben.

$$g_{\text{tot}} = F_C \cdot g \quad [-] \quad (10)$$

Nach Gleichung (10) ist der Gesamtenergiedurchlassgrad anhand des Sonnenschutzabminderungsfaktors F_C nach Tabelle 7 der DIN 4108-2 und dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung für den senkrechten Strahlungseinfall nach DIN EN 410 zu ermitteln.

Die Nettogrundfläche des Raumes wird anhand der lichten Raummaße berechnet, allerdings wird die anrechenbare Raumtiefe auf das dreifache der lichten Raumhöhe begrenzt. Bei gegenüberliegenden Fensterfassaden ergibt sich eine anzurechnende Raumtiefe von maximal der sechsfachen lichten Raumhöhe. In die Berechnung der wirksamen Wärmespeicherkapazität des Raumes gehen nur die Umfassungsflächen innerhalb der anzurechnenden Grundfläche ein.

Der zulässige Sonneneintragskennwert S_{zul} entspricht der Summe von acht anteiligen Sonneneintragskennwerte. Die Sonneneintragskennwerte sind rein statistische Werte, die sich physikalisch nicht interpretieren lassen. Der Kennwert S_1 bildet den Zusammenhang von Nachtlüftung, Bauart, Nutzung als Wohn- bzw. Nichtwohngebäude und Klimaregion ab. Der Kennwert S_2 verrechnet nutzungsabhängig den grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil, S_3 geht als Bonus bei Verwendung von Sonnenschutzglas ein und S_4 reduziert S_{zul} bei Fensterneigungen $\beta \leq 60^\circ$ gegenüber der Horizontalen. Bei Ausrichtung vertikaler Fenster in Nord-, Nordost- und Nordwestrichtung wird S_5 addiert. Bei Einsatz passiver Kühlung geht S_6 in Abhängigkeit der Bauart ein.

4.4.2. Methodik des Verfahrens

Das SEK-Verfahren beurteilt die Zulässigkeit eines Gebäudes in Hinblick auf den SWS anhand von Anteilswerten. Diese wurden anhand von korrespondierenden Jahres-simulationen mit der Simulationssoftware Hauser kalibriert.

Die physikalischen Hintergründe der Software sind nicht bekannt. Zum besseren Verständnis wird seine Methodik, die Randbedingungen, der Wertebereiche der Parametervariation und die Bewertungsgrößen erläutert, die Schlitzberger (2014) seiner Kalibrierung zu Grunde legt.

Schlitzberger entwirft den Basisfall gemäß Abbildung 4.2, der bei variierendem F_C -Wert im Bereich von 0 bis 1 simuliert und auf seine Zulässigkeit bewertet wird. Der korrespondierende zulässige Sonneneintragskennwert S_1 wird so festgelegt, dass der Raum auch nach dem SEK-Verfahren auf der sicheren Seite liegend als zulässig bewertet wird. Die zulässigen F_C -Werte nach dem SEK-Verfahren sind um bis zu 0.05 kleiner als in den Simulationsrechnungen. Wie er die Berechnungen umsetzt, wird nicht thematisiert. Schlitzberger (2014, S. 78) weist ausdrücklich darauf hin, dass kein mathematischer Zusammenhang zwischen den Übertemperaturgradstunden und der Unter- oder Überschreitung des zulässigen Sonneneintragskennwert besteht. Zur Veranschaulichung des Vorgehens zur Kalibrierung der Kennwerte dient Abbildung 4.3.

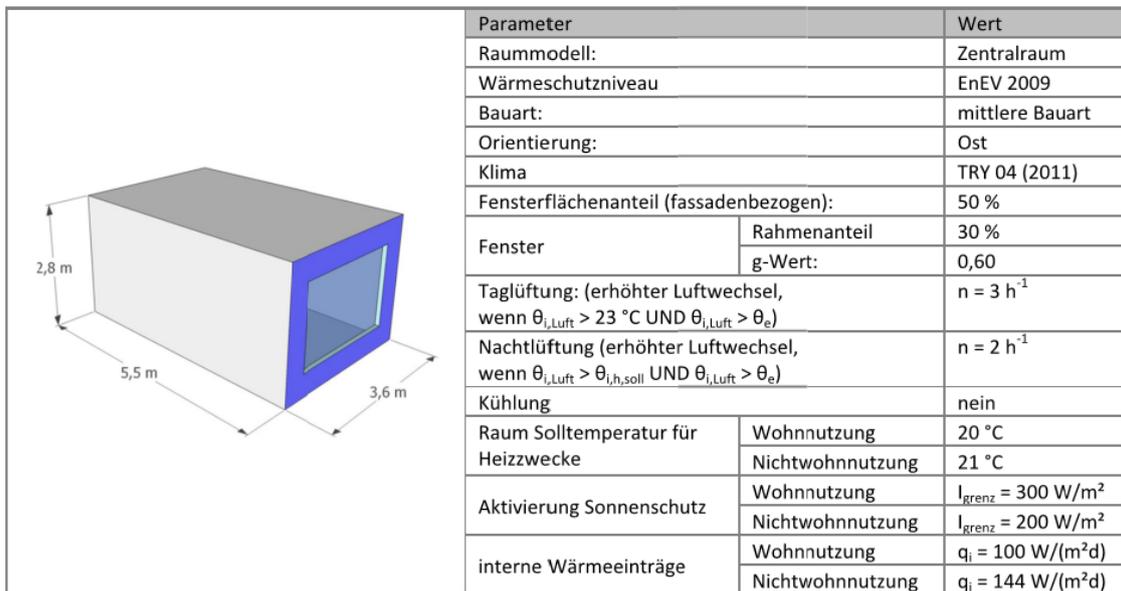


Abbildung 4.2: Basisfall für die Kalibrierung des Sonneneintragskennwerteverfahrens; Quelle: (Schlitzberger 2014, S. 23 Tabelle 3-6)

Verfahren des Sommerlichen Wärmeschutzes

Basisfall, Klimaregion B	Simulation:	vereinf. Verf.:	variierter Parameter:
Fall 1:	ohne Nachtlüftung
Fall 2:	- - - - -	- - - - -	erhöhte Nachtlüftung
Fall 3:	- · - · - ·	- · - · - ·	hohe Nachtlüftung
zulässig:	—————		vereinfachtes Verfahren: $S_{vorh} = S_{zul}$ Simulation Nichtwohnnutzung: $Gh_x = 500 \text{ Kh/a}$ Simulation Wohnnutzung: $Gh_x = 1200 \text{ Kh/a}$

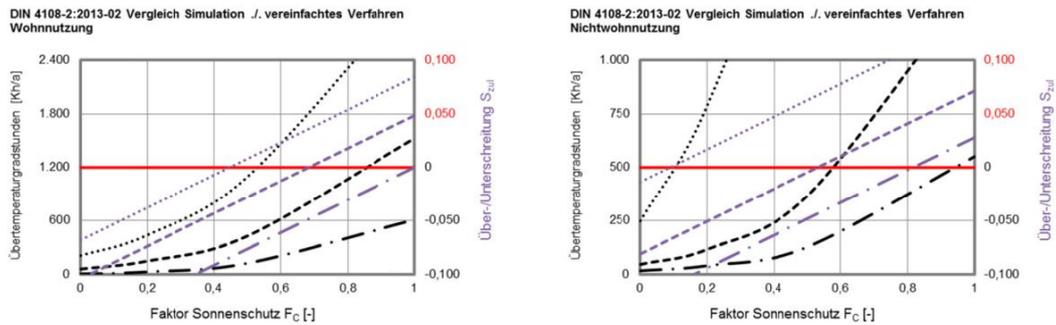


Abbildung 4.3: Darstellung der Kalibrierung des Sonneneintragskennwertes S_1 für die Klimaregion B als Beispiel für die Herangehensweise für die Kalibrierung des Sonneneintragskennwerteverfahrens; Quelle: (Schlitzberger 2014, S. 81 Bild 6-12)

Die Sonneneintragskennwerte S_2 bis S_6 werden anhand der Variation der entsprechenden Parameter vom Basisfall festgelegt. Sie sind also Korrekturfaktoren des zulässigen Sonneneintragskennwertes S_1 im Falle, dass der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil, der g-Wert, die Fensterneigung oder Orientierung vom Basisfall abweicht. Das Basisszenario weist einen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von $f_{WG} = 25.5\%$ auf. S_2 wird über einen linearen Zusammenhang beschrieben, sodass er bei höheren Fensterflächenanteilen negativ und bei geringeren positiv ist.

Als Randbedingungen und Bewertungsgrößen wurden einige aus DIN 4108-2: 2013 Abschnitt 8.4. bekannte Randbedingungen und Bewertungsgrößen für die Thermische Gebäudesimulation angesetzt.

Die internen Wärmeeinträge für Nichtwohnnutzung sind an den hohen Wärmelasten durch Personen und für Einzelbüros nach DIN V 18599-10³ von 132 Wh/(m²d) orientiert. Diese teilen sich in 90 Wh/(m²d) interne Wärmelasten durch Arbeitshilfen und 42 Wh/(m²d) durch Personen. Als Annahme für Beleuchtungslasten werden 12 Wh/(m²d) „pauschal“ aufgeschlagen (Schlitzberger 2014, S. 66). Obwohl für Wohngebäude in der DIN V 18599 Wärmelasten von 45 Wh/(m²d) für EFH und von 90 Wh/(m²d) für MFH angegeben sind, wurden durch den Normausschuss 100 Wh/(m²d) festgelegt (Schlitzberger 2014, S. 65). Die Wärmelasten wurden zu 100 % konvektiv angesetzt.

³ Die Annahmen für interne Wärmeeinträge zwischen den Versionen 2012 und 2018 unterscheiden sich nicht.

Verfahren des Sommerlichen Wärmeschutzes

Tabelle 4.2: Simulationsrandbedingungen bei der Kalibrierung der Sonneneintragskennwerte

Nutzung	Wohngebäude Nichtwohngebäude	Täglich, 0:00 bis 24:00 Uhr Mo. -Fr., 7:00 bis 18:00 Uhr Keine Ferienzeiten
Außenklima	Klimaregion A Klimaregion B Klimaregion C	Mittleres Jahr TRY-2011 Zonen 2: Rostock Zonen 4: Potsdam Zonen 12: Mannheim
Bauarten	Leicht Mittel Schwer	$c_{\text{wirk}}=50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ $c_{\text{wirk}}=90 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ $c_{\text{wirk}}=130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
Nachtlüftung	erhöhte Nachtlüftung hohe Nachtlüftung	$n_L = 2 \text{ h}^{-1}$ $n_L = 5 \text{ h}^{-1}$
Verglasung	Annahme zur Berechnung von S_3	g_{\perp} -Wert = 0.4
Geneigtes Fenster	Annahme zur Berechnung von S_4	$\beta = 30^\circ$ bei einem fassaden- bezogenen Fenster- flächenanteil von 30 %

Die Festlegung der Bewertungskenngrößen und -grenzwerte ist wirtschaftlich begründet. Die Neukalibrierung des SEK-Verfahrens für die Version DIN 4108-2: 2013 wurde daran ausgerichtet, dass im Verhältnis zur vorhergehenden Version aus der DIN 4108-2: 2003 keine Erhöhung des Anforderungsniveaus an den Sommerlichen Wärmeschutz für Nichtwohngebäude vollzogen wurde. Das Sonneneintragskennwertverfahren gemäß DIN 4108-2: 2003 wurde am Grenzwert der 10%-Überschreitungshäufigkeit ausgerichtet, d.h. die Temperaturanforderungen bei Wohngebäuden durften über den gesamten Jahresverlauf 876 Stunden und bei Nichtwohngebäuden 276 Stunden überschritten werden. Der Bewertungsansatz nach DIN 4108-2 anhand der Übertemperaturgradstunden bezieht neben der Dauer auch noch die Überschreitungshöhe ein. Die 10% Überschreitungshäufigkeit wurde in das Äquivalent von 500 Kh/a überführt. Das Anforderungsniveau für Wohngebäude sollte auf 7 % abgesenkt werden, da die Anzahl der Nutzungsstunden für ein Wohngebäude mit 24 h/Tag sehr auf der sicheren Seite liegend geschätzt wurde. Die damit einhergehende Erhöhung des Anforderungsniveaus um 30 % für Wohngebäude in bestimmten Klimaregionen wurde vom Normungsausschuss Wärmetransport für nicht zumutbar empfunden. Der Grenzwert von 1200 Kh/a wurde festgelegt. Dieser entspricht einer mittleren Erhöhung des Anforderungsniveaus um 15 %. (Schlitzberger 2014, S. 69 ff)

Die Einstufung der Ergebnisse aus DIN 4108-2 nach DIN EN 15251 Anhang F mit dem 3% und 5%-Überschreitungskriterium zeigt gute Übereinstimmungen bezüglich des Anforderungsniveaus. Es zeigt sich allerdings auch, dass in der Klimaregion A tendenziell eine höhere Innenraumkomfort-Kategorie erreicht wird als in Klimaregion C. Zudem weist ein gemäß DIN 4108-2 zulässiger Raum bei geringeren Fensterflächenanteilen eine höhere Behaglichkeitsstufe auf, als ein zulässiger Raum mit höherem Fensterflächenanteil. (Schlitzberger 2014, S. 175)

4.5. SIA 180

Die schweizerische Norm SIA 180 hält drei Nachweisverfahren durch Berechnung für den sommerlichen Wärmeschutz bereit. Zusätzlich dazu ist der Nachweis durch Messung der Temperatur, Luftgeschwindigkeit und Feuchte möglich. Es muss nachgewiesen werden, dass in einem Gebäude bei Nutzung mit mäßigen inneren Wärmelasten die Behaglichkeitsanforderungen erfüllt sind. Hallenbäder und Nichtaufenthaltsräume fallen aus dem Gültigkeitsbereich der Norm.

Der Nachweis nach *Verfahren I* besteht im Prinzip aus Wahrheitsabfragen. Nacheinander müssen definierte Mindestkriterien als erfüllt abgehakt werden. Dabei wird unterschieden zwischen den *Einfachen Kriterien* und dem *Nachweis der Nachtauskühlung*. *Verfahren I* kann nicht für Leichtbauten in Anspruch genommen werden und bietet im Prinzip nur Tabellenwerte für die Nutzungen Wohnen, Büro, Versammlungsraum und Schule. Das *Verfahren II* fordert ebenfalls den Nachweis für die Nachtauskühlung, einen detaillierten Nachweis der Sonnenschutzeinrichtung und eine detaillierte Berechnung der Wärmespeicherfähigkeit nach SN EN 13786. Der Nachweis nach *Verfahren III* erfolgt durch Simulation. Dabei muss nachgewiesen werden, dass die Anforderungen an die Empfindungstemperaturen nicht überschritten werden.

Das *Verfahren I* enthält unter den *Einfachen Kriterien* die in Tabelle 4.3 folgenden allgemeinen Bedingungen, die Einordnung der Wärmespeicherfähigkeit des Raumes und den maximalen Glasanteil.

Tabelle 4.3: Einfache Kriterien nach SIA 180 Abschnitt 5.2.2 zum Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutz durch Verfahren I

Kategorie	Anforderung an	Anforderung/Grenzwert
Dachflächenfenster	Sonnenschutz	vorhanden
	Fensterflächenanteil	$f_{wg} \leq 0.05$
Dach	U-Wert	$U_{Dach} \leq 0.20$
Sonnenschutz	Art	außenliegend, beweglich
	Windwiderstand nach SIA 342 Anhang B2	Klasse 6
Sonnenschutz u. Verglasung	Gesamtenergiedurchlassgrad	$g_{tot} \leq 0.10$
Geometrie	Raumtiefe für jede Fensterfront	$R_{tiefe} \geq 3.5 \text{ m}$
	Raumtiefe gegenüberliegender Fensterfronten	$R_{tiefe} \geq 7.0 \text{ m}$

Zur Einordnung der Wärmespeicherfähigkeit des Raumes als mittel oder hoch werden in Abhängigkeit des Raumvolumens verschiedene Baukonstruktionen benannt. Zudem werden die abgehängten Decken thematisiert und der Wärmedurchlasswiderstand der raumseitigen Oberflächendeckschicht auf $0.10 \text{ m}^2\text{K/W}$ begrenzt, um sicherzustellen, dass die Wärmespeicherfähigkeit der Baukonstruktionen auch nutzbar ist.

Der maximale Glasanteil ist als Verhältnis der Summe der lichtdurchlässigen Glasflächen zur betreffenden Fassadenfläche definiert (SIA 180, S. 15). Er unterscheidet sich also vom deutschen Fensterflächenanteil, der über die lichten Rohbaumaße ermittelt wird um den Rahmenanteil. Der Glasanteil wird anhand der Nutzung, der Unterscheidung zwischen Fenstern an einer oder mehreren Fassaden und anhand der Sonnenschutzsteuerung manuell und automatisiert differenziert ausgegeben. Die einzige Art der Verschattung, die geltend gemacht werden kann, sind Balkone und Vordächer oberhalb von südsüdost- bis südsüdwestorientierten Fenstern. Wenn die Auskragung mind. der halben Fensterhöhe entspricht, darf der maximale Glasanteil um 20% erhöht werden.

Der Nachweis der Nachtauskühlung geht davon aus, dass mindestens ein Außenluftvolumenstrom pro Nettogeschossfläche von $10 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ notwendig ist, damit die inneren Bauteile ausreichend ausgekühlt werden können. Dieser Außenluftvolumenstrom kann über mechanische Lüftung oder die Beschaffenheiten der Lüftungsöffnung nachgewiesen werden. Es werden folgende Anforderungen an die Lüftungsöffnungen gestellt

- nachts geöffnet bleiben können
- auch bei Windstille zu einer Belüftung führen
- Abluftöffnungen an höchstmöglicher Stelle im Raum platziert, damit alle warme Luft entweichen kann
- Querschnittsfläche der Öffnung beträgt mind. 5 % der Nettogeschossfläche
- bei einer Raumtiefe bis 2.5-facher Raumhöhe genügen Fenster auf einer Fassadenseite, bei einer Raumtiefe von 2.5- bis 5.0-facher Raumhöhe müssen Fenster auf gegenüber- oder über Eck-liegenden Fassadenseiten vorhanden sein

Das *Verfahren II* bezieht im Nachweis für den Sonnenschutz bei der Begrenzung von g_{tot} die Fensterausrichtungen und die fassadenbezogenen Fensterflächenanteile mit ein. Es wird eine Abminderung der Anforderung an g_{tot} bei feststehenden Verschattungen u.a. durch Gebäude geregelt. In diesem Fall müssen die externen Wärmeeinträge für einen Herbsttag nachgewiesen werden. Wie die Umsetzung erfolgt, ist unklar. Bei Eckräumen werden die Fensterflächen in den verschiedenen Ausrichtungen kombiniert betrachtet und eine zusätzliche Einschränkung des kombinierten Glasanteils vorgenommen. Für Dachflächenfenster und Oberlichter gelten gesonderte Anforderungen. Zusätzlich werden die inneren Oberflächentemperaturen in der Mitte von Glasflächen auf 5 K über der Raumlufttemperatur begrenzt.

Die detaillierte Berechnung der Wärmespeicherfähigkeit SN EN 13786 erfolgt raumweise unter Einbezug der Wärmeübergangswiderstände mit einer Periodendauer von 24h und darf $45 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ nicht unterschreiten.

Die Behaglichkeitsanforderungen bzw. Anforderungen an die operative Raumtemperatur werden unterschieden für klimatisierte und freibelüftete Räume. Dabei werden sie in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Außentemperatur

Verfahren des Sommerlichen Wärmeschutzes

bestimmt. Räume, die nach Verfahren I nachgewiesen werden, erfüllen einen sehr hohen Standard an Maßnahmen zum Sommerlichen Wärmeschutz. In Büros, Schulen und Versammlungsräumen müssen auf jeden Fall eine Nachtlüftung, ein automatisierter Sonnenschutz und eine mittlere Wärmespeicherfähigkeit vorhanden sein. In Wohnräumen kann der Nachweis auch mit einer manuell betriebenen Sonnenschutzeinrichtung erbracht werden. Auch nach Verfahren II ist eine Nachtlüftung unvermeidlich.

5 Qualitativer Verfahrensvergleich

Ziel dieses Kapitels ist es, die Verfahren hinsichtlich ihrer Konzeption als Nachweisverfahren für den SWS zu vergleichen. Die Verfahren beruhen auf unterschiedlichen Logiken und Herangehensweisen. Um unterschiedliche Berechnungsergebnisse zu erklären, werden die unterschiedlichen Verfahrensansätze vorerst qualitativ herausgearbeitet. Dabei sollen Möglichkeiten und Grenzen der Verfahren in Hinblick auf die Beurteilung eines Gebäudes aufgezeigt werden.

Resultierend auf dem Vergleich werden im Fazit die Anpassungs- und Erweiterungsmöglichkeiten beurteilt und eine Auswahl der Verfahren vorgenommen, für die im zweiten Teil der Arbeit Vergleichsrechnungen vorgenommen werden.

5.1. Vergleichende Verfahrensbewertung

Der Verfahrensvergleich umfasst sowohl die technisch-physikalische, als auch die gesellschaftlich-wirtschaftliche Perspektive des Nachweises. Dies wird damit begründet, dass Nachweisverfahren und die zugrundeliegenden Werte politisch geprägt sind oder einen politischen Auftrag erfüllen. Damit sie erfolgreiche Instrumente sind, muss auf die Realitäten der Anwender*innen und des wirtschaftlichen Planungsgeschehen eingegangen werden.

Es wurden vier Vergleichskriterien ausgewählt:

1. Reichweite/ Umfang der Realitätsabbildung
2. Bewertungsansätze
3. Anwendungsbereich der Verfahren
4. Anwendungsfreundlichkeit im Planungsprozess

Zuerst soll verglichen werden, was die Rechenverfahren überhaupt abzubilden versuchen. Dabei wird auch verglichen, auf welche Art und Weise die Verfahren die Realität abbilden. Danach folgen die Kriterien 2 bis 4.

5.1.1. Umfang der Realitätsabbildung

Zum Vergleich des Umfangs der Realitätsabbildung, die den Verfahren zugrunde liegt, werden zuerst die betrachteten Nachweisperioden betrachtet. Darauf folgt der Vergleich der berücksichtigten Raum- und Bauwerkseigenschaften. Des Weiteren werden die Verfahren in Hinblick auf die berücksichtigten physikalischen Zusammenhänge und angenommene Randbedingungen verglichen.

Betrachtete Nachweisperiode

In den Verfahren sind zwei verschiedene Herangehensweisen an die Festlegung der Nachweisperiode erkennbar. Gemäß TGL 35424/04 und dem Häupl-Verfahren wird eine Designperiode festgelegt. In den anderen Verfahren wird der ganze Jahresverlauf als Nachweisperiode herangezogen. Die Verfahren auf Grundlage des Jahresheizwärmebedarfs betrachten einen durchschnittlichen Jahreszyklus, der gleichzeitig als Nachweisperiode für den *Winterlichen Wärmeschutz* dient. Die Verfahren I und II gemäß SIA 180 und das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 weisen keine offensichtliche Nachweisperiode auf. Die Sonneneintragskennwerte wurden allerdings auf Basis von Jahresdatensätze ermittelt. Die Hintergründe der SIA 180 sind unbekannt, die formulierte Behaglichkeitsanforderung zielt allerdings auf das ganze Jahr ab. Einen Überblick über die Verfahrensannahmen gibt Tabelle 5.1.

Tabelle 5.1: Vergleich der in den Verfahren betrachteten Nachweisperioden

Nachweisperiode/ Verfahren	TGL 35424/04	Verfahren auf Basis der Jahresheiz- wärmebilanz	Häupl- Verfahren	SEK- Verfahren nach DIN 4108-2	Verfahren I + II nach SIA 180
Dauer	1 Tag	1 Jahr	5 Tage	(1 Jahr)	unbekannt
Klima- tologisch	Heißer/ Sommertag	Mittleres Jahr	Hitze- periode	(Mittleres Jahr)	-

Nach TGL 35424/04 und dem Häupl-Verfahren ist die Entscheidung darüber, welche Nachweisperiode betrachtet wird, mit der Definition des Sommerphänomens, auf das der zukünftige Gebäudebestand ausgerichtet wird verknüpft. Gemäß TGL 35424/04 soll ein Gebäude an einem normalen Sommertag ein behagliches Raumklima aufweisen. Nach dem Häupl-Verfahren wird eine einsetzende Hitzeperiode als Nachweisperiode herangezogen. Es ist inkonsistent, dass Häupl in verschiedenen Publikationen die Bezeichnung Hitzeperiode (Häupl 2008) und Schönwetterperiode (Häupl 2017) nutzt. Klimatologisch gesehen unterscheiden sich eine Sommer- und eine Hitzeperiode sowohl in der Höhe der auftretenden Außentemperaturen als auch in der Dauer und Häufigkeit, in der sie auftreten. Das Tagesmaximum in Häupls Außentemperaturannahmen liegt bei 30°C. Damit ist seine Nachweisperiode klimatologisch als sommerheiße oder Hitzeperiode einzuordnen. Die Außentemperaturannahmen können jedoch prinzipiell beliebig ersetzt werden, sodass auch eine Sommerperiode angesetzt werden könnte.

Die Annahme Häupls zum Gebäudeverhalten bei Einsatz einer Hitzeperiode, ist zu hinterfragen. Es scheint mir ein logischer Fehlschluss vorzuliegen. Häupl nimmt an, dass sich im eingeschwungenen Zustand eine konstante Innenraumtemperatur einstellt. Allerdings liegt dem doch schon zu Grunde, dass der Sommerliche Wärmeschutz zumindest einigermaßen funktioniert. In Gebäuden, in denen hohe solare Lasten und hohe Innere Wärmelasten auftreten, kann sich eine fortschreitende Aufheizung des Raumes innerhalb einer Woche einstellen. Diese

Räume weisen ein sehr hohes Überhitzungsrisiko auf, und sollen von einem Verfahren zum SWS erkannt werden. Dieses Phänomen wird allerdings durch die Grundannahme des Aufheizprozesses als e-Funktion aus der Betrachtung ausgeschlossen.

Berücksichtigte Raum-, Bauwerks- und Fenstereigenschaften

Es folgen in Tabelle 5.2, Tabelle 5.4 und Tabelle 5.3 Überblicke zu den berücksichtigten Raum-, Bauwerks-, und Fenstereigenschaften, dem schließen sich kurze Erläuterungen an.

Tabelle 5.2: Berücksichtigte Raumeigenschaften

	Grundfläche	Raumtiefe	Luftvolumen	Wärmespeicherkapazität der Luft
TGL 35424/04	☒			
Häupl-Verfahren	☒	☐	☒	☒
DIN V 18599 (Höttges)	☒		☒	☒
SEK-Verfahren DIN 4108-2	☒	☒	(~)	(~)
Verfahren I SIA 180	☒	☒		

Legende:

- ☒ Berücksichtigt
- ☐ Möglichkeit zur Anpassung
- ~ Indirekt berücksichtigt
- ☐ Berücksichtigung nicht möglich

Alle Verfahren beziehen ihre Berechnungen auf die Nettogrundfläche. Das Verfahren I nach SIA 180 und das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 machen zusätzlich Einschränkungen in Bezug auf die Raumtiefe in Richtung der Normale von Fassaden mit Fensterflächen. Dabei muss die Raumtiefe nach dem Verfahren I gemäß SIA 180 mindestens 3,5 m bzw. bei gegenüberliegenden Fensterflächen mindestens 7 m betragen. Im SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 wird die anzurechnende Raumtiefe auf die dreifache lichte Raumhöhe bzw. sechsfache lichte Raumhöhe bei gegenüberliegenden Fensterflächen begrenzt.

In den Energiebilanzierungen nach Häupl und der DIN V 18599 wird das Luftvolumen zur Berechnung des Lüftungswärmeaustausches mit der Außenluft herangezogen. Das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 beruht auf Simulationen, in diesen wurde höchstwahrscheinlich das Luftvolumen der Räume berücksichtigt und im Rahmen der Variation des grundflächenbezogenen Fensteranteils mit berücksichtigt, allerdings sind die physikalischen Hintergründe der Software Hauser nicht offengelegt worden.

Tabelle 5.3: Berücksichtigte Eigenschaften opaker Bauteile

	Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile	U-Wert Außenbauteile	Adsorptionskoeffizient	Wärmeübergangswiderstände R_{si}/R_{se}
TGL 35424/04	~	~	☒	~
Häupl-Verfahren	☒	☒	☒	☒
DIN V 18599 (Höttges)		☒	~	☒
SEK-Verfahren DIN 4108-2	☒	~	?	~
Verfahren I SIA 180	☒	☒		☒

Legende:

- ☒ Berücksichtigt
- ? Nicht bekannt
- ~ Indirekt berücksichtigt
- ☒ Berücksichtigung nicht möglich

Die Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile wird von allen Verfahren außer der DIN V 18599 berücksichtigt. Wie Höttges (Höttges, Kempkes 2010, S. 44) die Parametervariation für die Wärmespeicherfähigkeit in der DIN V 18599 vornimmt, wird nicht genau erläutert. Das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 und das Verfahren I nach SIA 180 berücksichtigen die Wärmespeicherfähigkeit nur als Bauart, also als nicht metrische Variable. Die anderen Verfahren berücksichtigen es als metrische Variable, rechnen allerdings nicht nach heutigem Stand der Technik (DIN EN ISO 13786). Nach dem Häupl-Verfahren werden der gesamte Außenbauteilquerschnitt und der halbe Innenbauteilquerschnitt zur Berechnung der Wärmekapazität des Raumes herangezogen. Die TGL 35424/04 rechnet anhand der flächenbezogenen Bauteilmasse, also wird die spezifische Wärmekapazität der Baustoffe nicht berücksichtigt.

Der Dämmstandard der Außenbauteile wird generell berücksichtigt. Die Verfahren nach Häupl, TGL 35424/04 und DIN V 18599 berechnen einen Transmissionswärmestrom. Das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 wurde auf Grundlage des Dämmstandards EnEV 2009 des Basisfalls entwickelt und berücksichtigt die Transmission darüber hinaus nicht. Das Verfahren I nach SIA 180 setzt als Grenzwert für den U-Wert des Daches $0.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ an, die weiteren Bauteile werden nicht betrachtet.

Die Wärmeübergangswiderstände gehen in die U-Wertberechnung ein und werden somit in den Verfahren, die einen U-Wert berechnen berücksichtigt. Nach Häupl und TGL 35424/04 geht zusätzlich die Transmission infolge Strahlung auf die opaken Bauteile für die Außenoberflächen ein.

Tabelle 5.4: Berücksichtigte Fenstereigenschaften

	Energiedurchlassgrad Verglasung	Sonnenschutzabminderungs- faktor	Sonnenschutzsteuerung	Rahmenanteil	U-Werte Fenster	Ausrichtung d. Fenster	Neigung der Fenster
TGL 35424/04	☒					☒	☒
Häupl-Verfahren	☒	☒		☒		☒	☒
DIN V 18599 (Höttges)	☒	☒		☒	☒	☒	☒
SEK-Verfahren DIN 4108-2	☒	☒		~		☒	☒
Verfahren I SIA 180	☒		☒				

Legende:

- ☒ Berücksichtigt
- ~ Indirekt berücksichtigt
- ☐ Nicht berücksichtigt

Alle Verfahren enthalten ein Modell zur Abschätzung der Wärmeeinträge durch transparente Bauteile und berücksichtigen den Einfluss des Energiedurchlassgrades der Verglasung und des Sonnenschutzes. In den Verfahren nach Häupl, TGL 35424/04 und SIA 180 sind keine genauen Angaben zum Energiedurchlassgrad der Verglasung enthalten. Nach DIN 4108-2 wird der Energiedurchlassgrad für den senkrechten Strahlungseinfall angenommen. Nach dem Verfahren I gemäß SIA 180 wird der maximale fassadenbezogene Fensterflächenanteil für die Sonnenschutzbedienung manuell und automatisch getrennt vorgegeben. In den anderen Verfahren wird der Einfluss der Sonnenschutzsteuerung nicht berücksichtigt.

Das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 wurde auf Grundlage des Rahmenanteils von 30 % des Basisfalls entwickelt und berücksichtigt den Rahmenanteil nicht als Eingabegröße.

Die Anzahl der Ausprägungen der berücksichtigten Ausrichtungen und Neigungen wird im Vergleich der Klimarandbedingungen in Tabelle 8.1 Tabelle 5.1 dargestellt. Es sei hinzugefügt, dass das Verfahren I nach SIA 180 zwar nicht die Ausrichtung und Neigung berücksichtigt, aber die Trennung in Dachfensteranteil und Fensteranteil vornimmt.

Berücksichtigte physikalische Zusammenhänge

Die entscheidendste Einflussgröße im Rahmen des SWS ist der solare Strahlungseinfall durch Fenster. Es ist davon auszugehen, dass kein Verfahren die Winkelabhängigkeit des Energiedurchlassgrads der Verglasung berücksichtigt. Im Fall der Energiebilanzierung nach Häupl könnten die solaren Strahlungslasten im Verhältnis zu den anderen Bilanzanteilen damit überschätzt werden. Da das SEK-Verfahren und die Verfahren I und II nach SIA 180 kein physikalisches Modell enthalten, muss die Fehleinschätzung in diesen Verfahren nicht unbedingt Auswirkungen auf die Zulässigkeitsbeurteilung haben.

Der Zusammenhang der Wärmekapazität des Raumes oder Bauart mit der Nachtlüftung wird mit dem Verfahren gemäß TGL 35424/04 nicht ausreichend abgebildet. Dadurch dass die Wärmespeicherkapazität des Raumes auf die solaren Lasten und die Lüftung auf die internen Lasten abgestimmt wird, geht der Zusammenhang verloren. Die Kopplung der solaren Strahlungslasten an die Wärmespeicherkapazität des Bauwerks ist unter anderem auch ungünstig, weil bei zunehmendem Fensterflächenanteil der Anteil der opaken Bauteile tendenziell sinkt und damit die Möglichkeit zur Erhöhung der Wärmekapazität des Raumes ebenfalls abnimmt. Das Häupl-Verfahren bildet den Wärmespeichervorgang im Sommer unpräzise ab, da keine Unterscheidung zwischen Raumluft- und inneren Oberflächentemperaturen der Bauteile angenommen wird. Es wird nur der durchschnittliche Wärmeeintrag an einem Tag betrachtet und der Raum dabei als Black Box angenommen.

Das Häupl-Verfahren, das Verfahren nach TGL 35424/04 sowie die Verfahren auf Basis des Jahresheizwärmebedarfs berücksichtigen einen Transmissionswärmestrom. Dieser kann, so wie im Verfahren nach DIN 4108-2 und den Verfahren I und II nach SIA 180, bei hohem Wärmedämmstandard und den geringen sommerlichen Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen im Verhältnis zu den anderen Bilanzanteilen vernachlässigt werden.

Die Abhängigkeit der Wirksamkeit der erhöhten Taglüftung von den solaren und internen Wärmelasten wird von keinem Verfahren erfasst.

Abbildung der Randbedingungen

Die Randbedingungen werden in Außenklima- und Nutzungsrandbedingungen unterschieden und nacheinander verglichen.

Die Außenklimarandbedingungen werden als Mittelwerte betrachtet, dabei variieren die Intervalle für die Mittelwertsbildung erheblich. Auch die Anzahl der betrachteten Klimaregionen in Deutschland variiert, wobei hier natürlich anzumerken ist, dass die TGL sich auf das DDR-Staatsgebiet und die Verfahren I + II nach SIA 180 auf die Schweiz beziehen.

Tabelle 5.5: Vergleich der Außenklimarandbedingungen

Außenklima/ Verfahren	TGL 35424/04	Verfahren auf Basis der Jahresheiz- wärmebilanz	Häupl- Verfahren	SEK- Verfahren nach DIN 4108-2	Verfahren II nach SIA 180
Daten	TGL 35424/01 Tab. 2	Mittleres TRY 2011	beliebig	Mittleres TRY 2011	unbekannt
Intervall der Mittelwertsbildung	Tag	Monat	Tag	- (Stunde)	unbekannt
Klimaregionen	2	15	beliebig	3	1
Ausprägungen Orientierung (α)	5	5	beliebig	2	3
Ausprägungen Neigung (β)	2	5	beliebig	2	2

Die Verfahren unterscheiden sich darin, was im Rahmen der Nutzung überhaupt abgebildet werden kann. Tabelle 5.6 gibt einen Überblick. Die Abweichungen zwischen den konkreten Schätzwerten der jeweiligen Nutzungsrandbedingungen sind marginal.

Tabelle 5.6: Vergleich der berücksichtigten Nutzungsrandbedingungen

	Belegungszeiten	Hygienischer Grundluftwechsel	Personenwärmeabgabe	Gerätewärmeabgabe	Beleuchtungswärmeabgabe	Wärmeabgabe von Tieren
TGL 35424/04			☒	☒	☒	☒
Häupl-Verfahren	☐	☐	☐	☐	☐	☐
DIN V 18599 (Höttges)	☒	☒	☒	☒	☒	
SEK-Verfahren DIN 4108-2	~	~	~	~	~	
Verfahren I SIA 180						

Legende:

- ☐ Möglichkeit zur Berücksichtigung
- ☒ Berücksichtigung und Schätzwert
- ~ Indirekt berücksichtigt
- ☐ Berücksichtigung nicht möglich

Im Rahmen der Nutzung werden in der TGL 35424/04 nur die inneren Wärmelasten betrachtet. Es werden Schätzwerte zur Verfügung gestellt. Für Personen werden altersabhängige Wärmeabgaben definiert. Der hygienische Grundluftwechsel wird nicht nutzungsabhängig betrachtet.

Das Häupl-Verfahren und die Verfahren I + II nach SIA 180 schlagen keine Schätzwerte für die Nutzungsrandbedingungen vor. Im Häupl-Verfahren ist es jedoch möglich die Tagesmittelwerte für den Luftwechsel und die inneren Wärmelasten einzugeben. Er setzt damit keine Grenzen, wie elaboriert die Berechnung des Tagesmittelwertes erfolgt.

Das Verfahren auf Basis des Jahresheizwärmebedarfs nach DIN V 18599 unterscheidet zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden. Die Nichtwohngebäude werden in 41 verschiedene Nutzungsprofile unterschieden. Das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 unterscheidet auch in Wohngebäude und Nichtwohngebäude. Dabei werden Nutzungsrandbedingungen der Nichtwohngebäude mit einem einzigen Nutzungsprofil, dem für Bürogebäude, geschätzt. Die Anwendenden des SEK-Verfahrens können die Randbedingungen nur durch die Auswahl zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden beeinflussen.

5.1.2. Bewertungsansätze

Generell zielt die Bewertung darauf ab, die Zulässigkeitsentscheidung über ein Gebäude zu finden. Die Verfahren weisen, mit Ausnahme von Häupl, keine offengelegten Kriterien zur Zulässigkeitsbeurteilung aus. Im SEK-Verfahren nach der DIN 4108-2 sind indirekte Bewertungsansätze aus der Methodik ersichtlich. Zudem können die der Bewertung zugrunde gelegten Grenzen für die Behaglichkeits-temperatur verglichen werden.

Die zu Grunde liegenden Bewertungsansätze darüber, wann das Gebäude zulässig ist, unterscheiden sich, je nachdem ob als Nachweisperiode ein Jahr oder ein Designszenario herangezogen werden. Die Verfahren anhand des Designszenarios begrenzen die Zulässigkeit über eine maximal zulässige Temperatur oder Temperaturzunahme nach Anwendung eines Sommerszenarios, während bei der Jahresbetrachtung die Überschreitungshäufigkeit, Summenhäufigkeit oder die Übertemperaturgradstunden begrenzt werden. Die Tabelle 5.7 gibt einen Überblick über die Verfahren.

Die Behaglichkeitsgrenzwerte nach TGL 35424/04, den Verfahren auf Basis der Jahresheizwärmebilanz, dem Häupl-Verfahren und dem SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 basieren auf statischen Behaglichkeitsmodellen. Die SIA 180 ist das einzige Verfahren, welches die Temperaturanforderungen nach einem adaptiven Behaglichkeitsmodell bemisst. Die zulässige operative Temperatur bei freier Klimatisierung wird in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Außentemperatur über 48 h festlegt.

Tabelle 5.7: Bewertungsansätze der verschiedenen Verfahren und die zugrunde liegenden Behaglichkeitsanforderungen

	TGL 35424/04	Verfahren auf Basis der Jahresheizwärmebilanz	Häupl-Verfahren	SEK-Verfahren nach DIN 4108-2	Verfahren I + II nach SIA 180
Bewertungsgröße	-	divers	Raumtemperaturzunahme nach 5 Tagen	(Über-temperatur-gradstunden)	-
Bewertungsgrenzwert	-	divers		(500 – 1200 Kh/a)	-
Maßgebende Behaglichkeits-temperatur	$\vartheta_{\text{air,max}}$	$\vartheta_{\text{op,max}}$	$\vartheta_{\text{Room,max}}$	$\vartheta_{\text{op,max}}$	$\vartheta_{\text{op,max}}$
Max. Temperatur	22-30°C	25-27°C	Beliebig (26°C)	25-27°C	25-31°C

Die TGL 35424/04 ist das einzige Verfahren, welches nutzungsbezogene Anforderungen an die Behaglichkeitstemperatur stellt. Den Nutzungen werden Wärmeschutzklassen (WSK) zugeordnet, je nach WSK und Klimagebiet wird die maximal zulässige Raumlufthtemperatur festgelegt. Allerdings wird die zulässige Raumlufthtemperatur nur zur Berechnung des Transmissionswärmestroms in benachbarte Räume genutzt.

5.1.3. Anwendungsbereich der Verfahren

Häufig ist in den Veröffentlichungen der Verfahren schon der Geltungsbereich des Verfahrens definiert, teilweise lässt er sich aus den Annahmen des Verfahrens ableiten. Im folgenden wird ein Abriss gegeben, für welche Gebäudetypen (Dämmstandards, Bauarten), Nutzungen und Räume die Verfahren konzipiert sind.

Das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 fokussiert sich auf den Neubau mit dem Mindestdämmstandard gemäß EnEV 2009. Ob das Verfahren dennoch für Modernisierungen aussagekräftig ist, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit überprüft. Das Verfahren I und II nach SIA 180 setzt ebenfalls hohe Anforderungen an den Dämmstandard des Daches ($U \leq 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$), sodass es für Sanierungsszenarien nicht anwendbar ist. Das Häupl-Verfahren ist demgegenüber tendenziell für Gebäude mit geringeren Dämmstandards geeignet, da es davon ausgeht, dass ein Transmissionswärmestrom von außen in die Bauteile eindringt. Mit zunehmendem Dämmstandard überwiegt der Effekt der Wärmespeicherung der raumseitigen Bauteilschichten, der im Häupl-Verfahren nicht abbildbar ist. Die TGL 35242/04 ist von den Tabellenwerten auf die Wärmedämmstandards in der DDR aus den 1980ern ausgelegt.

Die Verfahren sind alle nicht darauf ausgelegt thermisch besonders kritische Leichtbauten, wie Bungalows oder Wintergärten, nachzuweisen. Mit den Verfahren I und II nach SIA 180 sind Räume unterhalb einer nutzflächenbezogenen wirksamen spezifischen Wärmespeicherkapazität von $45 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ generell nicht nachweisbar.

Bezüglich der Nutzungen ist das Häupl-Verfahren am breitesten aufgestellt, da die inneren Wärmelasten frei gewählt werden können. Das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 ist auf Wohn und Büronutzung, sowie Gebäude mit vergleichbaren inneren Wärmelasten beschränkt. Das Verfahren I nach SIA 180 beschränkt sich auf die Wohn- oder Büronutzung, Schulen und Versammlungsräume. Nach dem Verfahren II werden die inneren Wärmelasten aus der Nutzung nicht berücksichtigt.

Das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2, die SIA 180 und das Häupl-Verfahren sind auf Zentral-, Dach- und Eckräume in Zwischen- und Dachgeschossen ausgerichtet. Die Anforderungen für Räume im EG werden tendenziell überschätzt, da in vielen Fällen im EG die Verschattung durch Nachbargebäude zunimmt und das Wärmespeichervermögen des Erdreichs ggf. stabilisierend auf das Raumklima wirkt.

5.1.4. Anwendungsfreundlichkeit für die bauphysikalische Planung

Einen wichtigen Anteil am Erfolg eines Nachweisverfahrens in Hinblick auf die Klimaoptimierung des zukünftigen Gebäudebestandes hat die Anwendungsfreundlichkeit des Verfahrens. Dabei sind die Resistenz gegen Eingabe- und Auswertungsfehler, der Aufwand bei Anwendung (Ressourcen und Zeit) und die Dokumentation und Nachvollziehbarkeit, sowie die Anpassbarkeit zu vergleichen.

Das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 und das Verfahren nach SIA 180 sind in Hinsicht auf die Resistenz gegen Eingabe- und Auswertungsfehler, sowie den Anwendungsaufwand sehr gut geeignet. Eine Dokumentation und Nachvollziehbarkeit der physikalischen Hintergründe der Zulässigkeitsbeurteilung ist nicht vorhanden. Daher haben die Anwender*innen keine Möglichkeiten bei Abweichungen einer Gebäudeplanung von Standardfall die Rechnungen zu modifizieren. Bei Abweichungen muss eine thermische Simulation vorgenommen werden.

Die Möglichkeit zur Anpassung bieten die TGL 35424/04 und das Häupl-Verfahren da sie einen bauphysikalischen Bezug haben. Aufgrund der teilweise fehlenden oder umständlichen Erläuterung zu den physikalischen Hintergründen, wird die Möglichkeit von Eingabe und Auswertungsfehlern jedoch erhöht. Auch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen verschiedenen Anwendenden wird dadurch eingeschränkt. Der Aufwand der Verfahren ist im Vergleich sehr hoch, da für die Ermittlung der Transmissionswärmeströme und die Berechnung der wirksamen Speichermasse der Bauteile eine raumweise Flächenermittlung und die Eingabe der Baukonstruktionen sowie -materialien notwendig ist. Der Aufwand zur Vorbereitung der Randbedingungen für die Berechnung eines Falles nach dem Häupl-Verfahren entspricht dem Aufwand, der für eine Thermische Raumsimulation notwendig ist.

In dem Verfahren auf Grundlage des Jahresheizwärmebedarfs nach DIN V 18599 ist die Bauteileingabe und teilweise auch die Flächenermittlung bereits für den winterlichen Fall vorgenommen worden, sodass der Aufwand des Nachweises gering gehalten wird. Der Jahresheizwärmebedarf wird allerdings eigentlich nur pro Gebäude oder Zone ermittelt, sodass trotzdem ein Mehraufwand entsteht. Im Prinzip können die Berechnungen auf Grundlage der DIN V 18599 nicht mehr händisch bewältigt werden.

5.2. Diskussion und Verfahrensauswahl

Im Prinzip hat sich gezeigt, dass es zwei unterschiedliche Herangehensweisen an die Gebäudebewertung im Hinblick an den SWS gibt: Einerseits gibt es Energiebilanzierungen, wie nach TGL 35424/04, den Verfahren auf Grundlage des Jahresheizenergiebedarfs und Häupl und andererseits gibt es Faustregeln, wie das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 und das Verfahren I nach SIA 180.

Die Energiebilanzierungen unterscheiden sich in ihrer Nachweisperiode und bezüglich des Intervalls, in denen Klimarandbedingungen und Berechnungen vorgenommen werden. Die Herangehensweise der Verfahren scheint stark vom Winterfall inspiriert. Die „Faustregel“-Verfahren dahingegen haben wenig Aussagekraft über die physikalischen Prozesse im Raum, sind nicht interpretierbar und weisen keine mathematischen Zusammenhänge auf. Dafür sind die notwendigen zeitlichen und wirtschaftlichen Ressourcen bei der Anwendung sehr gering.

Der qualitative Vergleich hat auch gezeigt, dass eine politische Entscheidung darüber notwendig wäre, auf welches Sommerszenario der zukünftige Gebäudebestand ausgelegt werden soll. Bisher werden in jedem Verfahren unterschiedliche Annahmen getätigt. Die Festlegung und Standardisierung von Klimarandbedingungen in einem Nachweisverfahren, welches der klimaangepassten Gebäudeplanung dient, scheint paradox. Das ideale klimaangepasste Gebäude sollte doch das Lokalklima und die Standortfaktoren optimal mit einbeziehen. Durch eine Standardisierung wird kein Anreiz geschaffen, das lokale Klima in die Gebäudeplanung mit einzubeziehen. Für die Standardisierung von Bewertungsansätzen ergibt sich ein ähnliches Problem. In keinem Verfahren sind nutzungs- bzw. vulnerabilitätsbezogene Bewertungsansätze vorgesehen, im Häupl-Verfahren sind diese allerdings möglich. Nur der SIA 180 liegt ein adaptives Modell zur Bestimmung der maximal zulässigen operativen Raumtemperaturen zugrunde.

Bevor die Auswahl der Verfahren für den quantitativen Verfahrensvergleich vorgenommen wird, werden im Folgenden kurz kritische Punkte der einzelnen Verfahren in Bezug auf ihre Ansätze erläutert:

Bei den Verfahren auf Grundlage des Jahresheizwärmebedarfs stellt sich die Frage, wie sinnvoll es ist, zu versuchen eine Aufheizung aufgrund von Gleichzeitigkeit des thermischen Lasteinfalls anhand von Monatsmittelwerten zu berechnen. Das Wärmespeicherverhalten der Bauteile, die Tag- und Nachtlüftung und die Steuerung

des Sonnenschutzes auf Monatsmittelwerte zu abstrahieren, weicht stark von den vorgesehenen Stundenschritten für Jahressimulationen gemäß VDI 2078 ab.

Im Verfahren nach TGL 35424/04 ist fraglich, ob der normale Sommertag als Betrachtungsszenario bei zunehmenden Hitzeperioden noch ausreicht. Die dem Verfahren nach TGL 35424/04 zugrunde gelegten Annahmen für die klimaangepasste Gebäudeplanung sind zudem sehr starr, denn die Speichermassen sind nur auf die solaren Lasten und nicht in Abhängigkeit der Lüftung ausgelegt werden.

Im Häupl-Verfahren muss überprüft werden, ob die Vernachlässigung des dynamischen Wärmespeicherverhaltens zwischen Raumluft und Bauwerk durch eine Gleichsetzung der Bauteil- und Lufttemperatur und die Vernachlässigung des Wärmeübergangs zwischen Raumluft und Bauteil haltbar ist. Die mathematische Lösung der Energiebilanz ist nachvollziehbar, wie sich die mathematischen Ergebnisse dann im Verhältnis zur Realität verhalten, soll im Weiteren überprüft werden. Der Vorteil des Verfahrens liegt im Vergleich zu den anderen Verfahren in seiner Anpassbarkeit bezüglich der Randbedingungen. In Bezug auf die Thermische Raumsimulation ist aufgrund des hohen Aufwandes zur Bestimmung der Randbedingungen allerdings kein Vorteil zu erkennen.

Das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 und das Verfahren I nach SIA 180 sind beide als vereinfachte Verfahren gedacht, deren Bewertung auf der sicheren Seite liegen soll. Wenn Bauherr*innen weniger Maßnahmen des SWS umsetzen wollen, kann anhand eines detaillierteren Nachweises ermittelt werden, wo die untere Grenze der notwendigen Maßnahmen zur Einhaltung der Behaglichkeitsanforderungen liegt. Die „Faustregelverfahren“ beruhen also tendenziell auf einer Überdimensionierung der notwendigen Maßnahmen zum SWS. Dies widerspricht dem Ansatz einer suffizienten klimaoptimierten Herangehensweise, in der nur so viele Ressourcen verbraucht werden sollen, wie unbedingt notwendig. Die anzusetzenden Klimarandbedingungen haben sich seit Kalibrierung des SEK-Verfahrens nach DIN 4108-2 bereits verändert. Vor dem Hintergrund, dass das Zukunftsklima nicht vorhersagbar ist, ist es von Vorteil, wenn ein Nachweisverfahren mit beliebigen Klimarandbedingungen funktioniert. So kann bei fortschreitender Erkenntnis zum Klimawandel der jeweils aktuelle Stand berücksichtigt werden. Um eine Anpassung an das Zukunftsklima, Wärmeinseleffekte oder extreme Sommer vorzunehmen, müssten die „Faustregelverfahren“ je von zentraler Stelle komplett neu aufgesetzt werden.

Die Möglichkeit Verfahren für den quantitativen Verfahrensvergleich auszuwählen, ist begrenzt, da die TGL 35424/04 und die Verfahren auf Basis der Jahresheizwärmebilanz nicht aktualisiert worden sind. Für die TGL 35424/04 gibt es keine Tabellenwerte, für das Verfahren auf Basis der DIN V 18599 keine Korrekturfaktoren. Verfahren auf Basis der DIN 4108-6 zu testen, erscheint aufgrund dessen, dass die Norm bereits abgelöst wurde, nicht sinnvoll. Darüber hinaus weisen die Verfahren im Vergleich zu den anderen schwerwiegendere Kritikpunkte auf. Es bleiben also das Häupl-Verfahren, das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 und die Verfahren nach SIA 180 für die Berechnungen. Aus Kapazitätsgründen konnte das Verfahren II nach SIA 180 nicht mehr umgesetzt werden.

6 Methode des quantitativen Verfahrensvergleichs

Ziel des quantitativen Teils ist es, durch Rechnungen zu überprüfen, bei welchen Gebäudetypen die Verfahren das Überhitzungsrisiko zuverlässig vorhersagen. Als Bewertungsgrundlage werden Thermische Raumsimulationen vorgenommen. Die Ergebnisse der Simulation werden als Approximation der Realität betrachtet, da sie im Verhältnis zu den Handrechenverfahren eine größere Genauigkeit aufweisen. Die Ergebnisse in der Beurteilung des Überhitzungsrisikos eines Raumes aus den Handrechenverfahren können mit den Ergebnissen der Simulation verglichen werden.

Das Überhitzungsrisiko eines Raumes ist vom Zusammenspiel des Außenklimas, der Gebäudeeigenschaften und -nutzung abhängig. Aus diesem Grund werden Anwendungsszenarien entwickelt, die verschiedene Geometrien, Nutzungen, Bauarten, Wärmedämmstandards etc. kombinieren. So entstehen Basisfälle, die in den drei vereinfachten Verfahren und nach der Simulation bewertet werden können. Da es sich bei den Verfahren um Nachweisverfahren handelt, steht am Ende jeder Verfahrensanwendung eine Zulässigkeitsentscheidung. Es werden also Zulässigkeitsentscheidungen für verschiedene Anwendungsszenarien verglichen.

Eine Zulässigkeitsentscheidung sagt gleichzeitig aus, dass in einem Anwendungsszenario ausreichend Maßnahmen zum SWS umgesetzt sind. Sie gibt aber noch keinen Anhaltspunkt darüber, ob in dem Verfahren auch bei geringerem Maßnahmenaufwand eine positive Zulässigkeitsentscheidung getroffen worden wäre. Deswegen soll in einem zweiten Schritt für zwei Maßnahmen des SWS getestet werden, welche Mindestanforderungen diese erfüllen müssen, damit die Zulässigkeitsentscheidung positiv ausfällt. Hinter diesem Vorgehen steht die Frage danach, ob die Maßnahmen nach den verschiedenen Verfahren unterschiedlich dimensioniert sein müssen. Die Dimensionierung der verschiedenen Verfahren wird verglichen. Als Maßnahme wurden der Sonnenschutz und die Nachtlüftung ausgewählt. Operationalisiert werden diese über den F_c -Wert und die Nachtluftwechselrate. Eine Dimensionierung wird als sicher betrachtet, wenn sie im Verhältnis zur Dimensionierung der Simulation eine höhere Nachtluftwechselrate aufweist oder einen geringeren F_c -Wert.

Die Dimensionierung der Maßnahmen wird nicht nur für den Basisfall, sondern unter Annahme eines weiteren variierten Parameters betrachtet. In der zweiten Stufe des Verfahrensvergleichs werden also pro Anwendungsszenario zwei Parametervariationen durchgeführt.

Die Variation 1 ermittelt die maximalen F_c -Werte für die verschiedenen Energiedurchlassgrade g_{\perp} von fünf typischen Verglasungsarten.

Die Variation 2 ermittelt die mindestens notwendige Nachtlüftungsrate bei variierenden inneren Wärmelasten. Diese Variation wurde gewählt, da die inneren Wärmelasten in der Planung häufig eine unsichere Randbedingung darstellen.

Im folgenden Abschnitt 6.1 wird erläutert, wie die Thermische Raumsimulation umgesetzt und ausgewertet wird. Die Umsetzung der Parametervariation wird in Abschnitt 6.2 erläutert.⁴

6.1. Thermische Raumsimulation

Die Thermische Raumsimulation wird mit der Software *Therakles* vorgenommen. Die physikalischen Grundlagen der Software werden von Nicolai (2013) ausgeführt und können dort nachgelesen werden. Kritisch gesehen wird, dass die Software kein Geometriemodell aufweist. Im Vergleich zu den Handrechen-Verfahren ist die Berechnung der operativen Raumtemperatur in Stundenschritten allerdings bereits ein wesentlicher Gewinn in Bezug auf die Realitätsabbildung.

Problematisch ist allerdings, dass für die Überführung des Verlaufs der operativen Raumtemperatur in eine Zulässigkeitsentscheidung keine nutzungsbezogenen und adaptiven Bewertungsansätze zur Verfügung stehen.

Hellwig (2005) berechnet nach der ASHRAE-Methode die Komfortraumtemperatur in Abhängigkeit der mittleren monatlichen Außentemperatur für Büronutzung. Demnach sind für 80% der Personen im August in Freiburg Temperaturen von 27.3°C und in München Temperaturen von 29.7°C noch akzeptabel.

Die Bewertung der Simulationsergebnisse kann nicht nach einem adaptiven Modell zur Beschreibung der menschlichen Empfindung und Behaglichkeitsbewertung des Raumklimas vorgenommen werden, da nicht klar ist, inwieweit sich der ASHRAE Standard auf andere Nutzungen übertragen lässt. So muss auf die üblichen Grenzwerte für die Übertemperaturgradstunden bei Wohn- und Nichtwohnnutzung nach DIN 4108-2 zurückgegriffen werden, obwohl diese wissenschaftlich nicht ausreichend fundiert sind.

Tabelle 6.1: Bewertungsgrenzwerte zur Beurteilung der Zulässigkeit eines Gebäudes im Nachweis des SWS durch Thermischen Raumsimulation (Quelle: DIN 4108-2, Tab.9)

Sommerklimaregion	Bezugswert $\vartheta_{op,max}$ [°C]	Zulässige Übertemperaturgradstunden [Kh/a]	
		Wohngebäude	Nichtwohngebäude
A	25	1200	500
B	26		
C	27		

Zur zusätzlichen Auswertung der Basisszenarien wird der Verlauf der operativen Raumtemperatur für die Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur ausgegeben. Zudem werden die maximale operative Raumtemperatur sowie die Überschreitungshäufigkeit der operativen Raum-

⁴ Um einen Einblick in die Umsetzung der Handrechenverfahren zu gewähren, werden die Excel-Dateien der Basisszenarien inkl. VBA-Funktionen auf DVD miteingereicht.

temperaturen 25°C, 26°C und 27°C ausgegeben. Diese werden sowohl für das gesamte Jahr, als auch für die Belegungszeiträume (occ) und die Zeiträume, in denen sich kein Mensch im Raum aufhält (unocc), ausgegeben.

6.2. Parametervariation

Zur Vorbereitung der Parametervariation bzw. Sensitivitätsanalyse wurden alle Sensitivitätsvariablen entsprechend der Tabelle 6.2 zusammengestellt. Es wurde entschieden, die Klimarandbedingungen nur im Rahmen der Variation der Klimaregionen vorzunehmen, da die Vergleichbarkeit der Verfahren ansonsten gefährdet ist.

Tabelle 6.2: Auflistung Einflussparameter im Rahmen der Verfahren

Parameter		Anmerkung
X1	Nettogrundfläche	Variation in Szenarien
X2	Lichte Raumhöhe	Variation in Szenarien
X3	Adsorptionskoeffizienten	Keine Variation, da Einfluss vernachlässigbar
X4	U-Werte Bauteile	Variation in Szenarien
X5	Fensterfläche	Variation in Szenarien
X6	U-Werte Fensterfläche	Keine Variation, da Einfluss vernachlässigbar
X7	g-Wert Verglasung	Variation 1
X8	Sonnenschutzabminderungsfaktor	Variation 1
X9	Sonnenschutzsteuerung	Variation in Szenarien
X10	Verschattungsgrad	Variation in Szenarien
X11	Fensterorientierung	Variation in Szenarien
X12	Fensterneigung	Variation in Szenarien
X13	Luftwechselrate Tag	Variation in Szenarien
X14	Luftwechselrate Nacht	Variation 2
X15	Interne Personenwärme	Variation 2
X16	Interne Gerätelasten	
X17	Spezifische Wärmekapazität innerste Bauteilschicht	Variation der Baukonstruktionen in Szenarien

Die Wertebereiche für die Parametervariation im Rahmen der Anwendungsszenarien sind in Kapitel 7 dargestellt. Im Folgenden wird das Vorgehen bei der Variation 1 und 2 erläutert:

Die Variation 1 kombiniert den Energiedurchlassgrad für den senkrechten Strahlungseinfall g_{\perp} von fünf standardisierten Verglasungsarten nach VDI 2078 mit zehn zugehörigen standardisierten Sonnenschutzabminderungsfaktoren F_c nach

DIN 4108-2: 2013 Tab. 7. Die Tabellen sind in Kapitel 7.3 Verglasungen und Sonnenschutz abgedruckt.

Es ergibt sich eine 10x5 Matrix gemäß Tabelle 6.3. für jedes Verfahren. Für jede Kombination wird also jeweils mit jedem Verfahren eine Zulässigkeitsentscheidung getroffen. Die Sonnenschutzvorrichtungen nach DIN 4108-2: 2013 Tab. 7 weisen je nach g_{\perp} -Wert und Scheibenzahl unterschiedliche F_c -Werte auf. Aus diesem Grund wurde die SSID für jede Sonnenschutzeinrichtung eingeführt.

Tabelle 6.3: Beispiel einer resultierenden Matrix aus der Variation 1

	Verglasung	2-fach Iso	2-fach WSV	3-fach WSV	2-fach SSV	2-fach SSV versp.
SSID	g_{\perp}	0.78	0.64	0.48	0.40	0.31
1	-	-	-	zul	zul	-
2	-	-	zul	zul	zul	-
3	-	-	zul	zul	zul	-
4	-	-	zul	zul	zul	-
5	zul	zul	zul	zul	zul	zul
6	zul	zul	zul	zul	zul	zul
7	zul	zul	zul	zul	zul	zul
8	zul	zul	zul	zul	zul	zul
9	zul	zul	zul	zul	zul	zul
10	zul	zul	zul	zul	zul	zul

Unter den zulässigen Kombinationen wird darauffolgend für jedes Verfahren und jede Verglasungsart der minimale F_c -Wert bestimmt und in Form der Tabelle 6.4 ausgegeben. Die Verfahren werden dann anhand der minimalen F_c -Werte für die verschiedenen Verglasungsarten vergleichbar gemacht.

Tabelle 6.4: Auswertung der Variation zum Verfahrensvergleich

		notwendiger F_c -Wert für Zulässigkeit des Raumes			
Verglasungsart	g_{\perp}	DIN	Häupl	SIA I	Sim
Isolierverglasung	0.78				
2-fach WSV	0.64				
3-fach WSV	0.48				
SSV	0.40				
SSV verspiegelt	0.31				

Die Variation 2 wird nach dem gleichen Prinzip vorgenommen. Für alle Anwendungsszenarien wurden 18 verschiedene Annahmen zu den inneren Wärmelasten mit 17 möglichen Nachtluftwechselraten kombiniert. Die Nachtluftwechselrate nimmt immer folgende Werte an:

$$n_L = \{0; 0.24; 0.5; 0.75; 1; 1.25; 1.5; 1.75; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10\}$$

Methode des quantitativen Verfahrensvergleichs

Dabei sind die geringeren Nachtluftwechselraten an üblichen Infiltrationsluftwechselraten angelehnt, die erhöhte Nachtlüftung mit $n_L = 2 \text{ h}^{-1}$ und hohe Nachtlüftung $n_L = 5 \text{ h}^{-1}$ nach DIN 4108-2 abgedeckt. Die höheren Luftwechsel sind nur in der Realität in Verbindung mit Lüftungsanlagen zu erreichen.

Tabelle 6.5: Wertebereich für die Annahme der Inneren Wärmelasten in der Variation 2

Wohnnutzung	Nichtwohnnutzung allgemein	Nichtwohnnutzung Werkstatt	Nichtaufenthaltsraum
[Wh/m²d]	[Wh/m²d]	[Wh/m²d]	[Wh/m²d]
0	0	0	0
24_Dauer	24	96	
45_Dauer	48	120	
45_Worklife	72	144	
45_Spitzen	96	168	
70_Dauer	120	192	
70_Worklife	144	216	
70_Spitzen	168	240	
90_Dauer	192	264	
90_Worklife	216	288	
90_Spitzen	240	312	
100_Dauer	264	336	
100_Worklife	288	360	
100_Spitzen	312	384	
145_Dauer	336	408	
145_Worklife	360	432	
145_Spitzen	384	456	
200_Dauer	408	480	

Der Wertebereich für die Annahmen der inneren Wärmelasten variiert, je nachdem ob das Basisszenario eine Wohnnutzung, eine Nichtwohnnutzung oder einen Nichtaufenthaltsraum abbildet. Die Werte können Tabelle 6.5 entnommen werden. Diese Differenzierungen waren nötig, um die realistischen Wertebereiche der verschiedenen Basisszenarien abdecken zu können. Weitere Informationen zur

Verteilung der inneren Wärmelasten über den Tag und die Woche, können Kapitel Lüftungsannahmen 7.5 und den Skripten entnommen werden.⁵

In Therakles sind für die Eingabe von flächenbezogenen inneren Wärmelasten und Luftwechselraten bei natürlicher Lüftung folgende ScheduleTypes hinterlegt:

1. Konstant
2. Tageszyklus (Winter/Sommer)
3. Tageszyklus (Wochentag/Wochenende)
4. Jahresverlauf (Stundenwerte)

In den Simulationen wurde immer der Typ Tageszyklus (Wochentag/Wochenende) gewählt und ggf. die Wochentage gemäß der Nutzung auch auf Samstag und Sonntag ausgeweitet.

Ein beispielhaftes Pythonskript zur Umsetzung der Parametervariation in der Simulation und der Auswertung der Simulationsergebnisse sind in Anlage 1 bzw. 2 hinterlegt. Zudem sind die Templates der Variation 1 und 2 in Anlage 3 und 4 angefügt. Die Variation für die Handrechenverfahren wurde über ein VBA-Makro bzw. Funktionen in den Excel-Tabellen umgesetzt.⁶ Insgesamt wurden 3600 Fälle berechnet.

⁵ Diese sind auf der beigefügten DVD abgelegt.

⁶ Die Exceltabellen sind auf der beigefügten DVD abgelegt.

7 Anwendungsszenarien

Ein Anwendungsszenario setzt sich aus Geometrieannahmen, Annahmen zu den Bauteileigenschaften, Fenstereigenschaften und Sonnenschutz, der Sonnenschutzsteuerung, der Lüftung und den inneren Wärmelasten zusammen.

Generell decken die Anwendungsszenarien Neubauten mit verschiedenen Energiestandards sowie zwei Bestandsszenarien und drei Nutzungsgruppen ab. Die Szenarien 01 bis 04b decken Wohnnutzungen ab, die Szenarien 05 bis 08 Aufenthaltsräume verschiedener Nichtwohnnutzung und die Szenarien 09 und 10 Nichtaufenthaltsräume.

Die Nutzungsrandbedingungen und Gebäudeeigenschaften sind teilweise aus den Nutzungsprofilen der DIN V 18599-10, aus Projekten des Ingenieurbüros Dr. Scheffler und Partner oder der GWT-TUD übernommen.⁷ Die allgemeinen Randbedingungen und Bauteilannahmen werden in den folgenden Abschnitten erläutert. In Abschnitt 7.7 wird in Tabellenform ein Überblick über die Zuordnung der Randbedingungen zu den Anwendungsszenarien gegeben. Die Geometrieangaben und die genauen Berechnungsannahmen für jedes Basisszenario sind in einem Datenblatt zusammengefasst, welches zur besseren Nachvollziehbarkeit der Berechnungsergebnisse in Kapitel 8.1 abgedruckt ist.

7.1. Klimarandbedingungen

Es wurde im qualitativen Teil herausgearbeitet, dass die Definition des Sommerphänomens und die Wahl der Klimarandbedingungen einen großen Einfluss auf die Gestaltung des zukünftigen Gebäudebestandes haben. Vor dem Hintergrund des Klimawandels sollte zur Beurteilung des reell zu erwartenden Überhitzungsrisikos eines Raumes auf die TRY 2017 für extreme Sommer, evtl. sogar auf die Zukunftsjahre zurückgegriffen werden. Auch der Wärmeinseleffekt in Städten sollte mit abgebildet werden.

Um eine Vergleichbarkeit der Verfahren zu ermöglichen, wurde jedoch entschieden, die Randbedingungen der Verfahren möglichst zu harmonisieren. Das Verfahren nach DIN-4108:2 und das Verfahren I nach SIA 180 lassen bezüglich der Klimarandbedingungen keinen Spielraum. Da das DIN-Verfahren anhand der mittleren TRY-2011 Datensätze für die Region 02 Rostock, 04 Potsdam und 12 Mannheim kalibriert wurden, wurden diese auch die Grundlage für die Klimarandbedingungen für das Häupl-Verfahren und die Simulation.

⁷ Es wurde auf Informationen zu Grundrissen, Nutzungsrandbedingungen und Bauteilaufbauten aus den Projekten 18-070-WGJ, STA-H16, 16-061-LOS, 20-064-WWF, 19-052-DAH und 17-042-WBH des Ingenieurbüros Dr. Scheffler und Partner, sowie die Projekte 191220, 191220 der GWT-TUD zurückgegriffen.

Für den Verfahrensvergleich wurden daher gemäß DIN 4108-2 die Einteilung Deutschlands in die Klimaregionen A, B und C übernommen, und die jeweiligen mittleren TRY 2011 Datensätzen für die Region 02, 04 und 12 zu Grunde gelegt.

Häupl (2008) schlägt in seiner Verfahrensveröffentlichung als Tagesmittelwert für die Außentemperatur 24°C, 30°C am Tag und 18°C in der Nacht vor. Er bietet aber keine Tabellenwerte für die Globalstrahlungsintensität auf die Bauteil- und Fensterflächen an. Daher wurden entsprechend eines Beispiels von Häupl die durchschnittlichen Strahlungsintensitäten auf 1m²-Fläche mit der Neigung 90°, 45° und horizontal, sowie der Orientierung N, NO, O, SO, S, SW, W, NW bestimmt. Es wurden Simulationen mit Therakles mit den oben genannten TRY 2011 Datensätzen für die drei Klimaregionen vorgenommen. Die Globalstrahlungsströme auf die fiktiven Bauteilflächen in [W/m²] wurden als Jahresdatensätzen exportiert. Aus diesen wurden die maximalen Wochensummen gebildet, welche dann in Stundenwerte umgerechnet wurden. Es wurden nicht die maximalen Stundenwerten der Globalstrahlung extrahiert, da Häupl eine 5-Tagesperiode betrachtet und von den zehn höchsten Strahlungstagesmittelwerten in keinem der TRY-Datensätzen fünf an aufeinanderfolgenden Tagen liegen. Somit wird eine Überschätzung im Vergleich zur Simulation und DIN 4108-2 zumindest minimiert.

Tabelle 7.1: Angenommene Globalstrahlungsintensitäten für die Berechnungen mit dem Häupl-Verfahren

Globalstrahlung Klimaregion A [W/m ²]			
Orient/Incl.	45°	90°	hor
N	186	95	299
NO	170	101	299
O	211	130	299
SO	251	148	299
S	286	189	299
SW	310	203	299
W	296	207	299
NW	241	155	299

Globalstrahlung Klimaregion C [W/m ²]			
Orient/Incl.	45°	90°	hor
N	209	101	312
NO	207	120	312
O	249	158	312
SO	275	165	312
S	286	181	312
SW	295	183	312
W	284	197	312
NW	242	157	312

Globalstrahlung Klimaregion B [W/m ²]			
Orient/Incl.	45°	90°	hor
N	198	104	296
NO	181	112	296
O	215	145	296
SO	246	151	296
S	279	183	296
SW	305	215	296
W	304	223	296
NW	256	177	296

7.2. Konstruktionen, Bauart und WD-Standard

Es wurden Bauteilaufbauten für fünf Bauweisen entworfen. Im Vergleich mit bestehenden Projekten wurde die Qualität der Thermischen Gebäudehülle in einen Energiestandard eingeordnet. Diese Einordnung hat keinen Einfluss auf die Berechnung und dient nur der Anschaulichkeit.

1. Holzständerbau (Passivhausstandard)
2. Ziegel Altbau unsaniert/ saniert (GEG)
3. Stahlbetonbauweise (GEG)
4. Naturbimsmauerwerk (WSVO 1995)
5. Wärmedämmte Hochlochziegel (KfW 55)

Die einzelnen Bauteilaufbauten können in der Bauteilliste in Anlage 5 eingesehen werden. In den Datenblättern zu den Anwendungsszenarien wird die Zuordnung der Bauteile zu den Räumen vorgenommen. Bei Außenbauteilen wird eine Flächenermittlung gemäß DIN V 18599 für die Bestimmung des Transmissionswärmestrom nach Häupl bzw. die Eingabe in Therakles vorgenommen, sowie eine Flächenermittlung anhand der lichten Raummaße für die Bestimmung der wirksamen Wärmespeicherkapazität des Raumes. Für Innenbauteile werden nur die Flächen anhand der lichten Raummaße ermittelt. Auch diese gehen in die Bestimmung der wirksamen Wärmespeicherkapazität des Raumes ein.

Die Wärmekapazität der Räume wird nach dem vereinfachten Verfahren gemäß DIN EN ISO 13786 Anhang C berechnet. Entsprechend der Tabelle 2.1 wird sie in die Bauart leicht, mittel oder schwer überführt.

Tabelle 7.2: Grenzwerte zur Beurteilung der Bauart eines Raumes; (Quelle: DIN 4108-2 Tab. 8)

Bauart	Wirksame Wärmespeicherkapazität eines Raumes
Leicht	$c_{\text{wirk}}/A_{\text{net}} < 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
Mittel	$50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K}) \leq c_{\text{wirk}}/A_{\text{net}} \leq 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
Schwer	$c_{\text{wirk}}/A_{\text{net}} \geq 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$

Für das Häupl-Verfahren wird die Wärmekapazität des Raumes c_B bestimmt. Diese unterscheidet sich von c_{wirk} darin, dass der gesamte Bauteilquerschnitt der Außenbauteile einbezogen wird und nicht nur die wirksame Dicke d_{wirk} bzw. max. 10 cm von Innen. Zudem gehen Wärmedämmungen, Baustoffe mit einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0,1 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$, nicht mit in die Berechnung der Wärmekapazität c_{wirk} des Raumes ein.

Für Innenbauteile schlägt Häupl vor, die Hälfte des Bauteilquerschnitts einzu beziehen. Da die Abweichung zwischen dem Häupl-Verfahren und der Berechnung nach DIN EN ISO 13876 Anhang C für Innenbauteile vernachlässigbar klein ist, wurde

für Innenbauteile nur eine Berechnung durchgeführt. Die Wärmekapazität des Raumes wird aus diesem Grund im Häupl-Verfahren in den zwei Fällen, wo die Innenwand eine Dicke von mehr als 20 cm aufweist sowie für die Trockenbauwand IW TB marginal unterschätzt.

Des Weiteren wurde ein *Szenario 04b Altbau saniert* entwickelt. Dieses sieht folgende Veränderungen im Vergleich zum unsanierten Altbau in *Szenario 04a* vor.

- Innendämmung 6 cm Wärmedämmputz
- Einbau IW Trockenbau
- Verkleinerung der Nettogrundfläche A_{net}
- Anschluss eines Wintergartens
- Erneuerung der Fenster zu zweifach Wärmeschutzverglasung mit $g_{\perp} = 0.64$
- Erhöhung der Luftdichtheit auf $n_{inf,neu} = 0.24 \text{ h}^{-1}$

7.3. Verglasungen und Sonnenschutz

Die verwendeten Sonnenschutzvorrichtungen sind aus der Tabelle 7.3 mit den zugehörigen Sonnenschutzabminderungsfaktoren F_c nach Tabelle 7.4 verwendet worden. Für die Parametervariation wurden fünf Verglasungsarten nach VDI 2078 B3.1 entsprechend **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** verwendet. Für das *Szenario 04a Altbau unsaniert* wurde eine Doppelverglasung mit Tafelglas und einem g_{\perp} von 0.87 ausgewählt. Die bauliche Verschattung wurde im Häupl-Verfahren und dem SEK-Verfahren nach DIN 4108-2 anhand der F_s -Werte nach DIN V 18599 berücksichtigt.

Tabelle 7.3: Liste der berücksichtigten Sonnenschutzvorrichtungen nach DIN 4108-2: 2013 Tab. 7

SSID	Scheibenlage	Sonnenschutzvorrichtung
1	ohne	keine
2	Innen/Zwischen	weiß, hochreflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz
3	Innen/Zwischen	helle Farben oder geringe Transparenz
4	Innen/Zwischen	dunkle Farben oder höhere Transparenz
5	außen	Fenster-, Rollläden, 3/4 geschlossen
6	außen	Fenster-, Rollläden, geschlossen
7	außen	Jalousie, Raffstore, drehbare Lamellen, 45° Lamellenstellung
8	außen	Jalousie, Raffstore, drehbare Lamellen, 10° Lamellenstellung
9	außen	Markise parallel zur Verglasung
10	außen	Vordächer, Markisen allgemein, freistehende Lamellen

Tabelle 7.4: Sonnenschutzabminderungsfaktoren F_c nach DIN 4108-2: 2013 Tab. 7

g_{\perp}	$\leq 0,4$	$> 0,4$	$> 0,4$
SSID/Scheibenanzahl	2	3	2
1	1	1	1
2	0.65	0.7	0.65
3	0.75	0.8	0.75
4	0.9	0.9	0.85
5	0.35	0.3	0.3
6	0.15	0.1	0.1
7	0.3	0.25	0.25
8	0.2	0.15	0.15
9	0.3	0.25	0.25
10	0.55	0.5	0.5
11	0.55	0.5	0.5

Tabelle 7.5: Energiedurchlassgrad für den senkrechten Strahlungseinfall von fünf verschiedenen Verglasungsarten nach VDI 2078 B3.1

Verglasungsart	Energiedurchlassgrad der Verglasung g_{\perp} [-]
2-fach Isolierverglasung	0.78
2-fach Wärmeschutzverglasung	0.64
3-fach Wärmeschutzverglasung	0.48
2-fach Sonnenschutzverglasung	0.40
2-fach Sonnenschutzverglasung verspiegelt	0.31

7.4. Sonnenschutzsteuerung

Für die Steuerung des Sonnenschutzes wird eine Unterscheidung in *manuelle* und *automatisierte* Steuerung vorgenommen. Die *manuelle* Regelung wird in der Simulation nach einem Zeitplan geregelt. Für die Wohnnutzung wird angenommen, dass ein innenliegender Sonnenschutz in der Nichtnutzungszeit tagsüber komplett heruntergefahren ist. In der Nutzungszeit wird er nur nachmittags, von 12:00 bis 19:00 Uhr, und nur zur Hälfte heruntergefahren, da davon auszugehen ist, dass die Nutzer*innen Sichtkontakt mit der Umgebung wünschen. Für das *Szenario 07 Soziale Werkstatt* wird eine vollständige Verschattung während der Nutzungszeit

angenommen, da der Strahlungseinfall auf Grund des hohen Fensterflächenanteils in drei Himmelsrichtungen bei der Arbeit störend wirken würde.

Die *automatisierte* Steuerung ist dahingegen nutzungsunabhängig. Dabei werden Behinderungen der Aktivierung des Sonnenschutzes infolge von Regen und Wind vernachlässigt. Sie wird in der Simulation als intensitätsgeregelt modelliert. Bei automatisierter Steuerung werden maximale Strahlungsintensitäten gemäß den Vorgaben der DIN 4108-2, abgedruckt in Tabelle 7.6 angesetzt.

Tabelle 7.6: Grenzbestrahlungsstärken für die automatisierte Sonnenschutzsteuerung; (Quelle: DIN 4108-2:2013 S.31)

Fensterflächenausrichtung	Grenzbestrahlungstärke [W/m ²]	
	Wohngebäude	Nichtwohngebäude
NW, N, NO	200	150
Alle anderen Richtungen	300	200

7.5. Lüftungsannahmen

Zur Berechnung des Tagesverlaufs der Lüftung werden die *Infiltration* des Gebäudes und der hygienisch notwendige *Grundluftwechsel* für die Nutzungszeit bestimmt. Als Maßnahme des SWS kann zusätzlich eine *thermische Tag-* oder *Nachtlüftung* angesetzt werden.

Die *Infiltration* wird entsprechend der thermischen Qualität der Gebäudehülle eingesetzt. Für ein Passivhaus wird eine Luftwechselrate von 0.07 h⁻¹, für einen Neubau 0.24 h⁻¹, für das Gebäude nach WSVO 1995 werden 0.75 h⁻¹ und für den Altbau 1.5 h⁻¹ angesetzt. Die Infiltration stellt die minimale Luftwechselrate dar, und wird während der Nichtnutzungszeit angesetzt.

In der Nutzungszeit wird die *Grundlüftung* angesetzt. Diese entspricht dem Mindestluftwechsel gemäß DIN V 18599-10 und wird für Nichtwohngebäude entsprechend der jeweiligen Nutzungsprofile bestimmt. Die DIN 4108-2 gibt für Wohngebäude die Empfehlung heraus den Mindestluftwechsel von 0.5 h⁻¹ anzusetzen.

Wird eine *Thermische Taglüftung* angesetzt, so wird die Luftwechselrate in der Zeit von 8:00 bis 21:00 Uhr auf die angegebene Luftwechselrate erhöht. In der Simulation wird sie nur dann erhöht, wenn die Raumlufttemperatur ϑ_{Air} größer als 23°C ist und mindestens die gleiche Temperatur wie die Außenluft aufweist. Die *erhöhte Taglüftung* wird nach DIN 4108-2 mit einer Luftwechselrate von 3 h⁻¹ angesetzt werden. Die *erhöhte Taglüftung* stellt eine starke Idealisierung der Realität dar. Bei automatisierter Lüftung oder sehr hohen internen Wärmeeinträgen in Nichtwohngebäuden wird die *erhöhte Taglüftung* jedoch angesetzt. Bei hohen internen Wärmeeinträgen ist die Erhöhung der Taglüftung besonders sinnvoll, weil die Innenraumtemperatur die Außenlufttemperatur tendenziell übersteigt.

Die *Thermische Nachtlüftung* wird in der Zeit von 21:00 bis 8:00 Uhr angesetzt. Die Luftwechselrate wird so lange erhöht, bis die Raumluft Solltemperatur $\vartheta_{Air,Soll}$ erreicht ist. Dabei gilt ebenfalls, dass sie nur aktiv ist, solange die Raumlufttemperatur ϑ_{Air} größer als 18°C ist und mindestens die gleiche Temperatur wie die Außenluft aufweist. Die Nachtlüftung wird gemäß DIN 4108-2 mit einer Luftwechselrate von min. 2 h⁻¹ als *erhöhte Nachtlüftung* und mit einer Luftwechselrate von min. 5 h⁻¹ als *hohe Nachtlüftung* berücksichtigt. Dabei muss sichergestellt werden, dass im Raum die Möglichkeit zur Nachtlüftung besteht, also eine Einbruchs- und Witterungssicherung gegeben ist und Fenster nachts offenstehen können bzw. für den hohen Nachtluftwechsel eine geschossübergreifende Lüftungsmöglichkeit besteht.

7.6. Innere Wärmelasten

Für jedes Basisszenario werden die inneren Wärmelasten durch Personen, Geräte und Beleuchtung bestimmt. In der Parametervariation werden die Gesamtwärmelasten variiert, wodurch die Zuordnung zu den Wärmequellen Personen, Geräte und Beleuchtung verloren geht. Für Wohngebäude wurden in der Parametervariation je drei verschiedene Verteilungen der Wärmelasten über den Tag entwickelt.

Die Inneren Wärmelasten durch Personen ergeben sich aus der Belegung [Pers] und der Personenwärmeabgabe [W/Pers]. Je nach Aktivitätsgrad und Alter variiert diese. Als Quellen für die Schätzwerte dienen die DIN V 18599-10, TGL 35424/04 und VDI 6040. Die genauen Annahmen sind den Datenblättern zu entnehmen.

Die Inneren Wärmelasten durch Geräte wurden der DIN V 18599-10 entnommen. Für die Annahmen zu den Wärmequellen durch Beleuchtung wurde gemäß VDI 2078 die elektrische Bewertungsleistung nach DIN V 18599-6 ermittelt. Da im Sommerfall eine Beleuchtung meist obsolet ist, wurde diese nur für wenige Szenarien angenommen und dann nur für die Nutzungszeit ab 16:00 Uhr angesetzt. Eine Überprüfung der Tageslichtversorgung im Raum wurde nicht vorgenommen.

Die Inneren Wärmelasten in der Wohnnutzung betragen nach DIN V 18599-10 für ein EFH 45 Wh/(m²d) und ein MFH 90 Wh/(m²d). Nach DIN 4108-2 werden 100 Wh/(m²d) angesetzt. Für die Wohnräume werden in Bezug auf die inneren Wärmeeinträge drei Tagesabläufe berücksichtigt. Für Schlafzimmer und Wohnzimmer wurden verschiedene Nutzungszeiträume festgelegt, siehe Tabelle 7.7 und Tabelle 7.8. Die entsprechenden Gesamtsummen der Inneren Wärmeeinträge aus Tabelle 6.5 werden durch die Nutzungsstunden geteilt und auf den Nutzungszeitraum aufgeteilt. Für das Häupl-Verfahren werden nur Tagesmittelwerte angesetzt, weswegen die Gesamtsummen der Inneren Wärmeeinträge immer durch 24 h geteilt werden, das entspricht der Nutzungsart und Dauer. Für die Schlaf-/Jugendzimmer wird bei der Nutzungsart Spitzen zudem eine Gewichtung vorgenommen, da der Aktivitätsgrad beim Schlafen tendenziell geringer ist als am Tag.

Tabelle 7.7: Zeitliche Verteilung der Inneren Wärmelasten für Wohnzimmer

Nutzungsart	Nutzungszeitraum	Nutzungsstunden [h/d]
Dauer	00:00 bis 24:00 Uhr	24
Worklife	7:00 bis 8:00 Uhr 17:00 bis 23:00 Uhr	7
Spitzen	6:00 bis 23:00 Uhr	17

Tabelle 7.8: Zeitliche Verteilung der Inneren Wärmelasten für Schlaf- bzw. Jugendzimmer

Nutzungsart	Nutzungszeitraum	Nutzungsstunden [h/d]
Dauer	00:00 bis 24:00 Uhr	24
Worklife	23:00 bis 7:00 Uhr	8
Spitzen	23:00 bis 8:00 Uhr Faktor 1 15:00 bis 23:00 Uhr Faktor 2	16

Für die Nichtwohnnutzung wurden die Gesamtwärmelasten aus der DIN V 18599-10 der einzelnen Nutzungsprofile entnommen. Daraus wurde der Wertebereich für die Parametervariation bestimmt. Nur im Falle des Szenarios 07 Soziale Werkstatt musste dieser Bereich erweitert werden.

In der Simulation werden Stundenwerte der nutzflächenbezogenen Wärmelasten [W/m^2] eingesetzt. Um nicht für jede Variation eigene Wertebereiche definieren zu müssen, wurde für alle Szenarien außer dem Szenario 07 im Bereich von 0 bis $17 \text{ W}/\text{m}^2$ mit einer Schrittweite von $1 \text{ W}/\text{m}^2$ variiert. Das ergibt Gesamtsummen von 0 bis $408 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$. In der Einzelauswertung der Ergebnisse aus den Anwendungsszenarien werden zur Veranschaulichung, welche Wertebereiche für eine Nutzungsart realistisch sind, Beispiele gegeben. Der Wertebereich, der darüber hinausgeht, charakterisiert das Gebäude allerdings ebenfalls und zeigt, wie es sich bei Umnutzungen oder in Nichtbelegungszeiten verhalten würde.

7.7. Überblick Anwendungsszenarien

Bei der Entwicklung der Anwendungsszenarien wurden darauf geachtet, dass Gebäudetypen und Nutzungen entwickelt werden, die in der Planung häufig auftreten und Standardfälle abdecken.

Tabelle 7.9: Überblick über die Wertevariation in den Anwendungsszenarien

Szenario		Klima	Geometrie				Baukonstruktion		
Nr.	Name	Klima-region	Netto-grund-fläche [m ²]	Lichte Raum-höhe [m]	Position	Geschoss	Dämm-standart	C _{wirk} [Wh/m ² K]	Bauart
1	Wohnung	A	21.2	2.3	eck	ZG	GEG	162	schwer
2	Penthouse	A	49.2	2.7	drei	Penth.	Passivhaus	40	leicht
3	EFH	C	22.5	2.4	eck	DG	GEG	85	mittel
4a	AltUnsaniert	B	25.7	3.4	eck	ZG	keine	210	schwer
4b	AltSaniert	B	20.4	3.4	eck	ZG	MWSch	126	mittel
5	Gymnasium	C	70.0	3.0	eck	DG	GEG	135	schwer
6	KiTa	B	44.9	3.0	eck	EG	KfW 55	53	mittel
7	SozWerk	C	325.0	4.0	drei	DG	WSVO 1995	57	mittel
8	Büro	C	23.3	2.7	eck	DG	GEG	85	mittel
9	Lager	B	2.9	2.2	zentral	DG	GEG	59	mittel
10	Flur	C	18.1	3.0	zentral	DG	GEG	357	schwer

Szenario		Fenster				Verschattung
Nr.	Name	f _{wg} [-]	Fenster-orientierung	Fenster-neigung	Sonnenschutz-steuerung	Verschattung
1	Wohnung	0.29	S, W	90°	manuell	seitlich
2	Penthouse	0.58	O, S, W	90°	auto_int	seitlich
3	EFH	0.10	O	47°	-	-
4a	AltUnsaniert	0.32	O, S	90°	manuell	-
4b	AltSaniert	0.40	O, S	90°	manuell	seitl./Auskrag.
5	Gymnasium	0.23	S	90°	auto_int	-
6	KiTa	0.31	O	90°	auto_int	-
7	SozWerk	0.52	NO, SO, SW	90°	manuell	-
8	Büro	0.35	S, W	90°	auto_int	-
9	Lager	0.38	O	70°	auto_int	-
10	Flur	0.18	SW	90°	auto_int	-

Tabelle 7.9: Fortsetzung des Überblicks über die Wertevariation in den Anwendungsszenarien

Szenario		Lüftung		Innere Lasten	
Nr.	Name	Thermische Luftwechsel- rate Tag [1h-1]	Thermische Luftwechsel- rate Nacht [1h-1]	Max. Personen- belegung [Pers]	Interne Wärme- lasten [Wh/m²d]
1	Wohnung	-	2	3	89
2	Penthouse	3	2	3	41
3	EFH	-	2	1	86
4a	AltUnsan	-	-	3	79
4b	AltSan	-	2	3	101
5	Gymnasium	-	5	29	386
6	KiTa	5	-	20	312
7	SozWerk		8	33	444
8	Buro	3	2	3	130
9	Lager	-	-	0	0
10	Flur	-	-	0	0

8 Verfahrens-anwendung auf die Szenarien

Um zu überprüfen, ob sich die Verfahren für alle Gebäudetypen und Nutzungen eignen, werden die Anwendungsszenarien nach den ausgewählten Verfahren berechnet und simuliert. Die Verfahrens-anwendung beinhaltet also die Berechnung und Einzelauswertung der Anwendungsszenarien in Abschnitt 8.1. Daraufaufgehend wird in Abschnitt 8.1 ausgewertet, ob es einen Zusammenhang zwischen den Fehleinschätzungen eines Verfahrens gibt. In Abschnitt 8.2 werden die daraus resultierenden Grenzen und Möglichkeiten der Verfahren diskutiert. Die Verfahren werden in diesem Kapitel mit den Abkürzungen DIN für das SEK-Verfahren nach DIN 4108-2, Häupl für das Verfahren nach Häupl, SIA I für das Verfahren I nach SIA 180 und Sim für die Thermische Raumsimulation bezeichnet.

8.1. Berechnungen und Einzelauswertung

Im Folgenden werden die Anwendungsszenarien und Berechnungsergebnisse für die zehn Szenarien dargestellt. Dabei werden für jedes Anwendungsszenario zuerst die Eingabedaten für die Berechnungen dargestellt. Diese enthalten Angaben zu Geometrie und Klima, Baukonstruktion, Fenstern, Nutzung inkl. der Annahmen zu Inneren Wärmelasten, Belegungszeiten und angenommenen Luftwechselraten. Im Grundriss des Raumes sind jeweils die Raumtiefen in Richtung der Normale auf die Fassaden mit Fenstern sowie die Nettogrundfläche bzw. die eventuell abweichende effektive Nettogrundfläche nach DIN 4108-2 angegeben. Die Außenbauteilflächen sind sowohl mit Außenmaßbezug als auch mit Innenmaßbezug angegeben. Für die Innenbauteile werden nur zweitäre, also die lichten Bauteilflächen angegeben.

Auf die Datenblätter folgt die Darstellung der Ergebnisse für das Basisszenario. Um einen Eindruck von der Temperaturentwicklung im Raum zu geben, wird der simulierte Temperaturverlauf für die Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur dargestellt. Es fällt auf, dass es sich bei den Wochen mit den maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperaturen unabhängig von der Klimaregion immer entweder um KW 29 oder KW 34 handelt. In der folgenden Abbildung werden für die entsprechende KW zur Beschreibung der physikalischen Vorgänge im Raum die Wärmebilanzanteile Solarstrahlung, Transmission, Nacht- und Taglüftung und Innere Wärmelasten aufgeführt. Diese werden als wochengemittelte nutzflächenbezogenen Wärmeströme pro Stunde nebeneinander gestellt. Daraufaufgehend wird die Zulässigkeitsbewertung durch die verschiedenen Verfahren verglichen. Zusätzlich wurden die aus der Simulation resultierenden Jahresdatensätze der operativen Raumtemperatur nach den in Kapitel 6.1 erläuterten Bewertungskenngrößen ausgewertet.

Die Ergebnisse der Parametervariation umfassen die Variation 1 und 2. Dabei stellt das erste Diagramm dar, welcher F_c -Wert notwendig wäre, damit das Basisszenario nach einem Verfahren als zulässig beurteilt werden würde. Das zweite Diagramm

stellt dar, welche minimale Nachtluftwechselrate notwendig wäre, damit das Basisszenario nach einem Verfahren als zulässig beurteilt würde. Für das Verfahren I nach SIA 180 müssen jedoch beide Kriterien erfüllt werden, damit der Raum als zulässig gelten würde. Ist eine Optimierung der Sonnenschutzmaßnahme bzw. Nachtluftwechselrate bzw. beider Werte nicht ausreichend, um den Nachweis nach einem Verfahren zu erfüllen, wird entsprechend kein Graph für das Verfahren abgebildet. Auf der y-Achse ist jeweils noch die unabhängige Variable Energiedurchlassgrad g_{\perp} für die Variation 1 und die Inneren Gesamtwärmelasten für die Variation 2 dargestellt. In der Auswertung werden die Besonderheiten des Basisszenarios sowie die Ergebnisse als Einzelfall erläutert.

Wohnung MFH				Szenario 01: Wohnung				
Geometrie & Klima							Position	Eckraum ZG
							Standort	Rostock
							Klimaregion	A
							Verschattung	ja
							A_{net} [m ²]	21.2
							V_{Air} [m ³]	48.8
							h_{licht} [m]	2.3
							$h_{Geschoss}$ [m]	2.7
							$h_{Abhängung}$ [m]	0.2
Baukonstruktion	Bauteil	Orient.	Konstruktion	$A_{bc}/A_{bc,licht}$ [m ²]		C_{wirk}/C_B [Wh/m ² K]	162 / 216	
	AW	S	43 Stb. + WDVS	11.7 / 8.7		Bauart	schwer	
	AW	W	43 Stb. + WDVS	8.5 / 7.8				
	DE	-	Stb. + Abhäng.	21.2				
	DE	-	Stb. +ZE	21.2		Dämmniveau	GEG	
	IW	N, O	20 Stb.	21.6		Passive Kühlung	nein	
	IW	W	12.5 TB	6.9				
Fenster	Fenster	Orient.	A_{win} [m ²]	g_{senk} [-]	F_c [-]	f_{wf} [-]	f_{wg} [-]	0.29
	WIN1	S	3.1	0.64	0.75	0.26	f_R [-]	0.20
	WIN2	W	3.0	0.64	0.75	0.35		
								SS-Steuerung
Nutzung	Nutzung						Wohnen (Arbeitsalltag, WE)	
	Nutzungszeitraum						Mo. - Fr. 7:00, 17:00 bis 23:00 Uhr Sa. - So. 08:00 bis 23:00 Uhr	
	Personenbelegung x Wärmeabgabe pro Person						Max. 3 x 70 W/Pers	
	Interne Wärmeeinträge durch Geräte						Max. 6 W/m ²	
	Interne Wärmeeinträge durch Beleuchtung						-	
Lüftung								n [1/h]
							Infiltration	0.24
							Grundlüftung	0.50
							Therm. Taglüftung	-
							Therm. Nachtlüftung	2.00

Ergebnis Basisszenario

Abbildung 8.1:
Darstellung der
Temperaturverläufe in
der Woche mit der
maximalen
wochengemittelten
operativen
Raumtemperatur

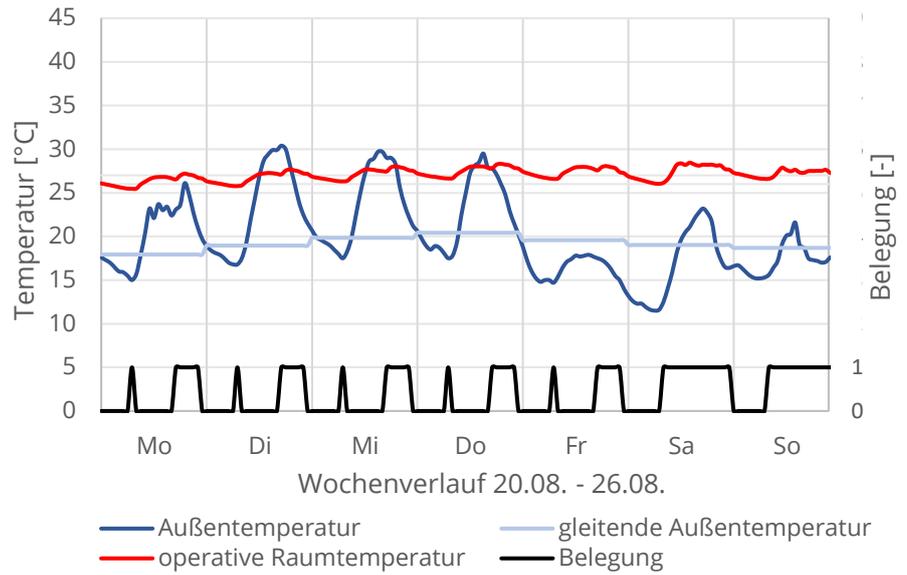


Abbildung 8.2:
Wärmebilanzanteile
des Basisszenarios
(Wochenmittel als
Stundenwert)

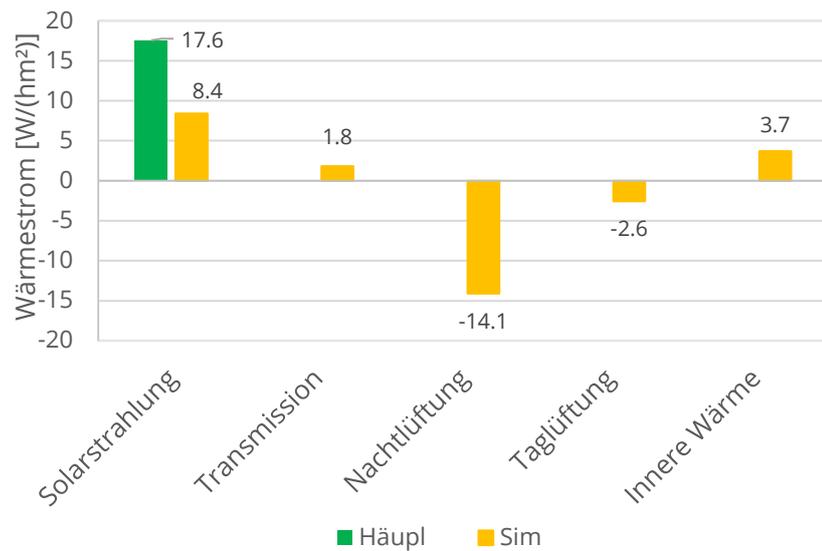


Tabelle 8.1:
Zulässigkeits-
bewertung des
Basisszenarios und
Simulationsergebnisse

	DIN	Häupl	SIA I	Sim, all	Sim, occ	Sim, unocc
Zulässigkeit	-	-	-	-		
Max. operative Raumtemperatur [°C]					28.2	27.8
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]				1828	941	887
Überschreitungshäufigkeit 25°C				1533	729	804
Überschreitungshäufigkeit 26°C				888	428	460
Überschreitungshäufigkeit 27°C				257	180	77

Ergebnis Parametervariation

Abbildung 8.3:
Notwendige F_c -Werte
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren
Energiedurchlassgraden
der Verglasung

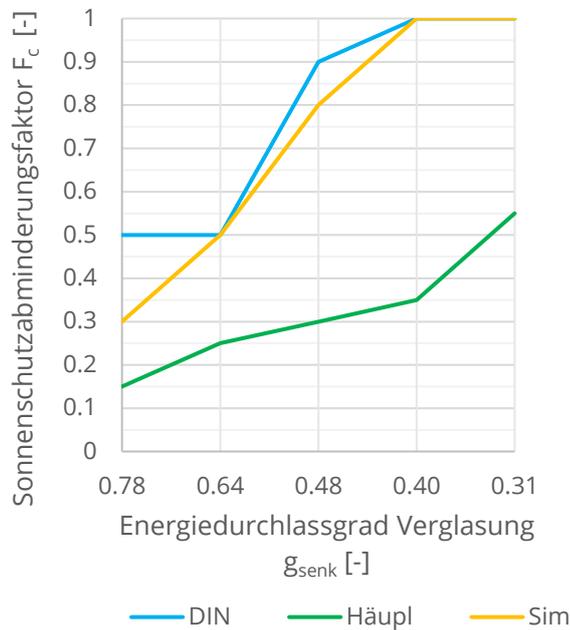
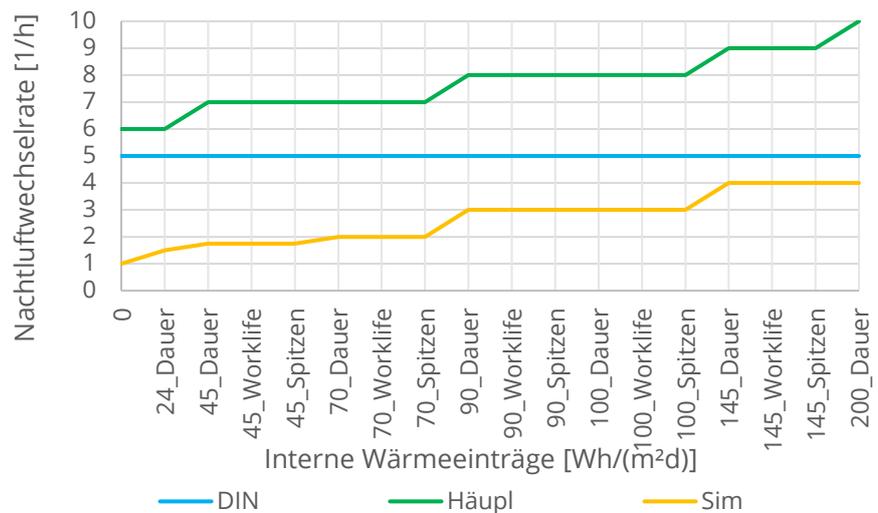


Abbildung 8.4:
Notwendige
Nachtluftwechselrate
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren Internen
Wärmeeinträgen



Auswertung

Für den Wohnraum mit einem grundflächenbezogenen Fensteranteil von ca. 30% und süd- und westorientierten Fenstern mit innenliegendem Sonnenschutz sowie erhöhter Nachtlüftung kann in keinem Verfahren der Nachweis erfüllt werden.

Das Häupl-Verfahren stellt wesentlich höhere Anforderungen an den notwendigen Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} als die Simulation und das DIN-Verfahren. Die notwendigen Nachtluftwechselraten überschätzt es um eine Differenz von 5h^{-1} zur Simulation. Das DIN-Verfahren ist bei Inneren Wärmelasten von $100\text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ ausgelegt worden, es überschätzt im Verhältnis zur Simulation die notwendige Nachtluftwechselrate allerdings, sodass es auch bei doppelt so hohen auftretenden Inneren Wärmelasten noch auf der sicheren Seite liegt.

Penthouse Wohnung MFH				Szenario 02: Penthouse				
Geometrie & Klima							Position	Eckraum DG
							Standort	Hof
							Klimaregion	A
							Verschattung	ja
							A_{net} [m²]	49.2
							A_{net,eff^*} [m²]	46.3
							V_{Air} [m³]	132.8
							h_{licht} [m]	2.7
							$h_{Geschoss}$ [m]	3.1
							Baukonstruktion	Bauteil
AW	O	39.5 Holzständer	11.7 / 8.6	Bauart	leicht			
AW	S	39.5 Holzständer	13.0 / 9.2					
AW	S	39.5 Holzständer	16.1 / 13.0					
AW	W	39.5 Holzständer	4.9 / 4.3	Dämmniveau	Passivhaus			
AW	W	39.5 Holzständer	19.2 / 15.4					
DA	-	38 Holzsparren	59.0/49.2/ 55.6*	Passive Kühlung	nein			
DE	-	36 Holzbalken	49.2 / 46.3*					
IW	N,O	19 Holzständer	24.1 / 18.3*					
IW	alle	12.5 TB	51.6 / 40.8*					
Fenster	Fenster	Orient.	A_{win} [m²]	g_{senk} [-]	F_c [-]	f_{wf}	f_{wg} [-]	0.58
	WIN1	O	4.8	0.48	0.25	0.41	f_R [-]	0.30
	WIN2	S	7.1	0.48	0.25	0.55		
	WIN3	S	10.1	0.48	0.25	0.63	SS-Steuerung	auto_int
	WIN4	W	6.3	0.48	0.25	0.33		
Nutzung	Nutzung	Wohnen (Arbeitsalltag, WE)						
	Nutzungszeitraum	Mo. - Fr. 7:00,17:00 bis 23:00 Uhr Sa. - So. 08:00 bis 23:00 Uhr						
	Personenbelegung x Wärmeabgabe pro Person	Max. 3 x 70 W/Pers						
	Interne Wärmeeinträge durch Geräte	Max. 3 W/m²						
	Interne Wärmeeinträge durch Beleuchtung	-						
Lüftung							n [1/h]	
	Infiltration						0.07	
	Grundlüftung						0.50	
	Therm. Taglüftung						3.00	
	Therm. Nachtlüftung						2.00	

Ergebnis Basisszenario

Abbildung 8.5:
Darstellung der
Temperaturverläufe
in der Woche mit der
maximalen
wochengemittelten
operativen
Raumtemperatur

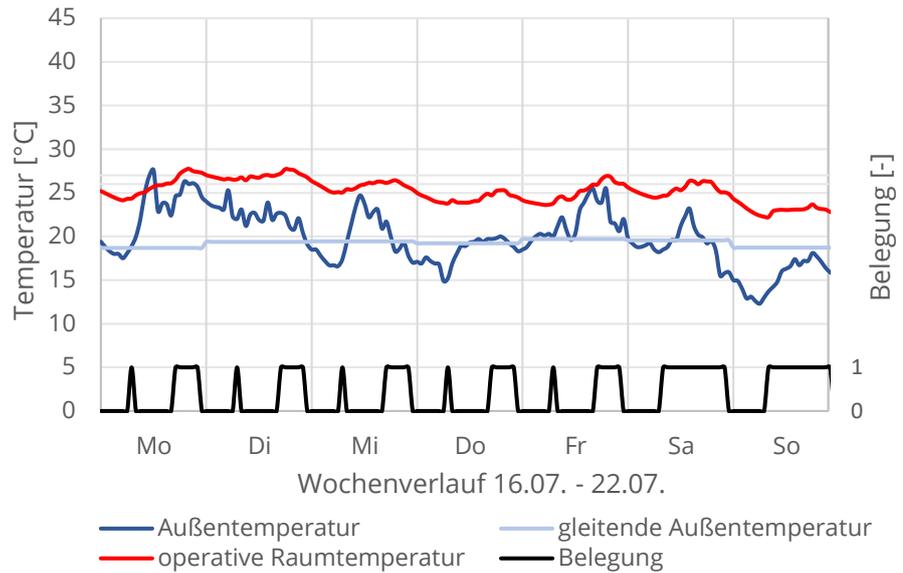


Abbildung 8.6:
Wärmebilanzanteile
des Basisszenarios
(Wochenmittel als
Stundenwert)

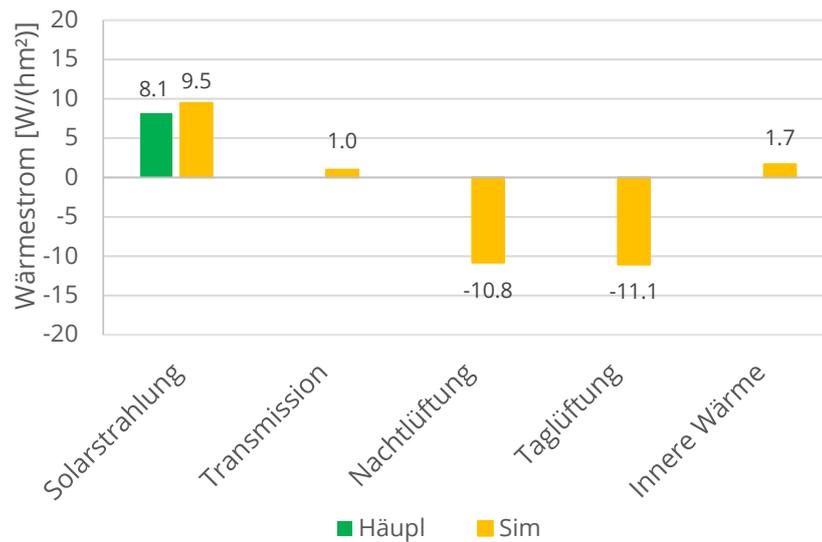


Tabelle 8.2:
Zulässigkeits-
bewertung des
Basisszenarios und
Simulations-
ergebnisse

	DIN	Häupl	SIA I	Sim, all	Sim, occ	Sim, unocc
Zulässigkeit	-	-	n.a.	zulässig		
Max. operative Raumtemperatur [°C]					28.7	27.9
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]				274	159	115
Überschreitungshäufigkeit 25°C				242	125	117
Überschreitungshäufigkeit 26°C				123	71	52
Überschreitungshäufigkeit 27°C				45	32	13

Ergebnis Parametervariation

Abbildung 8.7:
Notwendige F_c -Werte
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren
Energiedurchlassgraden
der Verglasung

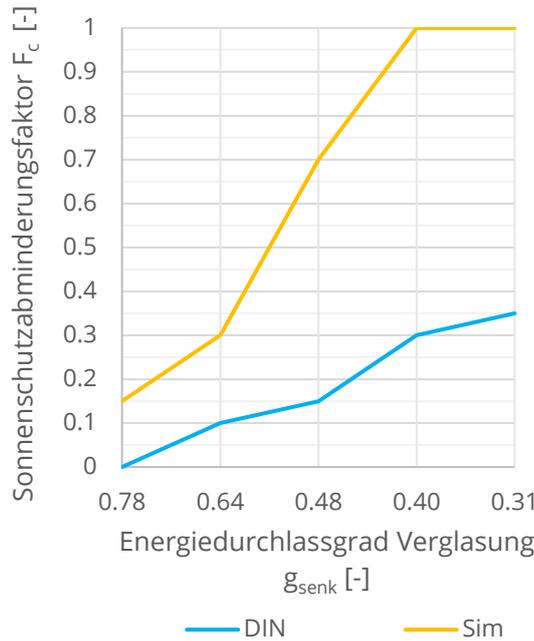
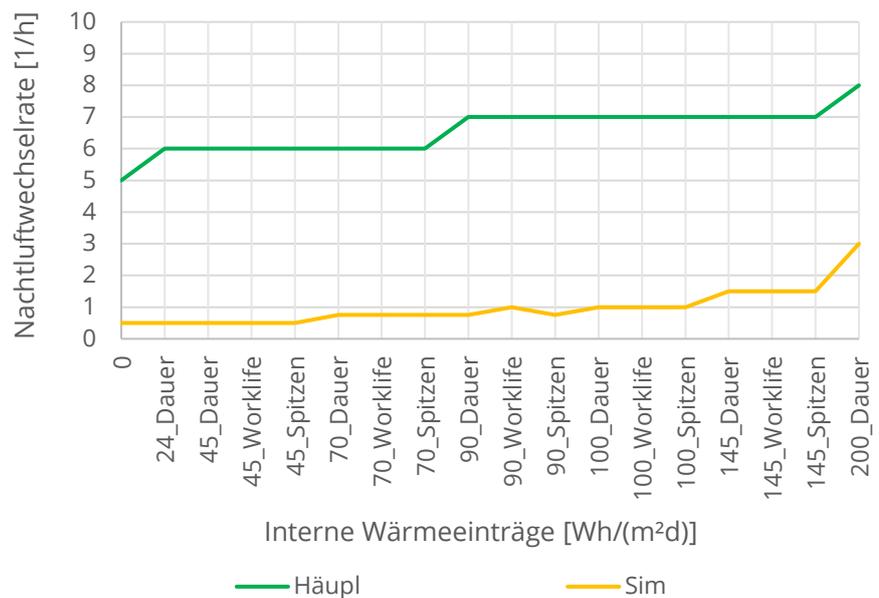


Abbildung 8.8:
Notwendige
Nachtluftwechselrate
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren Internen
Wärmeeinträgen



Auswertung

Dieses Basisszenario zeigt einen Penthouse-Grundriss mit sehr hohem Fensterflächenanteil. Es handelt sich um ein Passivhaus und ist mit Automatisierungs- und Regelungstechnik für die Verschattungs- und Lüftungsregelung ausgerüstet. Die Abminderung auf die effektive Nettogrundfläche, die im DIN-Verfahren vorgenommen wird, zeigt keine nennenswerte Auswirkung auf die Wärmekapazität des Raumes. Die Nutzungsannahmen zwischen diesem und Szenario 01 sind identisch. Da die Grundfläche des Wohnraumes allerdings mehr als doppelt so groß ist, sind die inneren grundflächenbezogenen Wärmelasten um 2 W/(hm²) geringer.

Dieser Raum wird nach dem DIN- und Häupl-Verfahren als unzulässig, von der Simulation dahingegen als zulässig bewertet. Die SIA I ist für Räume mit *niedriger* Wärmekapazität nicht anwendbar.

Das DIN-Verfahren liegt deutlich auf der sicheren Seite bzw. stellt höhere Anforderungen an den Gesamtenergiedurchlassgrad der Fenster als die Simulation. Mit erhöhter Nachtlüftung und einem F_c -Wert von 0.15 wäre der Nachweis für den Raum erfüllt. Nach dem Häupl-Verfahren ist das Gebäude mit *erhöhter Nachtlüftung* selbst mit dem effektivsten Sonnenschutz nicht zulässig.

Dahingegen geht der Nachweis nach dem DIN-Verfahren bei dem g_{senk} von 0.48 und dem F_c -Wert von 0.25 auch mit *hoher Nachtlüftung* mit einer Nachtluftwechselrate von 5 h^{-1} nicht auf. Das Häupl-Verfahren bestätigt, dass eine Nachtluftwechselrate von 7 h^{-1} erreicht werden muss, wenn die Inneren Wärmelasten von $100 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ nach DIN angenommen werden. Unabhängig von den Annahmen zu den Inneren Wärmelasten, ist nach der Simulation eine um ca. 6 h^{-1} geringere Nachtluftwechselrate als im Häupl-Verfahren notwendig, um den Nachweis zu erfüllen.

Einfamilienhaus (Jugendzimmer)					Szenario 03: EFH			
Geometrie & Klima					Position	Eckraum DG		
					Standort	Mannheim		
					Klimaregion	C		
					Verschattung	nein		
					A_{net} [m ²]	22.5		
					V_{Air} [m ³]	54.0		
					h_{licht} [m]	2.4		
Baukonstruktion	Bauteil	Orient.	Konstruktion	$A_{bc}/A_{bc,licht}$ [m ²]	C_{wirk}/C_B [Wh/m ² K]	85 / 150		
	DA	O	28 Holzsparren	21.0 / 19.0				
	DA	S	28 Holzsparren	19.1 / 17.1				
	AW	O	43 Stb. + WDVS	3.9 / 4.5		Bauart mittel		
	AW	S	43 Stb. + WDVS	4.0 / 4.0		Dämmniveau GEG		
	DE	oben	24 Holz zu DB	11.0		Passive Kühlung nein		
	DE	unten	Stb. +ZE	22.5				
	IW	N	12.5 TB	15.0				
Fenster	Fenster	Orient.	A_{win} [m ²]	g_{senk} [-]	F_c [-]	f_{wf} [-]	f_{wg} [-]	0.10
	WIN1	O	2.2	0.64	1	0.1	f_R [-]	0.30
							SS-Steuerung	-
Nutzung	Nutzung				Wohngebäude (Intensivnutzung)			
	Nutzungszeitraum				Mo. - Fr. 15:00 bis 7:00 Uhr Sa. - So. 00:00 bis 24:00 Uhr			
	Personenbelegung x Wärmeabgabe pro Person				1 Pers x 70 W/Pers			
	Interne Wärmeeinträge durch Geräte				Max. 3 W/m ²			
	Interne Wärmeeinträge durch Beleuchtung				-			
Lüftung						n [1/h]		
					Infiltration	0.24		
					Grundlüftung	0.50		
					Therm. Taglüftung	-		
					Therm. Nachtlüftung	2.00		

Ergebnis Basisszenario

Abbildung 8.9:
Darstellung der
Temperaturverläufe
in der Woche mit
der maximalen
wochengemittelten
operativen
Raumtemperatur

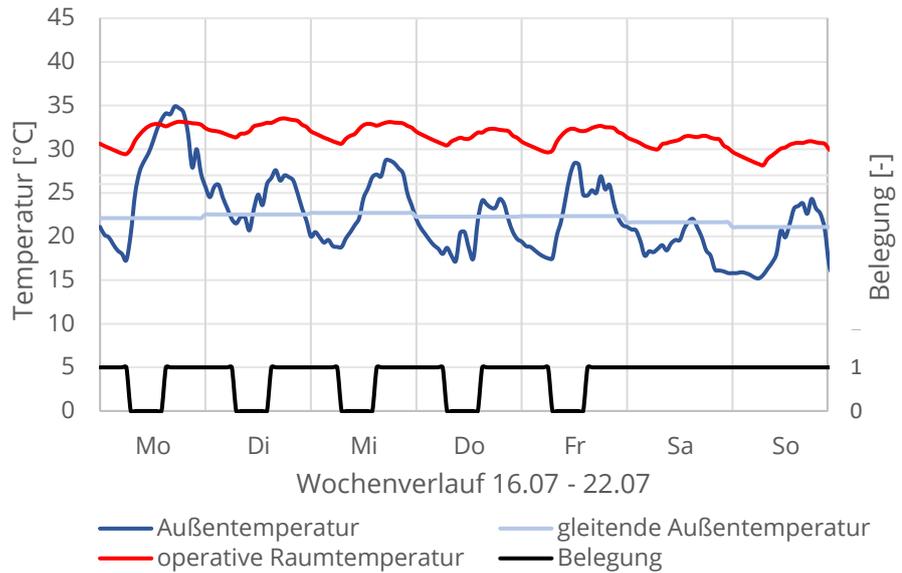


Abbildung 8.10:
Wärmebilanzanteile
des Basisszenarios
(Wochenmittel als
Stundenwert)

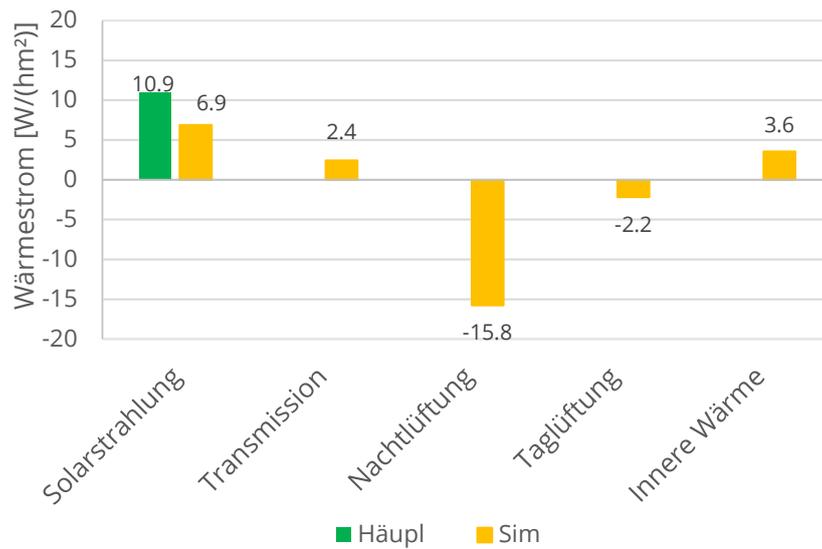


Tabelle 8.3:
Zulässigkeits-
bewertung des
Basisszenarios und
Simulations-
ergebnisse

	DIN	Häupl	SIA I	Sim, all	Sim, occ	Sim, unocc
Zulässigkeit	zulässig	-	-	-		
Max. operative Raumtemperatur [°C]					33.5	33.0
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]				4647	3519	1128
Überschreitungshäufigkeit 25°C				2589	1973	616
Überschreitungshäufigkeit 26°C				2148	1626	522
Überschreitungshäufigkeit 27°C				1724	1321	403

Ergebnis Parametervariation

Abbildung 8.11:
Notwendige
Fc-Werte zum
Bestehen des
Nachweises bei
variieren
Energiedurchlass-
graden der
Verglasung

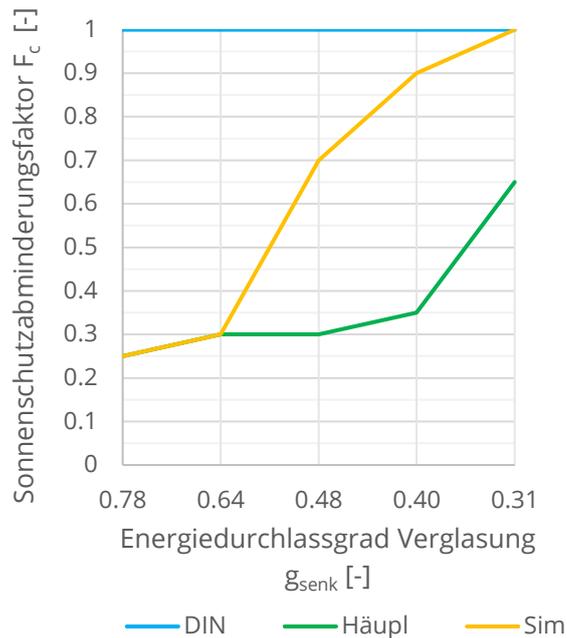
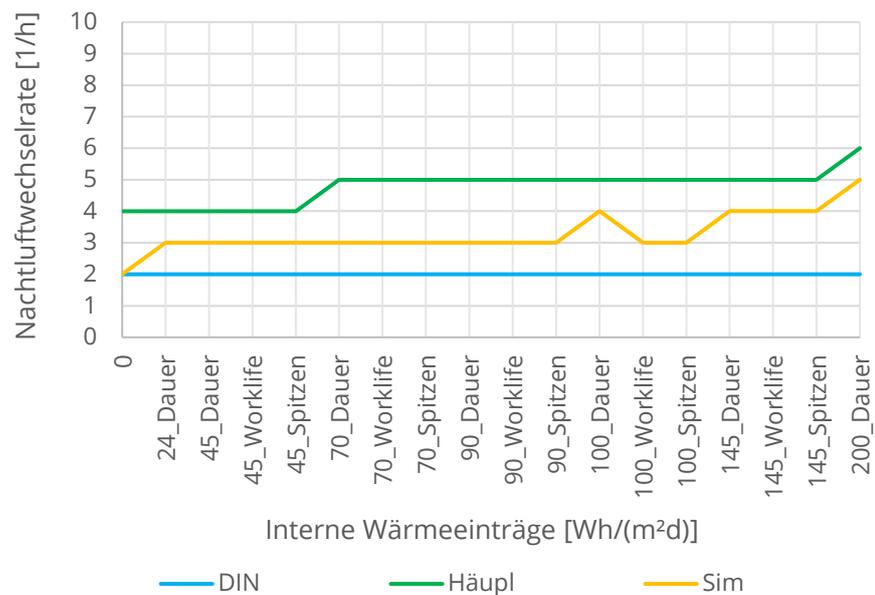


Abbildung 8.12:
Notwendige
Nachtluftwechsel-
rate zum Bestehen
des Nachweises bei
variieren Internen
Wärmeeinträge



Auswertung

Dieses Szenario zeichnet sich durch das um 45° geneigte Dachfenster und die intensive Raumnutzung aus, da es, wie ein Jugendzimmer, zum Schlafen und Wohnen genutzt. Der Raum wird nur von der DIN als zulässig bewertet, die anderen Verfahren erkennen das Überhitzungspotenzial. Das Verfahren nach SIA ist u.a. nicht zulässig, weil der grundflächenbezogene Dachanteil mit 10 % oberhalb der zulässigen 5 % liegt.

Nach dem DIN Verfahren ist bei erhöhter Nachtlüftung und Wärmeschutzverglasung mit einem g_{senk} von 0.64 keine Sonnenschutzmaßnahme für das Fenster notwendig.

Die Simulationsergebnisse dahingegen zeigen eindeutig ein starkes Überhitzungspotenzial des Raumes an. Die operative Raumtemperatur liegt fast die gesamte Woche oberhalb von 30°C, die maximale operative Raumtemperatur liegt bei 33.5°C.

Nach der Simulation und Häupl wäre ein Sonnenschutz mit dem F_c -Wert von 0.3 notwendig. Bei Verglasungen mit geringeren Energiedurchlassgraden liegt das Häupl-Verfahren im Verhältnis zur Simulation auf der sicheren Seite. Ohne Sonnenschutz müsste eine Nachtluftwechselrate von 5 h⁻¹ nach dem Häupl-Verfahren und von 3 h⁻¹ gemäß Simulation umgesetzt werden.

Altbau unsaniert (MFH)		Szenario 04a: Altbau unsaniert							
Geometrie & Klima			Position	Eckraum ZG					
			Standort	Hamburg					
			Klimaregion	B					
			Verschattung	nein					
					A _{net} [m ²]	25.7			
					V _{Air} [m ³]	87.4			
					h _{licht} [m]	3.4			
					h _{Geschoss} [m]	3.7			
Baukonstruktion	Bauteil	Orient.	Konstruktion	A _{bc} /A _{bc,licht} [m ²]	C _{wirk} /C _B [Wh/m ² K]	210 / 352			
	AW	O	38 Alt Ziegel	20.1 / 17.3					
	AW	S	38 Alt Ziegel	20.1 / 17.3	Bauart	schwer			
	DE	-	Stb. +ZE	25.7					
	DE	-	Stb. +ZE	25.7	Dämmniveau	ohne			
	IW	W	38 Alt Ziegel	17.3					
	IW	N	38 Alt Ziegel	17.3	Passive Kühlung	nein			
Fenster	Fenster	Orient.	A _{win} [m ²]	g _{senk} [-]	F _c [-]	f _{wf} [-]	f _{wg} [-]	0.29	
	WIN1	O	3.8	0.87	0.3	0.19			
	WIN2	S	4.4	0.87	1	0.22	f _R [-]	0.30	
									SS-Steuerung
Nutzung	Nutzung				Wohnen (Arbeitsalltag, WE)				
	Nutzungszeitraum				Mo. - Fr. 7:00, 17:00 bis 23:00 Uhr Sa. - So. 08:00 bis 23:00 Uhr				
	Personenbelegung x Wärmeabgabe pro Person				Max. 3 x 70 W/Pers				
	Interne Wärmeinträge durch Geräte				Max. 6 W/m ²				
	Interne Wärmeinträge durch Beleuchtung				-				
Lüftung							n [1/h]		
							Infiltration		1.5
							Grundlüftung		0.5
							Therm. Taglüftung		-
							Therm. Nachtlüftung		-

Ergebnis Basisszenario

Abbildung 8.13: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur

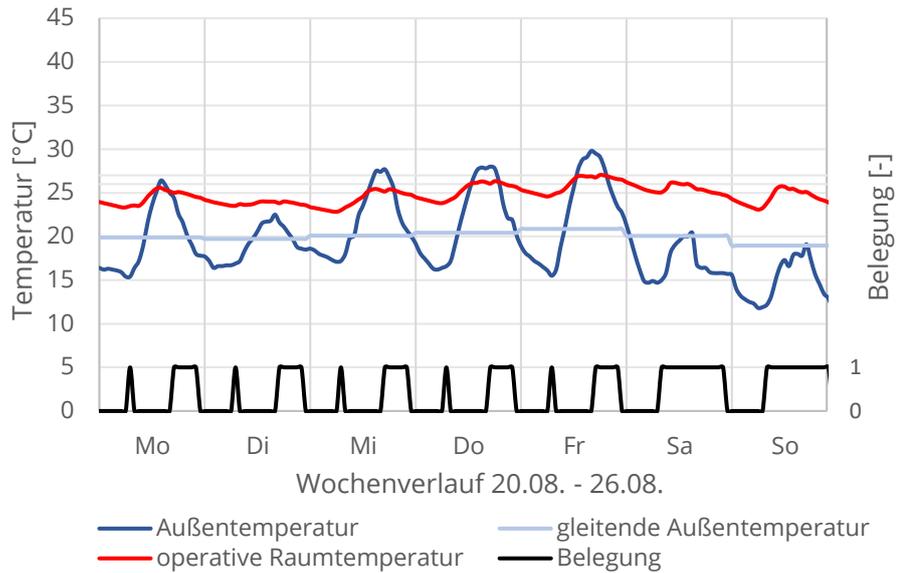


Abbildung 8.14: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert)

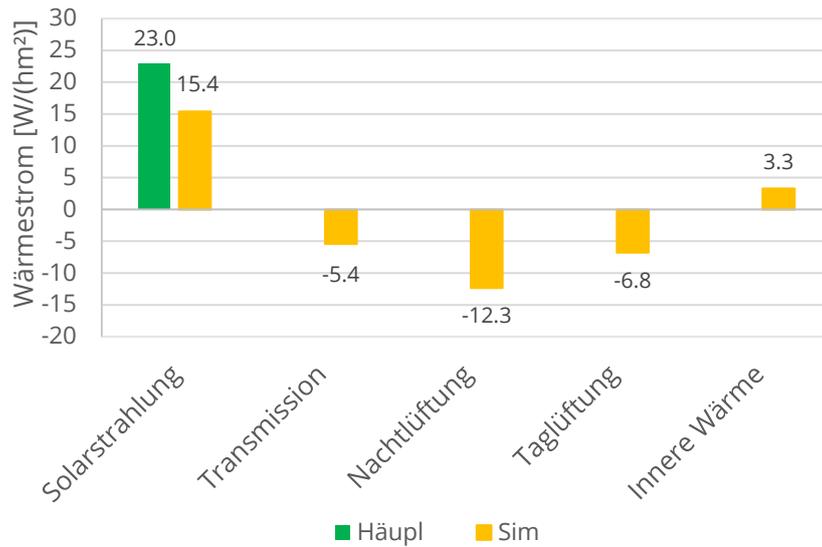


Tabelle 8.4: Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse

	DIN	Häupl	SIA I	Sim, all	Sim, occ	Sim, unocc
Zulässigkeit	-	-	-	zulässig		
Max. operative Raumtemperatur [°C]					29.4	29.2
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]				351	192	159
Überschreitungshäufigkeit 25°C				725	366	359
Überschreitungshäufigkeit 26°C				344	186	158
Überschreitungshäufigkeit 27°C				139	83	56

Ergebnis Parametervariation

Abbildung 8.15:
Notwendige F_c -Werte
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren
Energiedurchlass-
graden der
Verglasung

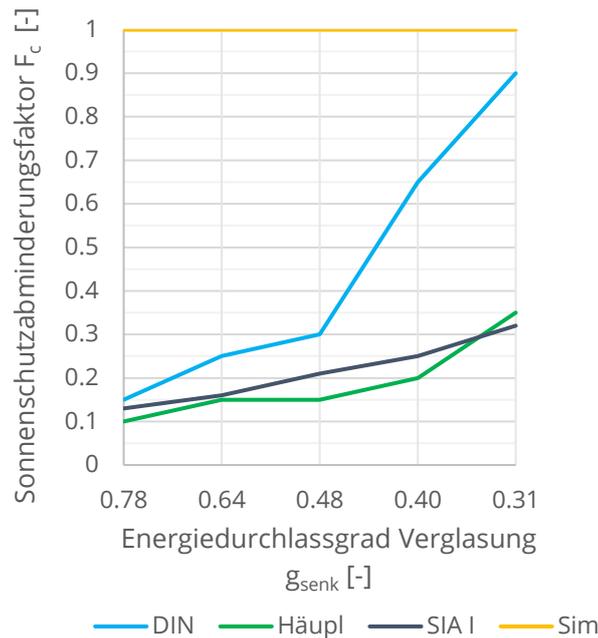
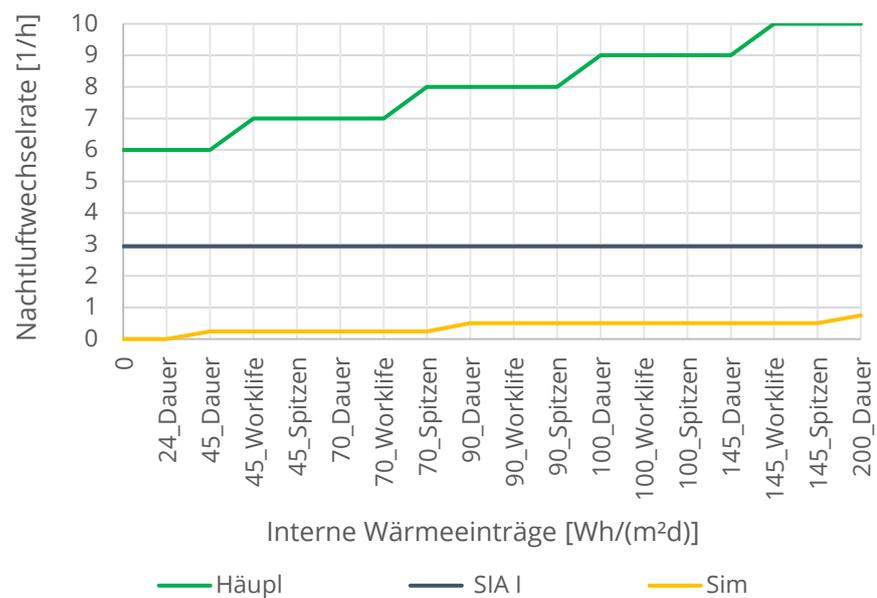


Abbildung 8.16:
Notwendige
Nachtluftwechselrate
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren Internen
Wärmeeinträge



Auswertung

Es sei vorangestellt, dass es unwahrscheinlich ist, dass für diesen Altbau jemals ein Nachweis des SWS geführt wird. Er wird jedoch zum Vergleich mit dem Sanierungsszenario betrachtet. Die Nutzung entspricht der Wohnraumnutzung aus Szenario 01 und 02. Die vereinfachten Verfahren erklären den Raum alle für unzulässig.

Nach der Simulation dahingegen weist der Raum nur 351 Kh/a über 26°C auf. Die operative Raumtemperatur überschreitet in der wärmsten Woche nur an zwei Tagen

die 26°C Grenze. Die Simulation zeigt auch, dass der Raum sich wenig sensitiv gegenüber einer Zunahme der inneren Wärmelasten verhält.

Die Aufstellung der Wärmeströme zeigt, dass der Altbau, vor allem im Vergleich zu den anderen Gebäuden, einen wesentlich höheren Transmissionsanteil aufweist. Die Transmission stellt eine Wärmesenke dar. Zudem ergeben sich auch ohne Einsatz einer Thermischen Lüftung große Wärmesenken infolge von Tag- und Nachtlüftung. Dies liegt an dem hohen Infiltrationsluftwechsel von 1.5 h^{-1} infolge von Undichtigkeiten.

Das Basisszenario mit einem g_{senk} von 0.87 ist in der Parametervariation 1 nicht enthalten. Es zeigt sich, dass gemäß Simulation kein Sonnenschutz notwendig ist. Das DIN-Verfahren liegt bzgl. des notwendigen F_c -Wertes auf der sicheren Seite. Nach dem Häupl-Verfahren würde der F_c -Wert überdimensioniert werden.

Die notwendige Nachtluftwechselrate für das Basisszenario liegt nach dem Häupl-Verfahren bei 6 h^{-1} gemäß Simulation bleibt sie unterhalb von 1 h^{-1} .

Altbau saniert (MFH)				Szenario 04b: Altbau saniert					
Geometrie & Klima							Position	Eckraum ZG	
							Standort	Hamburg	
							Klimaregion	B	
							Verschattung	ja	
							A _{net} [m ²]	20.4	
							V _{Air} [m ³]	69.4	
							h _{licht} [m]	3.4	
							h _{Geschoss} [m]	3.7	
Baukonstruktion	Bauteil	Orient.	Konstruktion	A _{bc} /A _{bc,licht} [m ²]	C _{wirk} /C _B [Wh/m ² K]	126/275			
	AW	O	44 Alt Ziegel WID	18.2 / 15.0	Bauart	mittel			
	AW	S	44 Alt Ziegel WID	6.8 / 4.8					
	IW	S	44 Alt Ziegel WID	14.0 / 12.2	Dämmniveau	MWSch			
	DE	-	Stb. +ZE	20.4					
	DE	-	Stb. +ZE	20.4	Passive Kühlung	nein			
	IW	W	38 Alt Ziegel	10.9					
IW	N	12.5 TB	20.7						
Fenster	Fenster	Orient.	A _{win} [m ²]	g _{senk} [-]	F _c [-]	f _{wf} [-]	f _{wg} [-]	0.40	
	WIN1	O	3.8	0.64	0.3	0.19	f _r [-]	0.30	
	WIN2	S	4.4	0.64	1	0.22			
								SS-Steuerung	manuell
Nutzung	Nutzung				Wohnen (Arbeitsalltag, WE)				
	Nutzungszeitraum				Mo. - Fr. 7:00, 17:00 bis 23:00 Uhr Sa. - So. 08:00 bis 23:00 Uhr				
	Personenbelegung x Wärmeabgabe pro Person				Max. 3 Pers x 70 W/Pers				
	Interne Wärmeinträge durch Geräte				Max. 6 W/m ²				
	Interne Wärmeinträge durch Beleuchtung				-				
Lüftung								n [1/h]	
								Infiltration	0.24
								Grundlüftung	0.50
								Therm. Taglüftung	-
								Therm. Nachtlüftung	2.00

Ergebnis Basisszenario

Abbildung 8.17: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur

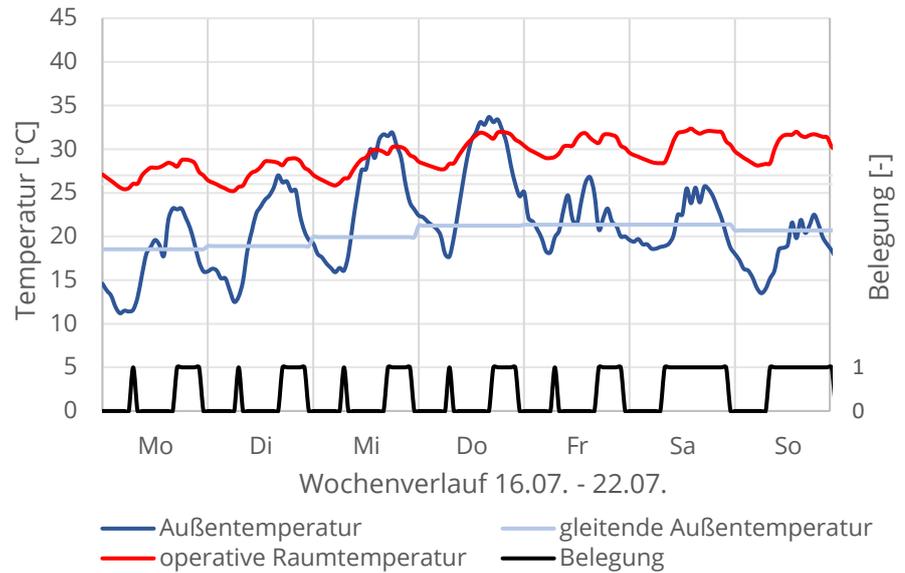


Abbildung 8.18: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert)

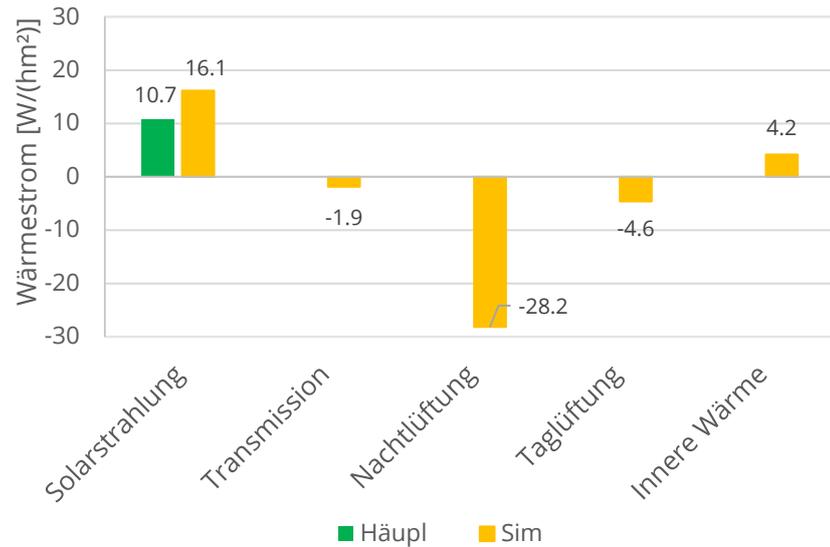


Tabelle 8.5: Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse

	DIN	Häupl	SIA I	Sim, all	Sim, occ	Sim, unocc
Zulässigkeit	-	-	-	-		
Max. operative Raumtemperatur [°C]					32.4	31.9
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]				3096	1836	1260
Überschreitungshäufigkeit 25°C				2274	1089	1185
Überschreitungshäufigkeit 26°C				1639	852	787
Überschreitungshäufigkeit 27°C				1121	628	493

Ergebnis Parametervariation

Abbildung 8.19:
Notwendige F_c -Werte
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren
Energiedurchlassgraden
der Verglasung

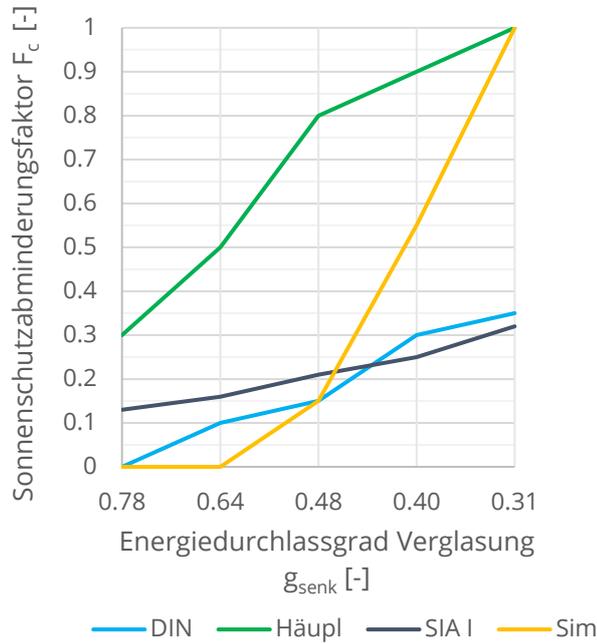
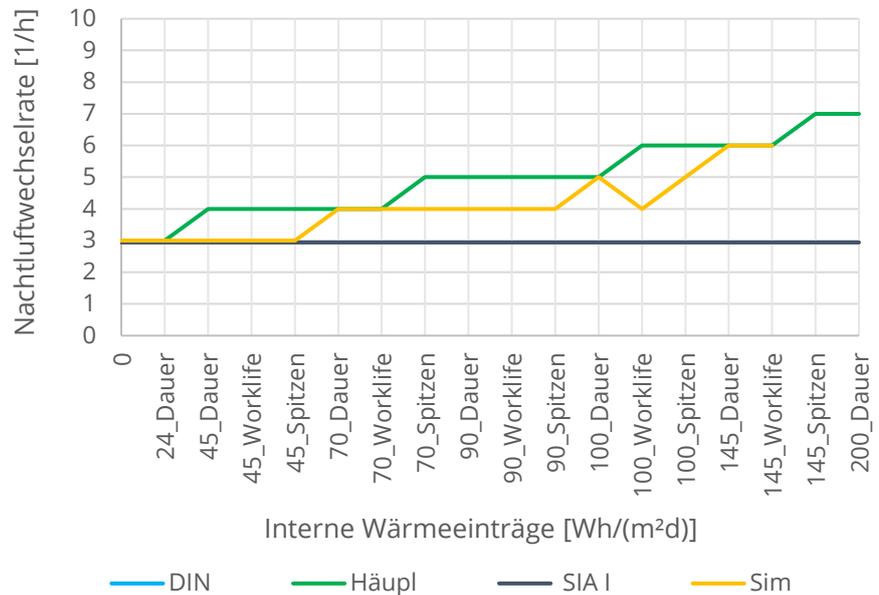


Abbildung 8.20:
Notwendige
Nachtluftwechselrate
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren Internen
Wärmeeinträge



Auswertung

Das Sanierungsszenario enthält folgende Veränderungen im Vergleich zum unsanierten Altbau aus dem Szenario 04a:

- Verringerung von g_{senk} auf 0.64
- Verringerung der Wärmekapazität des Raumes und der U-Werte der Außenbauteile durch 6 cm Innendämmung
- Verschattung durch den angebauten Wintergarten

- IW an angrenzende thermische Zone (Wintergarten)
- Verringerung des Infiltrationsluftwechsels auf 0.24 h^{-1}
- Verringerung der Wärmekapazität des Raumes und der Nettogrundfläche des Raumes durch Einbau der IW TB

Der sanierte Altbau ist für die Wohnnutzung nach keinem Nachweisverfahren zulässig. Die Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur verschiebt sich in die KW 29. Die max. operative Temperatur im Raum steigt um 3°C auf 32.4°C . Die Übertemperaturgradstunden mit der Bezugstemperatur von 25°C liegen bei 3069 Kh/a , also bei ca. dem 10-fachen des unsanierten Zustands. Die Sanierung hat erhebliche Auswirkungen auf die Bilanzanteile und das Überhitzungsrisiko des Raumes.

Die grundflächenbezogenen solaren Strahlungslasten nach dem Häupl-Verfahren liegen auf einmal unterhalb der Simulationsannahmen. Insgesamt sinken die solaren Lasten aufgrund der Verschattung durch den Wintergarten und den geringeren Energiedurchlassgrad der Verglasung. Beim Vergleich der Bilanzanteile, die die Simulation für die beiden Szenarien ergeben hat, muss berücksichtigt werden, dass in der KW 29 andere Klimarandbedingungen gelten, als in der KW 34. Zudem werden die Bilanzanteile generell vom Betrag her aufgrund der geringeren Nettogrundfläche des Raumes geringfügig größer im Vergleich zum Szenario 04a.

Die Abnahme der Transmissionswärmesenken geht u.a. auf die Erhöhung des Dämmstandards zurück. Die Verschiebung der Lüftungswärmesenken geht auch auf die Veränderung der Luftwechselraten zurück. Infolge der Verringerung der Infiltration muss am Tag der Grundluftwechsel angesetzt werden. Als Maßnahme zum SWS wurde für die Nacht die Thermische Luftwechselrate von 2 h^{-1} angesetzt. Bei einer Erklärung des Anstiegs der Wärmesenken infolge Nachtlüftung auf den Betrag von $28 \text{ W}/(\text{hm}^2)$ muss ebenfalls in Erwägung gezogen werden, dass die Differenz zwischen der Raumluft- und Außenlufttemperatur aufgrund der höheren Überhitzung größer und die Nachtlüftung somit effektiver wird.

Gemäß Simulation ist der Basisfall mit dem g_{senk} von 0.64 auch mit dem effektivsten Sonnenschutz nicht möglich. Das DIN-Verfahren und das Häupl-Verfahren liegen auf der unsicheren Seite, da der Nachweis nach Häupl mit dem F_c -Wert von 0.5 und nach dem DIN-Verfahren mit dem F_c -Wert von 0.1 zu erfüllen wäre. Der F_c -Wert von 0.1 wird allerdings nur bei geschlossenen Fenster- und Rollläden erreicht. Die Dimensionierung des notwendigen Nachtluftwechsels bei variierenden Inneren Wärmelasten unterscheidet sich zwischen dem Häupl-Verfahren und der Simulation nur sehr gering.

Gymnasium/Schule Jhg. 5-13				Szenario 05: Gymnasium					
Geometrie & Klima							Position	Eckraum DG	
							Standort	Dresden	
							Klimaregion	C	
							Verschattung	nein	
							A _{net} [m ²]		70.0
							V _{Air} [m ³]		210
							h _{licht} [m]		3.0
							h _{Geschoss} [m]		3.5
Baukonstruktion	Bauteil	Orient.	Konstruktion	A _{bc} /A _{bc,licht} [m ²]		C _{wirk} /C _B [Wh/m ² K]	135 / 250		
	AW	S	43 Stb. + WDVS	36.9 / 30.0		Bauart	schwer		
	AW	W	43 Stb. + WDVS	26.4 / 21.0					
	DA	-	Stb. Flachdach	79.5 / 70.0		Dämmniveau	GEG		
	DE	-	Stb. +ZE	70.0					
	IW	N	20 Stb.	30.0		Passive Kühlung	nein		
	IW	O	20 Stb.	21.0					
AW	S	43 Stb. + WDVS	36.9 / 30.0						
Fenster	Fenster	Orient.	A _{win} [m ²]	g _{senk} [-]	F _c [-]	f _{wf} [-]	f _{wg} [-]	0.23	
	WIN1	S	16.2	0.75	0.25	0.44	f _R [-]	0.30	
							SS-Steuerung	manuell	
Nutzung	Nutzung [Profilnr. nach DIN V 18599]				Nichtwohngebäude [8]				
	Nutzungszeitraum				Mo. - Fr. 8:00 bis 16:40 Uhr				
	Personenbelegung x Wärmeabgabe pro Person				29 Pers x 91 W/Pers				
	Interne Wärmeeinträge durch Geräte				Max. 6 W/m ²				
	Interne Wärmeeinträge durch Beleuchtung				-				
Lüftung							n [1/h]		
							Infiltration		0.24
							Grundlüftung		3.30
							Therm. Taglüftung		-
							Therm. Nachtlüftung		5.00

Ergebnis Basisszenario

Abbildung 8.21:
Darstellung der
Temperaturverläufe
in der Woche mit
der maximalen
wochengemittelten
operativen
Raumtemperatur

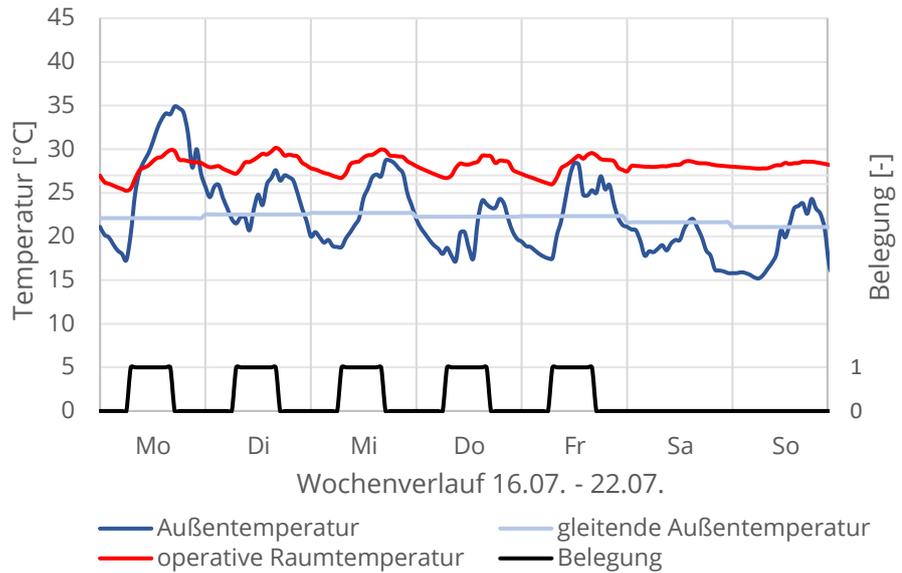


Abbildung 8.22:
Wärmebilanzanteile
des Basisszenarios
(Wochenmittel als
Stundenwert)

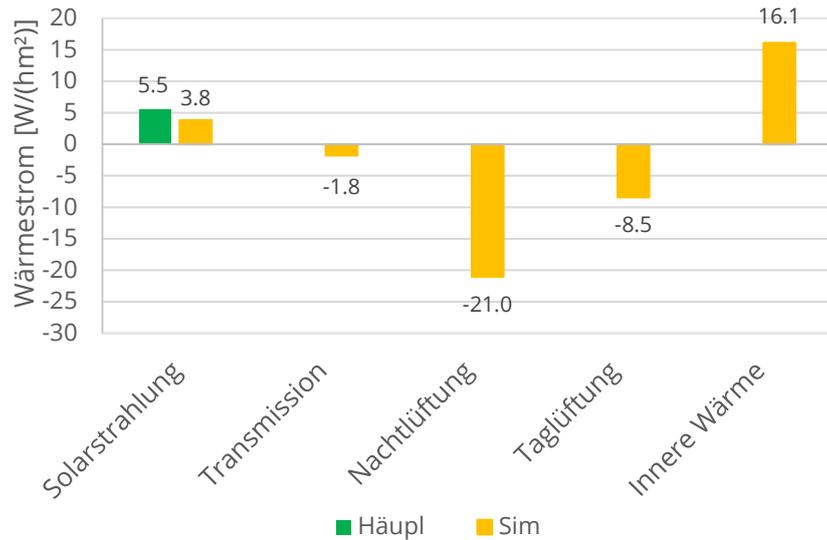


Tabelle 8.6:
Zulässigkeits-
bewertung des
Basisszenarios und
Simulations-
ergebnisse

	DIN	Häupl	SIA I	Sim, all	Sim, occ	Sim, unocc
Zulässigkeit	zulässig	zulässig	-	-		
Max. operative Raumtemperatur [°C]					30.2	29.9
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]				689	274	415
Überschreitungshäufigkeit 25°C				1802	598	1204
Überschreitungshäufigkeit 26°C				1058	390	668
Überschreitungshäufigkeit 27°C				642	231	411

Ergebnis Parametervariation

Abbildung 8.23:
Notwendige F_c -Werte
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren
Energiedurchlassgrad
en der Verglasung

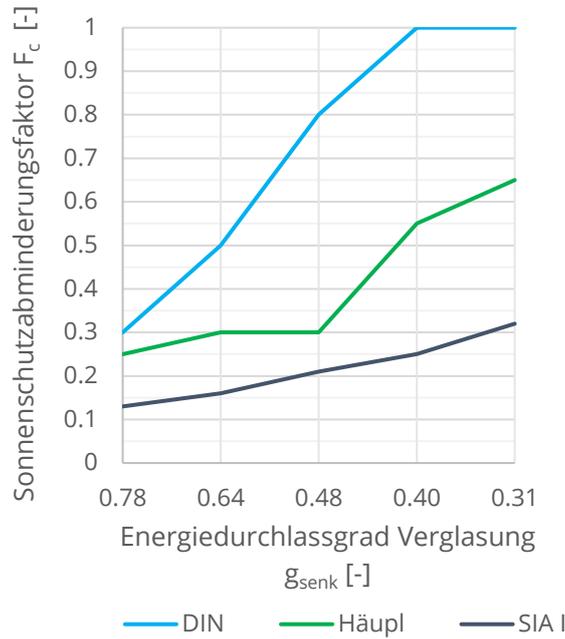
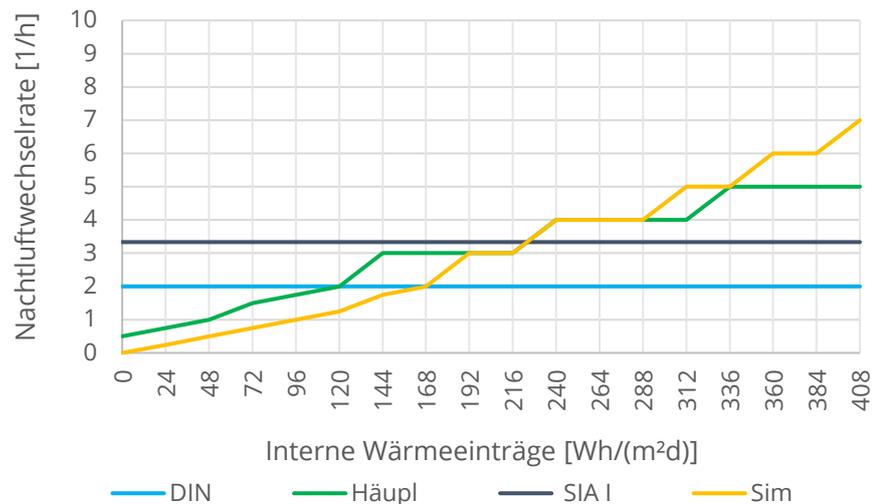


Abbildung 8.24:
Notwendige
Nachtluftwechselrate
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren Internen
Wärmeeinträge



Auswertung

Der Klassenraum einer Schule der Jahrgangsstufe 5-13 ist mit einer *hohen Nachtlüftung* und automatisiertem außenliegendem Sonnenschutz ausgestattet, da die grundflächenbezogenen Inneren Wärmelasten und der hygienische Grundluftwechsel infolge der hohen Belegungsdichte sehr hoch sind. Der Nachweis für den Raum ist nach Häupl und DIN erfüllt, gemäß Simulation und SIA I geht er nicht auf.

Das DIN-Verfahren unterschätzt den notwendigen F_c -Wert und die notwendige Nachtluftwechselrate stark. Der DIN-Nachweis wäre schon mit einem F_c -Wert von 0.3 und einer *erhöhten Nachtlüftung* erfüllt. Das liegt daran, dass das Verfahren auf Innere Wärmelasten von 144 Wh/(m²d) ausgerichtet ist und im Basisszenario realistischere Annahmen von 384 Wh/(m²d) angesetzt wurden.

Der Nachweis nach dem Häupl-Verfahren geht bei 0.25 für den F_c -Wert und Annahme einer *hohen Nachlüftung* auf. Gemäß Simulation ist mindestens eine Nachluftwechselrate von 6 h^{-1} notwendig. Der Anstieg der notwendigen Nachluftwechselraten in Abhängigkeit von den Inneren Wärmelasten verläuft nach dem Häupl-Verfahren und der Simulation ähnlich.

KiTa Gruppenraum						Szenario 06: KiTa			
Geometrie & Klima	<p>KiTa Gruppe 44.9 m²</p>					Position	Eckraum EG		
						Standort	Potsdam		
						Klimaregion	B		
						Verschattung	nein		
						A _{net} [m ²]		44.9	
						V _{Air} [m ³]		134.7	
						h _{licht} [m]		3.0	
						h _{Geschoss} [m]		3.7	
						h _{Abhängung} [m]		0.4	
						Baukonstruktion	Bauteil	Orient.	Konstruktion
AW	O	44.5 WD-Ziegel	24.4 / 17.7		Bauart		mittel		
AW	S	44.5 WD-Ziegel	27.3 / 21.6						
FB	-	Stb. + XPS	53.0 / 44.9		Dämmniveau		KfW 55		
DE	-	Stb. + Abhäng.	44.9		Passive Kühlung		nein		
IW	S, N	25 WD-Ziegel	30.0						
IW	W	12.5 TB	11.7						
Fenster	Fenster	Orient.	A _{win} [m ²]	g _{senk} [-]	F _c [-]	f _{wf} [-]	f _{wg} [-]	0.31	
	WIN1	O	13.9	0.48	0.25	0.57	f _R [-]	0.20	
								SS-Steuerung	auto_int
Nutzung	Nutzung [Profilnr. nach DIN V 18599]					Nichtwohngedäude [8]			
	Nutzungszeitraum					Mo. - Fr. 6:00 bis 18:00 Uhr			
	Personenbelegung x Wärmeabgabe pro Person					Max. 20 Pers x 61 W/Pers			
	Interne Wärmeeinträge durch Geräte					Max. 3 W/m ²			
	Interne Wärmeeinträge durch Beleuchtung					Max. 3 W/m ²			
Lüftung								n [1/h]	
						Infiltration		0.24	
						Grundlüftung		3.30	
						Therm. Taglüftung		5.00	
						Therm. Nachtlüftung		-	

Ergebnis Basisszenario

Abbildung 8.25:
Darstellung der
Temperaturverläufe
in der Woche mit
der maximalen
wochengemittelten
operativen
Raumtemperatur

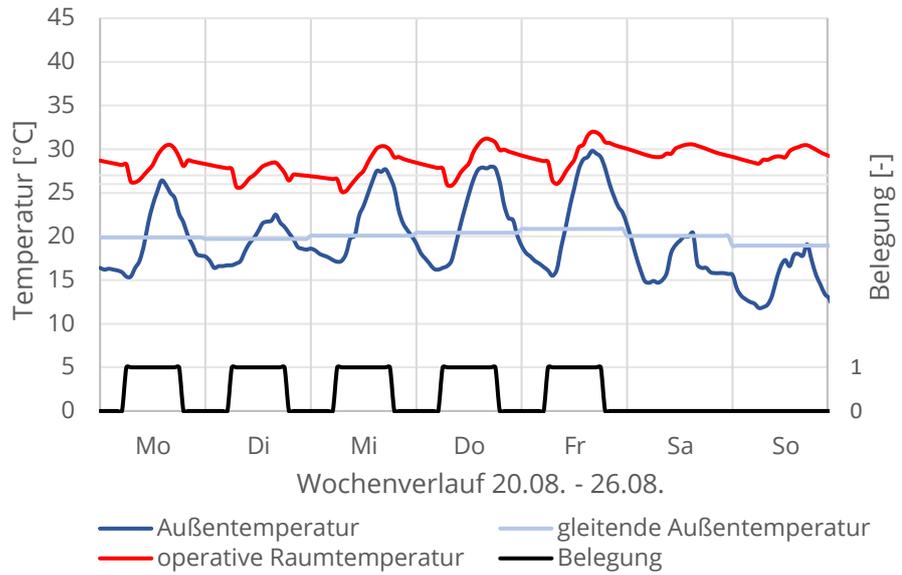


Abbildung 8.26:
Wärmebilanzanteile
des Basisszenarios
(Wochenmittel als
Stundenwert)

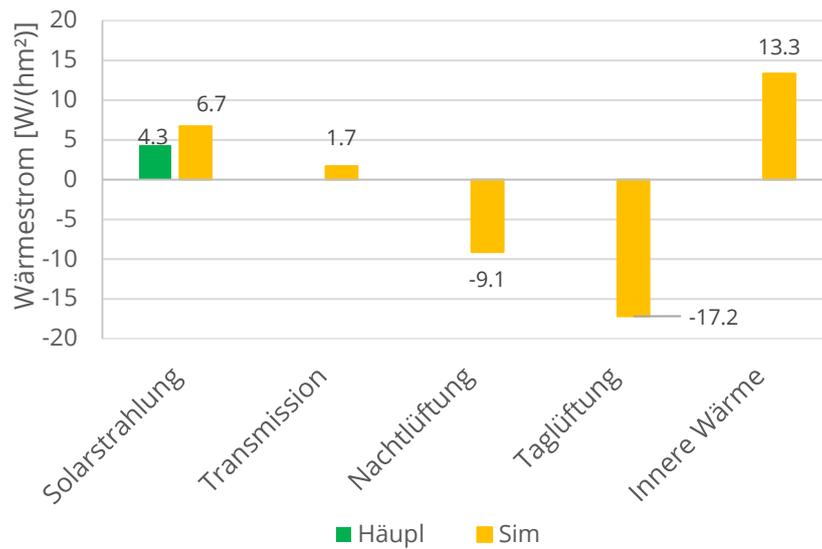


Tabelle 8.7:
Zulässigkeits-
bewertung des
Basisszenarios und
Simulations-
ergebnisse

	DIN	Häupl	SIA I	Sim, all	Sim, occ	Sim, unocc
Zulässigkeit	-	-	-	-		
Max. operative Raumtemperatur [°C]					35.3	34.2
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]				3346	1147	2199
Überschreitungshäufigkeit 25°C				1808	668	1140
Überschreitungshäufigkeit 26°C				1385	496	889
Überschreitungshäufigkeit 27°C				1079	364	715

Ergebnis Parametervariation

Abbildung 8.27:
Notwendige F_c -Werte
zum Bestehen des
Nachweises bei
variiertem
Energiedurchlassgrad
der Verglasung

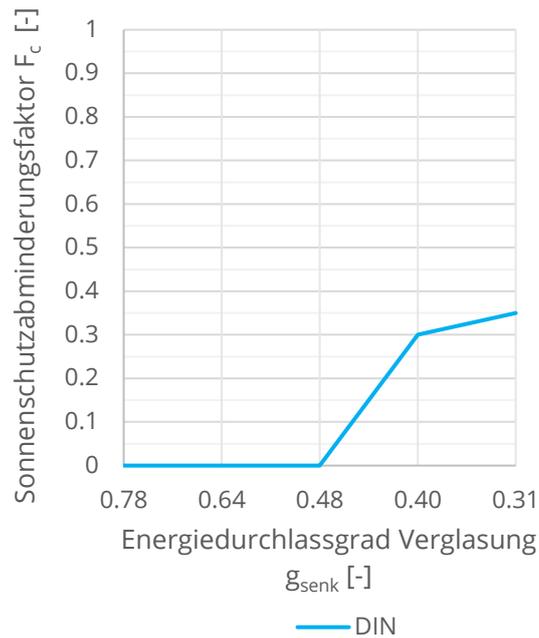
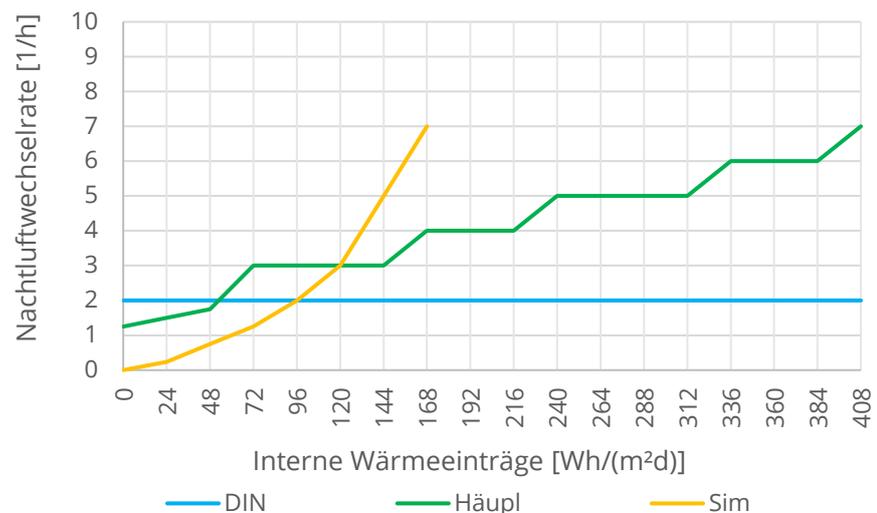


Abbildung 8.28:
Notwendige
Nachtluftwechselrate
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren Internen
Wärmeeinträgen



Auswertung

Der Nachweis des KiTa Gruppenraums im EG geht trotz automatisiertem Sonnenschutz mit F_c von 0.25 und *erhöhter Taglüftung* nach keinem Verfahren auf. Die max. operative Temperatur steigt in der KW 34 auf 35.3°C.

Die Bauteile aus wärmedämmten Hochlochziegeln und die Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung sind auf den Winterlichen Wärmeschutz ausgerichtet. Die Wärmekapazität des Raumes wird nach dem DIN- und dem Häupl-Verfahren sehr unterschiedlich eingeschätzt. Die Bewertung der Bauart nach DIN liegt am unteren Grenzwert der Bauart mittel.

Mit dem im Basisszenario angenommenem F_c -Wert von 0.25 und dem g_{senk} von 0.48 ist gemäß Simulation und dem Häupl-Verfahren eine Thermische Nachtlüftung

unerlässlich. Nach dem DIN-Verfahren wäre der Nachweis mit einem g_{tot} von 0.12 erfüllt. Dieser könnte durch eine Sonnenschutzfolie erreicht werden.

Je nach Alter der Kinder variieren die anzunehmenden Inneren Wärmelasten. Für Kinder unter 3 Jahren, mit einer Wärmeabgabe von 25 W/Pers liegen sie bei 163 Wh/(m²d), bei Kindern von 3 bis 6 Jahren mit einer Wärmeabgabe von 40 W/Pers bei 229 Wh/(m²d). Die altersspezifischen Angaben für die Wärmeabgabe von Kindern sind der TGL 35424/04 entnommen. Für Grundschulkindern nach VDI 6040 ist mit einer Wärmeabgabe von 61 W/Pers also 319 Wh/(m²d) zu rechnen. Für alle diese Annahmen ist gemäß Simulation eine nächtliche Luftwechselrate von über 10 h⁻¹ notwendig. Nach dem DIN-Verfahren liegt die notwendige Nachtluftwechselrate bei 2 h⁻¹, nach dem Häupl-Verfahren dagegen liegt die notwendige Nachtluftwechselrate für den Bereich zwischen 3 und 7 h⁻¹.

Soziale Werkstatt						Szenario 07: Soziale Werkstatt		
Geometrie & Klima						Position	Eckraum DG	
						Standort	Dresden	
						Klimaregion	C	
						Verschattung	nein	
						A_{net} [m ²]	327.5	
						A_{net,eff^*} [m ²]	123.5	
						V_{Air} [m ³]	1310.0	
						h_{licht} [m]	4.0	
						$h_{Geschoss}$ [m]	4.2	
						Baukonstruktion	Bauteil	Orient.
AW1	NO	Naturbims	136.9 / 127.2		Bauart		mittel	
AW1	SO	Naturbims	47.9 / 41.2					
AW1	SW	Naturbims	136.9 / 127.2					
AW1	NW	Naturbims	22.8 / 20.2		Dämmniveau		WschVO 1995	
DA		Metalldach	371.6 / 327.5					
DE		Stb. + Estrich	327.5		Passive Kühlung		nein	
IW	NW	Naturbims	20.9					
Fenster	Fenster	Orient.	A_{win} [m ²]	g_{senk} [-]	F_c [-]	f_{wf} [-]	f_{wg} [-]	0.58
	WIN1	NO	23.1	0.31	0.9	0.16	f_r [-]	0.30
	WIN2	SO	38.8	0.64	0.25	0.80		
	WIN3	SW	108.4	0.64	0.25	0.76		
								SS-Steuerung
Nutzung	Nutzung [Profilnr. nach DIN V 18599]					Nichtwohngebäude [22.3]		
	Nutzungszeitraum					Mo. - Fr. 7:00 bis 15:00 Uhr		
	Personenbelegung x Wärmeabgabe pro Person					Max. 33 Pers x 85 W/Pers		
	Interne Wärmeeinträge durch Geräte					Max. 35 W/m ²		
	Interne Wärmeeinträge durch Beleuchtung					Max. 12 W/m ²		
Lüftung							n [1/h]	
							Infiltration	0.75
							Grundlüftung	2.20
							Therm. Taglüftung	-
							Therm. Nachtlüftung	8.00

Ergebnis Basisszenario

Abbildung 8.29: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur

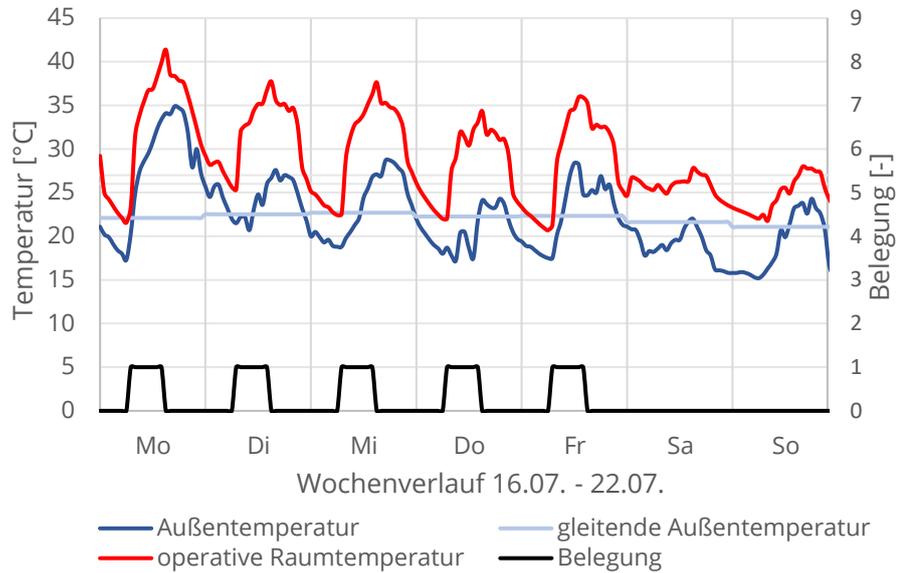


Abbildung 8.30: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert)

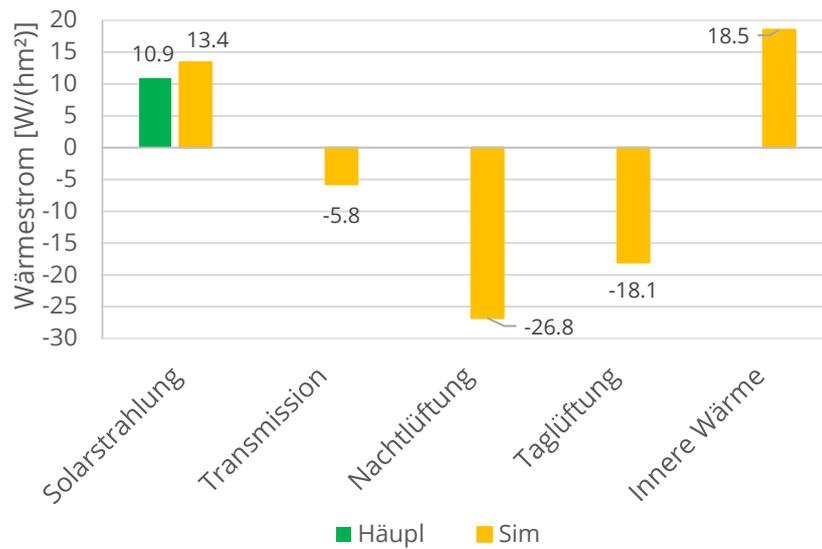


Tabelle 8.8: Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse

	DIN	Häupl	SIA I	Sim, all	Sim, occ	Sim, unocc
Zulässigkeit	-	zulässig	-	-		
Max. operative Raumtemperatur [°C]					39.9	41.4
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]				4118	1766	2352
Überschreitungshäufigkeit 25°C				1677	658	1019
Überschreitungshäufigkeit 26°C				1394	574	820
Überschreitungshäufigkeit 27°C				1165	487	678

Ergebnis Parametervariation

Abbildung 8.31:
Notwendige F_c -Werte
zum Bestehen des
Nachweises bei
variiertem
Energiedurchlassgrad
der Verglasung

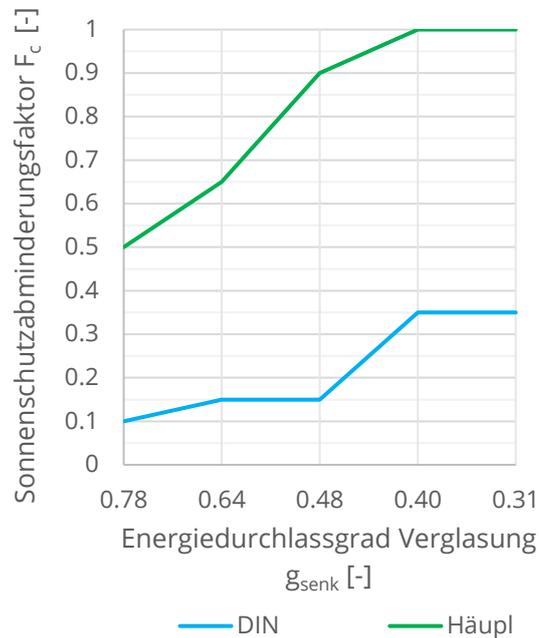
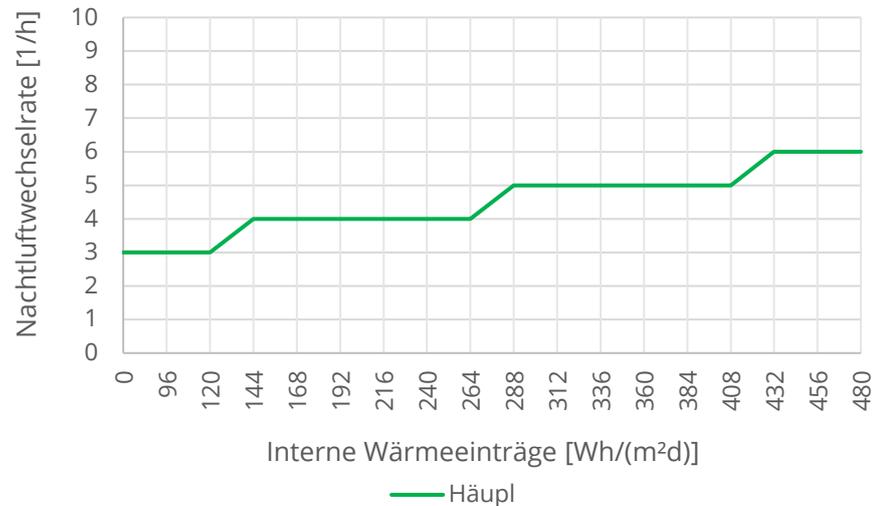


Abbildung 8.32:
Notwendige
Nachtluftwechselrate
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren Internen
Wärmeeinträge



Auswertung

Die Werkstatt für Menschen mit Behinderungen überhitzt massiv, die maximale operative Raumtemperatur liegt bei 41.4°C. Die Anzahl der Übertemperaturgradstunden liegt mit 4118 Kh/a ebenfalls sehr hoch. Dies lässt sich mit den ungünstig ausgerichteten Fensterflächen an drei Fassaden begründen. Den ganzen Tag über tritt solare Strahlung ein. Zudem weist der Raum aufgrund des hohen Fensterflächenanteils und des leichten Daches wenig wirksame Wärmespeicherkapazitäten auf. Gleichzeitig sind in dieser Werkstatt auch noch die inneren Wärmelasten durch Geräte und Personen sehr hoch. In diesem Szenario müssen die

Berechnungen nach DIN auf die effektive Nettogrundfläche beschränkt werden. Die Wärmekapazität des Raumes nimmt dadurch allerdings nur um $1 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ ab.

Als Maßnahmen zum SWS wird bereits eine Nachtluftwechselrate von 8 h^{-1} umgesetzt, sowie ein automatisierter außenliegender Sonnenschutz bzw. in der NO-Fassade eine Sonnenschutzverglasung mit innenliegendem Sonnenschutz.

Das einzige Verfahren, nach dem der Nachweis erfüllt werden kann, ist das Häupl-Verfahren. Die Nachtluftwechselrate könnte sogar noch auf 6 h^{-1} und die F_c -Werte auf 0.5 bis 1 abgemindert bzw. erhöht werden.

Der Raum wird weiterhin als mittlere Bauart eingeschätzt. Im Nachweis nach dem DIN-Verfahren wird als hohe Nachtlüftung maximal die Nachtluftwechselrate von 5 h^{-1} angerechnet. Um den Nachweis zu erfüllen, muss der Gesamtenergie-durchlassgrad von 0,09 für alle Fenster eingehalten werden. D.h. der Sonnenschutz an den Fenstern mit einem g_{senk} von 0.64 muss mindestens einen F_c -Wert von 0.15 und an den Fenstern mit einem g_{senk} von 0.31 mindestens einen F_c -Wert von 0.3 aufweisen. Diese F_c -Werte werden nur mit einem außenliegenden Sonnenschutz erreicht, eine Nachrüstung wäre notwendig.

Gruppenbüro (3 Arbeitsplätze)						Szenario 08: Büro		
Geometrie & Klima						Position	Eckraum DG	
						Standort	Dresden	
						Klimaregion	C	
						Verschattung	nein	
						A _{net} [m ²]		23.4
						V _{Air} [m ³]		63.2
						h _{licht} [m]		2.7
						h _{Geschoss} [m]		3.5
						h _{Abhängung} [m]		0.3
						Baukonstruktion	Bauteil	Orient.
AW	S	43 Stb. + WDVS	17.5 / 12.2		Bauart		mittel	
AW	W	43 Stb. + WDVS	20.0 / 14.0					
DA	-	Stb. + Abhäng.	28.6 / 23.4					
DE	-	Stb. + ZE	23.4		Dämmniveau		GEG	
IW	N, O	12.5 TB	26.2		Passive Kühlung		nein	
AW	S	43 Stb. + WDVS	17.5 / 12.2					
Fenster	Fenster	Orient.	A _{win} [m ²]	g _{senk} [-]	F _c [-]	f _{wf} [-]	f _{wg} [-]	0.35
	WIN1	S	4.1	0.48	0.25	0.23	f _r [-]	0.30
	WIN2	W	4.1	0.48	0.25	0.21		
								SS-Steuerung
Nutzung	Nutzung [Profilnr. nach DIN V 18599]					Nichtwohngebäude [2]		
	Nutzungszeitraum					Mo. - Fr. 7:00 bis 18:00 Uhr		
	Personenbelegung x Wärmeabgabe pro Person					Max. 3 Pers x 70 W/Pers		
	Interne Wärmeeinträge durch Geräte					Max. 2.8 W/m ²		
	Interne Wärmeeinträge durch Beleuchtung					Max. 3 W/m ²		
Lüftung								n [1/h]
						Infiltration		0.24
						Grundlüftung		1.90
						Therm. Taglüftung		3.00
						Therm. Nachtlüftung		2.00

Ergebnis Basisszenario

Abbildung 8.33: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur

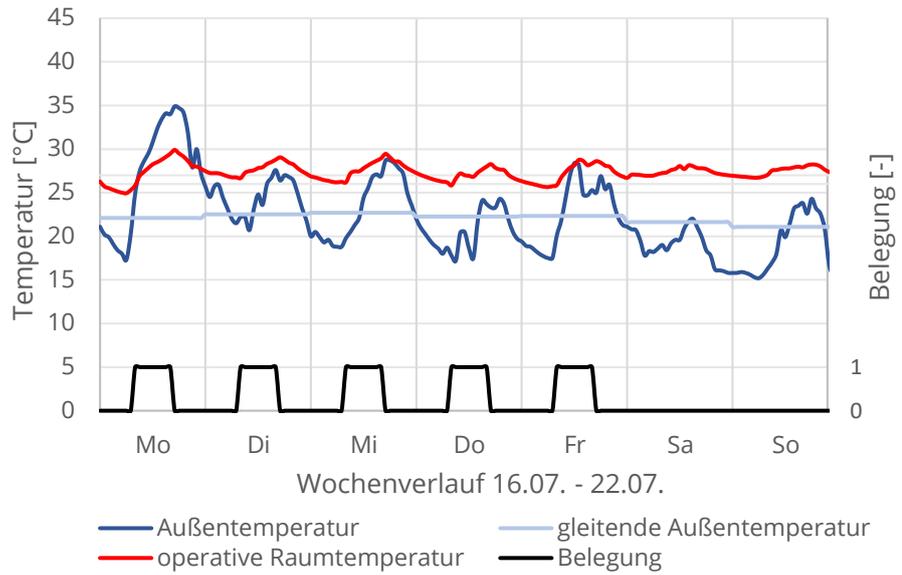


Abbildung 8.34: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert)

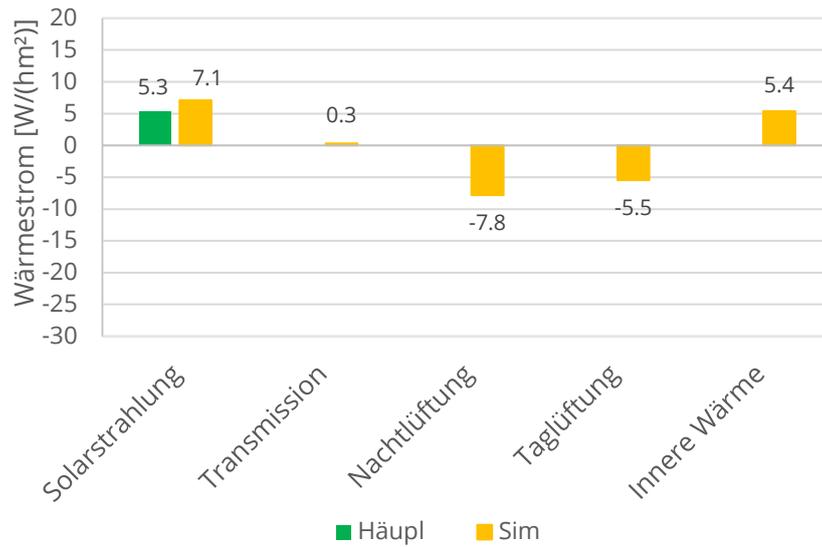


Tabelle 8.9: Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse

	DIN	Häupl	SIA I	Sim, all	Sim, occ	Sim, unocc
Zulässigkeit	zulässig	zulässig	-	zulässig		
Max. operative Raumtemperatur [°C]					29.9	30.1
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]				459	164	295
Überschreitungshäufigkeit 25°C				1191	353	838
Überschreitungshäufigkeit 26°C				839	264	575
Überschreitungshäufigkeit 27°C				508	173	335

Ergebnis Parametervariation

Abbildung 8.35:
Notwendige F_c -Werte
zum Bestehen des
Nachweises bei
variiertem
Energiedurchlassgrad
der Verglasung

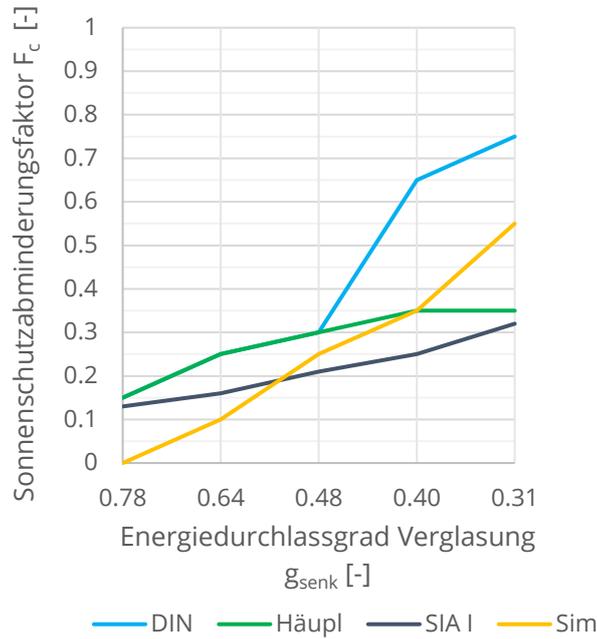
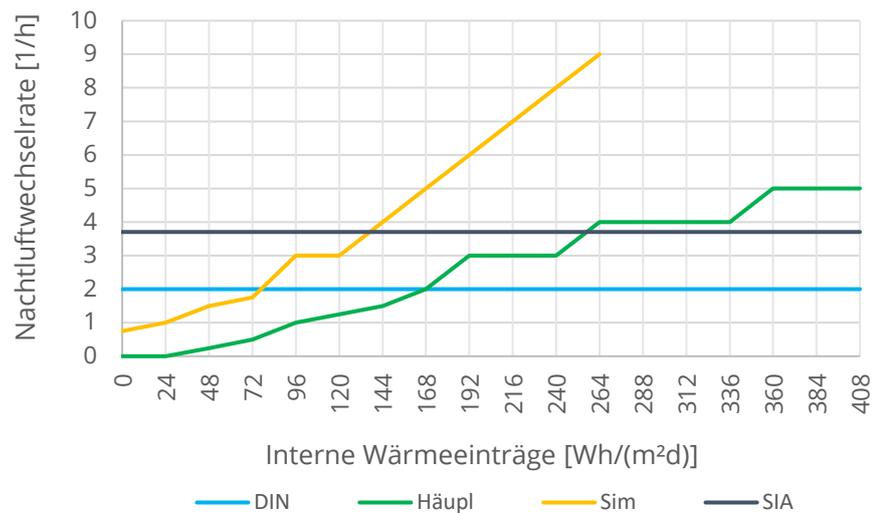


Abbildung 8.36:
Notwendige
Nachtluftwechselrate
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren Internen
Wärmeeinträge



Auswertung

Der Büroraum mit drei Arbeitsplätzen weist ein Eck-Fenster in Süd-Westausrichtung auf, wird mit einem automatisierten Sonnenschutz verschattet und sowohl tagsüber als auch nachts zur thermisch gelüftet. Ein Überhitzungsrisiko dieses Raumes wird nur nach SIA I vermutet.

Gemäß SIA I müsste eine Nachtluftwechselrate von 3.8 h^{-1} und ein F_c -Wert von 0.21 eingehalten werden. Für das Basisszenario mit angenommenen Wärmelasten von $129 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ decken sich die Einschätzungen bzgl. der Dimensionierung der Nachtlüftung und des Sonnenschutzes nach dem Häupl- und dem DIN-Verfahren. Dabei liegt die Dimensionierung im Verhältnis zur Simulation auf der unsicheren Seite.

Lager/Abstellraum						Szenario 09: Lager		
Geometrie & Klima						Position	Zentral DG	
						Standort	Dresden	
						Klimaregion	C	
						Verschattung	nein	
						A _{net} [m ²]	2.9	
						V _{Air} [m ³]	4.9	
						h _{licht} [m]	2.2	
						h _{Geschoss} [m]	3.2	
Baukonstruktion	Bauteil	Orient.	Konstruktion	A _{bc} /A _{bc,licht} [m ²]	C _{wirk} /C _B [Wh/m ² K]	59 / 74		
	DA	O	28 Holzsparren	4.4 / 3.8				
	DE	oben	16 Holzbalken	1.6				
	DE	unten	36 Holzbalken	2.9		Bauart mittel		
	IW	N,W	12.5 TB	9.0		Dämmniveau GEG		
	IW	S	19 Holzständer	4.8				
	DA	O	28 Holzsparren	4.4 / 3.8		Passive Kühlung nein		
Fenster	Fenster	Orient.	A _{win} [m ²]	g _{senk} [-]	F _c [-]	f _{wf} [-]	f _{wg} [-]	0.38
	WIN1	O	1.1	0.48	0.25	0.23	f _R [-]	0.30
							SS-Steuerung	auto_int
Nutzung	Nutzung [Profilnr. nach DIN V 18599]					Nichtwohngebäude [20]		
	Nutzungszeitraum					Mo. - Fr. 7:00 bis 18:00 Uhr		
	Personenbelegung x Wärmeabgabe pro Person					-		
	Interne Wärmeeinträge durch Geräte					-		
	Interne Wärmeeinträge durch Beleuchtung					-		
Lüftung						n [1/h]		
						Infiltration	0.24	
						Grundlüftung	-	
						Therm. Taglüftung	-	
						Therm. Nachtlüftung	-	

Ergebnis Basisszenario

Abbildung 8.37:
Darstellung der
Temperaturverläufe
in der Woche mit
der maximalen
wochengemittelten
operativen
Raumtemperatur

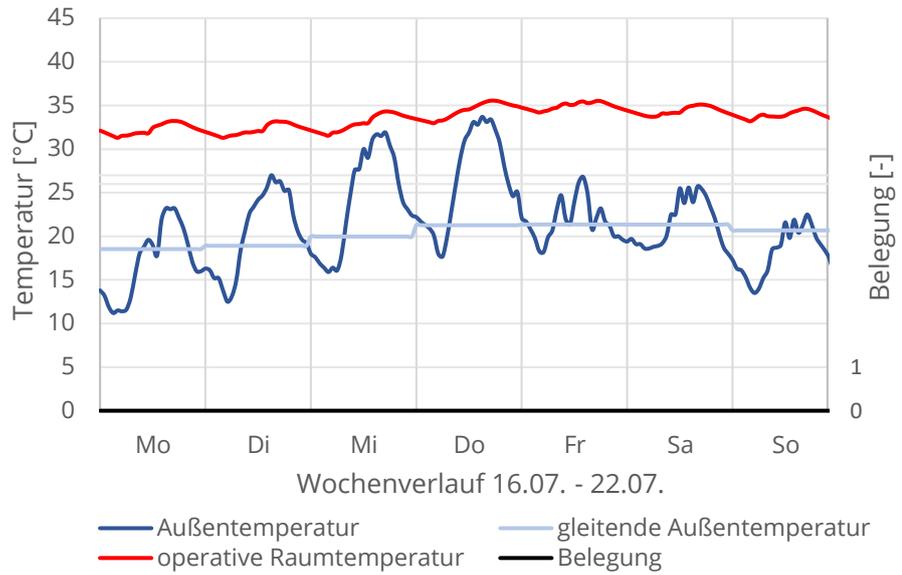


Abbildung 8.38:
Wärmebilanzanteile
des Basisszenarios
(Wochenmittel als
Stundenwert)

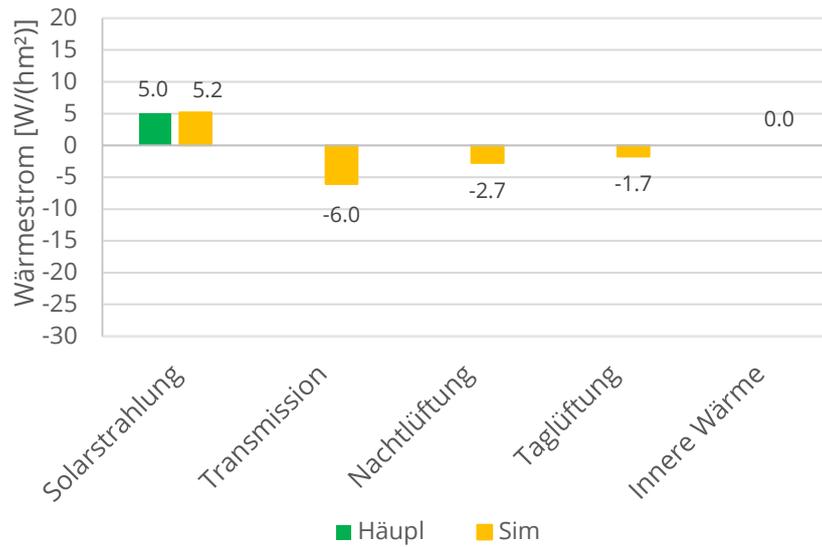


Tabelle 8.10:
Zulässigkeits-
bewertung des
Basisszenarios und
Simulations-
ergebnisse

	DIN	Häupl	SIA I	Sim, all	Sim, occ	Sim, unocc
Zulässigkeit	-	-	-	-		
Max. operative Raumtemperatur [°C]					-	35.6
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]				6964	0	6964
Überschreitungshäufigkeit 25°C				2755	0	2755
Überschreitungshäufigkeit 26°C				2485	0	2485
Überschreitungshäufigkeit 27°C				2284	0	2284

Ergebnis Parametervariation

Abbildung 8.39:
Notwendige F_c -Werte
zum Bestehen des
Nachweises bei
variiertem
Energiedurchlassgrad
der Verglasung

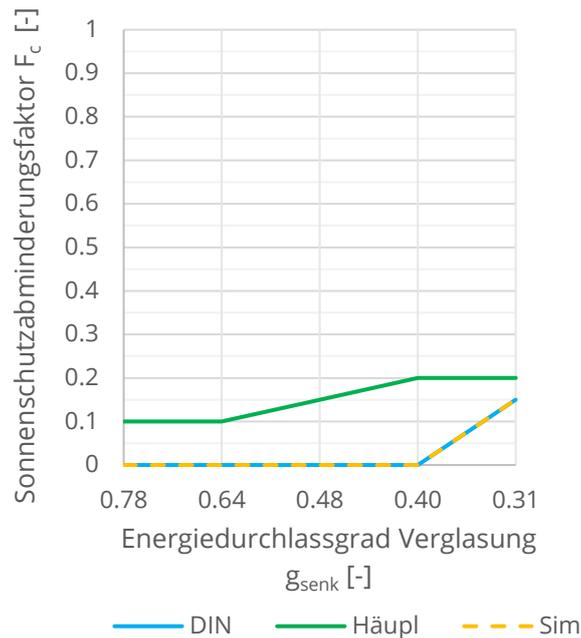
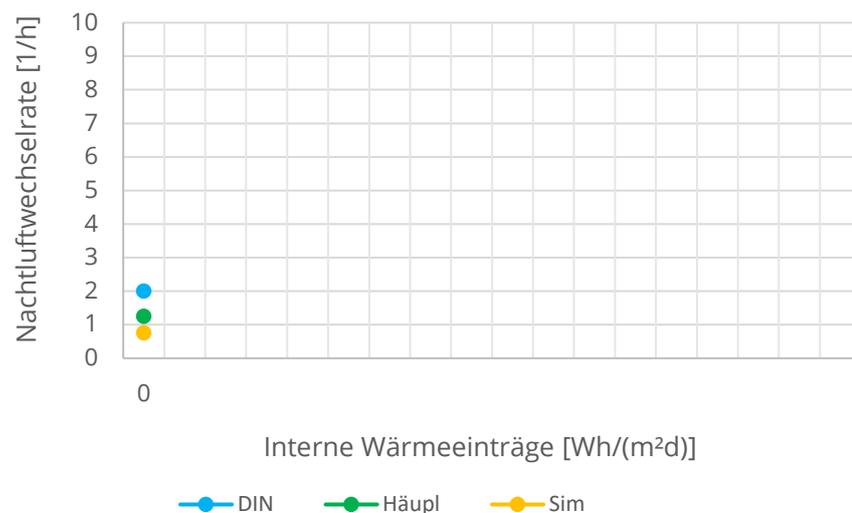


Abbildung 8.40:
Notwendige
Nachtluftwechselrate
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren Internen
Wärmeeinträgen



Auswertung

Der Lagerraum / Garderobe im Dachgeschoss hat ein einzelnes Dachfenster mit einer Neigung von 70°. Aufgrund der geringen Grundfläche liegt der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil bei 38 %. Das Fenster ist mit einem automatisierten außenliegenden Sonnenschutz versehen. Innere Lasten fallen nicht an, da er ein Nichtaufenthaltsraum ist.

Alle Verfahren bescheinigen ein großes Überhitzungsrisiko des Raumes. Es ist also ein kritischer Raum. Daher müssen weitere Maßnahmen zum SWS ergriffen werden. Die max. operative Raumtemperatur von 35.5°C liegt oberhalb der Behaglichkeitstemperatur der Menschen, nicht aber der Kleidung und des Lagerguts. Eine Variation der Inneren Wärmelasten wurde nicht vorgenommen.

Verkehrsfläche/Flur						Szenario 10: Flur		
Geometrie & Klima	<p>Verkehrsfläche 13.5 m²</p> <p>9.0</p>					Position	Zentral DG	
						Standort	Dresden	
						Klimaregion	C	
						Verschattung	nein	
						A _{net} [m ²]	13.5	
						V _{Air} [m ³]	40.5	
						h _{licht} [m]	3.0	
						h _{Geschoss} [m]	3.5	
Baukonstruktion	Bauteil	Orient.	Konstruktion	A _{bc} /A _{bc,licht} [m ²]		C _{wirk} /C _B [Wh/m ² K]	357 / 443	
	AW	SW	43 Stb. + WDVS	6.0 / 4.5				
	DA	oben	Stb. Flachdach	16.0 / 13.5		Bauart	schwer	
	DE	unten	Stb. + ZE	13.5				
	IW	NW, SO	20 Stb.	54.0		Dämmniveau	GEG	
	IW	NO	12.5 TB	4.5				
						Passive Kühlung	nein	
Fenster	Fenster	Orient.	A _{win} [m ²]	g _{senk} [-]	F _c [-]	f _{wf} [-]	f _{wg} [-]	0.18
	WIN1	SW	2.4	0.31	1	0.4	f _R [-]	0.30
							SS-Steuerung	-
Nutzung	Nutzung [Profilnr. nach DIN V 18599]					Nichtwohngebäude [19]		
	Nutzungszeitraum					Mo. - Fr. 7:00 bis 18:00 Uhr		
	Personenbelegung x Wärmeabgabe pro Person					-		
	Interne Wärmeinträge durch Geräte					-		
	Interne Wärmeinträge durch Beleuchtung					-		
Lüftung							n [1/h]	
						Infiltration	0.24	
						Grundlüftung	-	
						Therm. Taglüftung	-	
						Therm. Nachtlüftung	-	

Ergebnis Basisszenario

Abbildung 8.41:
Darstellung der
Temperaturverläufe
in der Woche mit der
maximalen
wochengemittelten
operativen
Raumtemperatur

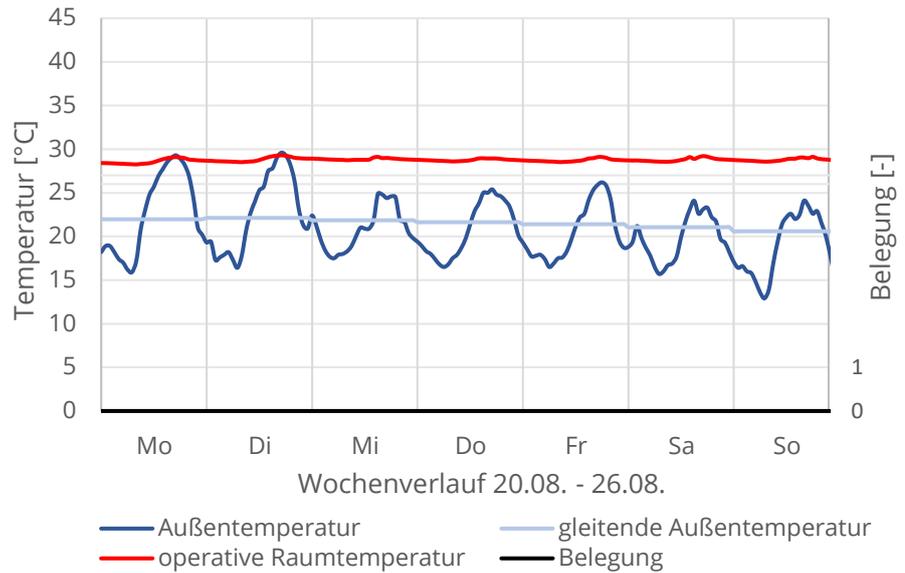


Abbildung 8.42:
Wärmebilanzanteile
des Basisszenarios
(Wochenmittel als
Stundenwert)

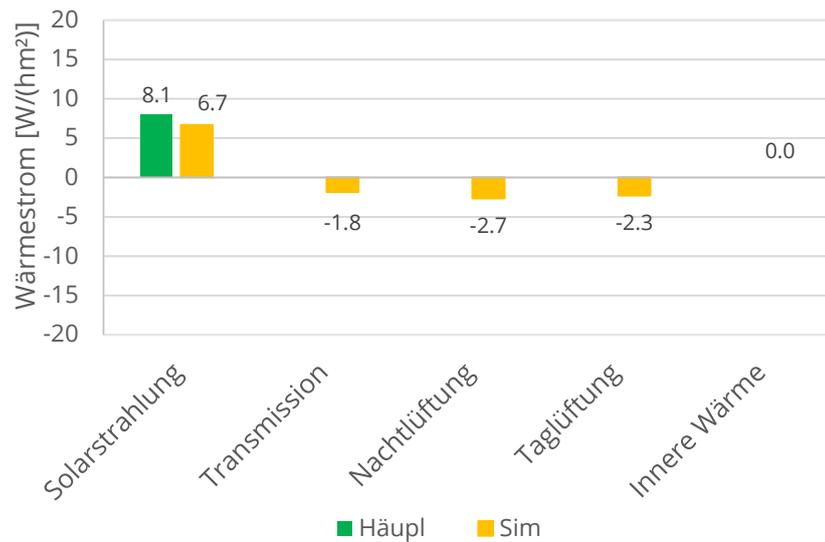


Tabelle 8.11:
Zulässigkeits-
bewertung des
Basisszenarios und
Simulations-
ergebnisse

	DIN	Häupl	SIA I	Sim, all	Sim, occ	Sim, unocc
Zulässigkeit	-	zulässig	-	-		
Max. operative Raumtemperatur [°C]					-	29.3
Übertemperaturgradstunden [Kh/a]				763	0	763
Überschreitungshäufigkeit 25°C				1978	0	1978
Überschreitungshäufigkeit 26°C				1338	0	1338
Überschreitungshäufigkeit 27°C				921	0	921

Ergebnis Parametervariation

Abbildung 8.43:
Notwendige F_c -Werte
zum Bestehen des
Nachweises bei
variierendem
Energiedurchlassgrad
der Verglasung

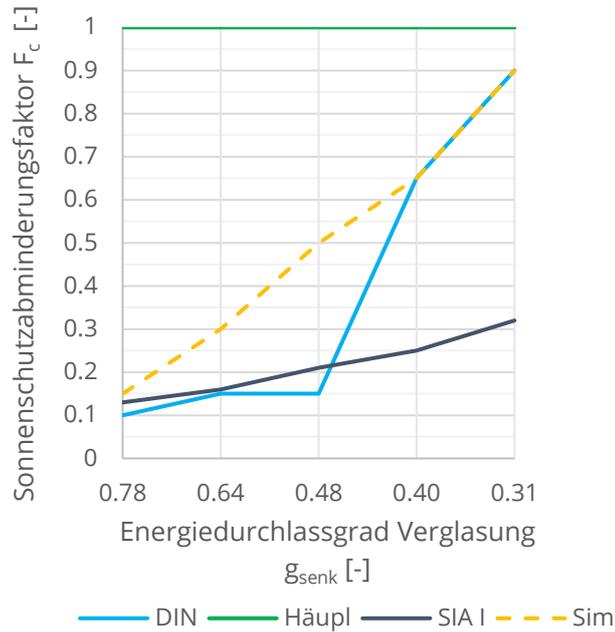
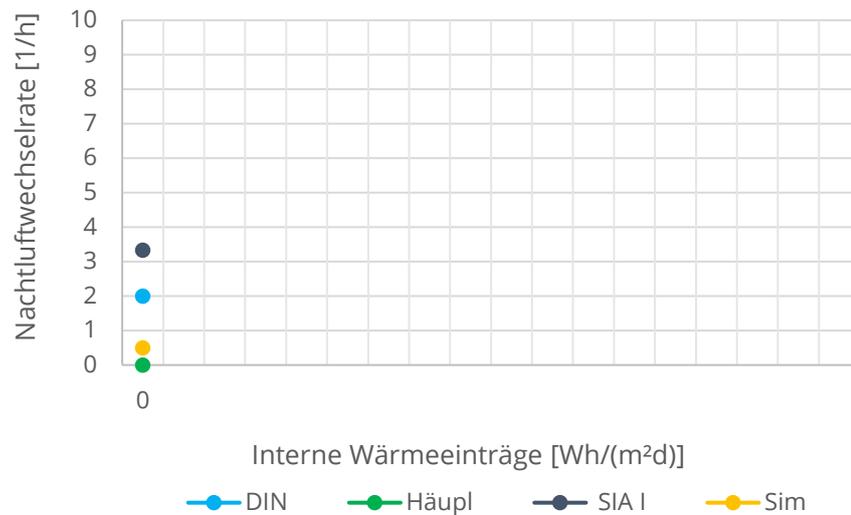


Abbildung 8.44:
Notwendige
Nachtluftwechselrate
zum Bestehen des
Nachweises bei
variieren Internen
Wärmeeinträgen



Auswertung

Diese Verkehrsfläche ist erster Abschnitt eines langen Flures und ebenfalls kein Aufenthaltsraum. Es wurde eine Sonnenschutzverglasung eingesetzt, ansonsten sind keine Maßnahmen zum SWS vorgesehen. Der Raum wird nur nach dem Häupl-Verfahren als zulässig betrachtet.

Die max. operative Raumtemperatur erreicht 29.3°C, die Übertemperaturgradstunden belaufen sich auf 763 Kh/a. Das bedeutet, es sind Maßnahmen zu treffen, damit der Nachweis des SWS aufgeht. Der Nachweis nach dem DIN-Verfahren und der Simulation wäre bereits mit einem innenliegenden Sonnenschutz mit dem F_c -Wert von 0.9 erfüllt. Wenn dies aus Brandschutzgründen nicht möglich ist, müsste ein außenliegender Sonnenschutz oder eine Nachtlüftung eingesetzt werden.

8.1. Auswertung zur Eignung der Verfahren

Zum Vergleich der Verfahren hinsichtlich ihrer Eignung für bestimmte Gebäudetypen, sind die Zulässigkeitsentscheidungen der Verfahren für alle Anwendungsszenarien in Tabelle 8.12 zusammengefasst worden.

Allgemein zeigt sich, dass nur in vier Anwendungsfällen von allen Verfahren die gleiche Zulässigkeitsentscheidung getroffen wurde. Zudem zeigt sich, dass Verfahren I nach SIA 180 eher als Nachweisbefreiung, als als Nachweis-Verfahren verstanden werden kann. Die Anforderungen an die Gebäude, um den Nachweis zu erfüllen sind sehr hoch. Das Kriterium des Gesamtenergiedurchlassgrades von 0.1 wird in keinem Anwendungsszenario erfüllt, das liegt allerdings auch daran, dass in keinem Anwendungsszenario Sonnenschutzverglasung mit einem außenliegenden Sonnenschutz kombiniert wurde.

Tabelle 8.12: Überblick über die Zulässigkeitsentscheidungen der Verfahren für alle Anwendungsszenarien

Szenario		Zulässigkeit			
Nr.	Name	DIN	Häupl	SIA	Sim
1	Wohnung	-	-	-	-
2	Penthouse	-	-	n.a.	zulässig
3	EFH	zulässig	-	-	-
4a	AltUnsan	-	-	-	zulässig
4b	AltSan	-	-	-	-
5	Gymnasium	zulässig	zulässig	-	-
6	KiTa	-	-	-	-
7	SozWerk	-	zulässig	-	-
8	Buro	zulässig	zulässig	-	zulässig
9	Lager	-	-	-	-
10	Flur	-	zulässig	-	-

Es zeigt sich, dass das DIN-Verfahren in zwei Fällen, nämlich im EFH, einem Schlafrum mit geringem Dachflächenfensteranteil und im Klassenraum die hohen operativen Raumtemperaturen nicht richtig vorhersagt. Das lässt sich darin begründen, dass das Verfahren bei kleinen geneigten Fensterflächen auf der unsicheren Seite liegt (Schlitzberger 2014, S. 87). Die falsche Vorhersage bzgl. der Temperaturentwicklung im Klassenzimmer ist damit zu begründen, dass die inneren Wärmelasten für Nichtwohngebäude auf Bürogebäude und nicht auf Schulen ausgelegt sind. Die gleiche Unsicherheit ergibt sich bei der KiTa und bei der Sozialen Werkstatteinrichtung. Da diese allerdings einen sehr hohen Fensterflächenanteil aufweisen, wird aufgrund dessen das Überhitzungsrisiko der Räume erkannt. Das

Verfahren liegt in diesen Anwendungsszenarien dennoch in der Dimensionierung des F_c -Wertes und der Lüftung auf der unsicheren Seite.

Im Altbau überschätzt das Verfahren die Entwicklung der operativen Raumtemperatur. Das liegt daran, dass die Grenze für die schwere Bauart mit einem C_{wirk} von 130 [Wh/m²K] für einen Ziegel-Altbau mit einem C_{wirk} von 210 [Wh/m²K] unterschätzt wird. Die Transmissionswärme, die von der Innenoberfläche der Bauteile aufgenommen wird, ist im Vergleich zu den Anwendungsszenarien die nach GEG Standard gedämmt sind, vom Betrag her wesentlich höher. In den hochgedämmten Gebäuden verläuft der Wärmestrom zudem in entgegengesetzter Richtung. Die Zulässigkeit des Penthouses mit automatisierter Lüftung und Sonnenschutz wird ebenfalls nicht erkannt.

Das Häupl-Verfahren weicht in fünf von zehn Fällen mit seiner Vorhersage von der Simulation ab. Dabei unterschätzt es das Überhitzungsrisiko in 3 Fällen und überschätzt das Risiko 2 in Fällen. Die Unterschätzung betrifft den Klassenraum des Gymnasiums, die Soziale Werkstatt und den Flur.

Für den Flur zeigt sich, dass die Endtemperatur der Raumlufte mit 36°C sehr hoch ist, aufgrund der extrem schweren Bauweise die Einstellzeit der maximalen Raumlufte-temperatur sich allerdings erst nach 1531 h einstellt. Nach der Dauer von 120 h, der Nachweisperiode, ist die Erwärmung der Raumlufte noch gering 3.4 K.

Im Anwendungsszenario der Sozialen Werkstatt ergibt sich der Fall, dass die Bauweise eher leicht ist und die Einstellzeit der maximalen Raumlufte-temperatur schon nach 28 h erreicht ist. Die berechnete Endtemperatur der Raumlufte ist mit 25°C sehr gering und stimmt nicht mit der Realität überein.

Für das Klassenzimmer sind die Berechnungen plausibel, die berechnete Erwärmung der Raumlufte liegt bei 6.8 K und damit sehr knapp unter dem Grenzwert von 7 K. Auch die Simulation liegt mit 684 Kh/a knapp über dem Grenzwert von 500 Kh/a. Die Dimensionierung der Lüftung entspricht ungefähr der Simulation. Die solaren Strahlungs-lasten werden unterschätzt, denn der notwendige F_c -Wert zum Erfüllen des Nachweises ist zu hoch.

Die Überschätzung des Überhitzungsrisikos betrifft das Altbauszenario und das Penthouse. Die Überschätzung des Penthouses ist realistisch eingeschätzt, wenn der hohe Automatisierungsgrad nicht vorhanden wäre. Dieser wird im Verfahren noch nicht berücksichtigt.

Im Altbauszenario werden die Strahlungseinträge durch Fenster sehr hoch eingeschätzt. Aufgrund des hohen g_{\perp} -Wertes der Verglasung von 0.87, dem hohen F_c -Wert von 1 und der Südorientierung könnte hier die Vernachlässigung der Winkelabhängigkeit des Energiedurchlasses der Verglasung von Bedeutung sein.

Über die Zulässigkeitsentscheidung hinaus, wurde für jedes Verfahren überprüft, welche F_c -Werte und welche Nachtlufte-wechselraten notwendig wären, damit das Basisszenario bei variierendem g_{\perp} -Wert der Verglasung bzw. inneren Wärmelasten den Nachweis erfüllt. Dadurch können die Verfahren hinsichtlich ihrer

Anforderungen an den Raum verglichen werden. Es zeigt sich allerdings keine eindeutige Tendenz, nach welcher das Häupl- oder DIN-Verfahren generell über- oder unterdimensionieren würde.

Im Verhältnis zur Simulation zeigt sich die Tendenz des Häupl-Verfahrens für Wohngebäude auf der sicheren Seite zu dimensionieren, sowohl was die Fc-Werte als auch die Nachtluftwechselraten betrifft. Bei Nichtwohngebäuden dahingegen liegt es eher auf der unsicheren Seite. Tendenziell unterschätzt das Häupl-Verfahren die notwendige Reduktion der solaren Strahlungslasten und überschätzt die notwendigen Luftwechselraten. Das DIN-Verfahren liegt immer dann auf der unsicheren Seite, wenn hohe Innere Wärmelasten auftreten und auf der sicheren Seite, wenn keine Wärmelasten auftreten. Die Dimensionierung der Nachtlüftung spielt im DIN-Verfahren nur eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 8.13: Auswertung der notwendigen Fc-Werte und Nachtluftwechselraten zum Erfüllen des Nachweises im Verhältnis zur Simulation

Szenario		Fc-Wert		Nachtluftwechselraten	
Nr.	Name	DIN	Häupl	DIN	Häupl
1	Wohnung	-	+	+	+
2	Penthouse	+			+
3	EFH	-	+	-	+
4a	AltUnsan	+	+		+
4b	AltSan	/	-		+
5	Gymnasium	-	-	-	/
6	KITa	-		-	-
7	SozWerk	-	-		-
8	Buro	-	/	-	-
9	Lager	+	-	+	+
10	Flur	+	-	+	-

- Legende:**
- + auf der sicheren Seite liegend
 - auf der unsicheren Seite liegend
 - / Einschätzung uneindeutig
 - Außerhalb des Wertebereichs

8.2. Diskussion der Eignung der Verfahren

Die Verfahren wurden auf Anwendungsszenarien zu drei Nutzungsarten angewandt: Wohngebäude, Aufenthaltsräume in Nichtwohngebäuden und Nichtaufenthaltsräume. Zudem wurden Räume aus neu zu errichtenden und zu sanierenden Gebäuden betrachtet.

Es zeigte sich, das DIN-Verfahren in seinen engen Grenzen für den Standard-Neubau mit Wohn- oder Büronutzung in Bezug auf die Zulässigkeitsbewertung eines Raumes durchaus aussagekräftig ist. Für Abweichungen vom Standard-Neubau und inneren Wärmelasten von mehr als 100 Wh/(m²d) für Wohngebäude oder mehr als 144 Wh/(m²d) für Nichtwohngebäude ist das Verfahren generell nicht zuverlässig. Für Gebäude, in denen deutlich geringere innere Wärmelasten entstehen, ist das

Verfahren entsprechend auf der sicheren Seite. Aus diesem Grund wäre eine klare Kommunikation der Anwendungsgrenzen des Verfahrens wünschenswert.

Die Anwendungsgrenzen des Häupl-Verfahrens sind nicht nutzungsbedingt, sondern eher in den physikalischen und mathematischen Grundannahmen selbst zu verorten. Die Annahmen funktionieren für einige Kombinationen aus inneren Wärmelasten, solaren Strahlungslasten, Nachtlüftung und Bauart offensichtlich nicht. Das mathematische Modell müsste durch eine ausgiebige Parametervariation unabhängig von Anwendungsszenarien getestet werden, um die Anwendungsgrenzen klarer benennen zu können.

In Bezug auf das klassische Sanierungsszenario ist das Häupl-Verfahren tendenziell aussagekräftiger. Das DIN-Verfahren kann nur die Verringerung der Nettogrundfläche, des Energiedurchlassgrades der Verglasung, die entstehende Verschattung durch den Wintergarten und die Einstufung als mittlere Bauart berücksichtigen. Im Häupl-Verfahren kann darüber hinaus auch die Veränderung des Dämmstandards und des Luftwechsels abgedeckt werden.

Die Nichtaufenthaltsräume Lager und Flur werden als unzulässig bewertet. Dabei werden sie sowohl in der Simulation als auch im DIN- und Häupl-Verfahren mit einem Grenzwert beurteilt, der für die Behaglichkeit von Menschen entwickelt wurde, obwohl sie keine Aufenthaltsräume sind. Für Flure lässt sich dies evtl. noch rechtfertigen. Dass für eine Garderobe oder ein Stuhllager Sonnenschutzmaßnahmen, wie ein automatisierter Sonnenschutz oder eine erhöhte Nachtlüftung umgesetzt werden, ist zu hinterfragen. Es sollte eine klare Nachweisbefreiung für Nichtaufenthaltsräume diskutiert und kommuniziert werden. Alternativ könnten maximale operative Raumtemperaturen für Nichtnutzungszeiten und Nichtaufenthaltsräume entwickelt werden.

9 Fazit und Ausblick

Die Auswertung und der Vergleich der Testreferenzjahre nach den klimatologischen Kenntagen haben gezeigt, dass schon 2011 mit Auswirkungen der globalen Erwärmung auf den Sommer in Deutschland gerechnet wurde. Es wurden zwölf Verfahren zum Sommerlichen Wärmeschutz gesichtet, vier Verfahren erläutert und eine kurze Zusammenfassung zu den Ansätzen auf Grundlage des Jahresheizwärmebedarfs gegeben. Es hat sich gezeigt, dass die Verfahren zum Sommerlichen Wärmeschutz alle eine Zulässigkeitsentscheidung über die Temperaturentwicklung in einem Raum treffen. Die Verfahren unterscheiden sich allerdings darin, ob als Nachweisperiode eine Sommerdesignperiode herangezogen oder die Temperaturentwicklung einer ganzen Jahresperiode betrachtet wird. Die Klimarandbedingungen bzw. -datensätze, die der Jahresbetrachtung oder Sommerdesignperiode zu Grunde liegen, wurden noch in keinem deutschen Verfahren an den Klimawandel angepasst. Aus diesem Grund ist eine weitreichende Überarbeitung der Verfahren notwendig.

Die TGL 35424/04, die Verfahren auf Jahresheizwärmebedarf und das Häupl-Verfahren basieren auf einer Energiebilanzierung. Die Verfahren auf Jahresheizwärmebedarf weist eine zu geringe zeitliche Auflösung in der Bilanzierung auf. Die die Modellannahmen der TGL 35424/0 haben sich als nicht zielführend in Hinblick auf die Klimaoptimierung des zukünftigen Gebäudebestandes erwiesen. Das Modell nach Häupl wies einige Fragen bzgl. der zugrunde gelegten Annahmen auf. Das Sonneneintragskennwerte-Verfahren nach DIN 4108-2 und das Verfahren I nach SIA 180 basieren auf keinem mathematischen oder physikalischen Modell und sind mit wenig Zeit- und Ressourcenaufwand umzusetzen. Sie wiesen jedoch einen beschränkten Anwendungsbereich auf.

Das Häupl-Verfahren, das Sonneneintragskennwerte-Verfahren nach DIN 4108-2 und das Verfahren I der SIA 180 wurden auf zehn typische Anwendungsszenarien, also Kombinationen aus Gebäudetypen, Nutzungen und Maßnahmen des SWS angewendet und mit Simulationsergebnissen verglichen. Dabei hat sich gezeigt, dass das Verfahren nach SIA I höhere Anforderungen an einen Raum stellt als die deutschen Verfahren. Damit liegt es in der Beurteilung des Überhitzungsrisikos auf der sicheren Seite, überdimensioniert für den deutschen Fall die Maßnahmen zum SWS allerdings.

Die Zulässigkeitsbeurteilung nach dem Sonneneintragskennwerte-Verfahren wich in drei von zehn Räumen von der Zulässigkeitsentscheidung der Simulation ab. In den Fällen, in denen es die gleiche Zulässigkeitsbeurteilung wie die Simulation getroffen hat, lag es bezüglich der notwendigen F_c -Werte zur Erfüllung des Nachweises allerdings teilweise auch noch auf der unsicheren Seite. Prinzipiell ist das Verfahren aussagekräftig für „den Regelfall“. Dazu gehören zu errichtende Wohngebäude und Bürogebäude. Es weist allerdings Unsicherheiten bei kleinen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen bei geneigten Fenstern auf. Alle übrigen

Nichtwohngebäude mit Inneren Wärmegewinnen unterhalb von $144 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ werden tendenziell auf der sicheren Seite beurteilt. Nichtwohngebäude mit Inneren Wärmegewinnen oberhalb von $144 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ werden auf der unsicheren Seite beurteilt. Unter der Voraussetzung einer klaren Kommunikation dieser Anwendungsgrenzen, könnte das Verfahren nach DIN 4108-2:2013-02 weiter angewendet werden. Es muss jedoch kritisiert werden, dass auch die Randbedingungen für die Thermische Raumsimulation nach DIN 4108-2 auch nur für den „Regelfall“ ausgelegt sind. D.h. für den „besonderen Fall“, also alle Nichtwohngebäude, die keine Bürogebäude sind, müssen in der deutschen Gesellschaft überhaupt erst noch Nachweismöglichkeiten konzeptioniert werden.

Das Häupl-Verfahren eignet sich für den Sonderfall ebenfalls nicht. Es ist in fünf von zehn Zulässigkeitsentscheidungen von der Simulation abgewichen. Auf der sicheren Seite lag es vor allem in der Einschätzung des Überhitzungsrisikos von Wohngebäuden. Der Nichtwohnraum, der das höchste Überhitzungsrisiko aufwies, wurde nicht erkannt. Da die Ursache für die Fehleinschätzung des Überhitzungsrisikos nicht eindeutig an bestimmten Einflussparametern festzumachen ist, ist der Einsatz dieses Verfahrens nicht zu empfehlen. In Bezug auf die Kalibrierung und Erweiterung stellt sich generell die Frage nach dem Vorteil des Häupl-Verfahrens vor einer Thermischen Raumsimulation. Da im Häupl-Verfahren die U-Werte von allen Bauteilen bestimmt, die Bauteilflächen ermittelt sowie die Berechnungen der Luftwechselraten und Inneren Wärmelasten vorgenommen werden müssen, ist es auch wenn es ein Handrechenverfahren ist, nicht weniger zeitintensiv als die Thermische Raumsimulation.

Der Sommerliche Wärmeschutz ist ein Teilziel des klimaangepassten Bauens. Das GEG, welches als Teil des Klimaschutzprogramms 2030 erlassen wurde, fokussiert sich stark auf die Sanierung und Neuerrichtung von energieeffizienten Gebäuden, um die CO_2 -Emissionen zu vermindern und damit die globale Erwärmung zu begrenzen. Fahrion (2015) zeigt, dass trotz abnehmender Temperaturen im Winter und zunehmender Temperaturen im Sommer in allen Regionen Deutschlands der Heizwärmebedarf im Verhältnis zum Kühlenergiebedarf maßgebend bleibt. Die Politik fokussiert sich also auf den Winterfall. Dem Sommerlichen Wärmeschutz wird also vorerst nur eine nachrangige Priorität zugeordnet. Ein Konzept zum Sommerlichen Wärmeschutz zielt darauf ab, im zukünftigen Gebäudebestand ein möglichst behagliches Raumklima ohne Nutzung von Primärenergien also mit passiven Maßnahmen zu gewährleisten. Die aktuelle Nachweisverpflichtung zum Sommerlichen Wärmeschutz nach dem GEG leitet die Planer*innen dazu an, den Nachweis nach DIN 4108-2: 2013 sowohl für den Regelfall, als auch den besonderen Fall anzuwenden. Das produziert Fehleinschätzungen und bindet unnötiger Weise Wirtschaftsleistungen. Die DIN 41082:2013 sollte zurückgezogen werden, bis ein konsistentes Konzept für den Sommerlichen Wärmeschutz erarbeitet wurde.

Für das neue Konzept könnten die Ideen, Schätzwerte und Anmerkungen, die die Verfasser*innen der Handrechenverfahren entwickelt haben, in Randbedingungen und Bewertungsansätze für den Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutzes

durch Thermische Raumsimulation überführt werden. Um den wirtschaftlichen Aufwand gering zu halten, sollte eine klare Abgrenzung zwischen nachzuweisenden und nachweisfreien Räumen vorgenommen werden. Zudem können Randbedingungen für verschiedene Nutzungsprofile erstellt und den Software-Entwicklern zur Verfügung gestellt werden. Die Eingliederung des Nachweises in ein Building Information-Model würde ebenfalls zu einer Aufwandsreduktion beitragen.

Über ein Geometriemodell können die Bereiche, die von direkter solarer Einstrahlung betroffen sind, ermittelt und visualisiert werden. Eine Optimierungsfunktion könnte in einem ersten Schritt die Dimensionierung der Fensterflächen und in einem zweiten Schritt der Sonnenschutzmaßnahme vornehmen. Für unsichere Randbedingungen könnte die Eingabe eines Wertebereichs ermöglicht und eine Sensitivitätsanalyse vorgenommen werden. Es ist darüber hinaus zu prüfen, ob die Einführung nutzungsabhängiger Bewertungsmöglichkeiten anhand adaptiver Behaglichkeitsmodelle die Anforderungen an den Sommerlichen Wärmeschutz senkt und so die Festlegung von zulässigen Überschreitungshäufigkeiten bzw. Übertemperaturgradstunden überflüssig macht. Auch die Idee von Häupl (2008) könnte erwogen werden. Er schlägt vor, ein Nutzungs- und ein Leerstandsszenario nachzuweisen. Unter anderem könnte auch ermöglicht werden, dass die Klimarandbedingungen inkrementell entsprechend der jeweiligen zum Zeitpunkt gültigen Prognosen zum Klimawandel angepasst werden.

Eine Neuaufnahme des Sommerlichen Wärmeschutzes bietet viele Möglichkeiten das klimaangepasste Bauen weiter zu institutionalisieren.

Literaturverzeichnis

Normen und VDI-Richtlinien:

DIN 4108-2: 2013-02. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. 2013. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN 4108-6: 2003-06. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs 2003. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN 15251: 2012-12 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007. 2012. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN ISO 13786: 2018-04. Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen - Dynamisch-thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren (ISO 13786:2017); Deutsche Fassung EN ISO 13786:2017. 2018. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN ISO 52022-1: 2018-01. Energieeffizienz von Gebäuden - Wärmetechnische, solare und tageslichtbezogene Eigenschaften von Bauteilen und Bauelementen - Teil 1: Vereinfachtes Berechnungsverfahren zur Ermittlung der solaren und tageslichtbezogenen Eigenschaften von Sonnenschutz in Kombination mit Verglasungen (ISO 52022-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 52022-1:2017. 2018. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN EN ISO 52022-3: 2018-01. Energieeffizienz von Gebäuden - Wärmetechnische, solare und tageslichtbezogene Eigenschaften von Bauteilen und Bauelementen - Teil 3: Detailliertes Berechnungsverfahren zur Ermittlung der solaren und tageslichtbezogenen Eigenschaften von Sonnenschutz in Kombination mit Verglasungen (ISO 52022-3:2017); Deutsche Fassung EN ISO 52022-3:2017. 2018. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN V 18599: 2018-09. Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teile 1 bis 10. 2018. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN V 18599-6: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 6: Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsystemen für den Wohnungsbau. 2018. Berlin: Beuth-Verlag.

DIN V 18599-10: 2018-09. Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten. 2018. Berlin: Beuth-Verlag.

TGL 35424/01: 1981-02. Bautechnischer Wärmeschutz – Allgemeine Anforderungen, Grundsätze, Außenklima, Wetterschutz. 1987, berichtigte Nachauflage 6.87. Berlin: Verlag für Standardisierung.

TGL 35424/04: 1981-02. Bautechnischer Wärmeschutz – Wärmeschutz in der warmen Jahreszeit. 1981. Berlin: Verlag für Standardisierung.

VDI 2078: 2015-06. Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation). 2015. Berlin: Beuth-Verlag.

VDI 6040 Blatt 2: 2015-09. Raumluftechnik – Schulen – Ausführungshinweise (VDI-Lüftungsregeln, VDI-Schulbaurichtlinien). 2015. Berlin: Beuth-Verlag.

Literaturverweise:

DE DEAR, Richard J. und Gail S. BRAGER, 2002. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. Energy and Buildings. Juli 2002. Bd. 34, Nr. 6, S. 549–561.

DEUTSCHER, Peter, Martin ELSBERGER und Lothar ROUVEL, 2000. Sommerlicher Wärmeschutz. Eine einheitliche Methodik für die Anforderungen an den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz, Teil 1. Bauphysik 22. 2000. Nr. 2, S. 114–120.

DEUTSCHER WETTERDIENST und BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG, 2017. Handbuch, Ortsgenaue Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse [online]. Offenbach. [Zugriff am: 7 Oktober 2020]. Verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2013/testreferenzjahre/try-handbuch.pdf;jsessionid=32F96E889EBF9043C884BC440CF32493.live21301?__blob=publicationFile&v=1

DEUTSCHER WETTERDIENST, BUNDESINSTITUT FÜR BAUWESEN UND RAUMORDNUNG und CLIMATE & ENVIRONMENT CONSULTING POTSDAM GMBH, 2014. Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse. [online]. [Zugriff am: 7 Oktober 2020]. Verfügbar unter: https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Regelungen/Testreferenzjahre/Testreferenzjahre/TRY_Handbuch.pdf?__blob=publicationFile&v=2

DEUTSCHES KLIMA-KONSORTIUM, DEUTSCHE METEOROLOGISCHE GESELLSCHAFT, DEUTSCHER WETTERDIENST, EXTREMWETTER KONGRESS HAMBURG, HELMHOLTZ-KLIMA-INITIATIVE und KLIMAFAKTEN.DE, 2020. Was wir heute übers Klima wissen - Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft umstritten sind. [Zugriff am: 7 Oktober 2020]. Verfügbar unter: https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/basisfakten-klimawandel.pdf

- FAHRION, Marc-Steffen, 2015. Sommerlicher Wärmeschutz im Zeichen des Klimawandels. Anpassungsplanung für Bürogebäude [online]. [Zugriff am: 15 September 2020]. Verfügbar unter: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-193732>
- FREUDENBERG, Peggy, 2016. Entwicklung und Kalibrierung einer Planungsmethode für Nichtwohngebäude mit besonderen raumklimatischen Anforderungen [online]. Stuttgart,: Fraunhofer IRB Verlag.
- HÄUPL, Gerrit, Peter Höfker, Martin HOMANN, Christian KÖLZOW, Anton MAAS, Christian NOCKE, Olaf RIESE und Wolfgang M. WILLEMS, 2017. Lehrbuch der Bauphysik Schall – Wärme – Feuchte – Licht – Brand – Klima [online]. 8. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- HÄUPL, Peter, 2008. 4.2 Thermisches Verhalten von Räumen und Gebäuden bei freier Klimatisierung außerhalb der Heizperiode - Sommerlicher Wärmeschutz. In: Bauphysik Klima, Wärme, Feuchte, Schall; Grundlagen, Anwendungen, Beispiele [online]. Berlin: Ernst & Sohn. S. 218–304.
- HAUSER, Gerd und Frank OTTO, 1998. Planungsinstrument für das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden. Fraunhofer IRB Verlag (F 2340/1).
- HELLWIG, Runa, 2005. Thermische Behaglichkeit-Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäuden aus Nutzersicht. München: Technische Universität München.
- HÖTTGES, Kirsten und Christoph KEMPKE, 2010. Entwicklung einer Bewertungsmethodik für den sommerlichen Wärmeschutz auf der Basis des nach DIN V 18599 rechnerisch ermittelten Nutzkältebedarfs. Endbericht 2009. Bau- und Wohnforschung; 2555ZI 4060 H695. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers [online]. [Zugriff am: 30 September 2020]. Verfügbar unter: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf
- IVANKOVIC, Goran, Hans HAFELLNER und Peter KAUTSCH, 2019. Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes. Bauphysik. 2019. Bd. 41, Nr. 1, S. 7–16.
- KALOGIROU, Soteris, 2009. Solar Energy Engineering. erste bearbeitete Auflage. Amsterdam, Heidelberg [u.a.]: Elsevier / Academic Press.
- LAOUADI, A., M. BARTKO und M.A. LACASSE, 2020. A new methodology of evaluation of overheating in buildings. Energy & Buildings. 2020. Bd. 110360, Nr. 226.
- NACKLER, Joachim Nathanael, 2017. Sommerlicher Wärmeschutz Vergleich von Berechnungsansätzen und Entwicklung eines Planungsinstrumentes zur Entwurfsfindung und Nachweis [online]. Technischen Universität Wien, Fakultät für Architektur und Raumplanung. [Zugriff am: 15 September 2020]. Verfügbar unter: https://architektur-bauforschung.at/wp-content/uploads/2020/05/20170_512_TU_Bib_DissNac_Small.pdf

- NICOLAI, Andreas, 2013. Physikalische Grundlagen des thermischen Raummodells THERAKLES. . 2013. S. 20. [Zugriff am: 15 September 2020]. Verfügbar unter: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-102112>
- PECH, Christian, Anton Pöhn, 2018. Sommerlicher Wärmeschutz. In: Bauphysik Wärme – Feuchte – Schall – Brand [online]. 2. Aufl. Basel,; Birkhäuser. S. 67–88. Baukonstruktionen, 1. Verfügbar unter: <https://doi-org.wwwdb.dbod.de/10.1515/9783035605747>
- ROUVEL, Lothar und Sven KOLMETZ, 1997. Thermische Bewertung von Gebäuden unter sommerlichen Randbedingungen. Gesundheitsingenieur - Haustechnik, Bauphysik, Umwelt. 1997. Nr. 118, S. 65–74.
- SCHILD, Kai und Wolfgang M. WILLEMS, 2013. Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz. In: Kai SCHILD und Wolfgang M. WILLEMS (Hrsg.), Wärmeschutz: Grundlagen - Berechnung - Bewertung [online]. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 201–232. Detailwissen Bauphysik. [Zugriff am: 23 Oktober 2020]. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-658-02571-7_5
- SCHLITZBERGER, Stephan, 2014. Anpassung und Entwicklung von Planungswerkzeugen für den sommerlichen Mindestwärmeschutz und zur Komfortbewertung des Sommerfalls [online]. Kassel: Universitätsbibliothek Kassel. [Zugriff am: 23 Oktober 2020]. Verfügbar unter: <https://d-nb.info/1056825685/34>
- ZHANG, Yufeng und Rongyi ZHAO, 2010. Thermal adaption in built environment - A literature review, discussion and primary exploration. J HV & AC. 2010. Bd. 40(9), S. 38–48.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Darstellung der physikalischen Prozesse in der Sommerlichen Wärmebilanz.....	5
Abbildung 2.2: 3D-Darstellung des Sonnengangs für den Standort Wien, Innere Stadt am 15. Juli. (Nackler 2017, Abb. 2.3).....	7
Abbildung 2.3: 2D-Darstellung des Sonnengangs für den Standort Wien, Innere Stadt am 15. Juli. (Nackler 2017, Abb. 2.2).....	7
Abbildung 2.4: Zeitlicher Verlauf der Strahlungsintensitäten auf vertikale Bauteile, Messung in Holzkirchen (SA: Sonnenaufgang, SU: Sonnenuntergang) (Schild, Willems 2013, Abb. 5.2-10)	9
Abbildung 3.1: Veranschaulichung der Häufigkeiten der klimatologischen Kenntage in den verschiedenen TRY-Datensätzen von 2004 und 2011 für die Klimaregionen nach DIN 4108-2	14
Abbildung 4.1: Häupls Annahmen zum Einschwingvorgang der Raumlufttemperatur während einer Schönwetterperiode Quelle: (Häupl 2017, S. 108 Bild 6.4)	18
Abbildung 4.2: Basisfall für die Kalibrierung des Sonneneintragskennwerteverfahrens; Quelle: (Schlitzberger 2014, S. 23 Tabelle 3-6)	22
Abbildung 4.3: Darstellung der Kalibrierung des Sonneneintragskennwertes S1 für die Klimaregion B als Beispiel für die Herangehensweise für die Kalibrierung des Sonneneintragskennwerteverfahrens; Quelle: (Schlitzberger 2014, S. 81 Bild 6-12).....	23
Abbildung 8.1: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur	59
Abbildung 8.2: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert).....	59
Abbildung 8.3: Notwendige Fc-Werte zum Bestehen des Nachweises bei variierten Energiedurchlassgraden der Verglasung	60
Abbildung 8.4: Notwendige Nachtluftwechselrate zum Bestehen des Nachweises bei variierten Internen Wärmeeinträgen	60
Abbildung 8.5: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur	62
Abbildung 8.6: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert).....	62
Abbildung 8.7: Notwendige Fc-Werte zum Bestehen des Nachweises bei variierten Energiedurchlassgraden der Verglasung	63
Abbildung 8.8: Notwendige Nachtluftwechselrate zum Bestehen des Nachweises bei variierten Internen Wärmeeinträgen	63
Abbildung 8.9: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur	66
Abbildung 8.10: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert).....	66

Abbildung 8.11: Notwendige Fc-Werte zum Bestehen des Nachweises bei variierten Energiedurchlass-graden der Verglasung.....	67
Abbildung 8.12: Notwendige Nachtluftwechsel-rate zum Bestehen des Nachweises bei variierten Internen Wärmeeinträge	67
Abbildung 8.13: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur	70
Abbildung 8.14: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert).....	70
Abbildung 8.15: Notwendige Fc-Werte zum Bestehen des Nachweises bei variierten Energiedurchlass-graden der Verglasung.....	71
Abbildung 8.16: Notwendige Nachtluftwechselrate zum Bestehen des Nachweises bei variierten Internen Wärmeeinträge	71
Abbildung 8.17: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur	74
Abbildung 8.18: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert).....	74
Abbildung 8.19: Notwendige Fc-Werte zum Bestehen des Nachweises bei variierten Energiedurchlassgraden der Verglasung.....	75
Abbildung 8.20: Notwendige Nachtluftwechselrate zum Bestehen des Nachweises bei variierten Internen Wärmeeinträge	75
Abbildung 8.21: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur	78
Abbildung 8.22: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert).....	78
Abbildung 8.23: Notwendige Fc-Werte zum Bestehen des Nachweises bei variierten Energiedurchlassgraden der Verglasung.....	79
Abbildung 8.24: Notwendige Nachtluftwechselrate zum Bestehen des Nachweises bei variierten Internen Wärmeeinträge	79
Abbildung 8.25: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur	82
Abbildung 8.26: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert).....	82
Abbildung 8.27: Notwendige Fc-Werte zum Bestehen des Nachweises bei variiertem Energiedurchlassgrad der Verglasung	83
Abbildung 8.28: Notwendige Nachtluftwechselrate zum Bestehen des Nachweises bei variierten Internen Wärmeeinträgen	83
Abbildung 8.29: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur	86
Abbildung 8.30: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert).....	86
Abbildung 8.31: Notwendige Fc-Werte zum Bestehen des Nachweises bei variiertem Energiedurchlassgrad der Verglasung	87
Abbildung 8.32: Notwendige Nachtluftwechselrate zum Bestehen des Nachweises bei variierten Internen Wärmeeinträge	87

Abbildung 8.33: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur 90

Abbildung 8.34: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert)..... 90

Abbildung 8.35: Notwendige Fc-Werte zum Bestehen des Nachweises bei variiertem Energiedurchlassgrad der Verglasung 91

Abbildung 8.36: Notwendige Nachtluftwechselrate zum Bestehen des Nachweises bei variierten Internen Wärmeeinträge 91

Abbildung 8.37: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur 93

Abbildung 8.38: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert)..... 93

Abbildung 8.39: Notwendige Fc-Werte zum Bestehen des Nachweises bei variiertem Energiedurchlassgrad der Verglasung 94

Abbildung 8.40: Notwendige Nachtluftwechselrate zum Bestehen des Nachweises bei variierten Internen Wärmeeinträgen 94

Abbildung 8.41: Darstellung der Temperaturverläufe in der Woche mit der maximalen wochengemittelten operativen Raumtemperatur 96

Abbildung 8.42: Wärmebilanzanteile des Basisszenarios (Wochenmittel als Stundenwert)..... 96

Abbildung 8.43: Notwendige Fc-Werte zum Bestehen des Nachweises bei variiertem Energiedurchlassgrad der Verglasung 97

Abbildung 8.44: Notwendige Nachtluftwechselrate zum Bestehen des Nachweises bei variierten Internen Wärmeeinträgen 97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Temperaturkriterien der klimatologischen Kenntage.....	10
Tabelle 3.1:	Häufigkeiten der klimatologischen Kenntage in den verschiedenen TRY-Datensätzen von 2004 und 2011 für die Klimaregionen nach DIN 4108-2	14
Tabelle 4.1:	Außenlufttemperaturannahmen gemäß TGL 35424/01 Tab. 2.....	16
Tabelle 4.2:	Simulationsrandbedingungen bei der Kalibrierung der Sonneneintragskennwerte	24
Tabelle 4.3:	Einfache Kriterien nach SIA 180 Abschnitt 5.2.2 zum Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutz durch Verfahren I	25
Tabelle 5.1:	Vergleich der in den Verfahren betrachteten Nachweisperioden...	29
Tabelle 5.2:	Berücksichtigte Raumeigenschaften.....	30
Tabelle 5.3:	Berücksichtigte Eigenschaften opaker Bauteile.....	31
Tabelle 5.4:	Berücksichtigte Fenstereigenschaften.....	32
Tabelle 5.5:	Vergleich der Außenklimarandbedingungen	34
Tabelle 5.6:	Vergleich der berücksichtigten Nutzungsrandbedingungen	34
Tabelle 5.7:	Bewertungsansätze der verschiedenen Verfahren und die zugrunde liegenden Behaglichkeitsanforderungen	36
Tabelle 6.1:	Bewertungsgrenzwerte zur Beurteilung der Zulässigkeit eines Gebäudes im Nachweis des SWS durch Thermischen Raumsimulation (Quelle: DIN 4108-2, Tab.9).....	41
Tabelle 6.2:	Auflistung Einflussparameter im Rahmen der Verfahren.....	42
Tabelle 6.3:	Beispiel einer resultierenden Matrix aus der Variation 1	43
Tabelle 6.4:	Auswertung der Variation zum Verfahrensvergleich	43
Tabelle 6.5:	Wertebereich für die Annahme der Inneren Wärmelasten in der Variation 2.....	44
Tabelle 7.1:	Angenommene Globalstrahlungsintensitäten für die Berechnungen mit dem Häupl-Verfahren	47
Tabelle 7.2:	Grenzwerte zur Beurteilung der Bauart eines Raumes; (Quelle: DIN 4108-2 Tab. 8).....	48
Tabelle 7.3:	Liste der berücksichtigten Sonnenschutzvorrichtungen nach DIN 4108-2: 2013 Tab. 7.....	49
Tabelle 7.4:	Sonnenschutzabminderungsfaktoren F_c nach DIN 4108-2: 2013 Tab. 7.....	50
Tabelle 7.5:	Energiedurchlassgrad für den senkrechten Strahlungseinfall von fünf verschiedenen Verglasungsarten nach VDI 2078 B3.1	50
Tabelle 7.6:	Grenzbestrahlungsstärken für die automatisierte Sonnenschutzsteuerung; (Quelle: DIN 4108-2:2013 S.31).....	51
Tabelle 7.7:	Zeitliche Verteilung der Inneren Wärmelasten für Wohnzimmer..	53
Tabelle 7.8:	Zeitliche Verteilung der Inneren Wärmelasten für Schlaf- bzw. Jugendzimmer	53
Tabelle 7.9:	Überblick über die Wertevariation in den Anwendungsszenarien .	54

Tabelle 8.1:	Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse.....	59
Tabelle 8.2:	Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse.....	62
Tabelle 8.3:	Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse.....	66
Tabelle 8.4:	Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse.....	70
Tabelle 8.5:	Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse.....	74
Tabelle 8.6:	Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse.....	78
Tabelle 8.7:	Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse.....	82
Tabelle 8.8:	Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse.....	86
Tabelle 8.9:	Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse.....	90
Tabelle 8.10:	Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse.....	93
Tabelle 8.11:	Zulässigkeitsbewertung des Basisszenarios und Simulationsergebnisse.....	96
Tabelle 8.12:	Überblick über die Zulässigkeitsentscheidungen der Verfahren für alle Anwendungsszenarien	98
Tabelle 8.13:	Auswertung der notwendigen Fc-Werte und Nachtluftwechselraten zum Erfüllen des Nachweises im Verhältnis zur Simulation	100

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Variationskript für Szenario 01

Anlage 2: Skript zur Auswertung der Simulationsergebnisse

Anlage 3: Template Variation 1

Anlage 4: Template Variation 2

Anlage 5: Bauteilliste

Erklärung zur selbständigen Anfertigung der Diplomarbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht worden.

Dresden, den 10. März 2021

-Unterschrift Diplomandin-

Oda Budny

```

1  #!/usr/bin/env python3
2  # -*- coding: utf-8 -*-
3  #
4  #
5  # Run the script as:
6  #
7  # > python example_oda.py
8
9  import os, sys
10 import subprocess
11 from distutils.dir_util import copy_tree
12
13 from JobRunner import JobRunner
14
15 ANDREAS = False
16
17 if ANDREAS:
18     BASE_SUBDIR = "/home/ghorwin/tmp/varscript/"
19     VARIANTS_SUBDIR = "/home/ghorwin/tmp/varscript/vars"
20
21     THERAKLES_EXECUTABLE =
22     "/home/ghorwin/svn/TheraklesApp_trunk/bin/release/TheraklesSolver"
23
24 else:
25     BASE_SUBDIR = r"C:\Users\49160\Documents\Diplomarbeit\Szenarien\Sim\Sze01_Wohn"
26     VARIANTS_SUBDIR =
27     r"C:\Users\49160\Documents\Diplomarbeit\Szenarien\Sim\Sze01_Wohn\Variations"
28
29     THERAKLES_EXECUTABLE = r"C:\Program Files\IBK\Therakles Professional
30     3.4\TheraklesSolver.exe"
31
32 # get absolute file paths tools (assumed to be inside this directory)
33 #THERAKLES_EXECUTABLE = os.path.join(os.getcwd(), THERAKLES_EXECUTABLE)
34 if not os.path.exists(THERAKLES_EXECUTABLE):
35     print("Missing THERAKLES Solver executable '{}'.format(THERAKLES_EXECUTABLE))
36     exit(1)
37
38 # list of glazings defined by gsenk
39 WINDOW_GSENK = [0.78, 0.64, 0.48, 0.4, 0.31]
40
41 # list of solar protection FC-Values from DIN 4108-2
42 FC_1 = [1, 0.65, 0.75, 0.85, 0.3, 0.1, 0.25, 0.15, 0.25, 0.5]
43 FC_2 = [1, 0.7, 0.8, 0.9, 0.3, 0.1, 0.25, 0.15, 0.25, 0.5]
44 FC_3 = [1, 0.65, 0.75, 0.9, 0.35, 0.15, 0.3, 0.2, 0.3, 0.55]
45
46 # air change rates for maximum ventilation during night on a weekday [1/h]
47 # Mind: these are ready-made schedules and thus stored as strings
48 N_NIGHT_WEEKDAY = [
49     " 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0",
50     " 0 0 0 0 ",
51     " 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24",
52     " 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24 0.24",
53     " 0.24 0.24 0.24 0.24 ",
54     " 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50",
55     " 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50",
56     " 0.50 0.50 0.50 0.50 ",
57     " 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.75 0.50 0.50",
58     " 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50",
59     " 0.50 0.75 0.75 0.75 ",
60     " 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.50 0.50",
61     " 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50",
62     " 0.50 1.00 1.00 1.00 ",
63     " 1.25 1.25 1.25 1.25 1.25 1.25 1.25 1.25 1.25 0.50 0.50",
64     " 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50",
65     " 0.50 1.25 1.25 1.25 ",
66     " 1.50 1.50 1.50 1.50 1.50 1.50 1.50 1.50 1.50 0.50 0.50",
67     " 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50",
68     " 0.50 1.50 1.50 1.50 ",
69     " 1.75 1.75 1.75 1.75 1.75 1.75 1.75 1.75 1.75 0.50 0.50",
70     " 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50",
71     " 0.50 1.75 1.75 1.75 ",
72     " 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50"

```

```

55 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 2 2 2 ",
" 3 3 3 3 3 3 3 3 3 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 3 3 3 ",
56 " 4 4 4 4 4 4 4 4 4 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 4 4 4 ",
57 " 5 5 5 5 5 5 5 5 5 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 5 5 5 ",
58 " 6 6 6 6 6 6 6 6 6 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 6 6 6 ",
59 " 7 7 7 7 7 7 7 7 7 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 7 7 7 ",
60 " 8 8 8 8 8 8 8 8 8 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 8 8 8 ",
61 " 9 9 9 9 9 9 9 9 9 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 9 9 9 ",
62 " 10 10 10 10 10 10 10 10 10 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 10 10 10 "
63
64 ]
65
66 # Internal loads WeekDaySchedule [W/m²]
67 # Mind: these are ready-made schedules and thus stored as strings
68 INTERNALLOADS = [
69 " 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 ",
70 " 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 ",
71 " 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9
1.9 1.9 1.9 1.9 ",
72 " 0 0 0 0 0 0 6.4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 6.4 6.4 6.4
6.4 6.4 6.4 0 ",
73 " 0 0 0 0 0 0 2.7 2.7 2.7 2.7 2.7 2.7 2.7 2.7 2.7 2.7 2.7 2.7 2.7 2.7
2.7 2.7 2.7 0 ",
74 " 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9 2.9
2.9 2.9 2.9 2.9 ",
75 " 0 0 0 0 0 0 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 10 10 10
10 10 10 0 ",
76 " 0 0 0 0 0 0 4.1 4.1 4.1 4.1 4.1 4.1 4.1 4.1 4.1 4.1 4.1 4.1 4.1 4.1
4.1 4.1 4.1 0 ",
77 " 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75
3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75 3.75
3.75 3.75 3.75 3.75 ",
78 " 0 0 0 0 0 0 12.9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 12.9
12.9 12.9 12.9 12.9 12.9 12.9 0 ",
79 " 0 0 0 0 0 0 5.3 5.3 5.3 5.3 5.3 5.3 5.3 5.3 5.3 5.3 5.3 5.3 5.3 5.3
5.3 5.3 5.3 0 ",
80 " 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2 4.2
4.2 4.2 4.2 4.2 ",
81 " 0 0 0 0 0 0 14.3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 14.3
14.3 14.3 14.3 14.3 14.3 0 ",
82 " 0 0 0 0 0 0 5.9 5.9 5.9 5.9 5.9 5.9 5.9 5.9 5.9 5.9 5.9 5.9 5.9 5.9
5.9 5.9 5.9 0 ",
83 " 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6
6 6 6 6 ",
84 " 0 0 0 0 0 0 20.7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 20.7
20.7 20.7 20.7 20.7 20.7 0 ",
85 " 0 0 0 0 0 0 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5
8.5 8.5 8.5 0 ",
86 " 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3 8.3
8.3 8.3 8.3 8.3 "
87 ]
88
89 def read_file(fname):
90     try:
91         fobj = open(fname, 'r')
92         content = fobj.read()
93         fobj.close()
94         del fobj # release file handle
95         return content
96     except IOError as e:
97         print(str(e))
98         raise RuntimeError("Error reading/opening file '{}'.format(fname))

```

```

99
100 def write_file(fname, contents):
101     try:
102         fobj = open(fname, 'w')
103         fobj.write(contents)
104         fobj.close()
105         del fobj # release file handle
106     except IOError as e:
107         print(str(e))
108         raise RuntimeError("Error opening file '{}' for writing".format(fname))
109
110
111 # *** main ***
112
113 # 1. read template file, file name is passed as first argument to script
114
115 PROJECT_TEMPLATE1 = read_file(BASE_SUBDIR + '\\template_var1.rmxml')
116 PROJECT_TEMPLATE2 = read_file(BASE_SUBDIR + '\\template_var2.rmxml')
117
118 # 2. create directory for project variants
119 if not os.path.exists(VARIANTS_SUBDIR):
120     os.mkdir(VARIANTS_SUBDIR)
121
122 # 5. create project variants
123
124 # 1. for each variant we create a project file with unique name and store it in the
125     VARIANTS_SUBDIR
126 # 2. then, we compose the command line for the Therakles solver and store it in the
127     list 'jobs'
128 # 3. finally, we execute the simulations (in parallel)
129 jobs = []
130
131 # 5.1 Parametervariation 1 Kombination von gsenk mit Fc
132 for gsenk in WINDOW_GSENK:
133     # select FC (shading factors) based on SHGC0-values (gsenk)
134     if ((gsenk == 0.78) or (gsenk == 0.64)):
135         FC = FC_1
136     if (gsenk == 0.48):
137         FC = FC_2
138     if ((gsenk == 0.40) or (gsenk == 0.31)):
139         FC = FC_3
140
141     # create a variant for each shading factor
142     for FCIdx in range(len(FC)): # FCIdx runs from 0...len(FC)-1
143         FCval = FC[FCIdx]
144
145         SSID = FCIdx + 1 # from 1..len(FC)
146
147         # replace placeholder texts for Window gsenk and Shading Type FC
148         variant = PROJECT_TEMPLATE1.replace('${GSENK}','{}'.format(gsenk))
149         variant = variant.replace('${FCVALUE}','{}'.format(FCval))
150
151         # create variant file name, file name pattern = <gsenk>_<SSID>.rmxml
152         rmxmlfile = VARIANTS_SUBDIR + "\\var1_{:.2f}_{}.rmxml".format(gsenk, SSID)
153
154         # write the file
155         write_file(rmxmlfile, variant)
156
157         # add to list of jobs, unless project was already simulated, use command
158         # line arguments -x for windows,
159         # Note: use the commented-out check for restart.bin to avoid re-simulating
160         # all test cases again, when
161         # some are already complete
162         #if not os.path.exists(rmxmlfile[:-4] + "/var/restart.bin"):
163         jobs.append([THERAKLES_EXECUTABLE, '-x', '--verbosity-level=0', rmxmlfile])
164
165 #5.2 Parametervariation 2 Kombination von Inneren Wärmelasten und Nachtlüftung
166 for qiIdx in range(len(INTERNALLOADS)):
167     qi = INTERNALLOADS[qiIdx]

```

```

167     for nnightIdx in range(len(N_NIGHT_WEEKDAY)):
168         nnight = N_NIGHT_WEEKDAY[nnightIdx]
169
170         # replace placeholder texts for EquipmentLoads and Airchanges during WEEK
171         # Note: qi and nnight are already strings
172         variant = PROJECT_TEMPLATE2.replace('${QiWEEK}',qi)
173         variant = variant.replace('${NWEEK}',nnight)
174
175         # create variant file name, file name pattern =
176         <Matrixzeile>_<Matrixspalte>.rmxml
177         # Mind: first variant will get file 0_0.rmxml
178         rmxmlfile = VARIANTS_SUBDIR + "\\var2_{_}.rmxml".format(qiIdx, nnightIdx)
179
180         # write the file
181         write_file(rmxmlfile, variant)
182
183         # add to list of jobs, unless project was already simulated, use command
184         line arguments -x for windows,
185         # and -p=2 for 2 CPUs per job
186         # Note: use the commented-out check for restart.bin to avoid re-simulating
187         all test cases again, when
188         #         some are already complete
189         #if not os.path.exists(rmxmlfile[:-4] + "/var/restart.bin"):
190         jobs.append([THERAKLES_EXECUTABLE, '-x', '--verbosity-level=0', rmxmlfile])
191
192 # 6. run all the jobs in parallel
193 jobRunner = JobRunner(4) # 4 jobs at the same time
194 jobRunner.run(jobs)

```

```

1  #!/usr/bin/env python3
2  # -*- coding: utf-8 -*-
3  import csv
4  import os, sys
5  import subprocess
6  import re
7  import pandas as pd
8  from distutils.dir_util import copy_tree
9
10 # Vorgehen zur Auswertung meiner .tsv- Dateien
11 BASE_SUBDIR = (r"C:\Users\49160\Documents\Diplomarbeit\Szenarien\Sim\Sze01_Wohn")
12 VARIANTS_SUBDIR =
13     (r"C:\Users\49160\Documents\Diplomarbeit\Szenarien\Sim\Sze01_Wohn\Variations")
14
15 # Funktionen
16
17 def calcKHa(tempRoom, tempZul):          # Funktion zur Berechnung von
Übertemperaturgradstunden in Kh/a
18     print(tempRoom)
19     if (tempRoom - tempZul) > 0:
20         return (tempRoom - tempZul)
21     else:
22         return 0
23     #t = calcKHa(20, 25)
24     #print(t)
25
26 def write_csv(fname, contents):          # Funktion zum Schreiben einer Datei
27     with open(fname, "w+") as my_csv:
28         csvWriter = csv.writer(my_csv, delimiter=',')
29         csvWriter.writerows(contents)
30
31 # Notwendige händische Eingabe: Schreibe Klimaregion in string, um maxTemp festzulegen
32
33 clireg = "A"
34
35 maxTempA = 25
36 maxTempB = 26
37 maxTempC = 27
38
39 if clireg == "A":
40     maxTemp = maxTempA
41 elif clireg == "B":
42     maxTemp = maxTempB
43 elif clireg == "C":
44     maxTemp = maxTempC
45
46 #print("max temp =")
47 #print(maxTemp)
48
49
50 qiNr = 18
51 nnightNr = 17
52 WINDOW_GSENK = [0.78, 0.64, 0.48, 0.4, 0.31]
53 SSID = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]
54 MATRIX_VAR1 = [[0] * len(WINDOW_GSENK) for i in range(len(SSID))]
55 MATRIX_VAR2 = [[0] * nnightNr for i in range(qiNr)]
56
57 # main
58
59 # Variation 1
60 gsenkIdx = 0
61 for gsenk in WINDOW_GSENK:
62     ssidIdx = 0
63     for ssid in SSID:
64
65         directoryVar1 = VARIANTS_SUBDIR + "\Var1_{:.2f}_{:}" .format(gsenk, ssid) #
das sind die Namen der resultsordner ersten Gruppe von Dateien, die
eingelassen werden müssen
66         states1 = directoryVar1 + "\\results\\states.tsv"
67         df = pd.read_csv(states1, sep="\t")
68         AKTTEMP = df["Operative temperature [C]"]

```

```

69
70     KHa = 0
71     for aktTemp in AKTTEMP:
72         kh = calcKHa(round(float(aktTemp),0), float(maxTemp))
73         KHa += kh
74         print(KHa)
75         print(ssidIdx, gsenkIdx, len(MATRIX_VAR1[0]))
76         MATRIX_VAR1[ssidIdx][gsenkIdx]= KHa
77         ssidIdx += 1
78     gsenkIdx += 1
79
80 csvfile1 = BASE_SUBDIR + "\\result_var1.csv"
81 write_csv(csvfile1, MATRIX_VAR1)
82
83
84 # Variation 2
85
86 for qiIdx in list(range(qiNr)):
87     for nnightIdx in list(range(nnightNr)):
88
89         directoryVar2 = VARIANTS_SUBDIR + "\Var2_{}_{}".format(qiIdx, nnightIdx) #
90         das sind die Namen der resultsordner der zweiten Gruppe von Dateien, die
91         eingelesen werden müssen.
92         states2 = directoryVar2 + "\\results\\states.tsv"
93         df = pd.read_csv(states2, sep="\t")
94         AKTTEMP = df["Operative temperature [C]"]
95         #print(AKTTEMP)
96
97         KHa = 0
98         for aktTemp in AKTTEMP:
99             kh = calcKHa(round(float(aktTemp),0), float(maxTemp))
100             KHa += kh
101             print(KHa)
102             print(qiIdx, nnightIdx, len(MATRIX_VAR2[0]))
103             MATRIX_VAR2[qiIdx][nnightIdx]= KHa
104
105 csvfile2 = BASE_SUBDIR + "\\result_var2.csv"
106 write_csv(csvfile2, MATRIX_VAR2)

```

```

1  <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2  <!DOCTYPE RoomModelProject><RoomModelProject Version="3.4.0"> Anlage 3 TemplateVar1
3      <Room>
4          <ProjectInformation>
5              <ProjectName>Sze01 Wohn Basisfall</ProjectName>
6              <ConstructionID></ConstructionID>
7              <UserName></UserName>
8              <Company></Company>
9              <Location></Location>
10             <Description>
11             <p style="margin-top:0px; margin-bottom:0px; margin-left:0px; margin-right:0px; -qt-block-indent:0; text-indent:0px;"><br /></p></Description>
12             <DisclaimerText></DisclaimerText>
13         </ProjectInformation>
14         <Geometry>
15             <Height>2.3</Height>
16             <Area>21.2</Area>
17             <Constructions>
18                 <RoomConstruction>
19                     <orientation>180</orientation>
20                     <inclination>90</inclination>
21                     <R_ue>0.04</R_ue>
22                     <R_ui>0.13</R_ui>
23                     <beta_e>2e-07</beta_e>
24                     <beta_i>3e-08</beta_i>
25                     <ad>0.7</ad>
26                     <zoneT>12</zoneT>
27                     <zoneRH>50</zoneRH>
28                     <AW>8.6</AW>
29                     <AF>3.1</AF>
30                     <constructionId>10026</constructionId>
31                     <windowId>1050</windowId>
32                     <shadingTypeId>1050</shadingTypeId>
33                     <type>Outside</type>
34                 </RoomConstruction>
35                 <RoomConstruction>
36                     <orientation>270</orientation>
37                     <inclination>90</inclination>
38                     <R_ue>0.04</R_ue>
39                     <R_ui>0.13</R_ui>
40                     <beta_e>2e-07</beta_e>
41                     <beta_i>3e-08</beta_i>
42                     <ad>0.7</ad>
43                     <zoneT>12</zoneT>
44                     <zoneRH>50</zoneRH>
45                     <AW>5.5</AW>
46                     <AF>3</AF>
47                     <constructionId>10026</constructionId>
48                     <windowId>1050</windowId>
49                     <shadingTypeId>1050</shadingTypeId>
50                     <type>Outside</type>
51                 </RoomConstruction>
52                 <RoomConstruction>
53                     <orientation>270</orientation>
54                     <inclination>90</inclination>
55                     <R_ue>0.04</R_ue>
56                     <R_ui>0.1</R_ui>
57                     <beta_e>2e-07</beta_e>
58                     <beta_i>3e-08</beta_i>
59                     <ad>0.7</ad>
60                     <zoneT>12</zoneT>
61                     <zoneRH>50</zoneRH>
62                     <AW>21.2</AW>
63                     <AF>0</AF>
64                     <constructionId>10030</constructionId>
65                     <windowId>0</windowId>
66                     <shadingTypeId>0</shadingTypeId>
67                     <type>Inside</type>
68                 </RoomConstruction>
69             </RoomConstruction>
70         </Geometry>

```

```

71         <inclination>90</inclination>
72         <R_ue>0.04</R_ue>
73         <R_ui>0.17</R_ui>
74         <beta_e>2e-07</beta_e>
75         <beta_i>3e-08</beta_i>
76         <ad>0.7</ad>
77         <zoneT>12</zoneT>
78         <zoneRH>50</zoneRH>
79         <AW>21.2</AW>
80         <AF>0</AF>
81         <constructionId>10029</constructionId>
82         <windowId>0</windowId>
83         <shadingTypeId>0</shadingTypeId>
84         <type>Inside</type>
85     </RoomConstruction>
86     <RoomConstruction>
87         <orientation>270</orientation>
88         <inclination>90</inclination>
89         <R_ue>0.04</R_ue>
90         <R_ui>0.13</R_ui>
91         <beta_e>2e-07</beta_e>
92         <beta_i>3e-08</beta_i>
93         <ad>0.7</ad>
94         <zoneT>12</zoneT>
95         <zoneRH>50</zoneRH>
96         <AW>21.6</AW>
97         <AF>0</AF>
98         <constructionId>10028</constructionId>
99         <windowId>0</windowId>
100        <shadingTypeId>0</shadingTypeId>
101        <type>Inside</type>
102    </RoomConstruction>
103    <RoomConstruction>
104        <orientation>270</orientation>
105        <inclination>90</inclination>
106        <R_ue>0.04</R_ue>
107        <R_ui>0.13</R_ui>
108        <beta_e>2e-07</beta_e>
109        <beta_i>3e-08</beta_i>
110        <ad>0.7</ad>
111        <zoneT>12</zoneT>
112        <zoneRH>50</zoneRH>
113        <AW>6.9</AW>
114        <AF>0</AF>
115        <constructionId>10027</constructionId>
116        <windowId>0</windowId>
117        <shadingTypeId>0</shadingTypeId>
118        <type>Inside</type>
119    </RoomConstruction>
120 </Constructions>
121 </Geometry>
122 <ClimateLocation>DIN4108_2/Region_A.c6b</ClimateLocation>
123 <HeatingModel name="" modelType="SIMPLE">
124     <MaxPower>2500</MaxPower>
125     <ScheduleSetPoints type="CONSTANT">
126         <ConstantValue>20</ConstantValue>
127     </ScheduleSetPoints>
128 </HeatingModel>
129 <CoolingModel name="" modelType="NONE">
130     <MaxPower>1200</MaxPower>
131     <ScheduleSetPoints type="DAILY_WEEK">
132         <WeekDaySchedule>40 40 40 40 40 40 40 40 40 26 26 26 26 26 26 26 26
133         40 40 40 40 40 40 40 40 </WeekDaySchedule>
134         <WeekEndSchedule>40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40
135         40 40 40 40 40 40 40 </WeekEndSchedule>
136         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
137     </ScheduleSetPoints>
138     <ScheduleHumiditySetPoints type="DAILY_WEEK">
139         <WeekDaySchedule>100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 50 50 50 50 50 50
140         50 50 50 100 100 100 100 100 100 100 </WeekDaySchedule>
141         <WeekEndSchedule>100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100
142         100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 </WeekEndSchedule>

```

```
139         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
140     </ScheduleHumiditySetPoints>
141 </CoolingModel>
142 <NaturalVentilationModel name="" modelType="DIN">
143     <ScheduleAirChangeRates type="DAILY_WEEK">
144         <WeekDaySchedule>2 2 2 2 2 2 2 2 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5
145         0.5 0.5 0.5 0.5 2 2 2 </WeekDaySchedule>
146         <WeekEndSchedule>2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5
147         0.5 0.5 0.5 2 2 2 </WeekEndSchedule>
148         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
149     </ScheduleAirChangeRates>
150     <MinTRoom>23</MinTRoom>
151     <TRoomDifference>0</TRoomDifference>
152     <SetTRoom>23</SetTRoom>
153     <TRoomDifferenceNight>0</TRoomDifferenceNight>
154     <BaseAirChangeRate>0.5</BaseAirChangeRate>
155     <BaseAirChangeRateNight>0.5</BaseAirChangeRateNight>
156     <OccupancyStartTime>06:00:00</OccupancyStartTime>
157     <OccupancyEndTime>23:00:00</OccupancyEndTime>
158 </NaturalVentilationModel>
159 <MechanicalVentilationModel name="" modelType="NONE">
160     <SupplyTemperature>16</SupplyTemperature>
161     <MaxSupplyFlowRate>40</MaxSupplyFlowRate>
162     <HeatRecoveryEfficiency>0</HeatRecoveryEfficiency>
163     <HeatRecoverySetpoint>22</HeatRecoverySetpoint>
164     <ScheduleSetPoints type="DAILY_WEEK">
165         <WeekDaySchedule>40 40 40 40 40 40 40 40 26 26 26 26 26 26 26 26 26
166         40 40 40 40 40 40 40 </WeekDaySchedule>
167         <WeekEndSchedule>40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40
168         40 40 40 40 40 40 40 </WeekEndSchedule>
169         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
170     </ScheduleSetPoints>
171     <ScheduleHumiditySetPoints type="DAILY_WEEK">
172         <WeekDaySchedule>100 100 100 100 100 100 100 100 100 50 50 50 50 50 50
173         50 50 50 100 100 100 100 100 100 100 </WeekDaySchedule>
174         <WeekEndSchedule>100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100
175         100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 </WeekEndSchedule>
176         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
177     </ScheduleHumiditySetPoints>
178     <ScheduleVentilationRates type="CONSTANT">
179         <ConstantValue>0</ConstantValue>
180     </ScheduleVentilationRates>
181 </MechanicalVentilationModel>
182 <MoistureLoads name="Büro">
183     <ScheduleMoistureLoad type="CONSTANT">
184         <ConstantValue>20</ConstantValue>
185     </ScheduleMoistureLoad>
186 </MoistureLoads>
187 <UserLoads name="Büro">
188     <PersonLoad>70</PersonLoad>
189     <ScheduleOccupancy type="DAILY_WEEK">
190         <WeekDaySchedule>0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 3 3 2 2 2 0
191         </WeekDaySchedule>
192         <WeekEndSchedule>0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 3 1 1 3 1 1 2 2 2 2 3 3 3 0
193         </WeekEndSchedule>
194         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
195     </ScheduleOccupancy>
196     <ScheduleEquipmentLoad type="DAILY_WEEK">
197         <WeekDaySchedule>0 0 0 0 0 0 0 0.03 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 6 6 6 6 3 3 0
198         </WeekDaySchedule>
199         <WeekEndSchedule>0 0 0 0 0 0 0 0 6 6 3 3 3 0 0 6 6 6 6 6 3 3 0
200         </WeekEndSchedule>
201         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
202     </ScheduleEquipmentLoad>
203 </UserLoads>
204 <ShadingControlModel name="" modelType="SCHEDULED">
205     <MaxRadiationIntensityHorizontal>250</MaxRadiationIntensityHorizontal>
206     <MaxRadiationIntensityWest>250</MaxRadiationIntensityWest>
207     <MaxRadiationIntensitySouth>250</MaxRadiationIntensitySouth>
208     <MaxRadiationIntensityNorth>250</MaxRadiationIntensityNorth>
209     <MaxRadiationIntensityEast>250</MaxRadiationIntensityEast>
210 </StructuralShadings>
```

```

201         <StructuralShading>
202             <WindowHeight>1</WindowHeight>
203         </StructuralShading>
204         <StructuralShading>
205             <WindowHeight>1.2</WindowHeight>
206             <SideFinAWidth>3.8</SideFinAWidth>
207             <SideFinAHeight>6</SideFinAHeight>
208             <SideFinAOffset>4.8</SideFinAOffset>
209             <SideFinADistance>0.1</SideFinADistance>
210         </StructuralShading>
211     </StructuralShading/>
212 </StructuralShading/>
213 </StructuralShading/>
214 </StructuralShading/>
215 </StructuralShadings>
216 <StructuralShadingDescription></StructuralShadingDescription>
217 <ScheduleShadingDegree type="DAILY_WEEK">
218     <WeekDaySchedule>0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0.5 0.5 0 0 0 0 0
219     </WeekDaySchedule>
220     <WeekEndSchedule>0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5
221     0 0 0 0 0 </WeekEndSchedule>
222     <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
223 </ScheduleShadingDegree>
224 </ShadingControlModel>
225 <SimulationParameters>
226     <TInitial>20</TInitial>
227     <Albedo>0.2</Albedo>
228     <GammaHC>0.5</GammaHC>
229     <GammaRad>0.5</GammaRad>
230     <AdditionalMassHeatCapacity>780</AdditionalMassHeatCapacity>
231     <AdditionalMass>0</AdditionalMass>
232     <UsePerezModel>false</UsePerezModel>
233 </SimulationParameters>
234 </Room>
235 <EmbeddedDataBase>
236     <Materials>
237         <Material id="731" category="6" name="de:Mineralwolle WLG 035|en:Mineral
238         Wool 035|fr:laine minérale|it:Lana minerale WLG 035|ru:" lambda="0.035"
239         rho="67" cT="840" mu="1" w80="0.0808084" wsat="900" HPCM="0"
240         TPCMLow="23" comment="de: Sorptionsisotherme aus der
241         Veröffentlichung|en: Sorption Isotherm from paper Isotherms of sorption
242         and desorption of water vapour by thermal insulating mineral wool
243         products, I. Gnip, S. Vejelis, V. Kersulis|it: Isoterme di adsorbimento
244         dalla pubblicazione|ru:"
245         source="de:Literatur|en:Literature|fr:Littérature|it:Letteratura|ru:"
246         producer="" productID=""/>
247         <Material id="146" category="2" name="de:Kalkzementputz|en:Lime Cement
248         Plaster|it:Intonaco di cemento calce|ru:" lambda="0.8" rho="1900"
249         cT="900" mu="15" w80="53" wsat="220" HPCM="0" TPCMLow="23" comment=""
250         source="de:IBK-Labor|en:IBK-Laboratory|it:Laboratorio IBK|ru:"
251         producer="" productID=""/>
252         <Material id="1206" category="6" name="de:Mineralwolle 0.045 (T2
253         5.1)|en:mineral wool 0.045" lambda="0.045" rho="100" cT="1030" mu="1"
254         HPCM="0" TPCMLow="23" comment="de:DIN 4108-4 Tabelle 2 Zeile 5.1,
255         Mineralwolle MW nach DIN EN 13162a, Nennwert 0.045" source="de:Literatur
256         DIN 4108-4|en:Literature DIN 4108-4" producer="" productID=""/>
257         <Material id="46" category="2" name="de:Zementestrich|en:Cement
258         Flooring|it:Massetto in cemento|ru:" lambda="1.4" rho="2000" cT="850"
259         mu="25" w80="26" wsat="196" HPCM="0" TPCMLow="23" comment=""
260         source="de:Literatur|en:Literature|it:Letteratura|ru:Литертура"
261         producer="" productID=""/>
262         <Material id="1221" category="6" name="de:Expandierter Polystyrolschaum
263         EPS 0.039 (T2 5.2)|en:expanded polystyrol foam EPS 0.039" lambda="0.039"
264         rho="80" cT="1450" mu="20" HPCM="0" TPCMLow="23" comment="de:DIN 4108-4
265         Tabelle 2 Zeile 5.2, Expandierter Polystyrolschaum EPS nach DIN EN
266         13163a, Nennwert 0.039" source="de:Literatur DIN 4108-4|en:Literature
267         DIN 4108-4" producer="" productID=""/>
268         <Material id="851" category="2" name="de:Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement
269         und hydraulischem Kalk (T1 1.1.1)|en:lime cement plaster" lambda="1"
270         rho="1800" cT="1050" mu="15" HPCM="0" TPCMLow="23" comment="de:DIN
271         4108-4 Tabelle 1 Zeile 1.1.1" source="de:Literatur DIN
272         4108-4|en:Literature DIN 4108-4" producer="" productID=""/>

```

```

241 <Material id="1687" category="5" name="de:Betong armiert (1%Stahl) 2300
(T1 2.1)|en:Concrete reinforced (1% steel) 2300" lambda="2.3" rho="2300"
cT="1000" mu="130" HPCM="0" TPCMLow="23" comment="de:DIN 4108-4 Tabelle
1 Zeile 2.1 verweist auf ISO 10456 Tabelle 3|en:DIN 4108-4 Table 1 Line
2.1 refers to ISO 10456 Table 3" source="de:Literatur DIN 4108-4 und ISO
10465|en:Literature DIN 4108-4 and ISO 10456" producer="" productID=""/>
242 <Material id="79" category="7" name="de:Gipskartonplatte|en:Gypsum
Board|it:Pannello in cartongesso|ru:" lambda="0.21" rho="730" cT="900"
mu="6.8" w80="8" wsat="440" HPCM="0" TPCMLow="23" comment=""
source="de:IBK-Labor|en:IBK-Laboratory|it:Laboratorio IBK|ru:"
producer="de:Rigips|en:Rigips|it:Rigips|ru:Rigips" productID=""/>
243 </Materials>
244 <ConstructionTypes>
245 <ConstructionType name="de:IW Stb.|en:&lt;new construction type&gt;"
id="10028" Insulation="4" Materials="6" Construction="8">
246 <Layers>
247 <Layer materialId="851" d="0.01"/>
248 <Layer materialId="1687" d="0.18"/>
249 <Layer materialId="851" d="0.01"/>
250 </Layers>
251 </ConstructionType>
252 <ConstructionType name="de:DE Stb. nach unten|en:&lt;new construction
type&gt;" id="10029" Insulation="4" Materials="6" Construction="8">
253 <Layers>
254 <Layer materialId="1687" d="0.1"/>
255 <Layer materialId="1221" d="0.05"/>
256 <Layer materialId="46" d="0.065"/>
257 </Layers>
258 </ConstructionType>
259 <ConstructionType name="de:DE Stb. nach oben|en:&lt;new construction
type&gt;" id="10030" Insulation="4" Materials="6" Construction="8">
260 <Layers>
261 <Layer materialId="46" d="0.065"/>
262 <Layer materialId="1221" d="0.05"/>
263 <Layer materialId="1687" d="0.1"/>
264 </Layers>
265 </ConstructionType>
266 <ConstructionType name="de:Trockenbau 12,5 cm|en:&lt;new construction
type&gt;" id="10027" Insulation="4" Materials="6" Construction="8">
267 <Layers>
268 <Layer materialId="79" d="0.013"/>
269 <Layer materialId="1206" d="0.1"/>
270 <Layer materialId="79" d="0.0125"/>
271 </Layers>
272 </ConstructionType>
273 <ConstructionType name="de:AW Stb. _EnEV|en:&lt;new construction
type&gt;" id="10026" Insulation="4" Materials="6" Construction="8">
274 <Layers>
275 <Layer materialId="146" d="0.01"/>
276 <Layer materialId="731" d="0.16"/>
277 <Layer materialId="1687" d="0.25"/>
278 <Layer materialId="851" d="0.01"/>
279 </Layers>
280 </ConstructionType>
281 </ConstructionTypes>
282 <WindowTypes>
283 <WindowType id="1050" name="nn" f="0.7" g="{GSENK}" U="1.3"
GlazingKind="5">
284 <LinearSpline name="RelativeSHGC">
285 <X unit="Deg">0 10 20 30 40 50 60 70 80 90</X>
286 <Y unit="%">100 100 100 100 98 94 86 69 37 0</Y>
287 </LinearSpline>
288 </WindowType>
289 </WindowTypes>
290 <ShadingTypes>
291 <ShadingType id="1050" name="de:" z="{FCVALUE}"/>
292 </ShadingTypes>
293 </EmbeddedDataBase>
294 <DIN4108_2Assessment_section>
295 <DIN4108_2Assessment>
296 <Residential>true</Residential>
297 <ClimateRegion>1</ClimateRegion>

```

```
298     <ShadingControlType>2</ShadingControlType>
299     <VentilationType>0</VentilationType>
300     <EnhancedDayVentilationValue>0</EnhancedDayVentilationValue>
301     <EnhancedNightVentilationValue>0</EnhancedNightVentilationValue>
302     <EnhancedDayVentilationExplanation></EnhancedDayVentilationExplanation>
303
304     <EnhancedNightVentilationExplanation></EnhancedNightVentilationExplanation>
305     <ShadingControlExplanation></ShadingControlExplanation>
306     <MaximumHeatingPower>10000</MaximumHeatingPower>
307     <MaximumPassiveCoolingPower>10000</MaximumPassiveCoolingPower>
308     <PassiveCoolingExplanation></PassiveCoolingExplanation>
309   </DIN4108_2Assessment>
310 </DIN4108_2Assessment_section>
</RoomModelProject>
```

```

1  <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2  <!DOCTYPE RoomModelProject><RoomModelProject Version="3.4.0"> Anlage 4 TemplateVar2
3      <Room>
4          <ProjectInformation>
5              <ProjectName>Sze01 Wohn Basisfall</ProjectName>
6              <ConstructionID></ConstructionID>
7              <UserName></UserName>
8              <Company></Company>
9              <Location></Location>
10             <Description>
11             <p style="margin-top:0px; margin-bottom:0px; margin-left:0px; margin-right:0px; -qt-block-indent:0; text-indent:0px;"></p></Description>
12             <DisclaimerText></DisclaimerText>
13         </ProjectInformation>
14         <Geometry>
15             <Height>2.3</Height>
16             <Area>21.2</Area>
17             <Constructions>
18                 <RoomConstruction>
19                     <orientation>180</orientation>
20                     <inclination>90</inclination>
21                     <R_ue>0.04</R_ue>
22                     <R_ui>0.13</R_ui>
23                     <beta_e>2e-07</beta_e>
24                     <beta_i>3e-08</beta_i>
25                     <ad>0.7</ad>
26                     <zoneT>12</zoneT>
27                     <zoneRH>50</zoneRH>
28                     <AW>8.6</AW>
29                     <AF>3.1</AF>
30                     <constructionId>10026</constructionId>
31                     <windowId>10007</windowId>
32                     <shadingTypeId>13</shadingTypeId>
33                     <type>Outside</type>
34                 </RoomConstruction>
35                 <RoomConstruction>
36                     <orientation>270</orientation>
37                     <inclination>90</inclination>
38                     <R_ue>0.04</R_ue>
39                     <R_ui>0.13</R_ui>
40                     <beta_e>2e-07</beta_e>
41                     <beta_i>3e-08</beta_i>
42                     <ad>0.7</ad>
43                     <zoneT>12</zoneT>
44                     <zoneRH>50</zoneRH>
45                     <AW>5.5</AW>
46                     <AF>3</AF>
47                     <constructionId>10026</constructionId>
48                     <windowId>10007</windowId>
49                     <shadingTypeId>13</shadingTypeId>
50                     <type>Outside</type>
51                 </RoomConstruction>
52                 <RoomConstruction>
53                     <orientation>270</orientation>
54                     <inclination>90</inclination>
55                     <R_ue>0.04</R_ue>
56                     <R_ui>0.1</R_ui>
57                     <beta_e>2e-07</beta_e>
58                     <beta_i>3e-08</beta_i>
59                     <ad>0.7</ad>
60                     <zoneT>12</zoneT>
61                     <zoneRH>50</zoneRH>
62                     <AW>21.2</AW>
63                     <AF>0</AF>
64                     <constructionId>10030</constructionId>
65                     <windowId>0</windowId>
66                     <shadingTypeId>0</shadingTypeId>
67                     <type>Inside</type>
68                 </RoomConstruction>
69             </RoomConstruction>
70         </Geometry>

```

```

71         <inclination>90</inclination>
72         <R_ue>0.04</R_ue>
73         <R_ui>0.17</R_ui>
74         <beta_e>2e-07</beta_e>
75         <beta_i>3e-08</beta_i>
76         <ad>0.7</ad>
77         <zoneT>12</zoneT>
78         <zoneRH>50</zoneRH>
79         <AW>21.2</AW>
80         <AF>0</AF>
81         <constructionId>10029</constructionId>
82         <windowId>0</windowId>
83         <shadingTypeId>0</shadingTypeId>
84         <type>Inside</type>
85     </RoomConstruction>
86     <RoomConstruction>
87         <orientation>270</orientation>
88         <inclination>90</inclination>
89         <R_ue>0.04</R_ue>
90         <R_ui>0.13</R_ui>
91         <beta_e>2e-07</beta_e>
92         <beta_i>3e-08</beta_i>
93         <ad>0.7</ad>
94         <zoneT>12</zoneT>
95         <zoneRH>50</zoneRH>
96         <AW>21.6</AW>
97         <AF>0</AF>
98         <constructionId>10028</constructionId>
99         <windowId>0</windowId>
100        <shadingTypeId>0</shadingTypeId>
101        <type>Inside</type>
102    </RoomConstruction>
103    <RoomConstruction>
104        <orientation>270</orientation>
105        <inclination>90</inclination>
106        <R_ue>0.04</R_ue>
107        <R_ui>0.13</R_ui>
108        <beta_e>2e-07</beta_e>
109        <beta_i>3e-08</beta_i>
110        <ad>0.7</ad>
111        <zoneT>12</zoneT>
112        <zoneRH>50</zoneRH>
113        <AW>6.9</AW>
114        <AF>0</AF>
115        <constructionId>10027</constructionId>
116        <windowId>0</windowId>
117        <shadingTypeId>0</shadingTypeId>
118        <type>Inside</type>
119    </RoomConstruction>
120 </Constructions>
121 </Geometry>
122 <ClimateLocation>DIN4108_2/Region_A.c6b</ClimateLocation>
123 <HeatingModel name="" modelType="SIMPLE">
124     <MaxPower>2500</MaxPower>
125     <ScheduleSetPoints type="CONSTANT">
126         <ConstantValue>20</ConstantValue>
127     </ScheduleSetPoints>
128 </HeatingModel>
129 <CoolingModel name="" modelType="NONE">
130     <MaxPower>1200</MaxPower>
131     <ScheduleSetPoints type="DAILY_WEEK">
132         <WeekDaySchedule>40 40 40 40 40 40 40 40 40 26 26 26 26 26 26 26 26
133         40 40 40 40 40 40 40 40 </WeekDaySchedule>
134         <WeekEndSchedule>40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40
135         40 40 40 40 40 40 40 </WeekEndSchedule>
136         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
137     </ScheduleSetPoints>
138     <ScheduleHumiditySetPoints type="DAILY_WEEK">
139         <WeekDaySchedule>100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 50 50 50 50 50 50
140         50 50 50 100 100 100 100 100 100 100 </WeekDaySchedule>
141         <WeekEndSchedule>100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100
142         100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 </WeekEndSchedule>

```

```

139         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
140     </ScheduleHumiditySetPoints>
141 </CoolingModel>
142 <NaturalVentilationModel name="" modelType="DIN">
143     <ScheduleAirChangeRates type="DAILY_WEEK">
144         <WeekDaySchedule>${N WEEK}</WeekDaySchedule>
145         <WeekEndSchedule>${N WEEK}</WeekEndSchedule>
146         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
147     </ScheduleAirChangeRates>
148     <MinTRoom>23</MinTRoom>
149     <TRoomDifference>0</TRoomDifference>
150     <SetTRoom>23</SetTRoom>
151     <TRoomDifferenceNight>0</TRoomDifferenceNight>
152     <BaseAirChangeRate>0.5</BaseAirChangeRate>
153     <BaseAirChangeRateNight>0.5</BaseAirChangeRateNight>
154     <OccupancyStartTime>06:00:00</OccupancyStartTime>
155     <OccupancyEndTime>23:00:00</OccupancyEndTime>
156 </NaturalVentilationModel>
157 <MechanicalVentilationModel name="" modelType="NONE">
158     <SupplyTemperature>16</SupplyTemperature>
159     <MaxSupplyFlowRate>40</MaxSupplyFlowRate>
160     <HeatRecoveryEfficiency>0</HeatRecoveryEfficiency>
161     <HeatRecoverySetpoint>22</HeatRecoverySetpoint>
162     <ScheduleSetPoints type="DAILY_WEEK">
163         <WeekDaySchedule>40 40 40 40 40 40 40 40 26 26 26 26 26 26 26 26 26
164         40 40 40 40 40 40 40 40 </WeekDaySchedule>
165         <WeekEndSchedule>40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40
166         40 40 40 40 40 40 </WeekEndSchedule>
167         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
168     </ScheduleSetPoints>
169     <ScheduleHumiditySetPoints type="DAILY_WEEK">
170         <WeekDaySchedule>100 100 100 100 100 100 100 100 100 50 50 50 50 50 50
171         50 50 50 100 100 100 100 100 100 100 </WeekDaySchedule>
172         <WeekEndSchedule>100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100
173         100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 </WeekEndSchedule>
174         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
175     </ScheduleHumiditySetPoints>
176     <ScheduleVentilationRates type="CONSTANT">
177         <ConstantValue>0</ConstantValue>
178     </ScheduleVentilationRates>
179 </MechanicalVentilationModel>
180 <MoistureLoads name="Büro">
181     <ScheduleMoistureLoad type="CONSTANT">
182         <ConstantValue>20</ConstantValue>
183     </ScheduleMoistureLoad>
184 </MoistureLoads>
185 <UserLoads name="Büro">
186     <PersonLoad>0</PersonLoad>
187     <ScheduleOccupancy type="DAILY_WEEK">
188         <WeekDaySchedule>0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 3 3 2 2 2 0
189         </WeekDaySchedule>
190         <WeekEndSchedule>0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 3 1 1 3 1 1 2 2 2 2 3 3 3 0
191         </WeekEndSchedule>
192         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
193     </ScheduleOccupancy>
194     <ScheduleEquipmentLoad type="DAILY_WEEK">
195         <WeekDaySchedule>${QiWEEK}</WeekDaySchedule>
196         <WeekEndSchedule>${QiWEEK}</WeekEndSchedule>
197         <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
198     </ScheduleEquipmentLoad>
199 </UserLoads>
200 <ShadingControlModel name="" modelType="SCHEDULED">
201     <MaxRadiationIntensityHorizontal>250</MaxRadiationIntensityHorizontal>
202     <MaxRadiationIntensityWest>250</MaxRadiationIntensityWest>
203     <MaxRadiationIntensitySouth>250</MaxRadiationIntensitySouth>
204     <MaxRadiationIntensityNorth>250</MaxRadiationIntensityNorth>
205     <MaxRadiationIntensityEast>250</MaxRadiationIntensityEast>
206     <StructuralShadings>
207         <StructuralShading>
208             <WindowHeight>1</WindowHeight>
209         </StructuralShading>
210     </StructuralShading>

```

```

205         <WindowHeight>1.2</WindowHeight>
206         <SideFinAWidth>3.8</SideFinAWidth>
207         <SideFinAHeight>6</SideFinAHeight>
208         <SideFinAOffset>4.8</SideFinAOffset>
209         <SideFinADistance>0.1</SideFinADistance>
210     </StructuralShading>
211 </StructuralShading/>
212 </StructuralShading/>
213 </StructuralShading/>
214 </StructuralShading/>
215 </StructuralShadings>
216 <StructuralShadingDescription></StructuralShadingDescription>
217 <ScheduleShadingDegree type="DAILY_WEEK">
218     <WeekDaySchedule>0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0.5 0.5 0 0 0 0 0
219     </WeekDaySchedule>
220     <WeekEndSchedule>0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5
221     0 0 0 0 0 </WeekEndSchedule>
222     <WeekEndDays>Sat Sun </WeekEndDays>
223 </ScheduleShadingDegree>
224 </ShadingControlModel>
225 <SimulationParameters>
226     <TInitial>20</TInitial>
227     <Albedo>0.2</Albedo>
228     <GammaHC>0.5</GammaHC>
229     <GammaRad>0.5</GammaRad>
230     <AdditionalMassHeatCapacity>780</AdditionalMassHeatCapacity>
231     <AdditionalMass>0</AdditionalMass>
232     <UsePerezModel>false</UsePerezModel>
233 </SimulationParameters>
234 </Room>
235 <EmbeddedDataBase>
236     <Materials>
237         <Material id="731" category="6" name="de:Mineralwolle WLG 035|en:Mineral
238         Wool 035|fr:laine minérale|it:Lana minerale WLG 035|ru" lambda="0.035"
239         rho="67" cT="840" mu="1" w80="0.0808084" wsat="900" HPCM="0"
240         TPCMLow="23" comment="de:Sorptionsisotherme aus der
241         Veröffentlichung|en: Sorption Isotherm from paper Isotherms of sorption
242         and desorption of water vapour by thermal insulating mineral wool
243         products, I. Gnip, S. Vejelis, V. Kersulis|it:Isoterme di adsorbimento
244         dalla pubblicazione|ru:"
245         source="de:Literatur|en:Literature|fr:Littérature|it:Letteratura|ru:"
246         producer="" productID=""/>
247         <Material id="10002" category="13" name="de:Gipskartonplatten (DIN
248         18180)|en:&lt;new material&gt;" lambda="0.25" rho="900" cT="1000"
249         mu="300" HPCM="0" TPCMLow="23" comment="" source="" producer=""
250         productID=""/>
251         <Material id="146" category="2" name="de:Kalkzementputz|en:Lime Cement
252         Plaster|it:Intonaco di cemento calce|ru:" lambda="0.8" rho="1900"
253         cT="900" mu="15" w80="53" wsat="220" HPCM="0" TPCMLow="23" comment=""
254         source="de:IBK-Labor|en:IBK-Laboratory|it:Laboratorio IBK|ru:"
255         producer="" productID=""/>
256         <Material id="1206" category="6" name="de:Mineralwolle 0.045 (T2
257         5.1)|en:mineral wool 0.045" lambda="0.045" rho="100" cT="1030" mu="1"
258         HPCM="0" TPCMLow="23" comment="de:DIN 4108-4 Tabelle 2 Zeile 5.1,
259         Mineralwolle MW nach DIN EN 13162a, Nennwert 0.045" source="de:Literatur
260         DIN 4108-4|en:Literature DIN 4108-4" producer="" productID=""/>
261         <Material id="46" category="2" name="de:Zementestrich|en:Cement
262         Flooring|it:Massetto in cemento|ru:" lambda="1.4" rho="2000" cT="850"
263         mu="25" w80="26" wsat="196" HPCM="0" TPCMLow="23" comment=""
264         source="de:Literatur|en:Literature|it:Letteratura|ru:Литертура"
265         producer="" productID=""/>
266         <Material id="1221" category="6" name="de:Expandierter Polystyrolschaum
267         EPS 0.039 (T2 5.2)|en:expanded polystyrol foam EPS 0.039" lambda="0.039"
268         rho="80" cT="1450" mu="20" HPCM="0" TPCMLow="23" comment="de:DIN 4108-4
269         Tabelle 2 Zeile 5.2, Expandierter Polystyrolschaum EPS nach DIN EN
270         13163a, Nennwert 0.039" source="de:Literatur DIN 4108-4|en:Literature
271         DIN 4108-4" producer="" productID=""/>
272         <Material id="851" category="2" name="de:Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement
273         und hydraulischem Kalk (T1 1.1.1)|en:lime cement plaster" lambda="1"
274         rho="1800" cT="1050" mu="15" HPCM="0" TPCMLow="23" comment="de:DIN
275         4108-4 Tabelle 1 Zeile 1.1.1" source="de:Literatur DIN
276         4108-4|en:Literature DIN 4108-4" producer="" productID=""/>

```

```

242 <Material id="1687" category="5" name="de:Betongestrichelt (1%Stahl) 2300
(T1 2.1)|en:Concrete reinforced (1% steel) 2300" lambda="2.3" rho="2300"
cT="1000" mu="130" HPCM="0" TPCMLow="23" comment="de:DIN 4108-4 Tabelle
1 Zeile 2.1 verweist auf ISO 10456 Tabelle 3|en:DIN 4108-4 Table 1 Line
2.1 refers to ISO 10456 Table 3" source="de:Literatur DIN 4108-4 und ISO
10465|en:Literature DIN 4108-4 and ISO 10456" producer="" productID=""/>
243 <Material id="79" category="7" name="de:Gipskartonplatte|en:Gypsum
Board|it:Pannello in cartongesso|ru:" lambda="0.21" rho="730" cT="900"
mu="6.8" w80="8" wsat="440" HPCM="0" TPCMLow="23" comment=""
source="de:IBK-Labor|en:IBK-Laboratory|it:Laboratorio IBK|ru:"
producer="de:Rigips|en:Rigips|it:Rigips|ru:Rigips" productID=""/>
244 </Materials>
245 <ConstructionTypes>
246 <ConstructionType name="de:IW Stb.|en:&lt;new construction type&gt;"
id="10028" Insulation="4" Materials="6" Construction="8">
247 <Layers>
248 <Layer materialId="851" d="0.01"/>
249 <Layer materialId="1687" d="0.18"/>
250 <Layer materialId="851" d="0.01"/>
251 </Layers>
252 </ConstructionType>
253 <ConstructionType name="de:DE Stb. nach unten|en:&lt;new construction
type&gt;" id="10029" Insulation="4" Materials="6" Construction="8">
254 <Layers>
255 <Layer materialId="1687" d="0.1"/>
256 <Layer materialId="1221" d="0.05"/>
257 <Layer materialId="46" d="0.065"/>
258 </Layers>
259 </ConstructionType>
260 <ConstructionType name="de:DE Stb. nach oben|en:&lt;new construction
type&gt;" id="10030" Insulation="4" Materials="6" Construction="8">
261 <Layers>
262 <Layer materialId="46" d="0.065"/>
263 <Layer materialId="1221" d="0.05"/>
264 <Layer materialId="1687" d="0.1"/>
265 </Layers>
266 </ConstructionType>
267 <ConstructionType name="de:Trockenbau 12,5 cm|en:&lt;new construction
type&gt;" id="10027" Insulation="4" Materials="6" Construction="8">
268 <Layers>
269 <Layer materialId="79" d="0.013"/>
270 <Layer materialId="1206" d="0.1"/>
271 <Layer materialId="79" d="0.0125"/>
272 </Layers>
273 </ConstructionType>
274 <ConstructionType name="de:AW Stb. _EnEV|en:&lt;new construction
type&gt;" id="10026" Insulation="4" Materials="6" Construction="8">
275 <Layers>
276 <Layer materialId="146" d="0.01"/>
277 <Layer materialId="731" d="0.16"/>
278 <Layer materialId="1687" d="0.25"/>
279 <Layer materialId="851" d="0.01"/>
280 </Layers>
281 </ConstructionType>
282 </ConstructionTypes>
283 <WindowTypes>
284 <WindowType id="10007" name="de:Wärmeschutzverglasung zweifach|en:"
f="0.7" g="0.64" U="1.3" GlazingKind="5">
285 <LinearSpline name="RelativeSHGC">
286 <X unit="Deg">0 10 20 30 40 50 60 70 80 90</X>
287 <Y unit="%">100 100 100 100 98 94 86 69 37 0</Y>
288 </LinearSpline>
289 </WindowType>
290 </WindowTypes>
291 <ShadingTypes>
292 <ShadingType id="13" name="de:DIN 4108-2 - innenliegender Sonnenschutz
an Zweischeibenverglasung, reflektierend mit geringer Transparenz|en:DIN
4108-2 - inner sun protection at two pan glazing, reflecting and low
transparency" z="0.65"/>
293 </ShadingTypes>
294 </EmbeddedDataBase>
295 <DIN4108_2Assessment_section>

```

```
296     <DIN4108_2Assessment>
297         <Residential>true</Residential>
298         <ClimateRegion>1</ClimateRegion>
299         <ShadingControlType>2</ShadingControlType>
300         <VentilationType>0</VentilationType>
301         <EnhancedDayVentilationValue>0</EnhancedDayVentilationValue>
302         <EnhancedNightVentilationValue>0</EnhancedNightVentilationValue>
303         <EnhancedDayVentilationExplanation></EnhancedDayVentilationExplanation>
304
305         <EnhancedNightVentilationExplanation></EnhancedNightVentilationExplanation
306         >
307         <ShadingControlExplanation></ShadingControlExplanation>
308         <MaximumHeatingPower>10000</MaximumHeatingPower>
309         <MaximumPassiveCoolingPower>10000</MaximumPassiveCoolingPower>
310         <PassiveCoolingExplanation></PassiveCoolingExplanation>
311     </DIN4108_2Assessment>
</DIN4108_2Assessment_section>
</RoomModelProject>
```

Anlage 5 Bauteilliste

Bauteiltyp: **A**

Bezeichnung: **AW 43 cm Stb. + WDVS**

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} = 0.13$ [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	c_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Innenputz Kalk	0.010	1.000	1800	1000	5.000	0.010
Schicht 2	Beton armiert 1% Stahl	0.250	2.300	2300	1000	57.500	0.090
Schicht 3	Mineralwolle WLG 035	0.160	0.035	67	840	0.000	0.000
Schicht 4	Außenputz Kalkzement	0.010	0.800	1900	900	0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen						gesamt 62.50	

Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} = 0.04$ [m²K / W] $C_{wirk} = 62.50$ [Wh/m²K]

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0.21$ [W / m²K]

Bauteiltyp: **A**

Bezeichnung: **AW 44.5 cm WD-Ziegel**

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} = 0.13$ [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	c_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Innenputz Kalk	0.010	1.000	1800	1000	5.000	0.010
Schicht 2	Leichtlochziegel	0.425	0.070	650	1000	0.000	0.090
Schicht 3	Außenputz Kalkzement	0.010	0.800	1900	900	0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen						gesamt 5.00	

Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} = 0.04$ [m²K / W] $C_{wirk} = 5.00$ [Wh/m²K]

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0.16$ [W / m²K]

Bauteiltyp: **A**

Bezeichnung: **AW 39.5 cm Holzständer**

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} = 0.13$ [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	c_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Lehmputz	0.045	0.650	1510	1000	18.875	0.045
Schicht 2	Dreischichtplatte Fichte	0.018	0.120	438	1391	3.046	0.018
Schicht 3	Holzfaserdämm. 85%/Fichte 15%	0.240	0.048	118	2025	0.000	0.037
Schicht 4	Holzfaserdämmplatte	0.080	0.035	50	2100	0.000	0.000
Schicht 5	Außenputz Kalk	0.010	0.700	1600	850	0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen						gesamt 21.92	

Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} = 0.04$ [m²K / W] $C_{wirk} = 21.92$ [Wh/m²K]

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0.13$ [W / m²K]

Bauteiltyp: **A**

Bezeichnung: **AW 38 cm Altbau Ziegel ohne WD**

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} =$ [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Kalkputz	0.010	0.710	1600	900	4.000	0.010
Schicht 2	Altbauziegel	0.360	0.995	1980	900	44.550	0.090
Schicht 3	Kalkzementputz	0.010	0.800	1900	900	0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
gesamt						48.55	

Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} =$ [m²K / W] $C_{wirk} =$ [Wh/m²K]

Wärmedurchgangskoeffizient $U =$ [W / m²K]

Bauteiltyp: **A**

Bezeichnung: **AW 44 cm Altbau Ziegel innengedämmt**

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} =$ [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Glättspachtel	0.005	0.314	1350	1050	1.969	0.005
Schicht 2	Dämmputz	0.060	0.058	268	1047	0.000	0.060
Schicht 3	Glättspachtel	0.005	0.314	1350	1050	0.000	0.005
Schicht 4	Altbauziegel	0.360	0.995	1980	900	0.000	0.030
Schicht 5	Kalkzementputz	0.010	0.800	1900	900	0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
gesamt						1.97	

Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} =$ [m²K / W] $C_{wirk} =$ [Wh/m²K]

Wärmedurchgangskoeffizient $U =$ [W / m²K]

Bauteiltyp: **A**

Bezeichnung: **AW Naturbims MW 38 cm**

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} =$ [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Naturbims	0.130	0.120	400	1000	11.111	0.100
Schicht 2	Leichtbeton Naturbimszuschlag	0.240	0.180	600	1000	0.000	0.000
Schicht 3	Außenputz Kalkzement	0.010	1.000	1800	1000	0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
gesamt						11.11	

Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} =$ [m²K / W] $C_{wirk} =$ [Wh/m²K]

Wärmedurchgangskoeffizient $U =$ [W / m²K]

Bauteiltyp: I

Bezeichnung: IW 12.5 cm Trockenbau

	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
innen							
Schicht 1	Gipskartonplatten	0.013	0.250	900	1000	3.125	0.013
Schicht 2	Mineralwolle WLG 045	0.100	0.045	100	1030	0.000	0.050
Schicht 3	Gipskartonplatten	0.013	0.250	900	1000	0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen							
$C_{\text{wirk}} =$						gesamt	
						3.13	[Wh/m ² K]

Bauteiltyp: I

Bezeichnung: IW 19 cm Holzständer

	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
innen							
Schicht 1	Lehmputz	0.045	0.650	1510	1000	18.875	0.045
Schicht 2	Holzfaserdämm. 85%/Fichte 15%	0.100	0.048	118	2025	0.000	0.050
Schicht 3	Lehmputz	0.045	0.650	1510	1000	0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen							
$C_{\text{wirk}} =$						gesamt	
						18.88	[Wh/m ² K]

Bauteiltyp: I

Bezeichnung: IW 20 cm Stb.

	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
innen							
Schicht 1	Innenputz Kalk	0.010	1.000	1800	1000	5.000	0.010
Schicht 2	Beton armiert 1% Stahl	0.180	2.300	2300	1000	57.500	0.090
Schicht 3	Innenputz Kalk	0.010	1.000	1800	1000	0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen							
$C_{\text{wirk}} =$						gesamt	
						62.50	[Wh/m ² K]

Bauteiltyp: I

Bezeichnung: IW 25 cm WD-Ziegel

	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
innen							
Schicht 1	Innenputz Kalk	0.010	1.000	1800	1000	5.000	0.010
Schicht 2	Hochlochziegel	0.240	0.700	1000	920	23.000	0.090
Schicht 3	Innenputz Kalk	0.010	1.000	1800	1000	0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen							
$C_{\text{wirk}} =$						gesamt	
						28.00	[Wh/m ² K]

Bauteiltyp: I

Bezeichnung: IW 38 cm Naturbims

innen	Schichtbezeichnung:	d	λ	ρ	c	C_{wirk}	d_{wirk}
		[m]	[W/mK]	[kg/m ³]	[J/kgK]	[Wh/m ² K]	[m]
Schicht 1	Naturbims	0.370	0.120	400	1000	11.111	0.100
Schicht 2	Innenputz Kalk	0.010	1.000	1800	1000	0.000	0.000
Schicht 3						0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen						gesamt	
					$C_{wirk} =$	11.11	[Wh/m ² K]

Bauteiltyp: I

Bezeichnung: IW 38 cm Altbau Ziegel

innen	Schichtbezeichnung:	d	λ	ρ	c	C_{wirk}	d_{wirk}
		[m]	[W/mK]	[kg/m ³]	[J/kgK]	[Wh/m ² K]	[m]
Schicht 1	Innenputz Kalk	0.010	1.000	1800	1000	5.000	0.010
Schicht 2	Altbauziegel	0.360	0.995	1980	900	44.550	0.090
Schicht 3	Innenputz Kalk	0.010	1.000	1800	1000	0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen						gesamt	
					$C_{wirk} =$	49.55	[Wh/m ² K]

Bauteiltyp: I

Bezeichnung: DE 30 cm Stb. Zementestrich

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Zementestrich	0.065	1.400	2000	850	30.694	0.065
Schicht 2	EPS	0.035	0.040	15	1450	0.000	0.035
Schicht 3	Beton armiert 1% Stahl	0.200	2.300	2300	1000	0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen						gesamt	
						30.69	[Wh/m ² K]

$C_{\text{wirk}} =$

Bauteiltyp: I

Bezeichnung: DE 36 cm Holzbalken

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Massivholzdiele Eiche	0.027	0.143	581	1284	5.595	0.027
Schicht 2	Holzfaserdämm. 85%/Fichte 15%	0.240	0.048	118	2025	0.000	0.073
Schicht 3	Dreischichtplatte Fichte	0.015	0.120	438	1391	0.000	0.000
Schicht 4	Luftschicht	0.050	0.313	1	1050	0.000	0.000
Schicht 5	Gipskartonplatten	0.013	0.250	900	1000	0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen						gesamt	
						5.60	[Wh/m ² K]

$C_{\text{wirk}} =$

Bauteiltyp: I

Bezeichnung: DE 28 cm Stb. Gussasphaltestrich

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Gussasphaltestrich	0.060	0.900	2300	1000	38.333	0.060
Schicht 2	Polysterolschaumplatte expandiert	0.020	0.040	35	1500	0.000	0.020
Schicht 3	Beton armiert 1% Stahl	0.200	2.300	2300	1000	0.000	0.020
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen						gesamt	
						38.33	[Wh/m ² K]

$C_{\text{wirk}} =$

Bauteiltyp: I

Bezeichnung: DE 16 cm Holzbalken zu Dachboden

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Gipskartonplatten	0.013	0.250	900	1000	3.125	0.013
Schicht 2	Holzfaserdämm. 85%/Fichte 15%	0.120	0.048	118	2025	0.000	0.066
Schicht 3	Bauholz Fichte	0.024	0.143	581	1284	0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen						gesamt	
						3.13	[Wh/m ² K]

$C_{\text{wirk}} =$

Bauteiltyp: A

Bezeichnung: DA flach 48 cm Stb.

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} = 0.10$ [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Stahlleichtbeton	0.200	1.350	2000	1000	55.556	0.100
Schicht 2	EPS	0.200	0.036	30	1450	0.000	0.000
Schicht 3						0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen						gesamt	
Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} = 0.04$ [m ² K / W]				$C_{wirk} = 55.56$ [Wh/m ² K]			
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0.17$ [W / m ² K]							

Bauteiltyp: A

Bezeichnung: DA flach 12 cm Metall

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} = 0.10$ [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Polystyrolschaum expandiert (EPS)	0.120	0.036	23	1500	55.556	0.100
Schicht 2						0.000	0.000
Schicht 3						0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen						gesamt	
Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} = 0.04$ [m ² K / W]				$C_{wirk} = 55.56$ [Wh/m ² K]			
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0.29$ [W / m ² K]							

Bauteiltyp: A

Bezeichnung: DA geneigt 28 cm Holzsparren

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} = 0.10$ [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	C_{wirk} [Wh/m ² K]	d_{wirk} [m]
Schicht 1	Gipskartonplatten	0.013	0.250	900	1000	55.556	0.100
Schicht 2	Konstruktionsholz	0.040	0.130	500	1600	0.000	0.000
Schicht 3	Holzfaserdämm, 85%/Fichte 15%	0.240	0.048	118	2025	0.000	0.000
Schicht 4						0.000	0.000
Schicht 5						0.000	0.000
Schicht 6						0.000	0.000
außen						gesamt	
Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} = 0.04$ [m ² K / W]				$C_{wirk} = 55.56$ [Wh/m ² K]			
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0.18$ [W / m ² K]							

Bauteiltyp: A

Bezeichnung: DA geneigt 38 cm Holzsparren

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} =$ [m²K / W]

innen

Schichtbezeichnung:

Schicht	Schichtbezeichnung
Schicht 1	Gipskartonplatten
Schicht 2	Konstruktionsholz
Schicht 3	Holzfaserdämm. 85%/Fichte 15%
Schicht 4	Holzfaserdämmplatte
Schicht 5	
Schicht 6	

d	λ	ρ	c
[m]	[W/mK]	[kg/m ³]	[J/kgK]
0.013	0.250	900	1000
0.040	0.130	500	1600
0.240	0.048	118	2025
0.100	0.035	50	2100

C_{wirk}	d_{wirk}
[Wh/m ² K]	[m]
55.556	0.100
0.000	0.000
0.000	0.000
0.000	0.000
0.000	0.000
0.000	0.000

außen

Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} =$ [m²K / W]

$C_{wirk} =$ [Wh/m²K]

Wärmedurchgangskoeffizient $U =$ [W / m²K]

Bauteiltyp: A

Bezeichnung: FB Stb. XPS Dämmung innen

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} =$ [m²K / W]

innen

Schichtbezeichnung:

	d	λ	ρ	c	
	[m]	[W/mK]	[kg/m ³]	[J/kgK]	
Schicht 1	Zementestrich	0.060	1.400	2000	850
Schicht 2	Polystyrolschaum expandiert (EPS)	0.030	0.036	23	1500
Schicht 3	Polystyrolschaum extrudiert (XPS)	0.100	0.027	35	1500
Schicht 4	Beton armiert 1% Stahl	0.200	2.300	2300	1000
Schicht 5					
Schicht 6					

außen

Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} =$ [m²K / W]

Wärmedurchgangskoeffizient $U =$ [W / m²K]

c_{wirk}	d_{wirk}
[Wh/m ² K]	[m]
28.333	0.060
0.000	0.030
0.000	0.010
0.000	0.000
0.000	0.000
0.000	0.000

gesamt

[Wh/m²K]