

DIPLOMARBEIT

Berichterstellung für die Gebäudesimulation mit Definition der Eingangsdaten und Berechnungsalgorithmen

*Report generation for building simulation with definition of input data and
calculation algorithms*

Name: Luisa Kotte

Matrikelnummer: 4697111

Verantwortlicher Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. John Grunewald

Betreuer/-in: Dipl.-Ing. Dirk Weiß

Dresden, 06.06.2023

Danksagung

Ich möchte diese Gelegenheit nutzen, um meinen aufrichtigen Dank allen Personen auszusprechen, die mich während meiner Diplomarbeit unterstützt haben. Ohne ihre wertvolle Hilfe, Unterstützung und Ermutigung wäre die erfolgreiche Fertigstellung dieses Projekts nicht möglich gewesen.

Zuallererst möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. John Grunewald für die Vergabe dieses interessanten Diplomthemas danken.

Weiterhin möchte ich meinem Betreuer, Herrn Dipl.-Ing. Dirk Weiß für die tatkräftige Unterstützung bedanken. Ihre fachliche Kompetenz, Geduld und wertvollen Ratschläge waren mir immer eine große Hilfe. Ich bin Ihnen für die konstruktiven Diskussionen, das umfangreiche Feedback und die wertvolle Zeit, die Sie investiert haben, zutiefst dankbar.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie und Freunden bedanken. Ihr moralischer Beistand, die gemeinsamen Diskussionen und der Austausch von Ideen haben mir während des gesamten Studiums geholfen, neue Perspektiven zu gewinnen und mein Wissen zu erweitern.

Selbstständigkeitserklärung

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 Prüfungsinstitution vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht worden.

Dresden, den

.....

(Unterschrift)

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	VIII
Symbolverzeichnis	IX
1. Einleitung.....	1
1.1 Motivation und Zielsetzung.....	1
1.2 Gliederung.....	3
2. Grundlagen der Programmierung	5
2.1 Einführung in die Thermische Gebäudesimulation.....	5
2.2 Building Information Modeling (BIM)	6
2.3 NANDRAD	7
2.4 SIM-VICUS.....	9
3. Berichtsgrundlagen des Sommerlichen Wärmeschutz	10
3.1 Grundlagen des Sommerlichen Wärmeschutzes	10
3.2 Das Sonneneintragskennwerteverfahren	10
3.3 Parametrisierung der thermischen Gebäudesimulation.....	11
3.4 Fokus der Arbeit.....	11
3.5 Eingangsdaten des Sommerlichen Wärmeschutznachweis	12
3.5.1 Klimaregion.....	14
3.5.2 Nutzungsart	15
3.5.3 Raumabmessung.....	16
3.5.4 Interne Lasten.....	16
3.5.5 Eigenschaften der opaken Konstruktionen	16
3.5.6 Eigenschaften der Verglasung.....	17

3.5.7	Verschattungssystem	21
3.5.8	Luftwechsel.....	22
3.5.9	Passive Kühlung.....	23
4.	Berichtsgrundlagen der Heizlast	24
4.1	Grundlagen zur Heizlastberechnung.....	24
4.2	Das Standardverfahren	24
4.2.1	Transmissionswärmeverlust	25
4.2.2	Lüftungswärmeverlust.....	29
4.2.3	Die Aufheizleistung	32
4.3	Eingangsdaten der Heizlastberechnung.....	32
5.	Methodik	34
5.1	Händische Berichterstellung.....	34
5.2	Automatisierte Berichterstellung.....	35
5.2.1	Umsetzung der Programmierung in Qt	35
5.2.2	Bericht-XML	37
5.2.3	Auswertung.....	37
5.2.4	Aufarbeitung des Berichts und Druck	38
6.	Überprüfung der Berichte.....	39
6.1	Allgemeine Erläuterung	39
6.2	Beispiel Sommerlicher Wärmeschutz.....	39
6.2.1	Konstruktionen.....	40
6.2.2	Zoneneinstellung	41
6.3	Beispiel Heizlastbericht	43
6.3.1	Grundsätzliche Eingangsdaten für das Gebäude	44
6.3.2	Eingangsdaten für eine detaillierte Raumheizlastberechnung	45
6.3.3	Eingangsdaten für die Konstruktionen	47

6.3.4	Luftvolumenströme	47
7.	Ergebnisse	50
7.1	Ergebnisse des Sommerlichen Wärmeschutz Nachweis	50
7.1.1	Validierung der Ergebnisse	50
7.1.2	Darstellung des Sommerlichen Wärmeschutznachweis	52
7.2	Ergebnisse des Heizlastberichts	55
7.2.1	Beispielrechnung 1	55
7.2.2	Beispielrechnung 2	56
7.2.3	Aufheizzuschlag	57
7.2.4	Darstellung der Ergebnisse im Heizlastbericht	69
8.	Diskussion	71
8.1	Diskussion Sommerlicher Wärmeschutznachweis	71
8.1.1	Kritik an eigener Arbeit	71
8.1.2	Kritik an der Norm	71
8.2	Diskussion Heizlastbericht	72
8.2.1	Kritik an eigener Arbeit	72
8.2.2	Kritik am Beispielhaus	73
8.2.3	Kritik an Heizlastnorm	74
9.	Fazit und Ausblick	77
	Quellenverzeichnis	79
	Anlagenverzeichnis	81

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Beispiel für ein mittels BIM generiertes Gebäude (Erstellung mittels SIM-VICUS).....	6
Abbildung 2-2: Logo von dem Simulationswerkzeug NANDRAD [18]	7
Abbildung 2-3: Logo des Simulationsprogramms SIM-VICUS [17].....	9
Abbildung 3-1: Eingangsdaten des Sommerlichen Wärmeschutzberichts in Darstellung einer Hierarchie	12
Abbildung 3-2: Klimaregionen nach SWS [7]	14
Abbildung 3-3: Tabelle 9 aus der DIN 4108-2 [7]	15
Abbildung 3-4: Zeitliche Verläufe der Lufttemperaturzunahme in Räumen verschiedener Bauweise bei Südorientierung der Glasfläche [5]	17
Abbildung 3-5: Darstellung der Eingangsgrößen des Gesamtenergiedurchlassgrads [5]	18
Abbildung 3-6: Zeitliche Verläufe der Strahlungsintensität auf vertikale Flächen verschiedener Orientierung zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende und Tag- und Nachtgleiche; gemessen in Holzkirchen [...] [5].....	19
Abbildung 3-7: Vergleich der Konvektionsströme zwischen einer horizontal und vertikal eingebauten Verglasung [23]	20
Abbildung 3-8: Änderung des U-Werts nach Neigungsgrad einer Zweischeibenverglasung [23]	20
Abbildung 4-1: Ausschnitt aus DIN EN 12831-1 - Tabelle E.1 - Parameter für die Berechnung von $U_{equiv,k}$	28
Abbildung 4-2: Eingangsdaten für den Heizlastbericht.....	33
Abbildung 5-1: Darstellung der Berichterstellung für händische und automatisierte Berichterstellung.....	35
Abbildung 5-2: Beispieldarstellung für den Aufbau der Berichte.....	36
Abbildung 5-3: Aufbau der Struktur für den Sommerlichen Wärmeschutz	38
Abbildung 6-1: Komponenteneinstellung der Raumstudie für den Sommerlichen Wärmeschutz	40
Abbildung 6-2: Zonen der Raumstudie für den Sommerlichen Wärmeschutz	42

Abbildung 6-3: Nordansicht des Beispielhauses für die Heizlastberechnung aus den nationalen Ergänzungen [9].....	43
Abbildung 6-4: Simulation Beispielhaus Ansicht Nordwest	44
Abbildung 6-5: Simulation Beispielhaus Ansicht Südost	44
Abbildung 6-6: Legende der Temperaturzonen	44
Abbildung 6-7: Grundriss des Beispielhauses für die Heizlastberechnung [9]	46
Abbildung 7-1: maximale operative Temperaturen der Räume	51
Abbildung 7-2: Übertemperaturgradstunden der Räume.....	51
Abbildung 7-3: Ausdruck Bericht Temperaturdiagramm der operativen Temperaturen	53
Abbildung 7-4: Ausdruck Bericht Sommerlicher Wärmeschutz für einen Beispielraum	54
Abbildung 7-5: Ergebnisse Beispielrechnung 1	55
Abbildung 7-6: Ergebnisse Beispielrechnung 1	57
Abbildung 7-7: Darstellung der Lufttemperaturlinien des Wohnzimmers, der Außentemperatur, und des Heizlastplan	58
Abbildung 7-8: Heizkurve für das Verhältnis der Vorlauftemperatur zur Umgebungstemperatur.....	59
Abbildung 7-9: Variantenstudie der Aufheizleistung mit Heizzeitplan für einen Tag (17 °C 20-8 Uhr; 20 °C 8-20 Uhr)	60
Abbildung 7-10: Lufttemperatur Fall1	63
Abbildung 7-11: Lufttemperatur Fall 2	64
Abbildung 7-12: Lufttemperatur Fall 3 Uhrzeit und Dauer, ab der die Solltemperatur erreicht wird.....	65
Abbildung 7-13: Lufttemperaturkurve für eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,1 ...	66
Abbildung 7-14: Lufttemperaturkurve für eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,3 ...	67
Abbildung 7-15: Lufttemperaturkurve für eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 ...	67
Abbildung 7-16: Lufttemperaturkurve für eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,7 ...	68
Abbildung 7-17: Ausdruck des Heizlastberichts - Raumheizlastbericht am Beispielraum Wohnzimmer.....	70
Abbildung 8-2: Darstellung der Problematik der Festlegung von der Bodenplattentiefe z	75

Abbildung 8-3: Transmission in einem Mehrfamilienhaus über die Wände76

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3-1: Eingangsparameter tabellarisch aufgeschlüsselt.....	13
Tabelle 4-1: Aufzählung aller Zwischenrechnungen zur Berechnung des Außenluftvolumenstroms über die Hüllfläche des Raums $q_{v,env,i}$	31
Tabelle 6-1: Konstruktionsparameter in Massivbauweise	41
Tabelle 6-2: Konstruktionsparameter in Leichtbauweise	41
Tabelle 6-3: Zonierungsdaten der Räume des Sommerlichen Wärmeschutznachweises.....	42
Tabelle 6-4: Gebäudedaten für die Heizlastberechnung	45
Tabelle 6-5: Raumeingangsdaten der Beispierräume.....	46
Tabelle 6-6: U-Werte der Konstruktionen des Beispielhauses der nationalen Ergänzungen	47
Tabelle 6-7: Luftvolumenströme für Beispielrechnung 1	48
Tabelle 6-8: Luftvolumenströme für Beispielrechnung 2	48
Tabelle 6-9: Einstellungen für den Aufheizzuschlag.....	48
Tabelle 7-1: Ergebnisse der Varianten nach 3 Stunden Aufheizdauer.....	60
Tabelle 7-2: Uhrzeit und Dauer, ab der die Solltemperatur erreicht wird.....	61
Tabelle 7-3: Ergebnisse Fall1 Uhrzeit und Dauer, ab der die Solltemperatur erreicht wird.....	63
Tabelle 7-4: Ergebnisse Fall 2 Uhrzeit und Dauer, ab der die Solltemperatur erreicht wird.....	64
Tabelle 7-5: Ergebnisse Fall 3.....	65
Tabelle 8-1: Unstimmigkeiten der Erdreichparameter zwischen Beispielrechnung 1 und 2 der DIN/TS 12831-1	74

ABKÜRZUNGS- UND SYMBOLVERZEICHNIS

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - Richtlinien der amerikanischen Gesellschaft der Ingenieure für Heizung, Kühlung und Klimatisierung
BIM	Building Information Modeling
BLAST	amerikanisches Gebäudesimulationswerkzeug
BRIS	Erstes Gebäudesimulationswerkzeug
DIN	Deutsches Institut für Normung - die Bezeichnung für Normen des Instituts
DOE-2	amerikanisches Gebäudesimulationswerkzeug
EN	Europäische Norm
FMI	Functional Mockup Interface - standardisierte Schnittstelle für Simulationssoftwares
FMU	Functional Mockup Unit - Software-Bibliothek
GEG	Gebäude-Energie-Gesetz; hier noch richtigen namen angeben
GIS	Geographische Informationssysteme
IBK	Institut für Bauklimatik der TU Dresden
IFC	Industry Foundation Classes - Standard für den Datenaustausch in der Bauindustrie.
Lib	Library - Bibliothek
PDF	Portable Document Format - Übertragbares Dokumentenformat
PV	Photovoltaik
SWS	Sommerlicher Wärmeschutz
TRNSYS	amerikanisches Gebäudesimulationswerkzeug
TU	Technische Universität
V	Vornorm
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
XML	Extensible Markup Language - erweiterbare Auszeichnungssprache

SYMBOLVERZEICHNIS

A_{NGF}	Nettogrundfläche
A_{brutto}	Bruttogrundfläche
h	(mittlere) Höhe
h_{occup}	Höhe des Aufenthaltsbereich
V	Volumen
φ	(Bauteil-)Ausrichtung
β	Neigung
R_i	Wärmeleitwiderstand innen
R_o	Wärmeleitwiderstand außen
$C_{wirk.}$	Wärmespeicherkapazität
U	Wärmedurchgangskoeffizienten
ΔU_{TB}	Wärmebrückenzuschlag
U_{equiv}	Äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient für erdberührte Bauteile
$h_{c,i}$	Wärmeübergangskoeffizient innen
$h_{c,o}$	Wärmeübergangskoeffizient außen
g	Gesamtenergiedurchlassgrad
g_{tot}	Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Verschattung
f_R	Rahmenanteil der Verglasung
F_C	Verschattungsgrad
$\Phi_{HL,build}$	Gebäudeheizlast
$\Phi_{HL,BE}$	Heizlast der Gebäudeeinheit
$\Phi_{HL,i}$	Heizlast des Raums
Φ_T	Transmissionswärmeverluste <ul style="list-style-type: none"> - ,ia: Bauteil grenzt an beheizten Raum - ,iae: Bauteil grenzt an unbeheizten Raum - ,ie: Bauteil grenzt an Außenluft - ,ig: Bauteil grenzt an Erdreich
H_T	Transmissionswärmekoeffizient
$\Theta^*_{int,i}$	Mittlere Raumtemperatur
$\Theta_{int,i}$	Raumtemperatur
θ_x	Temperatur des angrenzenden Bereichs
θ_e	Umgebungstemperatur
$G_{\theta,air}$	Lufttemperaturgradient
$\Delta\theta_{rad}$	Differenz zwischen Luft- und operativer Temperatur
f_{ix}	Temperaturanpassungsfaktor
$f_{U,k}$	Meteorologischer Anpassungsfaktor
$f_{\theta,ann}$	Faktor für Temperaturschwankungen
f_{GW}	Faktor für Grundwasserspiegel
B'	Charakteristisches Bodenplattenmaß

P	Umfang der Bodenplatte
z	Tiefe der Oberkante Bodenplatte
A_g	Grundfläche
Φ_v	Lüftungswärmeverluste
ρ	Dichte der Luft
c_p	Spezifische Wärmekapazität der Luft bei konstantem Druck
$q_{v,env}$	Außenluftvolumenstrom des Raums durch die Gebäudehülle
$q_{v,open}$	Luftvolumenstrom durch Öffnungen
$q_{v,min}$	Mindestluftvolumenstrom
$q_{v,tech}$	Technischer Luftvolumenstrom
$q_{v,sup}$	Zuluftvolumenstrom
$q_{v,transfer}$	Überströmvolumenstrom
$q_{v,leak+ATD}$	Außenluftvolumenstrom in den Raum (i) durch Undichtheiten und Außenwandluftdurchlässe
$\Theta_{rec,z}$	Zulufttemperatur
$\Theta_{transfer}$	Überströmtemperatur
Φ_{hu}	Aufheizleistung
n_{sb}	Luftwechselrate während der Absenkperiode
t_{sb}	Absenkperiode
t_{hu}	Aufheizdauer
φ_{hu}	Spezifische Aufheizleistung

1. EINLEITUNG

1.1 Motivation und Zielsetzung

Der Klimawandel ist eines der drängendsten globalen Probleme unserer Zeit und hat weitreichende Auswirkungen auf unsere Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wurde im Jahr 2015 das Pariser Abkommen unterzeichnet, das das Ziel hat, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu begrenzen [12].

In Deutschland werden die Ziele zum Klimaschutz im Klimaschutzplan 2050 vom Jahr 2016 beschrieben. Dieser Plan schreibt vor, die Treibhausgasemissionen bis 2050 im Vergleich zum Jahr 1990 auf 95 Prozent zu senken [6]. Für das Jahr 2030 wird eine Senkung um 55 Prozent angesetzt [13]. Auch Gebäude werden als Sektor in den Klimaschutzplan mit aufgenommen. Laut dem Klimaschutzplan betrug der Anteil des Gebäudesektors an den Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2013 rund 38 Prozent [6].

Die Senkung des Energieverbrauchs ist von enormer Bedeutung, um die Klimaziele zu erreichen. Dafür sind technologische Innovationen notwendig, die bereits in der Planung die Energieeffizienz von Gebäuden mit betrachten.

Eine solche Innovation ist Building Information Modeling (BIM), das sich in der Bauindustrie immer weiter verbreitet. Die Technologie beschreibt eine umfassende 3D-Modellierung von Gebäuden, welche wiederum eine effektive Planung, Ausführung und Wartung von Bauprojekten ermöglicht.

Ein weiteres Werkzeug, mit welchem das Ziel der Energieeffizienz in Gebäuden umgesetzt werden kann, ist die thermische Gebäudesimulation. Diese ermöglicht die dynamische Berechnung von thermischen Kennwerten, beispielsweise Raumtemperaturen, sowie Heiz- und Kühllasten. Durch diese kann die Energieeffizienz eines Gebäudes bereits in der Planungsphase bewertet und wenn nötig, optimiert werden. Die Untersuchung und Steuerung von regenerativen Energienutzung, wie Photovoltaikanlagen oder Geothermie, können mit thermischen Gebäudesimulationen ebenfalls gewährleistet werden.

Ein Programm, welches sowohl die Vorteile von BIM, sowie die der thermischen Gebäudesimulation miteinander verbindet ist *SIM-VICUS* [17]. Dieses Programm ist ein quelloffenes Planungswerkzeug, mit welchem Gebäudesimulationen durchgeführt werden können. Es verwendet den Gleichungslöser *NANDRAD*, der seit über einem Jahrzehnt an der TU Dresden am Institut für Bauklimatik entwickelt wird [18]. Die Software ist mit einer BIM Schnittstelle ausgerüstet und erlaubt den Import diverser Formate wie IFC und GIS.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen automatisierte Berichte nach den allgemeinen Regeln der Technik erarbeitet werden, damit das Programm *SIM-VICUS* zukünftig auch in der Planungspraxis zur bauphysikalischen Untersuchung von Gebäuden verwendet werden kann.

Bei den in dieser Arbeit erstellten Berichten handelt es sich um den Sommerlichen Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2:2013-02 und den Heizlastbericht nach DIN EN 12831-1:2017-09.

Um die Berichte erstellen zu können, müssen zunächst die dafür notwendigen Kennwerte als Eingangsdaten herausgearbeitet werden. Dabei muss darauf geachtet werden, wie diese aus den Simulationsberechnungen zu extrahieren sind. Die Eingangsdaten und Berechnungsalgorithmen sind zu dokumentieren, um diese nachvollziehen zu können.

Die Erstellung der Algorithmen soll in der Programmierumgebung Qt Creator erfolgen. Die Institutsbibliotheken wie u.a. die *IBK-Lib* wird dabei zur Verfügung gestellt. Die Programmierung erfolgt unter Hilfestellung der Mitarbeiter des Instituts für Bauklimatik.

1.2 Gliederung

Der vorliegende Bericht gliedert sich in mehrere Kapitel, um die verschiedenen Aspekte der Thematik umfassend zu behandeln.

Im zweiten Kapitel werden zunächst die Grundlagen der Programmierung erläutert, welche im Rahmen der Arbeit herangezogen wurden. Besonderer Fokus liegt auf der thermischen Gebäudesimulationen, Building Information Modeling (BIM), *NANDRAD*, sowie *SIM-VICUS*.

Anschließend werden in Kapitel 3 die Grundlagen für den Sommerlichen Wärmeschutz (SWS) detailliert erläutert. Dabei wird ebenfalls auf die verschiedenen Eingangsdaten eingegangen, die für die Berechnungen und Erstellung des Berichts erforderlich sind.

Kapitel 4 widmet sich den Grundlagen für den Heizlastbericht und erläutert ebenfalls die spezifischen Eingangsdaten, die für die Berechnungen verwendet werden.

Die Methodik der Programmierung wird in Kapitel 5 eingehend behandelt. Hier werden sowohl auf die manuelle, als auch auf die automatisierte Berichterstellung eingegangen und die beiden Ansätze erläutert und verglichen.

Um die Ergebnisse der Programmierung auf ihre Korrektheit prüfen zu können, wurden Beispielrechnungen für beide Berichtstypen erstellt. Die Berechnungen werden im Kapitel 6 genau erläutert. Für den Sommerlichen Wärmeschutz wird eine Variantenstudie anhand eines Einraum-Modells durchgeführt, während für den Heizlastbericht ein Beispielhaus mit zwei verschiedenen Berechnungsszenarien betrachtet wird.

Die Ergebnisse der Beispielrechnungen werden in Kapitel 7 präsentiert und analysiert. Für die Heizlastbericht wird hier noch zusätzlich der Ansatz zur Berechnung des Aufheizzuschlags genauer erläutert.

In Kapitel 8 wird eine Diskussion der Ergebnisse und der vorgestellten Methodik durchgeführt. Dabei wird eine selbstkritische Reflexion der Arbeit vorgenommen und auch die Normen kritisch betrachtet.

Abschließend fasst Kapitel 9 die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit noch einmal zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche zukünftige Erweiterungen und Vertiefungen der Thematik.

2. GRUNDLAGEN DER PROGRAMMIERUNG

2.1 Einführung in die Thermische Gebäudesimulation

Die thermische Gebäudesimulation ist eine dynamische Simulation der thermischen Einflüsse, die über einen definierten Zeitraum, meist über ein Jahr, auf ein Gebäude wirken. Dabei bilden Annahmen über zu erwartende Klimaeinflüsse wie die Außenlufttemperaturen, solare Wärmegewinne oder innere Wärmelasten die Grundlage [11]. Die Simulation gibt Aussagen über Raumtemperaturen, Heiz- und Kühllasten, sowie deren Schwankungen.

Die Entwicklung der thermischen Gebäudesimulation begann Ende der 1950er Jahre. Auf Grundlage von Energiesimulationen für Heiz- und Kühllasten wurde die Entwicklung von einigen Strom- und Gasunternehmen vorangetrieben. Das erste Simulationswerkzeug BRIS wurde 1963 an der Königlichen Technischen Hochschule in Stockholm entwickelt [1]. Auch in den Vereinigten Staaten kam es zu Entwicklungen in diesem Feld. Aufgrund der Energiekrise in den Vereinigten Staaten in den 1970er Jahren wurden Bemühungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs von besonderem Interesse. US-Gebäudeenergienormen wie die ASHRAE wurden eingeführt, und es wurden mehr Simulationsprogramme wie BLAST, DOE-2 und TRNSYS entwickelt. Im Laufe der Zeit kamen immer mehr Simulationsprogramme hinzu, die in Punkten, wie beispielsweise der Flexibilität, verbessert wurden [2][4].

In deutschen Normen werden heutzutage hauptsächlich stationäre Verfahren genutzt, wie in der Norm zur energetischen Bewertung von Gebäuden, der DIN 18599-1. Diese geben jedoch nur vage Vorstellungen des tatsächlichen Energieverhaltens eines Gebäudes wieder.

Aufgrund der Möglichkeit der Zeitschritteinstellung und der klaren Angabe der Einflussparameter können in dynamischen Simulationen äußerst genaue Ergebnisse zum Energieverhalten des Gebäudes getroffen werden. Durch thermische Gebäudesimulationen wird zusätzlich die Kontrolle und Optimierung von Gebäuden bereits im Planungsprozess ermöglicht.

2.2 Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling ist eine Methode der digitalen Bauwerksmodellierung. Hierbei werden alle relevanten Informationen des Bauwerks digital erfasst und in einem Modell zusammengeführt [19]. Das Modell ist eine digitale Darstellung aller planungs- und realisierungsrelevanter Bauwerksinformationen, betrachtet über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes. Die Gebäudedaten werden in BIM über IFC-Schnittstellen übertragen [19].

Die Verwendung von BIM führt zu einer Steigerung der Effizienz durch eine bessere Vernetzung der Gewerke sowie einer Transparenz aller Planungs-, Bau- und Bewirtschaftungsschritte. Der Datenaustausch wird dadurch erleichtert und Planungsfehler können vorgebeugt werden [19].

BIM kann auch bei der Steuerung des Bauablaufs helfen und ermöglicht die Planung des Bauwerks über den gesamten Lebenszyklus hinweg, was zu einer leichteren und realistischeren Beurteilung führt.

In Deutschland ist das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) sowie das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) die Anlaufstelle für Fragen rund um BIM [20]. Seit Oktober 2022 gibt es ein BIM-Portal, über welches Objektvorlagen bereitgestellt werden können.

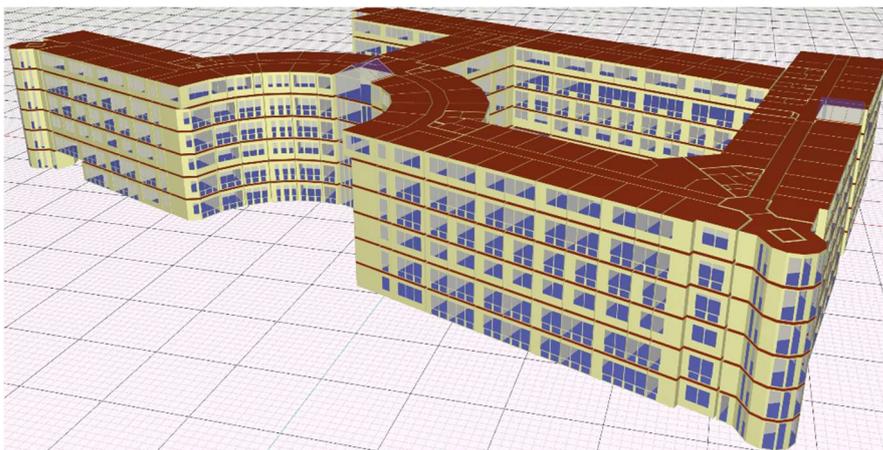


Abbildung 2-1: Beispiel für ein mittels BIM generiertes Gebäude (Erstellung mittels SIM-VICUS)

2.3 NANDRAD

NANDRAD ist ein Gebäudesimulationsgleichungslöser (Solver), welcher eine dynamische Bewertung der Energieeffizienz ermöglicht [18]. Die Plattform ist in der Lage, auch komplexe Gebäude effizient thermisch zu berechnen und integriert außerdem physikalische Modelle mit hoher Detailtreue. Wird eine Gebäudesimulation im Planungsprozess genutzt wie beispielsweise *SIM-VICUS* mit *NANDRAD* als Solver, können Energiebedarfe und thermische Behaglichkeit beurteilt werden. Es wird auch für Anlagendimensionierung, Heiz- und Kühllastberechnung sowie für die Optimierung und Steuerung von Anlagen verwendet.

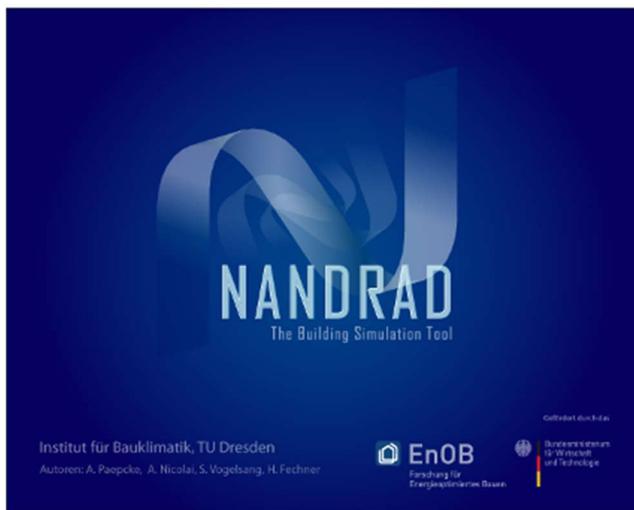


Abbildung 2-2: Logo von dem Simulationswerkzeug NANDRAD [18]

Die Anforderungen an den Rechenkern der Simulationsplattform sind sehr hoch. Der speziell für diesen Zweck entwickelte *NANDRAD*-Solver nutzt numerische Methoden auf dem neuesten Stand der Technik. Es besteht die Möglichkeit über den FMI-Standard Simulationen zu koppeln und so detaillierte Gebäude- und Anlagensimulationen gleichzeitig durchzuführen [18]. Mittels *ModelExchange* und *CoSimulation* wird der Solver vernetzungsfähig gemacht. Die effiziente Solver-Technologie ermöglicht eine hohe Simulationsgenauigkeit durch den Einsatz fehlerkontrollierter Simulationsverfahren. Dadurch werden Anlagensysteme und Erzeugerkomponenten prüfbar. Die hohe Recheneffizienz eröffnet die Möglichkeit der Verwendung problemangepasster Lösungsverfahren, beispielsweise das vorkonditionierte Krylow-Unterraumverfahren. Die Analyse des Gebäudes als Ganzes ist eine Besonderheit von *NANDRAD*. Es besteht sogar die Möglichkeit, dass Gebäude

als Energieerzeuger oder Energiespeicher zu betrachten. Eine weitere Besonderheit von *NANDRAD* ist die realistische Betrachtung der Gebäudespeichermasse. *NANDRAD* ist modular erweiterbar und unterstützt generische Schnittstellen, um neue Anlagenmodelle oder Regelsysteme automatisch zu registrieren und auszuwerten. *NANDRAD* bietet zusätzlich eine Vielzahl von zusätzlichen Hilfs- und Konvertierungsprogrammen für den BIM-Datenimport, FMU-Export und die Verwendung als Simulationskomponente innerhalb anderer Simulationsumgebungen (z.B. *SimulationX*).

NANDRAD hat an der Testreihe von *SimQuality* teilgenommen, welche sich für die Qualitätssicherung und Standardisierung von Simulationsverfahren im Bauwesen einsetzt [21].

2.4 SIM-VICUS

SIM-VICUS ist eine Eingabemaske für Gebäude- und Netzsimulationssoftware, die eine dynamische Bewertung der Energieeffizienz ermöglicht [17]. Dabei können auch komplexe und große Gebäude und Netzstrukturen betrachtet werden, die in Form von 3D-Modellen visualisiert werden und deren Parameter direkt den Objekten zugeordnet werden können. Die Erstellung und Eingabekontrolle komplexer Räume und Dächer wird dadurch vereinfacht. Sogar ganze Quartiere können als Gebäudesysteme dargestellt werden. Es besteht die Möglichkeit im Programm bereits vorhandene Modelle als IDF- oder IFC-Dateien zu importieren, sowie für Netze GIS-Daten zu verwenden.



Abbildung 2-3: Logo des Simulationsprogramms SIM-VICUS [17]

SIM-VICUS bildet thermohydraulische Rohrnetze und die dazugehörigen Netzkomponenten ab. Damit können ganze Fernwärmenetze dargestellt werden. Detaillierte Anlagensysteme und Komponenten können durch die laufzeitgekoppelte Simulation auf Basis von FMI (Functional Mockup Interface) Standard 2.0 mit *SIM-VICUS* kombiniert werden.

Die Software ermöglicht die Berechnung von:

- Wärme-, Kälte- und Strombedarf
- die Untersuchung von Bauteilvarianten
- die individuelle Anpassung von Wärme- und Kälteerzeugern sowie PV-Strom
- die Berechnung des Sommerlichen Wärmeschutzes
- eine dynamische Heizlastberechnung nach DIN EN 12831
- die Kühllastberechnung nach VDI 2078
- die Bewertung der Behaglichkeit [22]

SIM-VICUS kann außerdem zur Dimensionierung komplexer Wärmenetze sowie zur Konfiguration von Versorgungs- und Unterstationen genutzt werden.

3. BERICHTSGRUNDLAGEN DES SOMMERLICHEN WÄRMESCHUTZ

3.1 Grundlagen des Sommerlichen Wärmeschutzes

Der Sommerliche Wärmeschutz ist ein in der DIN 4108-2:2013-02 geregelter Nachweis für die Behaglichkeit im Sommer. Die Zielstellung dabei ist, den Sommerlichen Wärmeschutz bereits konstruktiv zu berücksichtigen. Somit sollen energie-intensive Kühlmaßnahmen in Form von Kühlungs- oder Lüftungsanlagen vorgebeugt werden [7].

Der Nachweis ist im GEG, dem Gebäude-Energie-Gesetz, gefordert. Aufgrund dessen ist der Nachweis für alle Neubauten, sowie bei der Sanierung von Bestandsbauten essenziell.

Die Nachweisführung wird dabei in zwei unterschiedliche Vorgehensweisen unterschieden:

- Sonneneintragskennwerteverfahren
- Thermische Gebäudesimulation

Diese Verfahren werden im folgenden Text kurz beschrieben, sowie ihre Aussagefähigkeit bewertet.

3.2 Das Sonneneintragskennwerteverfahren

Das Sonneneintragskennwerteverfahren, oder auch vereinfachtes Verfahren genannt, arbeitet mit standardisierten Randbedingungen. Hierbei werden die zulässigen Sonneneintragskennwerte mit den vorhandenen Kennwerten verglichen. Die Summe der vorhandenen Kennwerte dürfen dabei die zulässigen Kennwerte nicht überschreiten. Die vorhandenen Kennwerte werden über die Fensterfläche, den Gesamtenergiedurchlassgrad und der Nettogrundfläche des Raums ermittelt. Um den zulässigen Sonneneintragskennwerte zu bestimmen, müssen weitere Faktoren bestimmt werden. Dazu gehören die Bauart nach wirksamer Wärmekapazität, die

Verfügbarkeit einer Nachtlüftung oder einer passiven Kühlung, die Fensterneigung und -orientierung, sowie die Art der Verglasung und des Sonnenschutzes.

Das Verfahren wird in Abschnitt 8.3 der DIN 4108-2 genauer erläutert.

3.3 Parametrisierung der thermischen Gebäudesimulation

Die thermische Gebäudesimulation wird in DIN 4108-2 in Abschnitt 8.4 geregelt und umfasst eine dynamische-thermische Simulationsrechnung. Verglichen wird dabei die Summe der Übertemperaturgradstunden mit einem festgesetzten Limit, welches von der Nutzungsart (Wohngebäude, Nichtwohngebäude) abhängig ist. Die Gebäudesimulation ermittelt die operative Temperatur eines Raums. Alle Werte oberhalb eines vom Standort abhängigen Temperaturlimits werden aufsummiert.

Die Simulationsrechnung erfolgt über ein ganzes Jahr. Aufgrund der Gewährleistung der Vergleichbarkeit, müssen in der Simulation gewisse Eingangsdaten als feste Werte vorgegeben werden. Dazu gehören u.a. die Nutzungsdauer abhängig von der Nutzungsart, der Heizsollwert und die internen Lasten.

3.4 Fokus der Arbeit

In dieser Arbeit wurde sich auf die Bearbeitung und Anwendung der thermischen Gebäudesimulation fokussiert.

Das Sonneneintragskennwerteverfahren hat aufgrund seines simplen Vergleichs der Sonneneintragskennwerte eine zu geringe Aussagefähigkeit, gegenüber der thermischen Gebäudesimulation, in welcher die operativen Temperaturen der einzelnen Räume in Form eines Jahresverlaufs aufgeschlüsselt werden können.

Bei sehr großen bzw. komplexen Gebäuden mit ggf. vielen Varianten der Raumnutzung ist es nicht sofort ersichtlich, an welcher Stelle des Gebäudes der thermisch kritischste Raum verortet ist. Weiterhin sind die Rauminteraktionen sehr schwer für einen Menschen zu fassen. Daher ist es günstig eine Simulation mit einem 3D-Gebäudemodell durchzuführen. Aufgrund der IFC-Schnittstellen in *SIM-VICUS* ist die effiziente Erstellung aller Räume realisierbar. Nach der Modellierung werden die

Nutzungsprofile (Wohn-/ Nichtwohngebäude) zugewiesen. Anschließend werden die operativen Raumtemperaturen mit dem standortabhängigen Klima berechnet. Im letzten Schritt erfolgt die Auswertung.

3.5 Eingangsdaten des Sommerlichen Wärmeschutznachweis

Für die thermische Gebäudesimulation werden folgende Eingangsdaten benötigt. Diese sind in Abbildung 3-1 hierarchisch aufgeschlüsselt dargestellt.

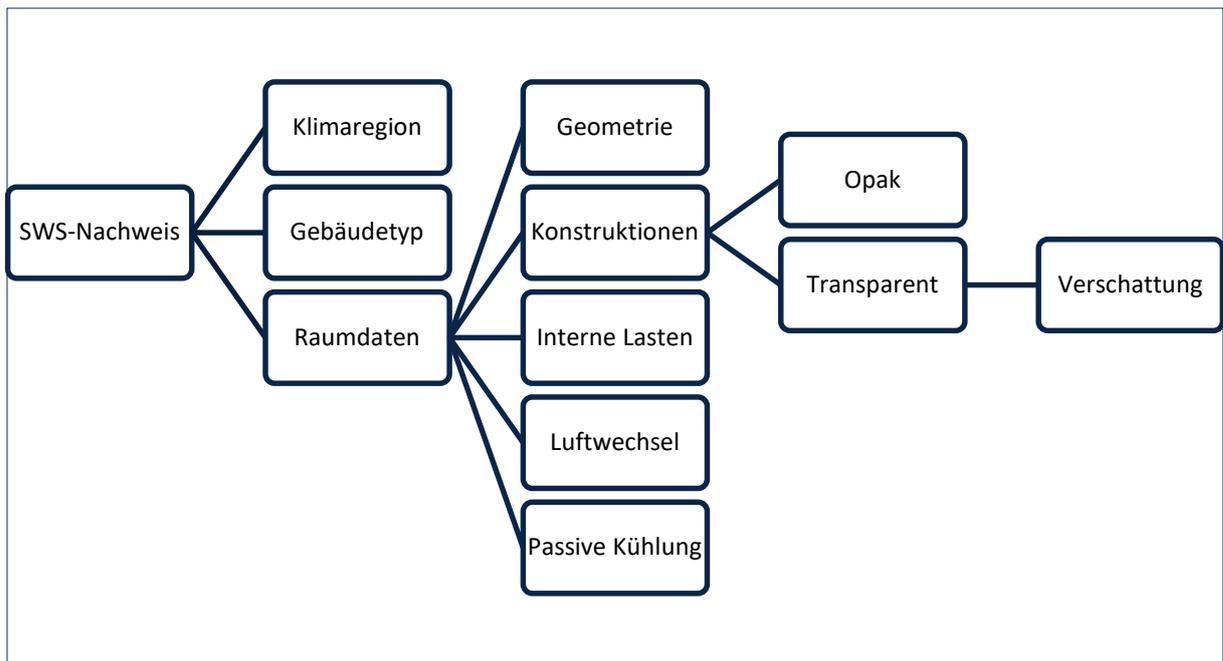


Abbildung 3-1: Eingangsdaten des Sommerlichen Wärmeschutzberichts in Darstellung einer Hierarchie

Jedes Objekt hat als Basisbedingungen die Klimaregion, den Gebäudetyp bzw. die Nutzungsart des Gebäudes und die Raumdaten aller vorhandenen Räume zugrunde liegen. Die Raumdaten sind dabei untergliedert in die Abmessungen des Raums, den Daten zu den Konstruktionen, den internen Lasten, den Luftwechsel und der Möglichkeit zur Verwendung einer passiven Kühlung. Aufgrund ihrer Unterschiede in den zu betrachtenden Parametern müssen opake und transparente Bauteile bei der Betrachtung des Raums separat betrachtet werden. Eine zusätzliche Größe, die hierbei für transparente Bauteile gelten ist, wenn vorhanden, das Verschattungssystem.

Ebene	Bezeichnung	Beschreibung	Einheit
Klima	Klimaregion	A/B/C	-
	Referenz-temperatur	25/26/27	°C
Gebäude	Gebäudetyp	Wohngebäude/ Nichtwohngebäude	-
	interne Lasten	100/144	Wh/m ² d
	Heizsollwert	20/21	°C
	Grundluftwechsel	0,5 / nach Berechnung	1/h
Raum	Geometrie		
	ANGF	Nettogrundfläche	m ²
	h	mittlere Raumhöhe	m
	V	Volumen	m ³
	Lüftung und Kühlung		
	n	erhöhte Tag/ - oder Nachtlüftung	1/h
	-	passive Kühlung	-
Bauteile	opake Bauteile		
	A _k	Bauteilfläche	m ²
	φ	Bauteilausrichtung	°
	β	Neigung des Bauteils	°
	R _i	Wärmeleitwiderstand innen	m ² K/W
	R _o	Wärmeleitwiderstand außen	m ² K/W
	U	Wärmedurchgangskoeffizient	W/m ² K
	transparente Bauteile		
	A	Bauteilfläche	m ²
	g	Gesamtenergiedurchlassgrad	-
	f _R	Rahmenanteil	-
Verschattung	F _c	Verschattungsgrad	-

Tabelle 3-1: Eingangsparameter tabellarisch aufgeschlüsselt

Im fortlaufenden Text werden die einzelnen Eingangsdaten genauer beleuchtet.

3.5.1 Klimaregion

Für den Sommerlichen Wärmeschutz wird Deutschland in 3 Klimaregionen unterteilt, welcher ein Datensatz eines Testreferenzjahres zugeordnet ist:

- Klimaregion A - sommerkühl mit dem Datensatz Rostock
- Klimaregion B - gemäßigt mit dem Datensatz Potsdam
- Klimaregion C - sommerheiß mit dem Datensatz Mannheim

Die Datensätze beziehen sich auf die einzelnen Testreferenzzonen die das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung bereitgestellt wurden. Die Klimaregionen sind dabei nicht zusammenhängend, sondern ergeben sich aufgrund meteorologischer und geografischer Grundlagen. Die Abbildung 3-2 zeigt die Aufteilung.

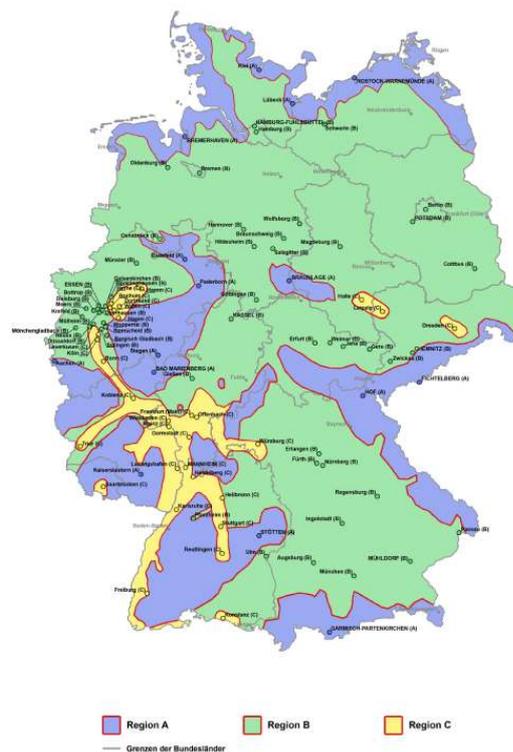


Abbildung 3-2: Klimaregionen nach SWS [7]

Die Klimaregion bestimmt den Basiswert der operativen Temperaturen innerhalb des Gebäudes, ab welchem die Übertemperatur gezählt wird. Dies wird in Tabelle 9 der DIN 4108-2 beschrieben (siehe Abbildung 3-3).

3.5.2 Nutzungsart

In der Norm wird die Nutzungsart in Wohngebäude und Nichtwohngebäude unterschieden.

Die Abbildung 3-3 zeigt die Tabelle 9 aus der DIN 4108-2. Sie gibt Auskunft über die Anforderungswerte der maximalen Summe der Übertemperaturgradstunden, welche für die zwei unterschiedlichen Nutzungsarten gelten. Eine Unterscheidung ist durch die Parameter, wie u.a. der Nutzungsdauer des Gebäudes, der internen Lasten, sowie der Art der Tätigkeit der im Raum befindlichen Personen, nötig. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird von der Norm eine dauerhafte Nutzung für Wohngebäude angesetzt, während für Nichtwohngebäude eine fester Nutzungszeitraum von 7 bis 18 Uhr vorausgesetzt wird.

Ausgehend von der Gebäudeart, werden in der thermischen Gebäudesimulation ebenfalls die Grunddaten der internen thermischen Lasten und der Heizsolltemperatur festgelegt.

Für die internen Lasten gilt für ein Nichtwohngebäude ein Wert von 144 Wh/m²d und für Wohngebäude der Wert von 100 Wh/m²d.

Die Heizsolltemperaturen werden bei Nichtwohngebäuden auf 21 °C festgelegt, bei Wohngebäuden sind es 20 °C. Für diese dürfen keine Absenkungen betrachtet werden.

Tabelle 9 — Zugrunde gelegte Bezugswerte der operativen Innentemperatur für die Sommerklimaregionen und Übertemperaturgradstundenanforderungswerte

Sommerklimaregion	Bezugswert $\theta_{b,op}$ der Innentemperatur °C	Anforderungswert Übertemperaturgradstunden Kh/a	
		Wohngebäude	Nichtwohngebäude
A	25	1 200	500
B	26		
C	27		

Abbildung 3-3: Tabelle 9 aus der DIN 4108-2 [7]

3.5.3 Raumabmessung

Die wichtigen Eingangsdaten für die Raumabmessung beinhalten die Nettogrundfläche und das Raumvolumen, sowie die Raumhüllflächen mit ihren Abmessungen. Für die Hüllflächen ist sowohl der Flächenanteil der opaken, sowie transparenten Bauteile von Bedeutung. Für die Bauteile müssen ebenfalls die Neigung der Konstruktionen, sowie der Ausrichtung angegeben werden. Für horizontale Bauteile entfällt die Angabe der Ausrichtung.

3.5.4 Interne Lasten

Unter internen Lasten versteht man alle Wärmelasten, welche aufgrund deren Nutzung oder deren Anwesenheit zu einem Wärmeeintrag innerhalb eines Gebäudes bzw. eines Raums führen. Dazu gehören elektrische Geräte, Maschinen, Beleuchtung, sowie Personen selbst aufgrund ihrer Körperwärme.

Unter der thermischen Gebäudesimulation nach DIN 4108-2 werden die internen Lasten unter der Nutzungsart bereits als feste Parameter definiert (siehe 3.5.2).

3.5.5 Eigenschaften der opaken Konstruktionen

Opake und Transparente Konstruktionen müssen differenziert betrachtet werden. Für die opaken Konstruktionen ist lediglich der Wärmedurchgangskoeffizient, auch als U -Wert bezeichnet, von Relevanz. Im Zusammenhang der Eingangsdaten der transparenten Bauteile müssen außerdem die Fläche, die Ausrichtung und die Neigung betrachtet werden.

Die opaken Konstruktionen haben zusätzlich einen Einfluss auf die Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} . Die Wärmespeicherfähigkeit beschreibt die Fähigkeit der Konstruktionen Wärme von der Raumluft aufzunehmen und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abzugeben. Auf Grundlage der Wärmespeicherfähigkeit werden Gebäude in leichte, mittlere oder schwere Bauart untergliedert. Konstruktionen von schwerer Bauweise besitzen eine höhere Speichermasse als Leichtbauten. Folglich ist

eine schwerere Bauart im Sommer für die Wärmeentwicklung im Raum vorteilhaft, da sie geringere Temperaturspitzen zulassen. Abbildung 3-4 zeigt eine Gegenüberstellung der zeitlichen Verläufe der Lufttemperaturzunahme unter Verwendung von verschiedenen Bauteilen.

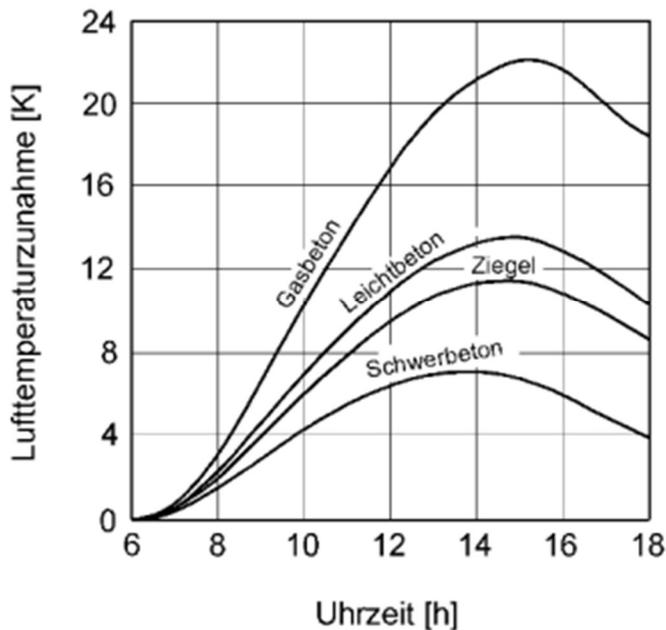


Abbildung 3-4: Zeitliche Verläufe der Lufttemperaturzunahme in Räumen verschiedener Bauweise bei Südorientierung der Glasfläche [5]

Als zusätzlicher Faktor kann ebenfalls der Wärmedurchlasswiderstand der Bauteile beachtet werden. Diese bauphysikalische Größe dient der Wichtung für die Betrachtung der Wärmeübertragungsvorgänge zwischen den Bauteilschichten, sowie der Außenluft und der Innenluft.

3.5.6 Eigenschaften der Verglasung

Für die Gebäudesimulation nach dem Sommerlichen Wärmeschutz sind die Eigenschaften der Verglasungen essenziell. Zu den Eigenschaften gehören der Gesamtenergiedurchlassgrad, sowie der Rahmenanteil.

Der Gesamtenergiedurchlassgrad, oder auch g-Wert genannt, gibt an, wie viel kurzwellige Strahlung durch die Verglasung gelangt. Es wird dabei sowohl der Anteil an Strahlung betrachtet, welcher direkt die Verglasung durchdringt, als auch die

sekundäre Strahlung, welche über Wärmeabgabe in den Raum gelangt. Der Gesamtenergiedurchlassgrad bildet somit die Summe aus direkt durchgelassener und sekundär abgegebener Strahlung. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 3-5 dargestellt. Der Gesamtenergiedurchlassgrad ist ein wichtiger Faktor bei der Wahl der Verglasung, da er beeinflusst, wie viel Energie durch das Fenster in den Raum gelangt und wie viel reflektiert wird.

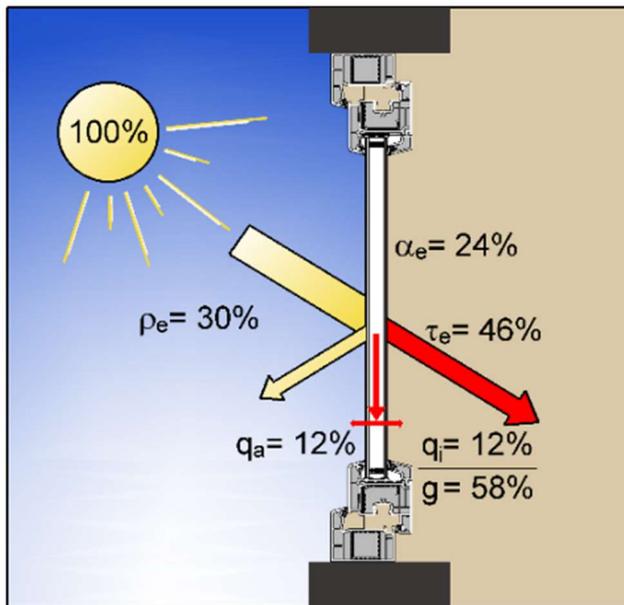


Abbildung 3-5: Darstellung der Eingangsgrößen des Gesamtenergiedurchlassgrads [5]

Ein weiterer Faktor, welcher den Wärmeeintrag über die Verglasung beeinflusst, ist der Rahmenanteil. Dieser Anteil bezeichnet den prozentualen Anteil der Fläche des Rahmens im Verhältnis zur transparenten Verglasung. Im Regelfall wird für den Sommerlichen Wärmeschutz ein Rahmenanteil von 30 % angenommen. Dieser Wert wirkt sich auch auf den Gesamtenergiedurchlassgrad einer Verglasung aus, da der Rahmen im Gegensatz zur Verglasung nicht transparent ist und somit die solare Einstrahlung reduziert. Ein höherer Rahmenanteil führt demnach zu einem geringeren Gesamtenergiedurchlassgrad.

Im gleichen Zusammenhang spielt der Flächenanteil der Verglasung gegenüber der des opaken Bauteils ebenfalls eine wichtige Rolle. In der heutigen Architektur ist ein hoher Anteil an transparenten Flächen üblich, welches zu höheren solaren Lasten führt. Gleichzeitig verringert sich die Bauwerksmasse, was sich ebenfalls negativ auf die thermische Raumluftentwicklung auswirkt. Daher sollte darauf geachtet werden,

den Verglasungsanteil so weit zu verringern, dass dennoch genug Licht im Raum gewährleistet wird.

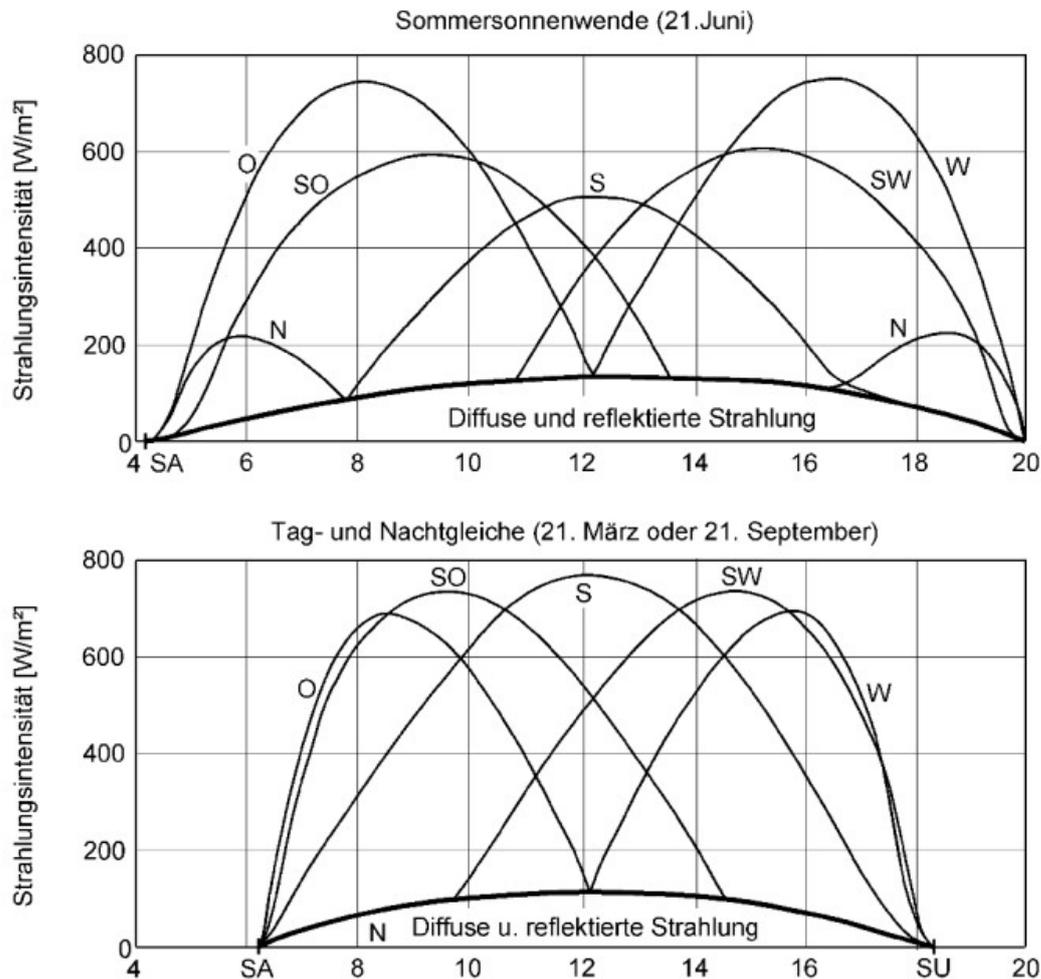


Abbildung 3-6: Zeitliche Verläufe der Strahlungsintensität auf vertikale Flächen verschiedener Orientierung zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende und Tag- und Nachtgleiche; gemessen in Holzkirchen [...] [5]

Es ist für eine Verglasung ebenfalls essenziell zu wissen, welches Maß an Strahlungsintensität zu erwarten ist. Ein Einfluss hierbei hat die Himmelsrichtung, in welche die transparente Oberfläche orientiert ist. In den Breitengraden, in welchen sich Deutschland befindet, variieren die Sonnenstrahlung und der Sonnenstand über den Verlauf eines Jahres enorm. In Abbildung 3-6 wird dargestellt, dass während der Tag- und Nachtgleiche die intensivste Strahlungseinwirkung im Süden zu erwarten ist. Im Hochsommer hingegen weiten sich die Einstrahlungen in Ost- und Westrichtung weiter aus, während der Einfluss der Strahlung im Süden reduziert wird. Daher sind in diesem Zeitraum höhere Wärmeeinträge nicht nur in Südausrichtung, sondern auch auf Ost- und Westfassaden zu erwarten.

Die Neigung der Verglasung ist ein Faktor, welcher sich auf den Wärmedurchgangskoeffizienten auswirkt. Eine Art der Wärmeübertragung bei Mehrscheibenverglasungen ist die Konvektion. Bei dieser wird ein Medium, in diesem Fall das Scheibenfüllgas, durch Strömungen transportiert [23]. Bei einer üblich vertikal eingebauten Verglasung bildet sich nur ein Konvektionsstrom, welcher im Regelfall eine geringe Auswirkung auf den Wärmeeintrag hat. Bei horizontal oder geneigt eingebauten Fenstern bilden sich mehrere Konvektionsströme im Scheibenzwischenraum, was zu einem höheren Wärmetransport führt (siehe Abbildung 3-7). Daher weisen geneigte Flächen im Vergleich zu gleichartigen vertikalen Verglasungen höhere Wärmedurchgangskoeffizienten auf. Die höchste Auswirkung hat die Neigung bei Zweifachverglasung (siehe Abbildung 3-8). Im Regelfall werden in den Produktblättern nur der U-Werte für vertikale Flächen angegeben. Dies ist kritisch zu hinterfragen.

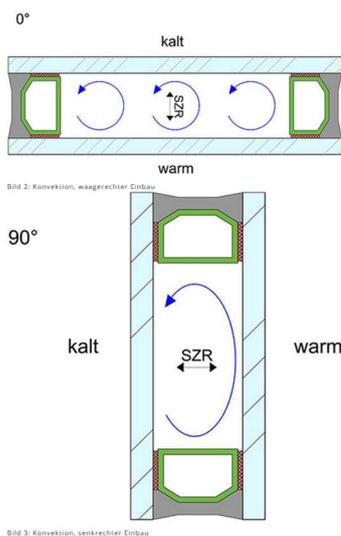


Abbildung 3-7: Vergleich der Konvektionsströme zwischen einer horizontal und vertikal eingebauten Verglasung [23]

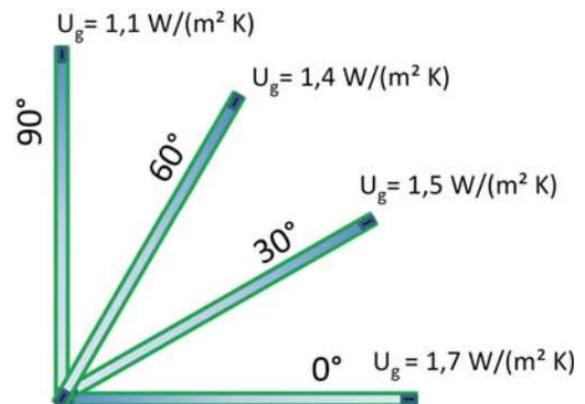


Abbildung 3-8: Änderung des U-Werts nach Neigungsgrad einer Zweifachverglasung [23]

3.5.7 Verschattungssystem

Um die Wirksamkeit eines Verschattungssystems zu charakterisieren, wird im Sommerlichen Wärmeschutz der Abminderungsfaktor F_c verwendet. Es gilt je kleiner dieser Faktor ist, desto effektiver ist der Sonnenschutz. Die Effektivität eines Verschattungssystems ist abhängig von:

- der Position der Verschattung
- der Art und dem Aufbau der zugehörigen Verglasung
- sowie der Art der Hinterlüftung

Der F_c -Wert spielt eine wichtige Rolle für die Berechnung des Gesamtenergiedurchlassgrades einschließlich des Sonnenschutzes g_{tot} . Die Berechnung des Wertes lautet wie folgt:

$$g_{tot} = F_c * g \quad 3.1$$

Ein Verschattungssystem kann betrachtet ausgehend von der Verglasung außenliegend, zwischen den Scheiben der Verglasung oder auf Raumseite positioniert werden. Die Effektivität des Sonnenschutzes nimmt dabei von außen nach innen immer weiter ab. Das ist zurückzuführen auf die Wirkungsweise des Sonnenschutzes. Das Verschattungssystem absorbiert teilweise die auftreffende kurzwellige Sonnenstrahlung und wandelt diese in langwellige Wärmestrahlung um [5]. Aufgrund dessen wird bei einer innenliegenden Verschattung die Wärmestrahlung in den Raum abgegeben, welches zu der geringeren Effektivität führt.

Im Fall innenliegender Verschattung kann einer Erwärmung der Luft zwischen Verglasung und Sonnenschutz mittels Hinterlüftung vorgebeugt werden, indem die Luft abgeführt wird. Diese kann entweder nach außen oder innen abgeführt werden. Für außenliegende Verschattungen kann im Regelfall die Hinterlüftung vernachlässigt werden, da die Verglasung an sich genug Wärmewiderstand hergibt.

Kommt es am Gebäude zu einer baulichen Verschattung kann diese ebenfalls berücksichtigt werden. Eine Dokumentation des Ansatzes ist dabei erforderlich.

3.5.8 Luftwechsel

Der Luftwechsel eines Raums beschreibt den Austausch der Raumluft mit der Außenluft. Für die Berechnung in der Gebäudesimulation wird zwischen den Eingangsparmeter des Grundluftwechsels und des erhöhten Luftwechsels durch Tag- oder Nachtlüftung unterschieden.

Der Grundluftwechsel variiert je nach Gebäudetyp, wobei für Wohngebäude ein Luftwechsel von 0,5 1/h angesetzt wird. Bei Nichtwohngebäuden wird zwischen dem Grundluftwechsel während und außerhalb der Nutzungszeit unterschieden. Der Luftwechsel während der Nutzungszeit wird dabei durch viermal der Grundfläche des Raums dividiert durch das Volumen des Raums bestimmt (siehe Formel 3.2).

$$n = 4 \frac{A_G}{V} \quad 3.2$$

Außerhalb der Nutzungszeit wird ein Wert von 0,24 1/h angesetzt. Um die angesetzten Luftwechsel zu dokumentieren, müssen Tages- oder Wochenprofile erstellt werden.

Die Gebäudesimulation ermöglicht die Einbindung einer erhöhten Tag - oder Nachtlüftung.

Ab 23 °C Raumlufttemperatur darf ein erhöhter Tagluftwechsel angesetzt werden. In diesem Fall können zur Vermeidung der Überhitzung bis zu drei Luftwechsel pro Stunde angesetzt werden.

Besteht die Möglichkeit zur Nachtlüftung, kann diese ebenfalls in die Gebäudesimulation eingehen. Erfolgt die Nachtlüftung über Fenster, dürfen hierbei zwei Luftwechsel pro Stunde festgelegt werden. Dieser Fall kann bei Wohngebäuden als Regel betrachtet werden. In Nichtwohngebäude muss geprüft werden, ob dies mit dem Einbruchschutz zu vereinbaren ist. Für geschossübergreifende Lüftungsmöglichkeiten, beispielsweise ein geschossübergreifendes Atrium, kann der Luftwechsel weiter auf fünf pro Stunde erhöht werden.

Bei technischen Anlagen ist die Dimensionierung der Anlage maßgebend für den Ansatz des erhöhten Luftwechsels.

3.5.9 Passive Kühlung

Unter einer passiven Kühlung versteht man ein Kühlsystem, bei der die Energie ausschließlich für die Umwälzung des Kühlmediums verwendet wird [16]. Ein Kältemittelkreislauf ist daher bei diesem System nicht vorhanden. Diese Art der Kühlung wird typischerweise durch Geothermie oder indirekte Verdunstung realisiert. In der Simulation kann sie durch thermisch aktivierte Bauteile umgesetzt werden. Da die passive Kühlung die Situation im Raum begünstigt, muss sie im Nachweis, wenn vorhanden, auch dokumentiert werden.

4. BERICHTSGRUNDLAGEN DER HEIZLAST

4.1 Grundlagen zur Heizlastberechnung

Die Heizlastberechnung wird in der DIN EN 12831-1:2017-09 geregelt. In dieser wird die Norm-Heizlast definiert als „*Wärmestrom (...), der erforderlich ist, um die festgelegte Norm-Innentemperatur unter Norm-Außenbedingungen zu erreichen.*“¹

DIN EN 12831-1 Abschnitt 5 unterteilt die Heizlastberechnung in 3 Verfahren:

- Standardverfahren - Heizlast von Räumen, Gebäudeeinheiten und Gebäuden
- Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast eines beheizten Raums
- Vereinfachtes Verfahren für die Berechnung der Norm-Heizlast des Gebäudes

Die vereinfachten Verfahren sind nur anwendbar, wenn es sich bei dem untersuchten Gebäude um Wohngebäude, bestehende Gebäude oder Gebäude mit freier Lüftung handelt. In Fällen von Gebäuden mit umfangreicheren Maßnahmen sind die vereinfachten Verfahren daher nicht zur Anwendung geeignet. Für die Untersuchung der Heizlast mittels Allgemeingültiger Gebäudesimulation, wie *SIM-VICUS* eine ist, kann daher nur das Standardverfahren als Anwendungsverfahren in Betracht gezogen werden.

4.2 Das Standardverfahren

Beim Standardverfahren werden sowohl für das Gebäude, sowie für die einzelnen Gebäudeeinheiten, als auch für die einzelnen Räume die Heizlastberechnung durchgeführt. Die Formeln variieren je nachdem, welche Ebene betrachtet wird und somit auch die Endergebnisse.

Die Heizlast berechnet sich aus der Summe den Transmissionswärmeverlusten, den Lüftungswärmeverlusten und der Aufheizleistung. Es ist auf europäischer Ebene

¹ Quellenverzeichnis [8] , S. 14

mögliche die Wärmegewinne gegenzurechnen. In der Deutschen Norm wurde sich jedoch gegen die Betrachtung der Wärmegewinne entschieden.

Berechnung Gebäudeheizlast:

$$\phi_{HL,build} = \sum_i (\phi_{T,ie} + \phi_{T,iae} + \phi_{T,ig}) + \phi_{V,build} + \sum_i \phi_{hu,i} - \sum_i \phi_{gain,i} \quad 4.3$$

Berechnung Heizlast für Gebäudeeinheit:

$$\phi_{HL,BE} = \sum_i (\phi_{T,ie} + \phi_{T,iae} + \phi_{T,iaBE} + \phi_{T,ig}) + \phi_{V,BE} + \sum_i \phi_{hu,i} - \sum_i \phi_{gain,i} \quad 4.4$$

Berechnung Heizlast für Räume:

$$\phi_{HL,i} = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} + \phi_{hu,i} - \phi_{gain,i} \quad 4.5$$

Im folgenden Text werden die einzelnen Parameter des Wärmeverlusts genauer erläutert.

4.2.1 Transmissionswärmeverlust

Der Transmissionswärmeverlust beschreibt die Art des Wärmeverlusts, welcher über die Transmission, also Wärmeübertragung durch Konstruktionen, verloren gehen. Diese Größe wird über den Transmissionswärmekoeffizient H_T bestimmt, welcher von den Temperaturdifferenzen zwischen der Norminnen- und Normaußentemperatur abhängt.

Ausschlaggebend für die Berechnung des Transmissionswärmeverlustes ist das angrenzende Medium auf der anderen Seite der Wand. Dafür werden folgende Indizes zur Unterscheidung festgelegt:

- a: beheizter Raum
- ae: unbeheizter Raum
- aBE: angrenzende Nutzungseinheit
- e: Außenluft
- g: Erdreich

Die Formeln der Transmissionskoeffizienten variieren je nach dem angrenzenden Medium der Konstruktion. Der berechnete Transmissionswärmeverlust des Gebäudes ergibt sich aus der Summe der einzelnen Transmissionskoeffizienten multipliziert mit der Differenz aus Innen- und Außentemperatur.

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) * (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad 4.6$$

Die folgenden Abschnitte gehen intensiver auf die Berechnung der einzelnen Transmissionskoeffizienten ein. Prinzipiell gibt es Eingangsparameter, die für alle Berechnungen gelten:

- die Netto-Bauteilgrundfläche $A_{k,netto}$
- der (korrigierte) Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils
- der Temperaturanpassungsfaktor

Die Nettogrundfläche ergibt sich aus der Bruttofläche, unter Abzug der Öffnungsbauteile, wie Fenster und Türen.

Die Berechnung des korrigierten Wärmedurchgangskoeffizienten variiert zwischen, den Außenbauteilen, den innenliegenden Bauteilen und den erdberührten Bauteilen. Das gleiche gilt für den Temperaturanpassungsfaktor f_{ix} , welcher über folgende Formel bestimmt wird.

$$f_{ix,k} = f_1 + f_2 = \frac{\theta_{int,i} - \theta_x}{\theta_{int,i} - \theta_e} + \frac{\theta_{int,k}^* - \theta_{int,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad 4.7$$

Faktor f_2 ist nur dann relevant, wenn die Raumhöhe einen Wert von über 4 m beträgt. Der Wert θ_x entspricht der angrenzenden Raumtemperatur. Die Tabelle 7 der DIN EN 12831-1 geht auf diese Werte genauer ein. Der Wert $\theta_{int,k}^*$ beschreibt die mittlere Temperatur der inneren Oberflächen der Konstruktion. Im Fall, dass die Höhe des Raums unter 4 m beträgt, entspricht der Wert dem der Innentemperatur des Raums,

ansonsten wird sie nach dem Kapitel 6.3.8.2 der Norm berechnet. Die in der Formel beschriebenen Werte des Lufttemperaturgradienten und des Korrekturterms für den Einfluss des Wärmeabgabesystems sind der Tabelle B.3 zu entnehmen. In den folgenden Abschnitten wird auf die einzelnen Berechnungen der Transmissionskoeffizienten auf Grundlage der angrenzenden Raumparameter erläutert.

4.2.1.1 Angrenzend an Außenluft

Für die Außenbauteile gilt folgende Formel zur Bestimmung des Transmissionskoeffizienten:

$$H_{T,ie} = \sum_k \langle A_k * (U_k + \Delta U_{TB}) * f_{U,k} * f_{ie,k} \rangle \quad 4.8$$

Der korrigierte Wärmedurchgangskoeffizient bestimmt sich hierbei aus der Summe des bauteilbezogenen U-Werts und des Wärmebrückenzuschlags des Gebäudes. Der Anpassungsfaktor $f_{U,k}$ steht für die meteorologische Einflüsse, welche mittels des U-Werts noch nicht berücksichtigt wurden. Der nationale Anhang der Norm B.2.2 legt fest, dass so lange über diesen Faktor keine genaueren Daten vorhanden sind, dieser auf eins gesetzt werden darf, wodurch die Einbindung entfällt.

4.2.1.2 Angrenzend zu anderen Innenräumen

Folgende Formel wird für die Bestimmung des Wärmeübertragungskoeffizienten an angrenzende Innenräume verwendet. Die Formel gilt unabhängig, ob es sich bei dem angrenzenden Raum um einen beheizten oder unbeheizten Raum handelt oder dieser zugehörig zu einer anderen Gebäudeeinheit oder einem angrenzenden Gebäude ist. Wie zu erkennen ist, besteht die Formel nur aus den bereits in Abschnitt 4.2.1 beschriebenen Kennwerten. Der korrigierter U-Wert entspricht in diesem Fall dessen des Bauteils, da keine weiteren Faktoren mit beachtet werden können.

$$H_{T,ia} = \sum_k (A_k * U_k * f_{ia,k}) \quad 4.9$$

4.2.1.3 Angrenzend zum Erdreich

Erdberührte Bauteile unterscheiden sich in der Berechnung stark von den restlichen Betrachtungen. Die Faktoren für Temperaturschwankungen $f_{\theta,ann}$ und den Grundwasserspiegel $f_{GW,k}$ gehen neben dem Temperaturanpassungsfaktor in die Berechnung mit ein. Der Korrekturfaktor für die Schwankungen wird im Nationalen Anhang B.2.3 mit den Wert 1,45 festgelegt. Der Faktor für den Einfluss des Grundwassers ist vom Verhältnis der Tiefen zwischen Bodenplatte und Wasserspiegel abhängig. Beträgt dieser Abstand unter einen Meter gilt der Faktor 1,15, ansonsten entfällt diese Betrachtung. Der Faktor wird somit auf 1 festgelegt.

$$H_{T,ie} = f_{\theta,ann} * \sum_k (A_k * U_k * f_{ig,k} * f_{GW,k}) \quad 4.10$$

Der Wärmedurchgang muss bei erdberührten Bauteilen mittels des Äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten bestimmt werden. Im Anhang E der Norm wird ein Vereinfachtes Verfahren für die Berechnung dieses vorgeschlagen. Alternativ kann der Wert mittels ausführlichen Verfahren nach DIN EN ISO 13370 ermittelt werden. Die Formel 4.11 zeigt die Rechnung laut Anhang E.

$$U_k = \frac{a}{b + (c_1 + B')^{n_1} + (c_2 + z)^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_{TB})^{n_3}} + d \quad 4.11$$

In Abbildung 4-1 werden die Werte der einzelnen Indizes aufgeschlüsselt, welche nicht als Eingangsparameter berechnet werden.

Tabelle E.1 — Parameter für die Berechnung von $U_{equiv,k}$

	a	b	c_1	c_2	c_3	n_1	n_2	n_3	d
Boden	0,967 1	-7,455	10,76	9,773	0,026 5	0,553 2	0,602 7	-0,929 6	-0,020 3
Kellerwand	0,933 28	-2,155 2	0 ^a	1,466	0,100 6	0 ^a	0,453 25	-1,006 8	-0,069 2

^a Bei den Wärmeverlusten durch Kellerwände hat B' keinen Einfluss; aus Gründen der mathematischen Richtigkeit muss dennoch B ≠ 0 gelten.

Abbildung 4-1: Ausschnitt aus DIN EN 12831-1 - Tabelle E.1 - Parameter für die Berechnung von $U_{equiv,k}$

4.2.2 Lüftungswärmeverlust

Unter dem Lüftungswärmeverlust zählen alle Wärmeverluste, welche durch Infiltration, natürlicher Lüftung oder mechanischer Lüftung verursacht werden.

Die Berechnung des Lüftungswärmeverlustes variiert je nach betrachteter Ebene. Es wird unterschieden in den Lüftungswärmeverlust des Gebäudes, den der Lüftungszone und den der beheizten Räume. Für alle Ebenen gilt, dass die spezifischen Eigenschaften der Luft $\rho * c_p$ gemäß Anhang B.2.8 insgesamt $0,34 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ betragen muss. Bei hohen Räumen ($> 4 \text{ m}$) muss das Mittel der Innenlufttemperatur gebildet werden. Diese mittlere Innenlufttemperatur wird im Abschnitt 6.3.8.3 der Norm bestimmt über folgende Formel:

$$\theta_{int,i}^* = \theta_{int,i} + G_{\theta,air,i} * \left(\frac{h_i}{2} - h_{occup,i} \right) - \Delta\theta_{rad} \quad 4.12$$

Bei der Berechnung des Lüftungswärmeverlustes für einen Raum müssen drei Parameter berücksichtigt werden. Zu diesen Parametern gehören der Maximalwert von Mindest- oder Außenluftvolumenstrom über die Hüllfläche, der Zuluftvolumenstrom und der Überströmvolumenstrom. Diese Parameter werden in den kommenden Abschnitten näher erläutert. Ebenso wichtig sind die Innenlufttemperatur, Außenlufttemperatur, Zulufttemperatur und Überströmtemperatur.

$$\begin{aligned} \phi_{V,i} = \rho * c_p * [& \max(q_{v,env,i} + q_{v,open,i}; q_{v,min,i} - q_{v,techn,i}) * (\theta_{int,i}^* - \theta_e) \\ & + q_{v,sup,i} * (\theta_{int,i}^* - \theta_{rec,z}) + q_{v,transfer,ij} \\ & * (\theta_{int,i}^* - \theta_{transfer,ij})] \end{aligned} \quad 4.13$$

Die Berechnung der Lüftungswärmeverluste für Zonen unterscheidet sich in einigen Punkten von der Berechnung der Räume. Statt des Außenluftvolumenstroms über die Hüllfläche wird bei Zonen der Außenluftvolumenstrom durch Leckagen und Außenluftdurchlässe berücksichtigt. Außerdem ist bei der Ermittlung des Mindestluftvolumenstroms das Verhältnis zwischen der Zone und der Anzahl der Räume zu berücksichtigen, welches über den Faktor f_{i-z} eingebunden wird. Falls die Zone nur aus einem Raum besteht, entspricht der Faktor 1, ansonsten beträgt er 0,5. Die Lüftungswärmeverluste einer Zone ergeben sich aus der Summe aller zugehörigen Räume.

$$\phi_{V,z} = \rho * c_p * \sum_i [\max(q_{v,env,i} + q_{v,open,i}; f_{i-z} * q_{v,min,i} - q_{v,techn,i}) * (\theta_{int,i}^* - \theta_e) + q_{v,sup,i} * (\theta_{int,i}^* - \theta_{rec,z}) + q_{v,transfer,ij} * (\theta_{int,i}^* - \theta_{transfer,ij})] \quad 4.14$$

Der Lüftungswärmeverlust des Gebäudes berechnet sich aus der Summe aller Zonenluftvolumenströme.

$$\phi_{V,build} = \sum_z (\phi_{V,z}) \quad 4.15$$

4.2.2.1 Maximalwert von Mindest- oder Außenluftvolumenstrom

Für die Berechnung der Lüftungswärmeverluste besteht der erste Teil der Berechnung aus der Bestimmung des Maximalwerts von der Summe des Außenluftvolumenstroms durch Hüllflächen und Öffnungen oder aus der Differenz zwischen dem Mindestluftvolumenstrom und dem technischen Luftvolumenstrom. Die Berechnung des Außenluftvolumenstroms über die Hüllfläche ist eine komplexe Aufgabe, die viele weitere Parameter erfordert. Im Rahmen dieser Berechnung werden auch Zwischenergebnisse für die verschiedenen Parameter berechnet. In Tabelle 4-1 werden alle Berechnungsgrößen aufgelistet, welche zur Bestimmung des Außenluftvolumenstroms über die Hüllflächen des Raums benötigt werden.

Der Luftvolumenstrom durch Öffnungen $q_{v,open,i}$ wird mittels Anhang G bestimmt. Dieser Luftvolumenstrom wird ausschließlich dann berücksichtigt, wenn im Raum größere Öffnungen vorhanden sind. Zu diesen Öffnungen zählen beispielsweise Tore, wie sie typischerweise in Industriebauten vorkommen, sofern sie für längere Zeiträume geöffnet bleiben sollen. Da solche Situationen jedoch selten auftreten, kann dieser Wert in den meisten Fällen als vernachlässigbar angesehen werden.

Des Weiteren wird der Mindestluftvolumenstrom benötigt, welcher nach der DIN EN 12831-1 Kapitel 6.3.3.5 berechnet wird und sich aus dem Produkt des Mindestluftwechsels und des Raumvolumens ergibt.

Der technische Luftvolumenstrom, welcher aus Zuluftvolumenstrom, Überströmvolumenstrom, Abluftvolumenstrom und Verbrennungsvolumenstrom

berechnet werden muss, ist ebenfalls von Bedeutung. All diese Parameter werden als Eingangsdaten vorbestimmt.

Kürzel	Beschreibung
$q_{v,exh,z}$	Abluftvolumenstrom der Zone
$q_{v,sup,z}$	Zuluftvolumenstrom der Zone
$q_{v,comb,z}$	Verbrennungsluftvolumenstrom der Zone
$q_{v,ATD,design,z}$	Auslegungsaußenluftdurchlässe der Zone
$q_{env,50}$	Luftdichtheit
$f_{e,z}$	Anpassungsfaktor aufgrund nicht balancierter Lüftung
$q_{v,Inf-add,z}$	Außenluftvolumenstrom durch zusätzliche Infiltration in die Lüftungszone
$q_{v,env,z}$	Außenluftvolumenstrom in die Lüftungszone durch die Gebäudehülle
a_{ATD}	ALD-Autorität
$q_{v,leak,z}$	Außenluftvolumenstrom durch Undichtigkeiten
$q_{v,ATD,z}$	Außenluftvolumenstrom durch Außenluftdurchlässe
$q_{v,ATD,design,i}$	Auslegungsluftdurchlässe der Räume
$q_{v,leak+ATG,i}$	Außenluftvolumenstrom durch Undichtheiten und Außenluftdurchlässe

Tabelle 4-1: Aufzählung aller Zwischenrechnungen zur Berechnung des Außenluftvolumenstroms über die Hüllfläche des Raums $q_{v,env,i}$

4.2.2.2 Zuluftvolumenstrom

Unter dem Zuluftvolumenstrom $q_{v,sup}$ bezeichnet man den Luftvolumenstrom, welcher mittels Zuluft durch eine technische Lüftungsanlage realisiert wird. Der Zuluftvolumenstrom und die zugehörige Zulufttemperatur $\theta_{rec,z}$ ist in der Berechnung des Lüftungswärmeverlustes nur dann von Bedeutung, wenn ein mechanisches Lüftungssystem vorhanden ist. Anderenfalls entfällt dieser Teil.

Für die Berechnung der Zulufttemperatur ist die Wärmerückgewinnung zu beachten.

4.2.2.3 Überströmvolumenstrom

Der Überström-Luftvolumenstrom $q_{v,transfer,ij}$ bezeichnet den Austausch der Luft eines Raumes mit seinen benachbarten Räumen. Dabei wird immer die Überströmung aus

Nachbarräumen in Richtung des betrachteten Raums betrachtet. Für die Berechnung wird die Bilanz aller ab- und zugehenden Luftvolumenströme gebildet. [9]

Bei der Betrachtung der Überströmung ist auch die Überströmtemperatur $\theta_{transfer,ij}$ als wichtiger Faktor zu beachten. Die Überströmtemperatur ist die mittlere Lufttemperatur des benachbarten Raumes. Kommt es zu einem Luftaustausch mit mehreren benachbarten Räumen wird die Lufttemperatur angenommen, welche anteilig am Volumenstrom überwiegt. Ist dies nicht genau zu bestimmen, muss der Mittelwert der Temperatur aller Räume gebildet werden.

4.2.3 Die Aufheizleistung

Die Aufheizleistung wird immer nur dann angesetzt, wenn diese gleichzeitig mit den Außenbedingungen auftreten. Eine Überdimensionierung der Heizungsanlage soll damit vermieden werden. In Räumen wird die Aufheizleistung konkret erforderlich, wenn innerhalb einer kurzen Zeitspanne die Auslegungssinnentemperatur erreicht werden soll. Im Regelfall ist dies jedoch nicht der Fall, wodurch der Ansatz entfällt.

Die Norm gibt ein vereinfachtes Verfahren an, mit welcher die Aufheizleistung berechnet werden kann. Dieser Ansatz wird in Kapitel 6.3.4 ff. der Norm beschrieben.

Da *SIM-VICUS* mittels Simulation einen genauen Jahrestemperaturverlauf erstellen kann, in welchem auch Aufheizleistungen beschrieben werden können, wird dieser für die Berechnung der Aufheizleistung herangezogen. Mittels Iterationen können alle essenziellen Werte, welche für die Ermittlung der Aufheizleistung erforderlich sind, beispielsweise die Aufheizperiode t_{hu} , ermittelt werden.

4.3 Eingangsdaten der Heizlastberechnung

In folgender Abbildung 4-2 werden alle Eingangsparameter angegeben, die bereits aus dem Programm erfolgen sollten. Alle weiteren Parameter beruhen auf diesen Eingangsdaten bzw. müssen mittels diesen berechnet werden.

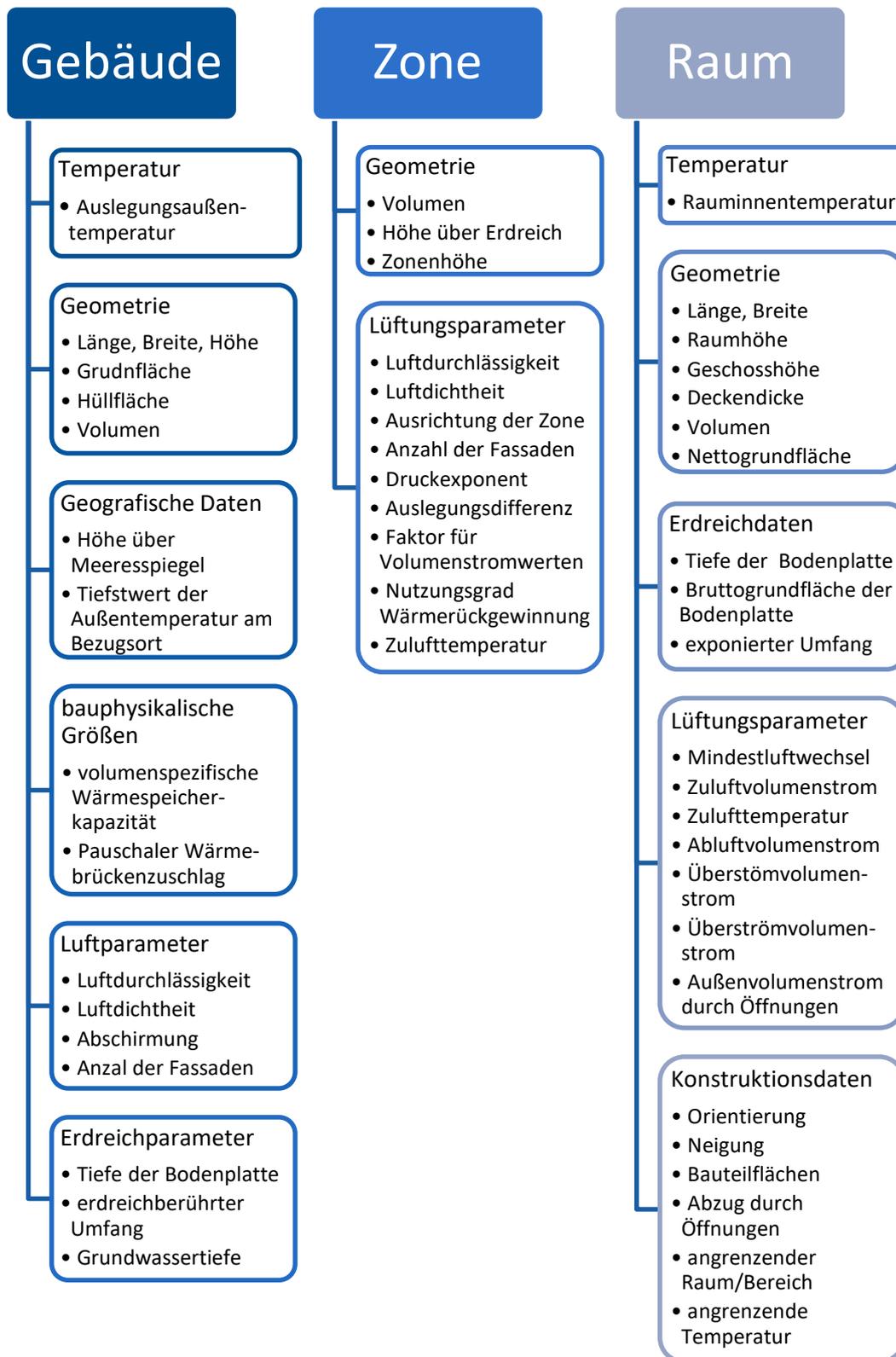


Abbildung 4-2: Eingangsdaten für den Heizlastbericht

5. METHODIK

5.1 Händische Berichterstellung

Bis dato erfolgt die Auswertung der in *SIM-VICUS* erstellten Simulation noch händisch. Das Vorgehen läuft wie folgt ab:

1. Das Projekt wird in *SIM-VICUS* eingelesen oder als 3D-Simulation erstellt.
2. Die Eingangsdaten werden in die dafür vorgesehenen Programmfenster eingetragen.
3. In der *SIM-VICUS*-XML-Datei werden die Eingangsdaten abgespeichert.
4. Sind die Einstellung der Eingangsdaten beendet kann die thermische Simulation in *SIM-VICUS* gestartet werden. Dazu wird automatisiert *eine NANDRAD*-XML-Datei exportiert.
5. Die Berechnung findet ebenfalls automatisch statt.
6. Die Simulationsergebnisse werden in *TSV*-Dateien gespeichert. In den *TSV*-Dateien werden Heizlasten, Lufttemperaturen und weitere Ergebnisdatenreihen abgespeichert.
7. Mit dem Programm *PostProc2* können die *TSV*-Dateien gelesen werden und diese in einem Jahresverlauf grafisch oder tabellarisch dargestellt werden.
8. Anhand der Grafiken und Daten kann anschließend eine händische Auswertung beispielsweise in Excel erfolgen.

Eine händische Auswertung der Daten ist im Regelfall aufgrund der schieren Datengrößen mit einem enormen Zeitaufwand verbunden. Besonders bei sehr komplexen Gebäuden mit vielen Räumen ist eine Auswertung auf diese Art nur erschwert möglich. Um zukünftig die Auswertung der Daten zu vereinfachen, soll für *SIM-VICUS* eine automatisierte Berichterstellung im Zuge dieser Arbeit ermöglicht werden. Dies ermöglicht eine weitere Praxiseinbindung des Programms in den Planungsalltag.

5.2 Automatisierte Berichterstellung

Für den automatisierten Bericht muss zunächst ein Prozessablauf erarbeitet werden. Der Aufbau wird in Abbildung 5-1 dargestellt und dem händischen Verfahren gegenübergestellt. In den folgenden Abschnitten wird der Prozess beschrieben und auf die Programmierung im Allgemeinen eingegangen.

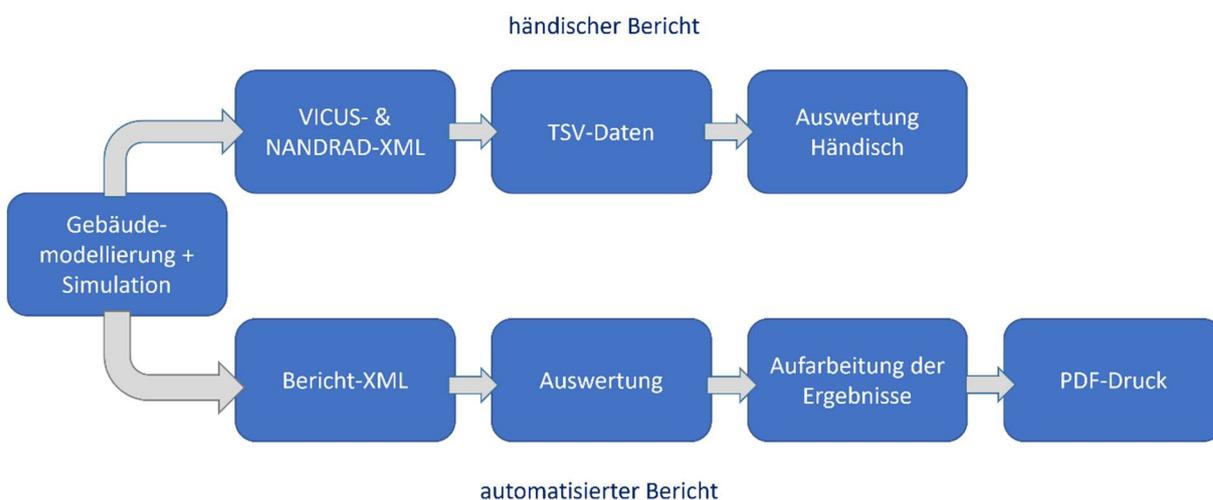


Abbildung 5-1: Darstellung der Berichterstellung für händische und automatisierte Berichterstellung

5.2.1 Umsetzung der Programmierung in Qt

Für die Berichterstellung wurde eine Bibliothek mit den Namen *Report-Lib* erstellt. Die Bibliothek liest und speichert die Bericht-XML (siehe 5.2.2). Derzeit lässt sich die XML noch nicht automatisiert von *SIM-VICUS* befüllen, da die dafür notwendigen Dialoge fehlen. Die Eingabe der Daten in die XML erfolgte im Rahmen der Arbeit deshalb händisch. Die Einbindung der notwendigen Dialoge ist nicht Bestandteil der Arbeit, soll aber zukünftig umgesetzt werden.

Zum Verarbeiten der Ergebnisdaten wurden die Daten aus der *NANDRAD*-Simulation mittels der *IBK-Lib* importiert, anschließend wurden in den Klassen die Variablen auf ihre Validität geprüft (siehe 5.2.3) und entsprechend der Grundstruktur des Berichtes sortiert. Zusätzlich wurden mittels der XML-Daten weitere für die Berechnung relevante Variablen, eingeführt und berechnet. Anschließend wurde das eigens erstellte Datenformat gefüllt.

Die in der *SIM-VICUS-XML* und der *NANDRAD-XML* erstellten Daten können, auch wenn es sich um die gleiche Information handelt, von der Beschreibung als auch ID variieren. Dies ist eine Problematik, welches in Zukunft noch bearbeitet werden muss. Die Lösung des Problems ist jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Mit Hilfe der vordefinierten Klassen der QtExt-Bibliothek wurde eine eigene Reportstruktur erstellt. Diese wird automatisiert mit den Daten der *Report-Lib* befüllt. Die implementierten Klassen der *Report-Lib* erzeugen anschließend automatisch den Bericht.

Verschiedene Daten sowohl von der vorhandenen *SIM-VICUS-XML* als auch aus den Ergebnissen der Simulation wurden aggregiert. Diese Daten wurden anschließend übersichtlich in einem oder mehreren Berichtblättern visualisiert mittels Tabellen und Grafiken.

Room description							
Building.Ground floor.Raum_wohnen_massiv(ID=3)							
Room data							
Floor area:							25.00 m ²
Mean room height:							3.00 m
Volume:							75.00 m ³
Construction							
Outside constructions							
ID	Name	A [m ²]	φ [Deg]	β [Deg]	R _i [m ² K/W]	R _o [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
1	Wall 3	10.0	180	90	0.13	0.04	0.31
2	Floor	25.0	0	0	0.17	0.00	0.48
3	Ceiling	25.0	0	0	0.10	0.06	0.22
φ - Orientation of construction (0 - North, 90 - East) β - inclination of construction (90 - wall, 0 - flat roof) R _i - contact resistance inside R _o - contact resistance outside							

Abbildung 5-2: Beispieldarstellung für den Aufbau der Berichte

Die folgenden Abschnitte gehen detaillierter auf die in diesen Abschnitt beschriebenen Aspekte ein. Sortiert wurden diese entsprechend der Abbildung 5-1.

5.2.2 Bericht-XML

Für die Speicherung der Eingaben im Programm, wird eine zusätzliche XML verwendet. Die Eingaben betreffen u.a. welche Räume für den Nachweis herangezogen werden oder welche übertragenen Kennwerte aus den bereits getroffenen Parametrierungen der *SIM-VICUS*-Datei hervorgehen.

Obwohl die Daten auch direkt aus den anderen beiden XML-Dateien eingelesen werden könnten, bietet das externe XML-Verfahren den Vorteil, dass die Daten unabhängig von *SIM-VICUS* gehandhabt werden können. Dadurch können Eingangparameter auch von anderen thermischen Simulationen stammen, was die Verwendung der Berichte als Plug-in ermöglicht. Diese XML-Datei übernimmt die Aufgaben der *SIM-VICUS*- und *NANDRAD*-XML.

5.2.3 Auswertung

Die Auswertung der Eingangsdaten erfolgt mittels der sogenannten Input-Klassen, welche die Schnittstelle zwischen Simulation und Report bilden. Die Input-Klassen enthalten alle wichtigen Parameter aus den Nachweisen und werden durch das Auslesen der Daten aus der XML-Datei und die Übertragung der Eingangparameter in Qt generiert. Zur besseren Übersichtlichkeit sind die Klassen in Eltern- und Kindklassen unterteilt, die voneinander erben. Die Hierarchie für den Sommerlichen Wärmeschutz ist in der Abbildung 5-3 dargestellt. In den Input-Klassen wird die Datenvalidität ebenfalls vor deren Anwendung überprüft. Ebenfalls befinden sich die analytischen Berechnungen für den Heizlastbericht in den Input-Klassen.

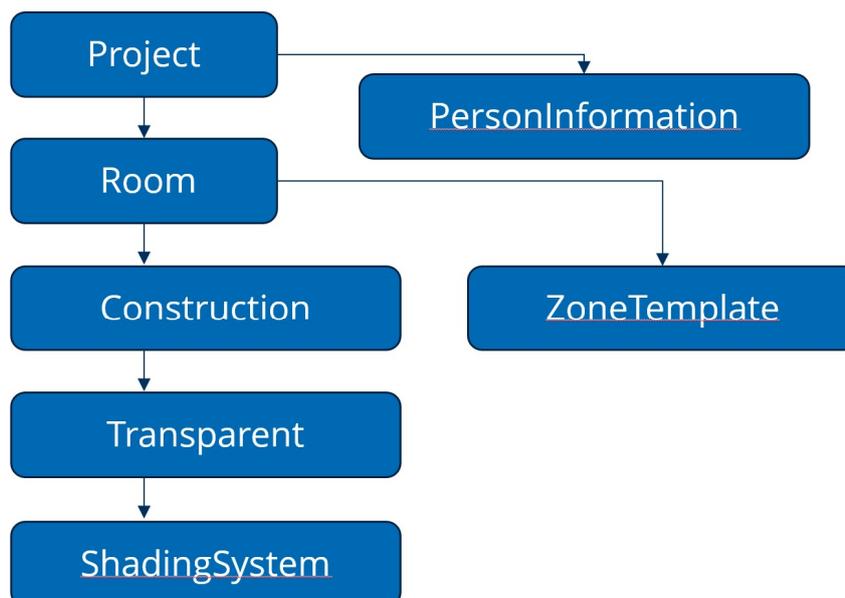


Abbildung 5-3: Aufbau der Struktur für den Sommerlichen Wärmeschutz

5.2.4 Aufarbeitung des Berichts und Druck

In Qt wurde neben den Input-Klassen die so genannten Report-Frame-Klassen angelegt. Diese sind zuständig für die Aufarbeitung des Berichts. Alle Daten, welche in den Input-Klassen gesammelt wurden, werden in diesen Klassen in Berichtform dargestellt und anschließend in PDF-Form gedruckt. Das Ziel hierbei ist die Darstellungsform so zu wählen, dass die Ergebnisse gut strukturiert dargestellt werden. Dies geschieht, indem die Daten tabellarisch und teils grafisch aufgearbeitet werden. Die Darstellung der Berichte wird anhand von Beispielen im Anhang der Arbeit aufgezeigt.

6. ÜBERPRÜFUNG DER BERICHTE

6.1 Allgemeine Erläuterung

Nachdem in der Programmierung alle Klassen und Daten erzeugt wurden, muss der Code anschließend getestet werden. Um Ergebnisse aus den Berichten überprüfen zu können, müssen Beispiele für diese generiert werden.

Im Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutzes werden eigene Testfälle erstellt. Für den Heizlastbericht ist bereits in der DIN/TS 12831-1 ein Beispielhaus mit zwei unterschiedlichen Ausgangssituationen festgelegt, welche an dieser Stelle herangezogen werden konnte. Die folgenden Absätze erklären die Vorgehensweise.

Wie bereits in Kapitel 5 erläutert, ist es wichtig zu beachten, dass die Übertragung der Daten direkt aus der Simulation in die externe XML-Datei nicht Bestandteil der Arbeit ist und in einer weiteren Arbeit automatisiert umgesetzt werden muss. Die Daten wurden daher händisch in die XML eingetragen.

6.2 Beispiel Sommerlicher Wärmeschutz

Für den Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutzes wurde in *SIM-VICUS* ein Testprojekt entwickelt. Für die Untersuchung wurde als Testobjekt eine Raumstudie gewählt. Um die Auswirkungen von verschiedenen Faktoren auf den Wärme- und Feuchteschutz zu untersuchen, wurden sechs geometrisch gleiche Räume in unterschiedlichen Ausführungen erstellt. Dabei variierten die Räume in Konstruktion, Gebäudetyp und Lüftung. Alle Räume werden der Klimaregion B zugeordnet. Die Räume werden in drei Varianten unterteilt, eine für Wohngebäude, eine für Nichtwohngebäude und eine für freie Eingabe. Zusätzlich wurde für jede Variante eine Massiv- und Leichtbaukonstruktion erstellt. Somit entstanden 6 Varianten des Raumes. Die Aufteilung der Varianten sieht wie folgt aus:

- Variante 1: Wohnbau, Massivbau
- Variante 2: Wohnbau, Leichtbau
- Variante 3: Nichtwohngebäude, Massivbau

- Variante 4; Nichtwohngebäude Leichtbau
- Variante 5: Freie Eingaben Massivbau
- Variante 6: Freie Eingabe Leichtbau

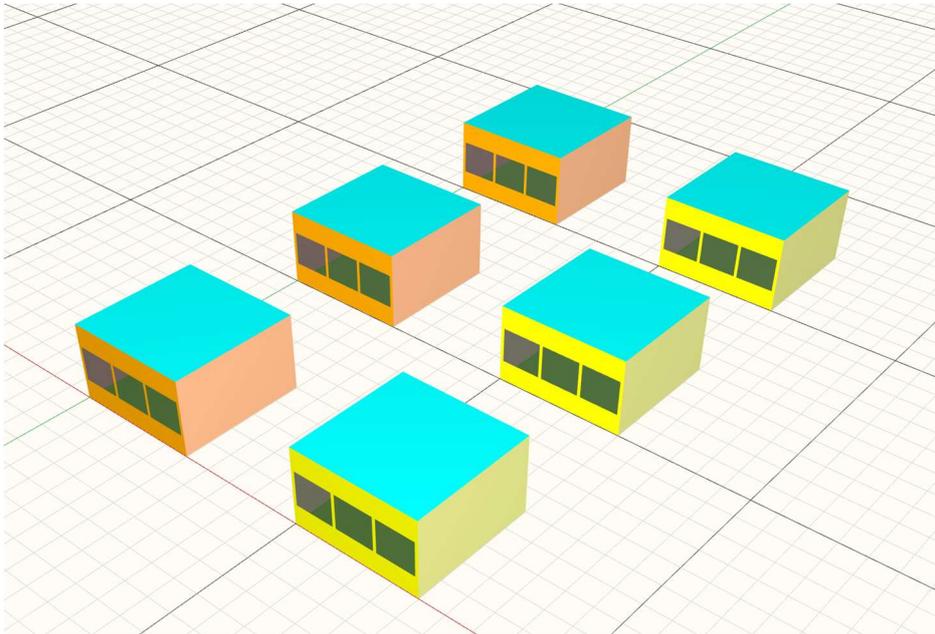


Abbildung 6-1: Komponenteneinstellung der Raumstudie für den Sommerlichen Wärmeschutz

6.2.1 Konstruktionen

Die Räume haben eine Grundfläche 25 m^2 und eine Raumhöhe von 3 m . Sie bestehen aus einer nach Süden ausgerichteten Außenwand und drei Innenwänden. Beim Fußboden handelt es sich hierbei um eine erdberührte Bodenplatte. Die Decke wird als Flachdachkonstruktion angenommen. Sowohl Fußboden als auch Decke unterscheiden sich in Leicht- und Massivbau nicht. Es ändert sich lediglich der Aufbau der Außen- und Innenwände. Jeder Raum hat drei Fenster mit einem g-Wert von $0,6$. Der Rahmenanteil wird zur Vereinfachung auf Null gesetzt. Die Verglasungen wurden mit einer innenliegenden Verschattung ausgestattet. Der Abminderungsfaktor von dieser Verschattung beträgt $0,8$. In keinen der Räume wird eine passive Kühlung angewendet. Die folgenden Tabellen stellen die einzelnen Konstruktionen und deren zugehörigen Eingangsparameter dar, welche für die Simulation verwendet werden.

In der Massivbauweise besteht die Außenwand aus einer Betonwand mit einem Wärmedämmverbundsystem. Die Innenwände werden durch Betonwände in der Massivbauvariante dargestellt.

Bezeichnung	β [°]	$h_{c,i}$ [W/m ² K]	$h_{c,o}$ [W/m ² K]	U-Wert [W/m ² K]
Außenwand	90	8	25	0,31
Innenwand	90	2,5	2,5	1,03
Decke	0	10	17	0,22
Fußboden	0	5,9	1000	0,48

Tabelle 6-1: Konstruktionsparameter in Massivbauweise

In der Leichtbauweise wurde die Außenwand als Fassadenelement ausgebildet. Das Fassadenelement besteht von außen nach innen betrachtet aus Glas, einer Dämmung und einer Gipskartonplatte. Die Innenwände sind Trockenbauwände bestehend aus Gipskartonplatten und Dämmung aus Mineralwolle.

Bezeichnung	β [°]	$h_{c,i}$ [W/m ² K]	$h_{c,o}$ [W/m ² K]	U-Wert [W/m ² K]
Außenwand	90	8	25	0,23
Innenwand	90	2,5	2,5	0,20
Decke	0	10	17	0,22
Fußboden	0	5,9	1000	0,48

Tabelle 6-2: Konstruktionsparameter in Leichtbauweise

6.2.2 Zoneneinstellung

Für die einzelnen Gebäudetypen mussten Zonenbedingungen erfasst werden. Wie bereits genannt wurden die Räume in drei unterschiedliche Gebäudetypen unterteilt. Die Einheiten unterscheiden sich in deren Einstellungen von Infiltration, natürlichem Luftwechsel, Heiz- oder Kühllasten, Thermostatsteuerung und innere Lasten. Für den Sommerlichen Wärmeschutz spielen hierbei nur die Infiltration und die natürlichen Luftwechsel eine Rolle. Alle anderen Daten werden von der DIN 4108-2 direkt vorgegeben.

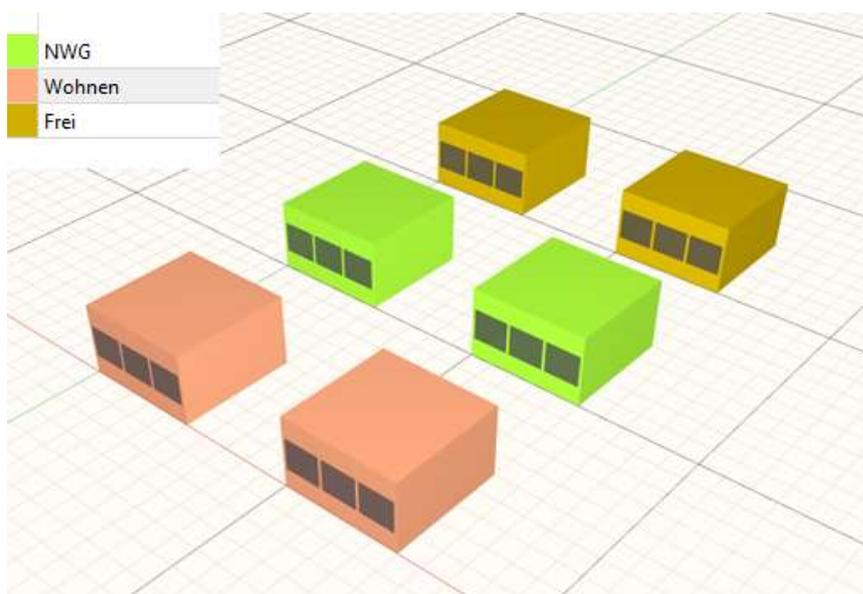


Abbildung 6-2: Zonen der Raumstudie für den Sommerlichen Wärmeschutz

Für die Zone des Wohngebäudes wird ein Grundluftwechsel von 0,5 1/h angesetzt. Gleichzeitig soll eine erhöhte Taglüftung angesetzt werden. Die Infiltration eines Nichtwohngebäudes muss wie in Abschnitt 3.5.8 bereits beschrieben mittels des Verhältnisses von Raumgrundfläche zu Raumvolumen ermittelt werden. Es ergibt sich folgende Rechnung:

$$n = 4 \frac{A_G}{V} = \frac{4 * 25}{75} = 1,33h^{-1} \quad 6-1$$

Die Infiltration außerhalb der Nutzungszeit wird mit 0,24 Luftwechseln pro Stunde festgelegt. Für das Nichtwohngebäude wird eine erhöhte Taglüftung von drei Luftwechseln pro Stunde zusätzlich angesetzt. Die Zone der Freien Eingabe entspricht in den Luftwechsel Daten denen der Zone Nichtwohngebäude. Der Unterschied besteht lediglich in den zusätzlich angesetzten erhöhten Nachtlüftungen.

Parameter	Wohngebäude	Nichtwohngebäude	Freie Eingabe
Infiltration während der Nutzung [1/h]	0,5	1,33	1,33
Infiltration außerhalb der Nutzung [1/h]	-	0,24	0,24
Erhöhte Taglüftung [1/h]	-	3	3
Erhöhte Nachtlüftung [1/h]	-	-	2

Tabelle 6-3: Zonierungsdaten der Räume des Sommerlichen Wärmeschutznachweises

6.3 Beispiel Heizlastbericht

In den nationalen Ergänzungen der Heizlastnorm wurde ein Beispielhaus erstellt, für welches ein Heizlastbericht erstellt werden soll. Bei dem Haus handelt es sich um ein Einfamilienhaus mit zwei Geschossen und einen Wintergarten. Insgesamt besitzt das Haus 16 Räume.

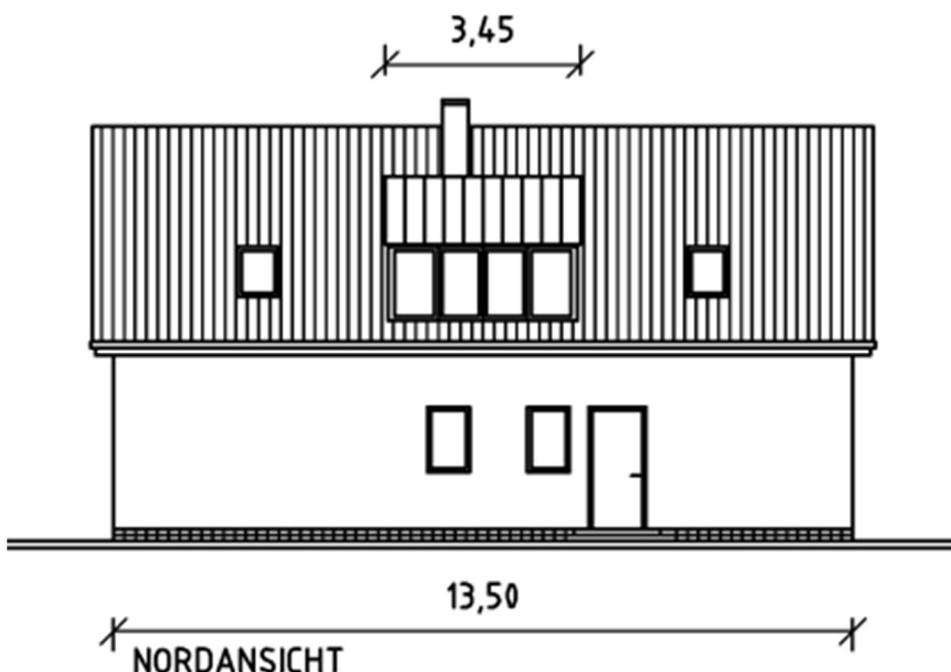


Abbildung 6-3: Nordansicht des Beispielhauses für die Heizlastberechnung aus den nationalen Ergänzungen [9]

Anhand des Einfamilienhauses werden zwei Beispielberechnungen für den Heizlastbericht durchgeführt. Die erste Beispielrechnung sieht keine mechanische Lüftung vor, im zweiten Beispiel hingegen wird das Haus mit einer mechanischen Lüftung ausgestattet. In beiden Beispielen wird jedoch auf die Berücksichtigung der Verluste durch Infiltration und Luftdurchlässe verzichtet. Die Daten zu den Beispielen wurden jeweils in einer eigenen XML-Datei eingeschrieben, um die Daten und die Algorithmen zu überprüfen und mit den Ergebnissen der nationalen Ergänzung zu vergleichen.

Zusätzlich wurde das Gebäude in *SIM-VICUS* nachgebildet. Das Haus wurde aufgrund der unterschiedlichen Heizsolltemperaturen der einzelnen Räume in mehrere Zonen unterteilt, welche sich wie folgt darstellen:

- Beheizte Räume: 20 °C
- Unbeheizte Räume: 15 °C
- Beheizte Bäder: 24 °C
- Wintergarten: -

Die Zone Wintergarten wurde aufgrund des Einflusses auf die Infiltration angelegt, spielt allerdings für die Heizsolltemperaturen nur eine indirekte Rolle.

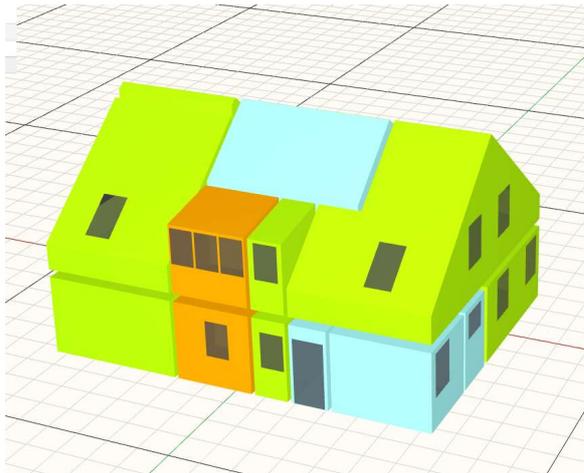


Abbildung 6-4: Simulation Beispielhaus Ansicht Nordwest

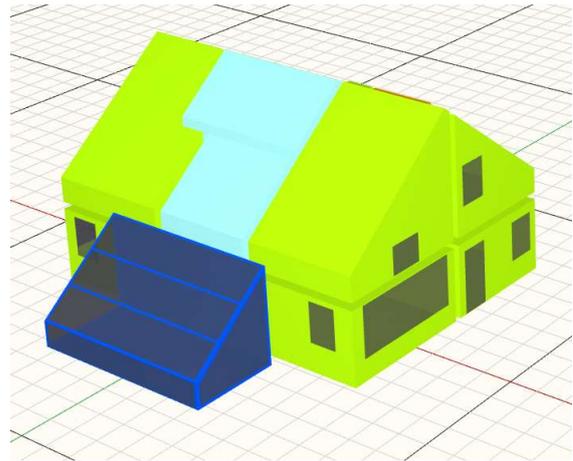


Abbildung 6-5: Simulation Beispielhaus Ansicht Südost



Abbildung 6-6: Legende der Temperaturzonen

6.3.1 Grundsätzliche Eingangsdaten für das Gebäude

Das Einfamilienhaus steht in Wolfsburg. Der Deutsche Wetterdienst gibt für diesen Standort eine Jahresmitteltemperatur von 9,6 °C an. Die Jahrestiefsttemperatur für den Standort beträgt, -11,7 °C. In der Norm wird der Einfluss der Zeitkonstante mit eingerechnet wodurch sich eine Auslegungstemperatur von -10,9 °C ergibt. In der Berechnung wird der Einfluss der Zeitkonstante vernachlässigt, wodurch auch die Auslegungstemperatur entfällt. Begründet wird dieses mit der minimalen Beeinflussung durch die Zeitkonstante auf die tatsächliche Außentemperatur. Um die

Berechnung dennoch Vergleichbar zu machen, wird die Auslegungstemperatur aus dem Beispiel der Norm übernommen (siehe Tabelle 6-4).

Gebäudedaten		
Geometrie		
mittlere Gebäudelänge	13,5	m
mittlere Gebäudebreite	10	m
mittlere Gebäudehöhe	7,52	m
Grundfläche	135	m ²
Hüllfläche	383	m ²
Volumen	761	m ³
geografische Daten		
mittlere Gebäudehöhe über dem Meeresspiegel	80	m
Höhe am Standort	96	m
Jahresmitteltemperatur	9,6	°C
Minimalwert der Außentemperatur des Standorts	-10,9	°C
bauphysikalische Größen		
Volumenspezifische Wärmespeicherkapazität	41,8	Wh/m ³ K
Pauschaler Wärmebrückenzuschlag	0,05	W/m ² K
Luft Parameter		
Luftdurchlässigkeit	Klasse I	-
Luftdichtheit	2	m ³ /(m ² h)
Abschirmung	gut	-
Faktor Anzahl der Fassaden	8	-
Erdreichdaten		
Tiefe der Bodenplatte	0	m
erdreichberührter Umfang	47	m
Grundwassertiefe	>1	m
Faktor Schwankungen	1,45	-

Tabelle 6-4: Gebäudedaten für die Heizlastberechnung

6.3.2 Eingangsdaten für eine detaillierte Raumheizlastberechnung

Für das Gebäude werden in der DIN/TS 12831-1 für 4 der 16 Räume die Raumheizlast mit dargestellt. Bei den 4 Räumen handelt es sich um das Wohnzimmer, der Flur, das Bad und das WC im Erdgeschoss.

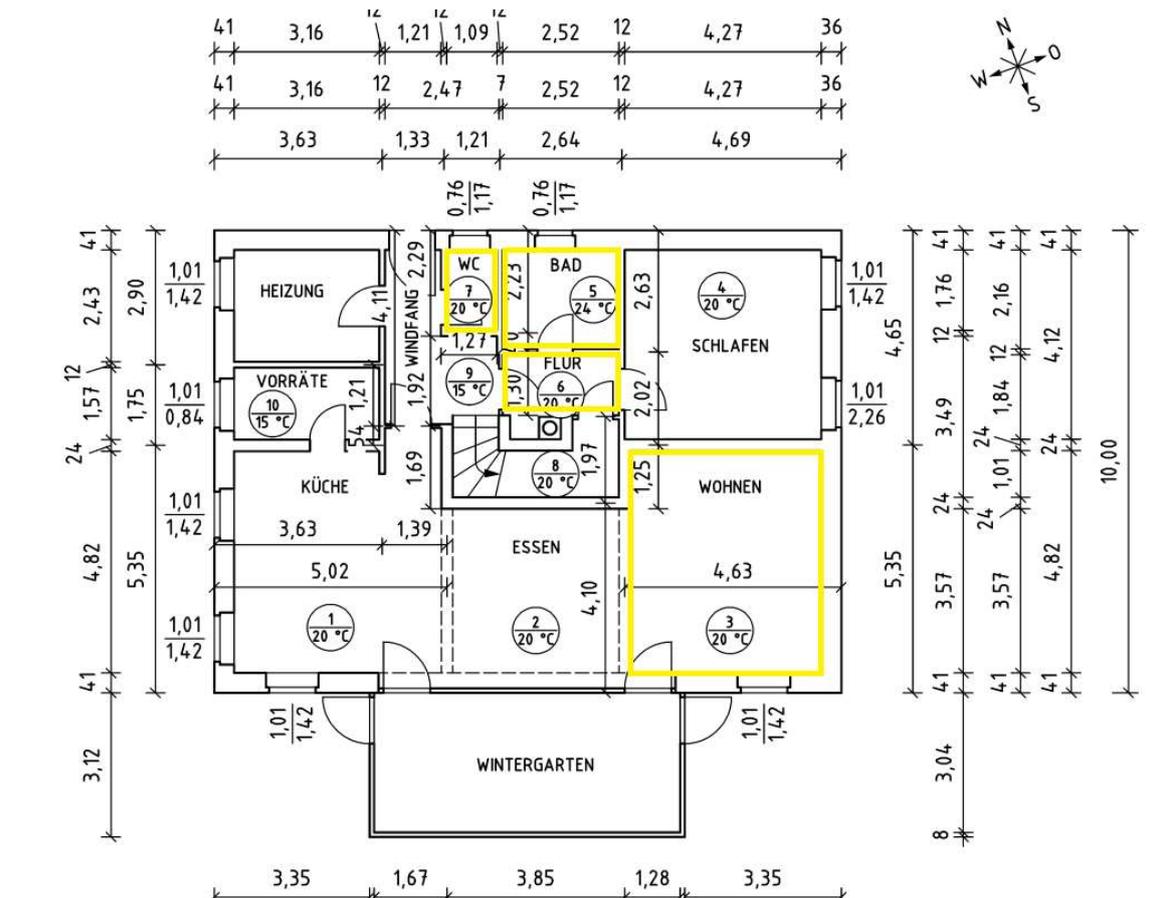


Abbildung 6-7: Grundriss des Beispielhauses für die Heizlastberechnung [9]

Bei den für diese Räume relevanten Eingangsparametern handelt es sich um die Innentemperatur, den Mindestluftwechsel und die geometrischen Daten des Raums, wie beispielsweise die Hüllfläche und das Raumvolumen. Für die bereits genannten Räume werden in Tabelle 6-5 die Raumeingangsdaten aufgezeigt.

Raum	Innen- temperatur	Mindestluft- wechsel	Hüllfläche	Volumen
	°C	1/h	m ²	m ³
Wohnzimmer	20	0.5	32.1	53.1
Bad EG	24	0.5	7.6	14.2
Flur	20	0	7.5	7.7
WC EG	20	0.5	3.4	5

Tabelle 6-5: Raumeingangsdaten der Beispielräume

6.3.3 Eingangsdaten für die Konstruktionen

Die folgende Tabelle 6-6 zeigt alle U-Werte der Konstruktionen, welche am Gebäude verbaut wurden. Die genauen Aufbauten der Konstruktionen sind der DIN V 4108-6 entnommen und wurden der Norm entsprechend in *SIM-VICUS* eingetragen [10]. Innentüren und Fenster wurden jedoch in der Simulation vernachlässigt, da diese in *SIM-VICUS* nicht dargestellt werden können.

Bauteil	U-Wert in W/m ² K
Außenfenster	1,40
Außentür Glas	1,40
Außentür Holz	2,09
Außenwand 41 cm	0,34
Außenwand 36 cm (Ostseite)	0,33
Außenwand (TWD)	0,56
Innenwand 12 cm	1,88
Innenwand 24 cm	1,28
Innentür	2,00
Innenfenster	1,60
Decke	0,54
Bodenplatte auf Erdreich	0,58
Gaubenwand	0,26
Dach	0,18

Tabelle 6-6: U-Werte der Konstruktionen des Beispielhauses der nationalen Ergänzungen

6.3.4 Luftvolumenströme

Bei der Beispielrechnung 1 der Heizlast ist keine mechanische Lüftung vorgesehen, daher gibt es nur den Mindestvolumenstrom zu berücksichtigen. Für den Flur muss kein Mindestvolumenstrom angesetzt werden, da dieser Wert für unbeheizte Räume entfällt. Im WC wird eine Überströmung aus den Nachbarräumen angesetzt. Es ergeben sich folgende Werte:

	$q_{v,min}$	$q_{v,sup}$	$q_{v,exh}$	$q_{v,trans}$	$\theta_{rec,z}$	θ_{trans}
Raum	m³/h				°C	
Wohnzimmer	26,6	-	-	-	-	-
Bad EG	7,1	-	-	-	-	-
Flur	0	-	-	-	-	-
WC EG	2,5	-	-	20	-	15

Tabelle 6-7: Luftvolumenströme für Beispielrechnung 1

In der Beispielrechnung 2 hingegen ist eine mechanische Lüftung vorhanden. Da es sich auch in diesem Beispiel beim Flur um einen unbeheizten Raum handelt, müssen keine Lüftungswärmeverluste berechnet werden. Die für die restlichen Räume verwendeten Einstellungen der mechanischen Lüftung werden in folgender Tabelle 6-8 dargestellt. Da das Wohnzimmer mit Zuluft ausgestattet wird, muss für dieses auch die Zulufttemperatur angesetzt werden. Aufgrund der angesetzten Wärmerückgewinnung mit einem Wirkungsgrad von 85 % ergibt sich eine Zulufttemperatur von 16,3 °C. Die genaue Berechnung ist den Seiten 147 f. der nationalen Ergänzungen der DIN 12831-1 entnommen [9].

	$q_{v,min}$	$q_{v,sup}$	$q_{v,exh}$	$q_{v,trans}$	$\theta_{rec,z}$	θ_{trans}
Raum	m³/h				°C	
Wohnzimmer	26.6	46.6	-	-	16.3	-
Bad EG	7.1	-	40	40	-	20
Flur	0	-	-	14.4	-	20
WC EG	2.5	-	22.2	20	-	15

Tabelle 6-8: Luftvolumenströme für Beispielrechnung 2

Für das Bad im Erdgeschoss wird eine Aufheizleistung angesetzt. Die dazugehörigen Daten für den Aufheizzuschlag zeigt die Tabelle 6-9.

Bezeichnung	Wert	Einheit
Absenkperiode t_{sb}	6	h
Aufheizdauer t_{hu}	2	h
Luftwechselrate während der Absenkung n_{sb}	0,1	1/h
Spezifische Aufheizleistung φ_{hu}	9,8	W/m ²

Tabelle 6-9: Einstellungen für den Aufheizzuschlag

Aus der spezifischen Aufheizleistung kann die tatsächliche Aufheizleistung bestimmt werden, indem dieser Wert mit der Nettogrundfläche des Raums multipliziert wird. Für das Bad ergibt sich somit ein Wärmeverlust durch Aufheizzuschlag von 53 W.

In Zukunft soll in *SIM-VICUS* die Aufheizlast mittels Simulation bestimmt werden. Für diesen Vorgang wird die Simulation mit deren Eingaben im Abschnitt 7.2.3 genauer erläutert. Als Beispielraum wurde hierfür das Wohnzimmer und nicht das Bad gewählt.

Für die Berechnung des Aufheizzuschlags muss entweder die Aufheizdauer oder die benötigte Aufheizleistung betrachtet werden. Dabei muss nur einer der beiden Variablen als maßgebend herangezogen werden. Der andere Parameter kann davon abhängig berechnet werden. Dies muss iterativ erfolgen, ist jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit.

7. ERGEBNISSE

7.1 Ergebnisse des Sommerlichen Wärmeschutz Nachweis

7.1.1 Validierung der Ergebnisse

Im Rahmen der Berechnung des Sommerlichen Wärmeschutzes muss der Arbeitsprozess von *SIM-VICUS* geprüft werden. Dazu wird einerseits händisch die Auswertung der Simulationsergebnisse durchgeführt, andererseits sollte der Programmablauf mit *SIM-VICUS* das gleiche Ergebnis ausweisen. Wenn dies zutrifft, kann der Arbeitsprozess als valide angesehen werden. Dafür werden die Kennwerte der maximalen operativen Temperaturen und der Übertemperaturgradstunden ausgewertet.

Da die Übertemperaturgradstunden nicht direkt von der Simulation ausgewiesen werden, muss eine Aggregation diese Ergebnisse ermitteln. Im händischen Fall werden die Temperaturen jedes Zeitpunktes mit dem vorgegebenen Grenzwert verglichen und die Differenz zum Grenzwert ermittelt. Anschließend werden positive Ergebnisse kumuliert. Sowohl der Grenzwert als auch die ermittelte Summe werden zur Validierung mit den automatisiert berechneten Kennwerten aus *SIM-VICUS* in Relation gesetzt.

Die folgende Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2 zeigen die Ergebnisse der maximalen operativen Temperaturen und der Übertemperaturgradstunden.

Da keine Abweichungen auftreten, ist sowohl der Arbeitsprozess als auch die Verarbeitung der Daten als valide anzusehen.

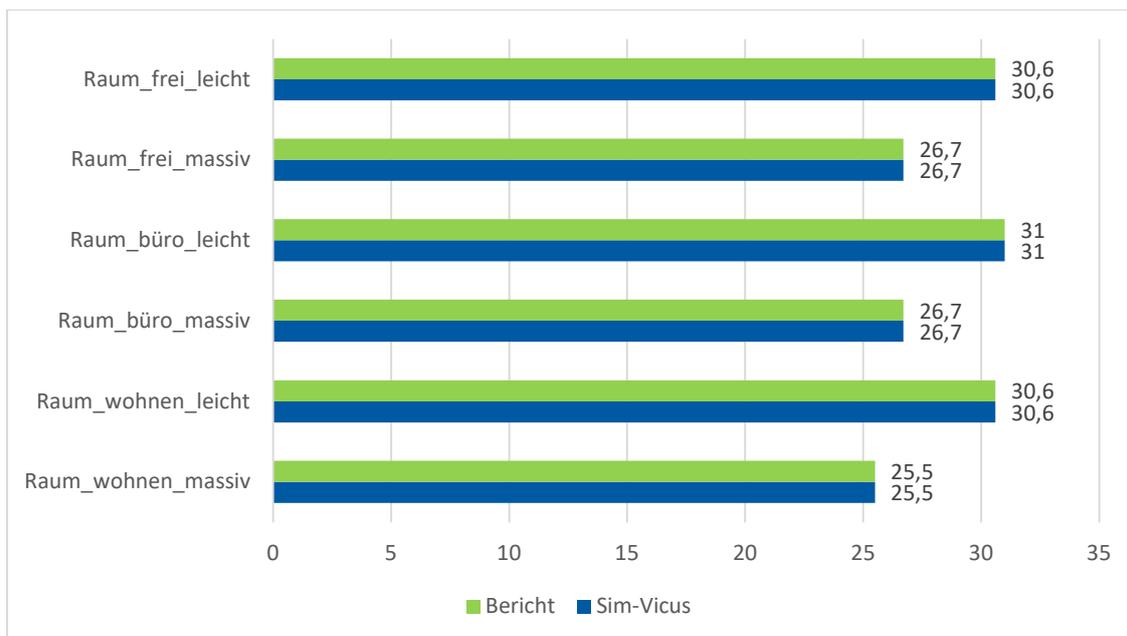


Abbildung 7-1: maximale operative Temperaturen der Räume

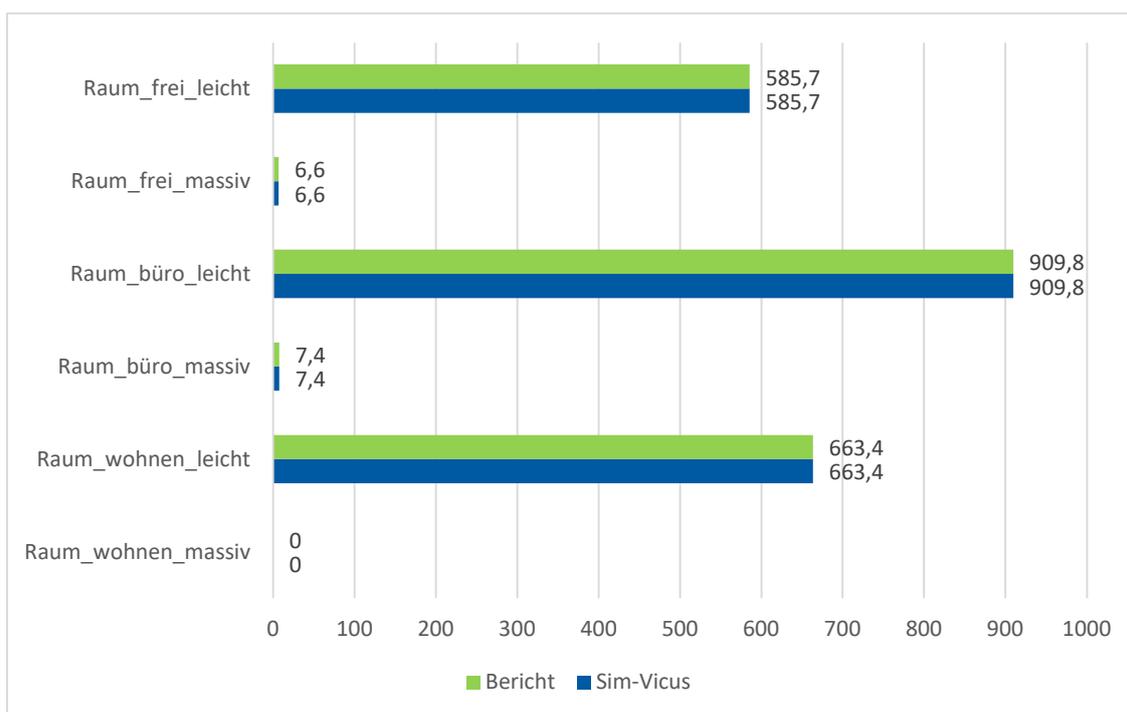


Abbildung 7-2: Übertemperaturgradstunden der Räume

7.1.2 Darstellung des Sommerlichen Wärmeschutznachweis

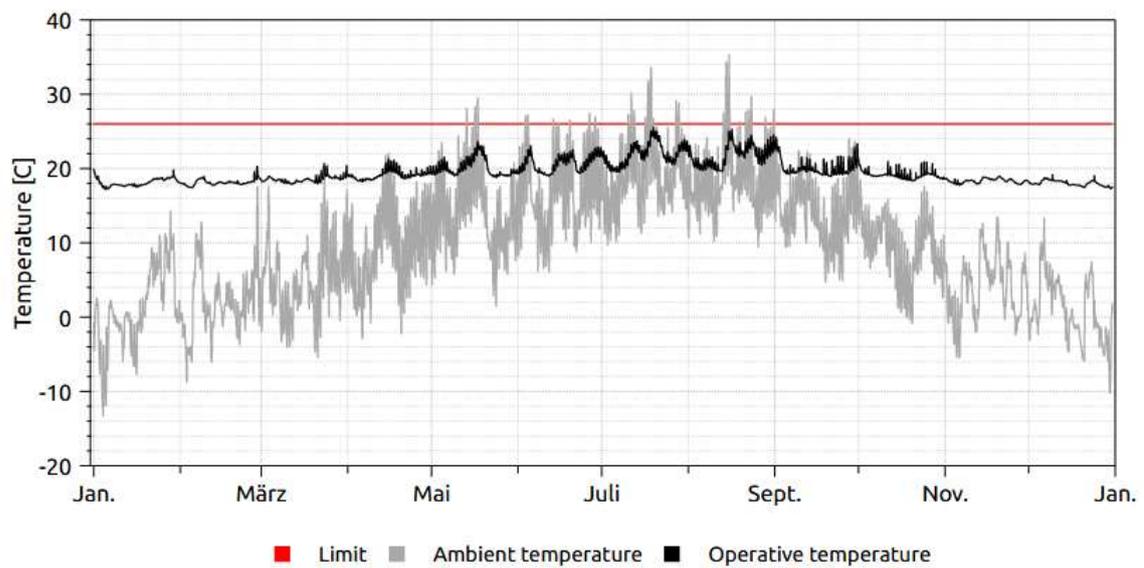
Die Ergebnisse der Berechnung werden im Bericht dargestellt und sind im Anhang dieser Arbeit verfügbar. Der Bericht ist zum aktuellen Zeitpunkt nur in englischer Sprache verfasst, da dies aufgrund der Programmiersprache erforderlich war. Für die zukünftige Umsetzung ist geplant, den Bericht in deutscher Sprache zu verfassen.

Der Bericht für den Sommerlichen Wärmeschutz ist wie folgt strukturiert:

1. Titelseite mit Überschrift des Berichts und einzelnen Projektdaten
2. Projektdaten (Angaben zu Auftraggeber, Auftragnehmer, Objektdaten)
3. Objektdaten mit Daten über Klimaregion und Nichtwohngebäude
4. Ergebnisliste als Raumliste mit Angaben zu den maximalen operativen Temperaturen und Übertemperaturgradstunden, inklusive einer Aussage, ob der Nachweis erfüllt ist
5. Raumbeschreibung

Die Raumbeschreibungen werden abhängig von der Nutzungsart sortiert und ausgegeben. In der Beschreibung werden Daten zur Raumabmessung, den Außen- und Innenbauteilen, den Fenstern, der Verschattungssysteme, sowie den Lüftungsdaten und der passiven Kühlung angegeben. In Abbildung 7-4 ist ein Beispiel für eine Raumbeschreibung dargestellt.

Am Ende der Beschreibung werden die Ergebnisse noch einmal in Textform, sowie als Grafik dargestellt. Die Grafik zeigt den Jahresverlauf der operativen Temperatur im Vergleich zur Außentemperatur. Ein Beispieldruck der Grafik ist in Abbildung 7-3 abgebildet. Die rote Linie in der Abbildung entspricht den Grenzwert, welcher durch die zugehörige Sommer-Klimaregion festgelegt wird. Es werden alle Stunden gezählt, in denen sich die operativen Temperaturen des Raums oberhalb der roten Linie befinden. Durch die Grafik ist schnell zu erkennen ob, ein Raum die Vorgaben der Norm erfüllt oder nicht.

Result according to DIN 4108-2 2013 8.4.1**Temperature Diagram**

Overkelvinhours:	0.0 Kh/a
maximum value allowed:	1200 Kh/a
Requirement:	valid!

Abbildung 7-3: Ausdruck Bericht Temperaturdiagramm der operativen Temperaturen

Room description

Building.Ground floor.Raum_wohnen_leicht(ID=10)

Room data

Floor area:	50.00 m ²
Mean room height:	4.00 m
Volume:	150.00 m ³

Construction

Outside constructions

ID	Name	A [m ²]	φ [Deg]	β [Deg]	R _i [m ² K/W]	R _o [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
1	Wall 3B	10.0	180	90	0.13	0.04	0.23
2	FloorB	25.0	0	0	0.17	0.00	0.48
3	CeilingB	25.0	0	0	0.10	0.06	0.22

φ - Orientation of construction (0 - North, 90 - East)
 β - inclination of construction (90 - wall, 0 - flat roof)
 R_i - contact resistance inside
 R_o - contact resistance outside

Inside constructions

ID	Name	A [m ²]	R _i [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
4	Wall 1B	15.00	0.40	0.20
5	Wall 2B	15.00	0.40	0.20
6	Wall 4B	15.00	0.40	0.20

A - entire component area
 R_i - contact resistance inside

Windows

ID	Name	Wall-ID	A [m ²]	SHGC	f _R	U-Value [W/m ² K]
1	Window #78	1	2.00	0.60	1.00	1.20
2	Window #79	1	2.00	0.60	1.00	1.20
3	Window #80	1	2.00	0.60	1.00	1.20

A - Window area
 SHGC - solar heat gain coefficient
 f_R - frame ratio
 U-Value - U-Value of window

Shading

Shading System

ID	Name	Window-ID	F _c -Value
1	TestShadingSystem	1	0.80
2	TestShadingSystem	2	0.80
3	TestShadingSystem	3	0.80

Window ID - ID of Window to which the shading is attached
 ID -
 F_c-Value - shading factor

Abbildung 7-4: Ausdruck Bericht Sommerlicher Wärmeschutz für einen Beispielraum

7.2 Ergebnisse des Heizlastberichts

Um die Ergebnisse des Heizlastberichts zu überprüfen, wurde das Beispielhaus der DIN/TS 12831-1 in zwei Beispielen berechnet. In der Beispielrechnung 1 wird das Einfamilienhaus ohne Lüftungsanlage analysiert, während in Beispielrechnung 2 eine Lüftungsanlage berücksichtigt wurde. Die folgenden Abschnitte stellen die Ergebnisse untergliedert in die Beispielrechnungen dar und beurteilen deren Validität.

7.2.1 Beispielrechnung 1

Die Abbildung 7-5 stellt die Ergebnisse aus Beispielrechnung 1 der nationalen Ergänzungen der Norm, denen der eigens erstellten XML gegenüber. In der Darstellung sind die Wärmeverluste durch Transmission in blauer Farbe, die Wärmeverluste durch Lüftung in grüner Farbe und die Wärmeverluste durch Aufheizleistungen in gelber Farbe gekennzeichnet. Die abgebildete Tabelle dient der genauen Gegenüberstellung der Werte für den besseren Vergleich. Mit „Beispiel“ werden die Ergebnisse aus der DIN/TS 12831-1 betitelt, mit „XML“ die Ergebnisse des automatisiert erstellten Berichts.

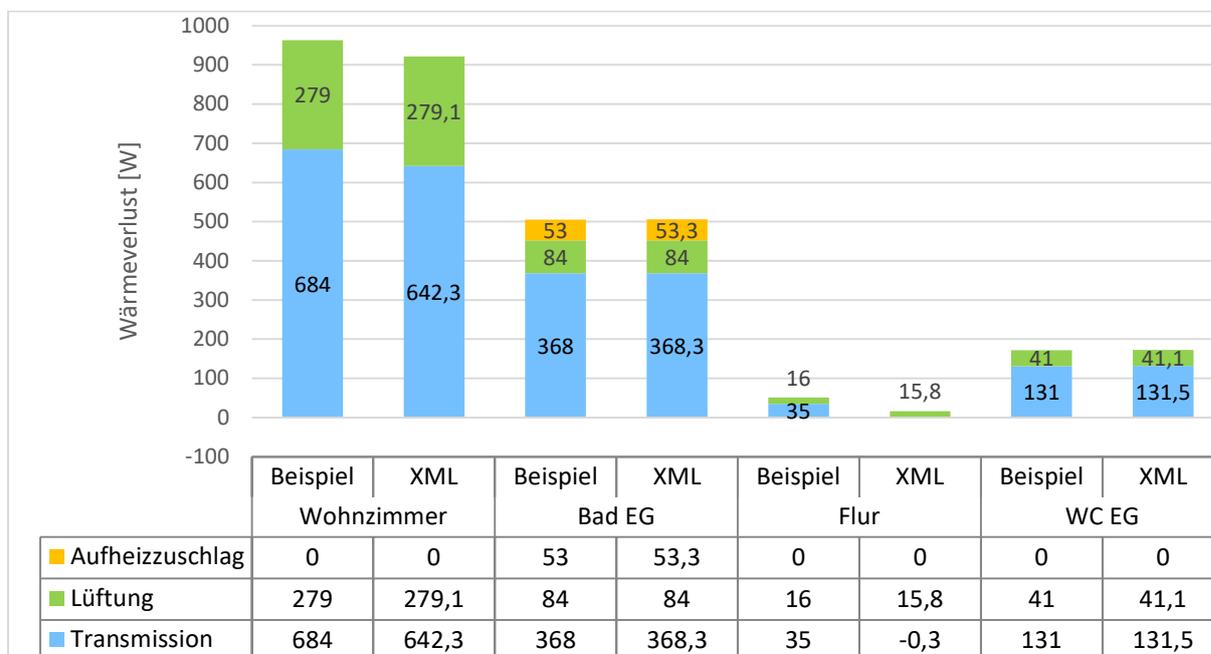


Abbildung 7-5: Ergebnisse Beispielrechnung 1

Für das Bad und das WC stimmen die Ergebnisse der einzelnen Wärmeverluste weitestgehend überein. Es kommt ausschließlich zu kleineren Rundungsfehlern.

Im Wohnzimmer und im Flur sind die Lüftungswärmeverluste nahezu identisch. Es kommt jedoch zu Abweichungen in Transmissionswärmeverlusten. Die Abweichungen sind zurückzuführen auf die unterschiedliche Berechnung des Temperaturanpassungsfaktors bei den unbeheizten Räumen. Im Beispiel der nationalen Ergänzung wird der Faktor f_1 aus Anhang B Tabelle B.2 entnommen. Es wurde sich für die Berichterstellung gegen die Anwendung dieser Tabelle entschieden. Stattdessen wird der Faktor direkt über die angrenzenden Temperaturen bestimmt. Es ist zu erwähnen, dass ein Fehler in der Berechnung der nationalen Ergänzung auftritt, da das Wohnzimmer an keinen unbeheizten Raum angrenzt. Auf diesen Fehler wird im Abschnitt 8.2.2 genauer eingegangen. Der Fehler wurde für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Beispielrechnung mit übernommen. Dieselbe Problematik gilt auch für die Berechnung des Flurs.

Unter der Berücksichtigung des Fehlers und der Änderung der Berechnung kann die Überprüfung der Ergebnisse als valide betrachtet werden.

7.2.2 Beispielrechnung 2

Die Abbildung 7-6 stellt die Unterschiede und Übereinstimmungen der Ergebnisse aus der Beispielrechnung 2 der DIN/TS 12831-1 und der des erstellten Berichts dar. Die Darstellung folgt dem Stil der Abbildung 7-5.

Wie in Abbildung 7-6 zu erkennen ist spiegelt sich die gleiche Situation wie in der Beispielrechnung 1 wider. Die Unterschiede sind auch in diesem Beispiel hauptsächlich in den Transmissionswärmeverlusten zu finden, während die Lüftungswärmeverluste und Aufheizleistung der Räume mit kleineren Abweichungen übereinstimmen. Auch hier ist die Ursache der Unterschiede des Transmissionswärmeverlustes, in den bereits im vorherigen Abschnitt erklärten Änderung der Berechnung des Temperaturanpassungsfaktors für die angrenzenden unbeheizten Räume, zu finden. Die Abweichung fallen hier jedoch prozentual gesehen geringer aus als in Beispiel 1.

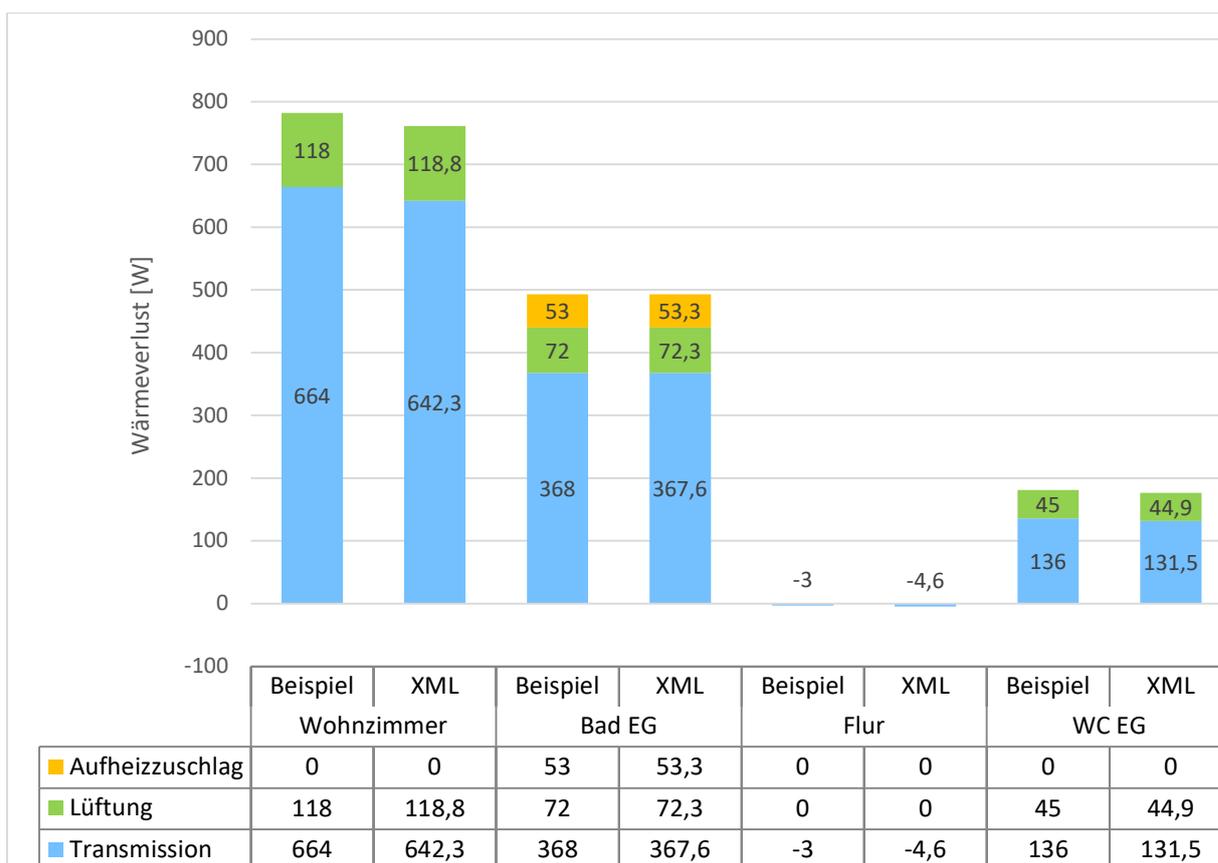


Abbildung 7-6: Ergebnisse Beispielrechnung 1

Unter Beachtung der Änderung in der Berechnung kann die Überprüfung der Ergebnisse als gültig angesehen werden.

7.2.3 Aufheizzuschlag

Im Folgenden wird die Aufheizleistung im Wohnzimmer untersucht. Die Untersuchung dient der Erläuterung des Vorgangs der Berechnung mittels Simulation, anstelle des in der DIN EN 12831-1 beschriebenen Berechnung des Aufheizzuschlags. Hierfür wurde ein Heizzeitplan für das Thermostat in *SIM-VICUS* erstellt, welcher tagsüber (von 8-20 Uhr) einen Heizsollwert von 20 °C und nachts (von 20-8 Uhr) einen Heizsollwert von 17 °C vorsieht. Der Raum wurde ausgewählt, da dieser der größte der betrachteten Räume ist. In dem Beispiel fließen aber auch die Räume „Essen“ und „Küche“ ein, da diese einen Luftraum mit dem Wohnzimmer bilden und daher in der Simulation auch als solcher betrachtet wird.

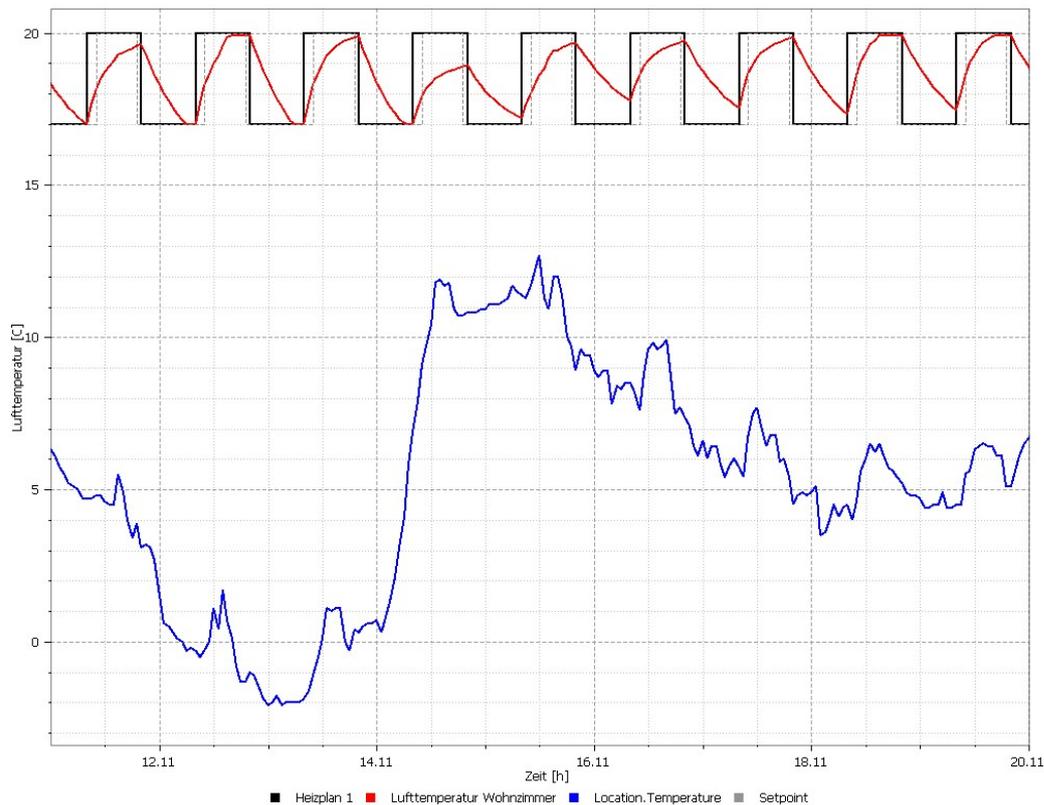


Abbildung 7-7: Darstellung der Lufttemperaturlinien des Wohnzimmers, der Außentemperatur, und des Heizlastplan

Es wird eine Aufheizperiode von 3 Stunden definiert. Zunächst soll untersucht werden, ob die angestrebte Temperatur von 20 °C in diesem Zeitraum erreicht wird und wenn dies nicht der Fall ist, wie lange es dauert den Heizsollwert zu erreichen. Für die Untersuchung wurde bewusst einer der kritischsten Tage im Simulationsjahr ausgewählt, um auch im kritischsten Fall zu zeigen, ob der Raum die Zieltemperatur erreicht. Mittels der Darstellung der Raumtemperaturlinie wurde sich für den 14. November entschieden.

Der Begriff "kritischster Tag" wird in dieser Studie nicht unbedingt durch den Tag mit der niedrigsten Temperatur definiert. Im Fall des 14. November liegt die Temperatur über den Tag hinweg zwischen 0 und 12 °C. Die Abbildung 7-8 zeigt die in *SIM-VICUS* eingestellte Heizkurve oder auch Heizkennlinie genannt. Diese bildet das Verhältnis der Vorlauftemperatur zur gegebenen Umgebungstemperatur ab. Es ist zu erkennen, dass die Vorlauftemperatur bei einer Umgebungstemperatur von 10 °C gerade einmal bei 24 °C liegt, während sie bei einer Umgebungstemperatur von -14 °C bei 35 °C liegt. Daher ist zu schlussfolgern, dass die Vorlauftemperatur in der Simulation am 14.

November geringer als die üblicherweise verwendeten 35 °C ist, was ebenfalls eine Wirkung auf, die sich im Raum entwickelte Temperatur hat.

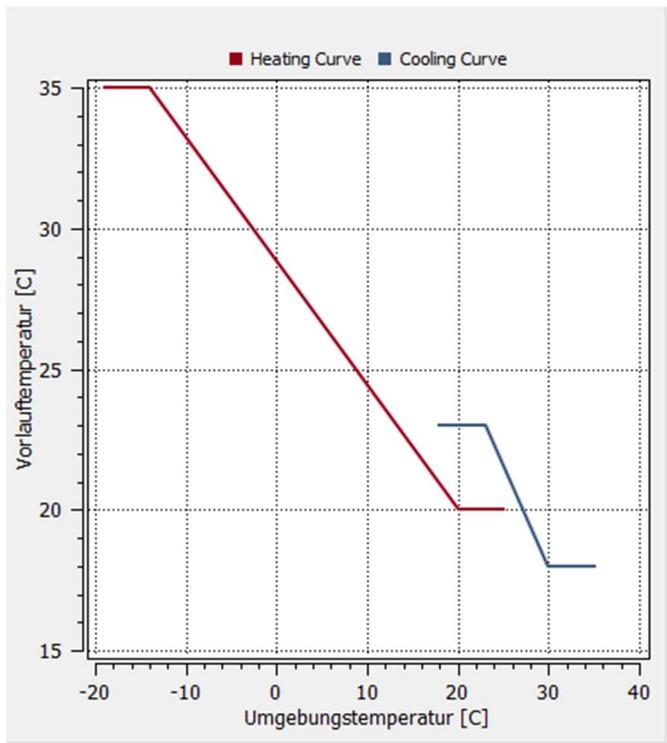


Abbildung 7-8: Heizkurve für das Verhältnis der Vorlauftemperatur zur Umgebungstemperatur

Als Grenzwert wurde eine maximale Abweichung von 0,2 Kelvin festgelegt. Das bedeutet, dass das Ziel als erreicht betrachtet wird, wenn die Temperatur mindestens 19,8 °C beträgt.

Für die Untersuchung wurden vier Varianten mit unterschiedlichen maximalen Strömungsgeschwindigkeiten des Fluids erstellt. Die Strömungsgeschwindigkeit bezieht sich auf die Geschwindigkeit, mit der das Fluid durch die Heizungsrohre fließt. Sie ist ein Faktor, der benötigt wird, um den Massestrom zu berechnen. Der Wert selbst ergibt sich durch die Division des Volumenstroms durch den Querschnitt der Rohrleitung.

Die vier Varianten wurden wie folgt definiert:

- Variante 1: 0,1 m/s (rote Linie)
- Variante 2: 0,3 m/s (blaue Linie)
- Variante 3: 0,5 m/s (grüne Linie)
- Variante 4: 0,7 m/s (violette Linie)

Für die Strömungsgeschwindigkeiten gelten Richtwerte zwischen 0,3 m/s und 1,0 m/s in den Hauptverteilungen [15]. Es wurde jedoch bewusst ein Wert außerhalb dieses Bereichs gewählt, um zu zeigen, dass die gewählte Strömungsgeschwindigkeit definitiv nicht ausreichend ist.

Die folgende Tabelle 7-1 und Abbildung 7-9 zeigen die Ergebnisse der Untersuchung:

Variante	1	2	3	4
max. Strömungsgeschwindigkeit c (m/s)	0,1	0,3	0,5	0,7
Temperatur nach 3 h	18,17	19,32	19,62	19,73

Tabelle 7-1: Ergebnisse der Varianten nach 3 Stunden Aufheizdauer

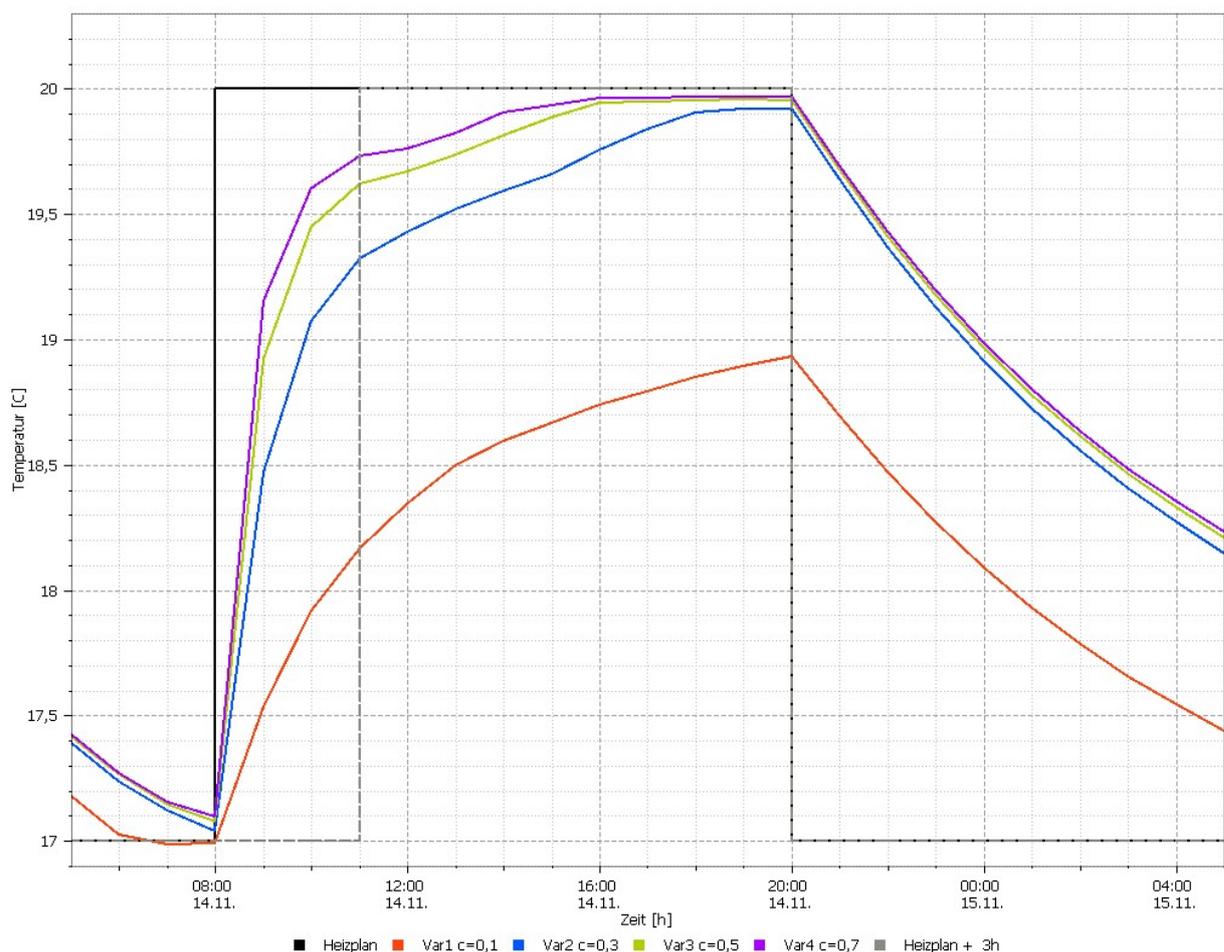


Abbildung 7-9: Variantenstudie der Aufheizleistung mit Heizzeitplan für einen Tag (17 °C 20-8 Uhr; 20 °C 8-20 Uhr)

In Abbildung 7-9 ist zu erkennen, dass keine der Varianten unter diesen Einstellungen am betrachteten Tag eine Temperatur über 19,8 °C schafft. Um diese Temperatur zu erreichen, muss die Strömungsgeschwindigkeit weiter erhöht werden. Dafür muss

überprüft werden, wie lange die einzelnen Varianten brauchen, um die Zieltemperatur zu erreichen.

Die folgende Tabelle 7-2 gibt an, um welche Uhrzeit die Zieltemperatur als erfüllt gilt und wie viel Zeit benötigt wurde, um diese zu erreichen.

Variante	1	2	3	4
max. Strömungsgeschwindigkeit c (m/s)	0,1	0,3	0,5	0,7
Zeitraum (Uhrzeit)	-	17:00	14:00	13:00
Dauer (h)	-	9	6	5

Tabelle 7-2: Uhrzeit und Dauer, ab der die Solltemperatur erreicht wird

Variante 1 erreicht am Zieltag die Temperatur nicht. Folglich ist die Stromgeschwindigkeit nicht ausreichend. Auch die Variante 2 erreicht die gewünschte Zieltemperatur nicht in einem erwünschten Zeitraum. Variante 3 und 4 erreichen die Zieltemperatur noch in einem moderaten Zeitraum.

7.2.3.1 Vergleich stationäres Verfahren und Simulationsrechnung

Wie bereits erwähnt, sieht die DIN EN 12831-1 ein stationäres Verfahren für die Berechnung des Aufheizzuschlags vor. Da sich für den Heizlastbericht entschieden wurde die Aufheizleistung mittels Simulation zu berechnen, ist ein Vergleich der beiden Konzepte ratsam. Die vorliegende Fallstudie dient dazu, den Unterschied zwischen Simulation und dem stationären Verfahren aufzuzeigen. Das Hauptziel besteht darin zu untersuchen, wie unterschiedlich die Ergebnisse der Simulation und des stationären Verfahrens sind. Die Fallstudie wurde eigens für den Vergleich erstellt.

Die Studie umfasst drei Fälle:

- Fall 1: Simulation unter realen Bedingungen mit unterschiedlichen Temperaturen und wechselnder Vorlauftemperatur.
- Fall 2: Vorlauftemperatur konstant, aber Temperatur im Jahresverlauf variiert.
- Fall 3: Sowohl Vorlauftemperatur als auch Klima bleiben konstant. Das Klima wurde dabei auf die niedrigste Jahrestemperatur von $-10,9\text{ °C}$ festgelegt.

Zu diesem Zweck wurde kein Heizzeitplan als Tagesplan erstellt, sondern ein Jahresplan verwendet. Der Zeitpunkt der Aufheizung bleibt wie im vorherigen Beispiel der 14. November, um einen kritischen Tag zu visualisieren. Der Start der Aufheizperiode wird auf 3 Uhr morgens festgelegt. Das bedeutet, dass die Temperatur bis zum 14. November um 3 Uhr auf 17 °C gehalten und anschließend auf 20 °C angehoben wurde. Erreicht gilt die Temperatur bei $19,8\text{ °C}$.

Die Abbildung 7-10 stellt den grafischen Verlauf der Raumlufttemperatur unter verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten bei gleichem Klima und daraus resultierender Vorlaufzeit dar. Die genaue Zeit und Dauer, in welcher die Solltemperatur erreicht wird, ist in der darunterliegenden Tabelle 7-3 aufgezeigt.

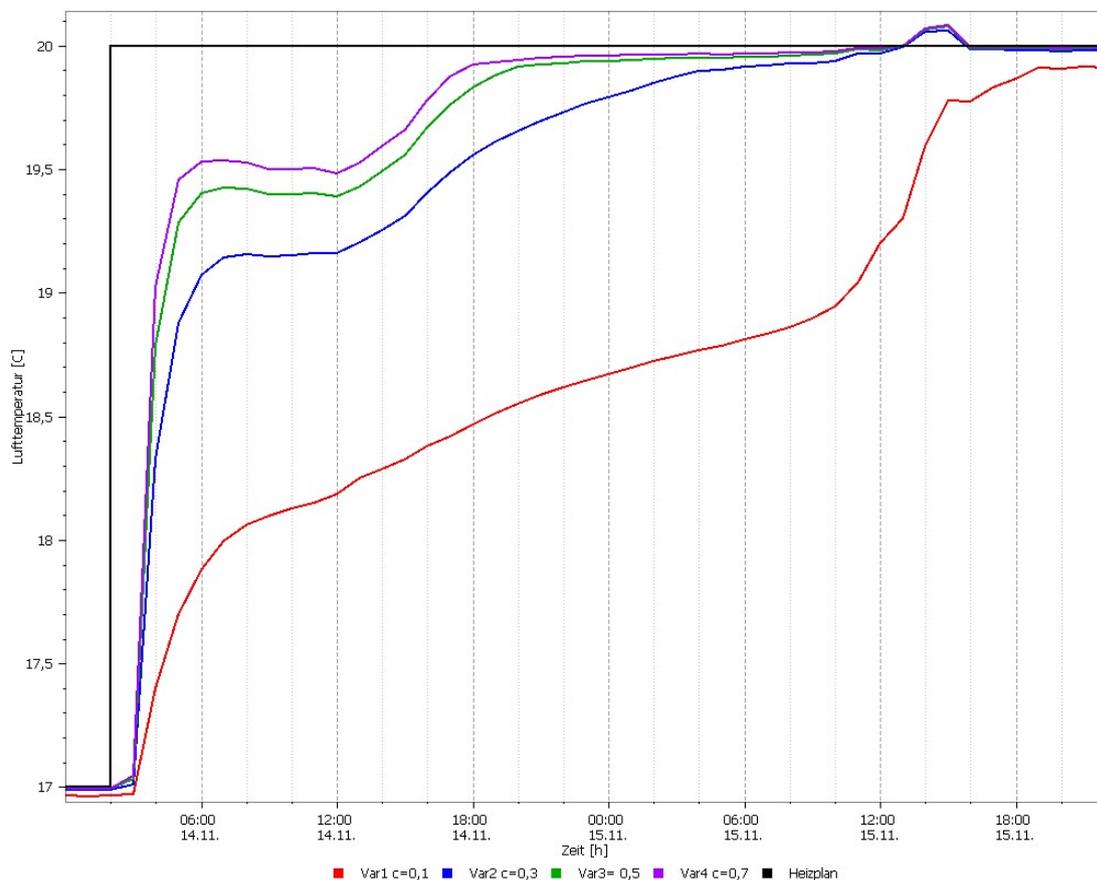


Abbildung 7-10: Lufttemperatur Fall1

Variante	1	2	3	4
max. Strömungsgeschwindigkeit c (m/s)	0,1	0,3	0,5	0,7
Zeitraum (Uhrzeit)	15.11 17:00	15.11 1:00	14.11 18:00	14.11 17:00
Dauer (h)	62	22	15	14

Tabelle 7-3:Ergebnisse Fall1 Uhrzeit und Dauer, ab der die Solltemperatur erreicht wird

Alle 4 Varianten schaffen in keiner angemessen Zeit die Raumlufttemperatur zu erwärmen.

Die Abbildung 7-11 stellt den grafischen Verlauf der Raumlufttemperatur unter verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten bei gleichem Klima und konstanter Vorlauftemperatur von 35 °C dar. Tabelle 7-4 schlüsselt den Zeitraum, indem die Temperatur erbracht wird, weiter auf.

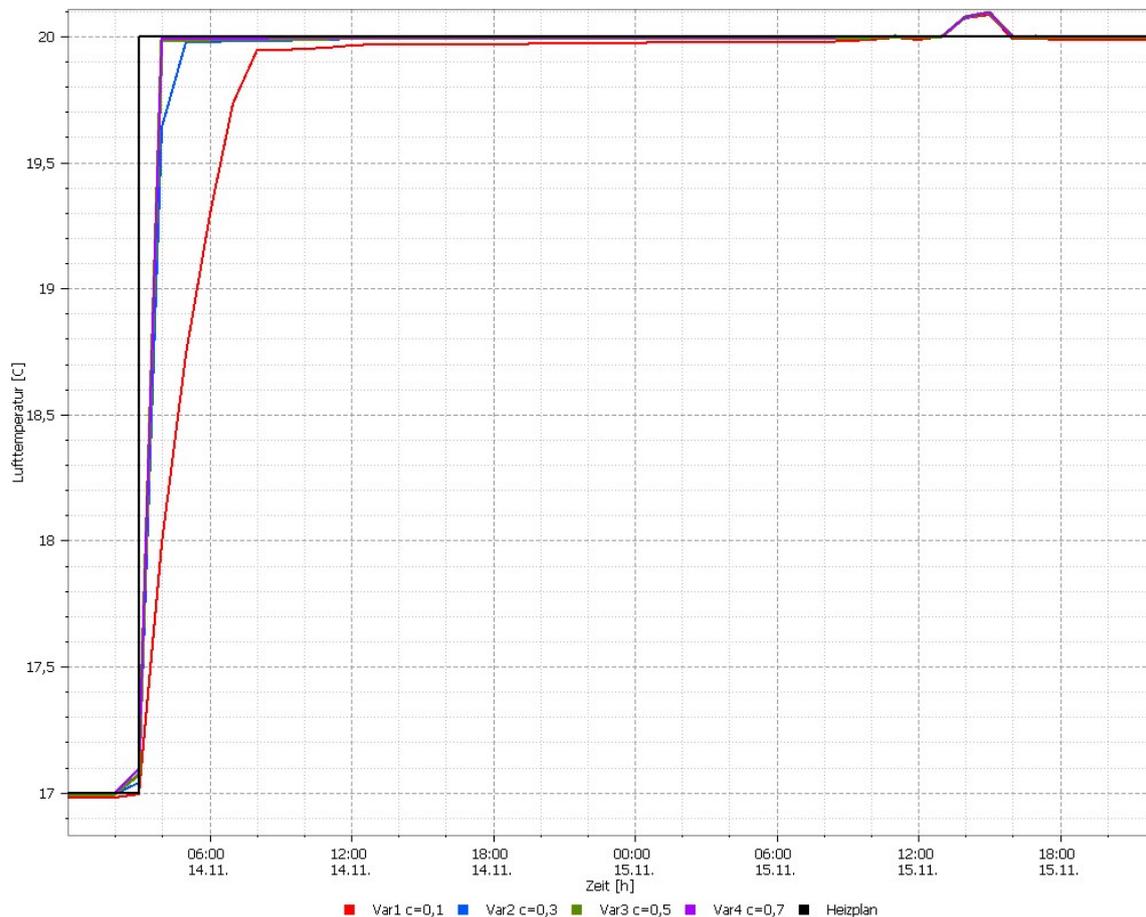


Abbildung 7-11: Lufttemperatur Fall 2

Variante	1	2	3	4
max. Strömungsgeschwindigkeit c (m/s)	0,1	0,3	0,5	0,7
Zeitraum (Uhrzeit)	9:00	5:00	4:00	4:00
Dauer (h)	6	2	1	1

Tabelle 7-4: Ergebnisse Fall 2 Uhrzeit und Dauer, ab der die Solltemperatur erreicht wird

Für den Fall, indem die Vorlauftemperatur konstant auf 35 °C gestellt wird, erreichen alle Varianten, abgesehen der Variante 1, die Solltemperatur innerhalb der vorgegebenen drei Stunden. Anhand dieses Beispiels ist zu erkennen, dass eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,1 m/s nicht ausreichend ist, um die Normanforderungen zu erfüllen.

Die Abbildung 7-12 stellt den grafischen Verlauf der Raumlufttemperatur unter verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten bei gleichbleibender Temperatur von $-10,9\text{ °C}$ und konstanter Vorlauftemperatur von 35 °C dar. Tabelle 7-5 zeigt den Zeitraum, indem die Temperatur erbracht wird.

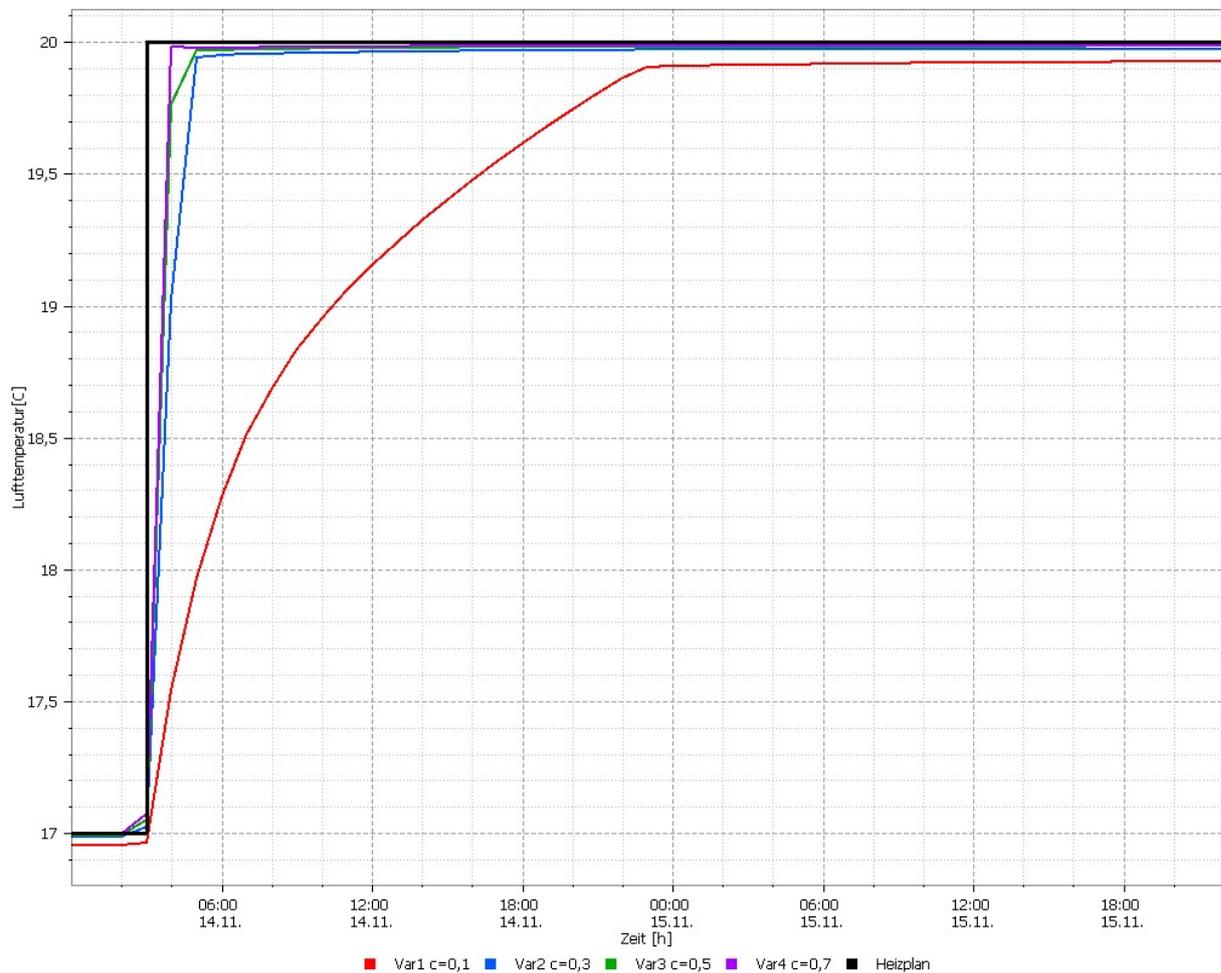


Abbildung 7-12: Lufttemperatur Fall 3 Uhrzeit und Dauer, ab der die Solltemperatur erreicht wird

Variante	1	2	3	4
max. Strömungsgeschwindigkeit c (m/s)	0,1	0,3	0,5	0,7
Zeitraum (Uhrzeit)	21:00	5:00	5:00	4:00
Dauer (h)	18	2	2	1

Tabelle 7-5: Ergebnisse Fall 3

In Variante 1 des Fall 3 ist die Dauer zur Erreichung der Heizsolltemperatur gegenüber dem vorgehenden Fall Variante 1 auf 18 Stunden angestiegen (siehe Tabelle 7-4 und Tabelle 7-5). Der Anstieg ist mit der konstanten Außentemperatur von $-10,9\text{ °C}$ zu

begründen. Alle anderen Varianten ähneln dem Fall 2 und erreichen die Heizsolltemperatur in einem angemessenen Zeitraum.

In den oberen Abbildungen wurden die Strömungsgeschwindigkeiten variiert pro Fall.

Die weiteren Darstellungen (Abbildung 7-13 bis Abbildung 7-16) bilden die Situation ab, in welcher die Strömungsgeschwindigkeiten konstant gehalten und die Randbedingungen von Klimata und Vorlauftemperatur variiert abgebildet.

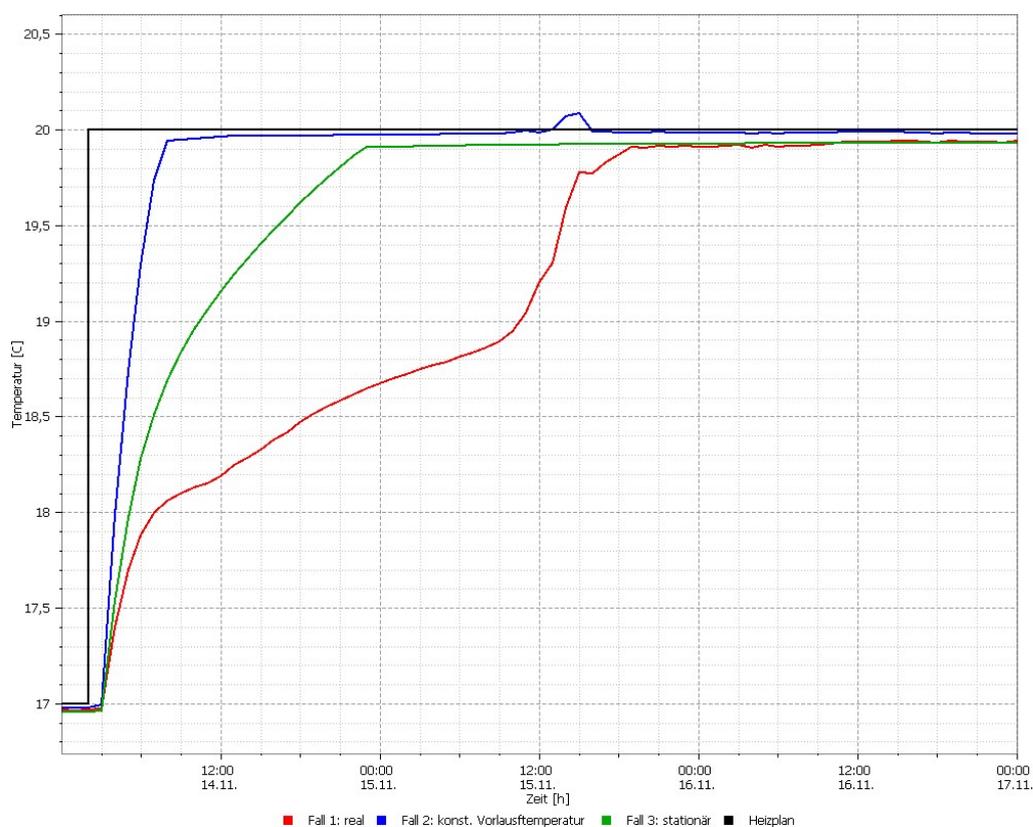


Abbildung 7-13: Lufttemperaturkurve für eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,1

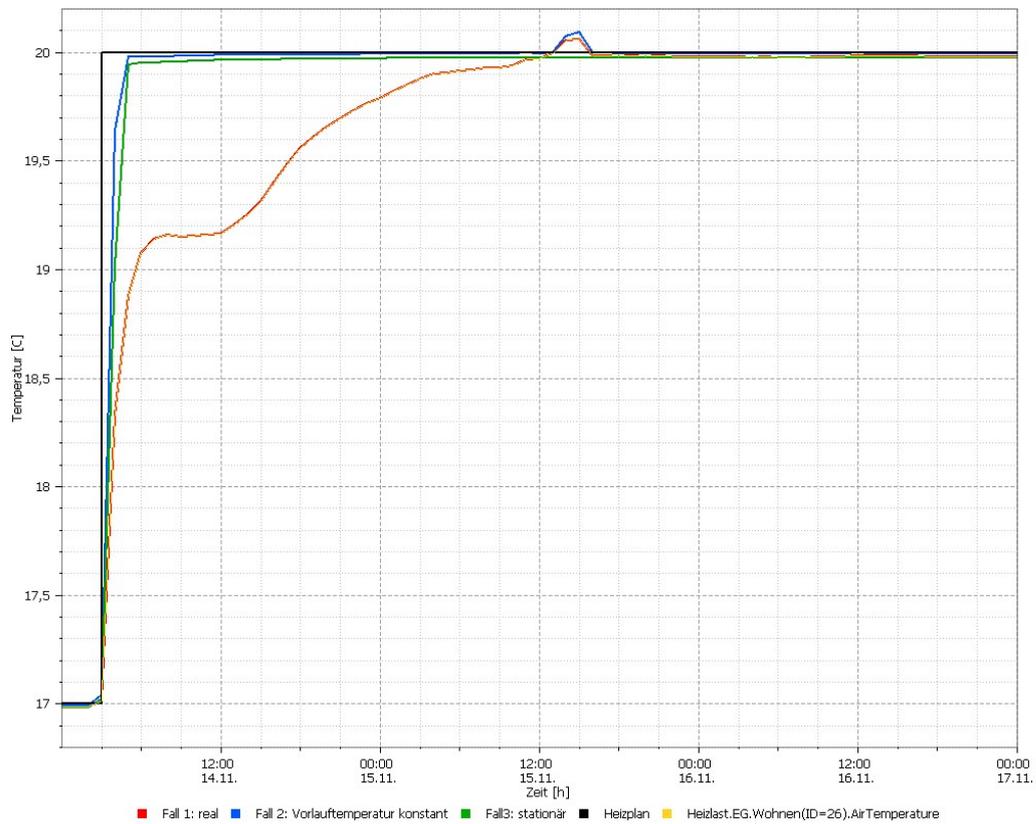


Abbildung 7-14: Lufttemperaturkurve für eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,3

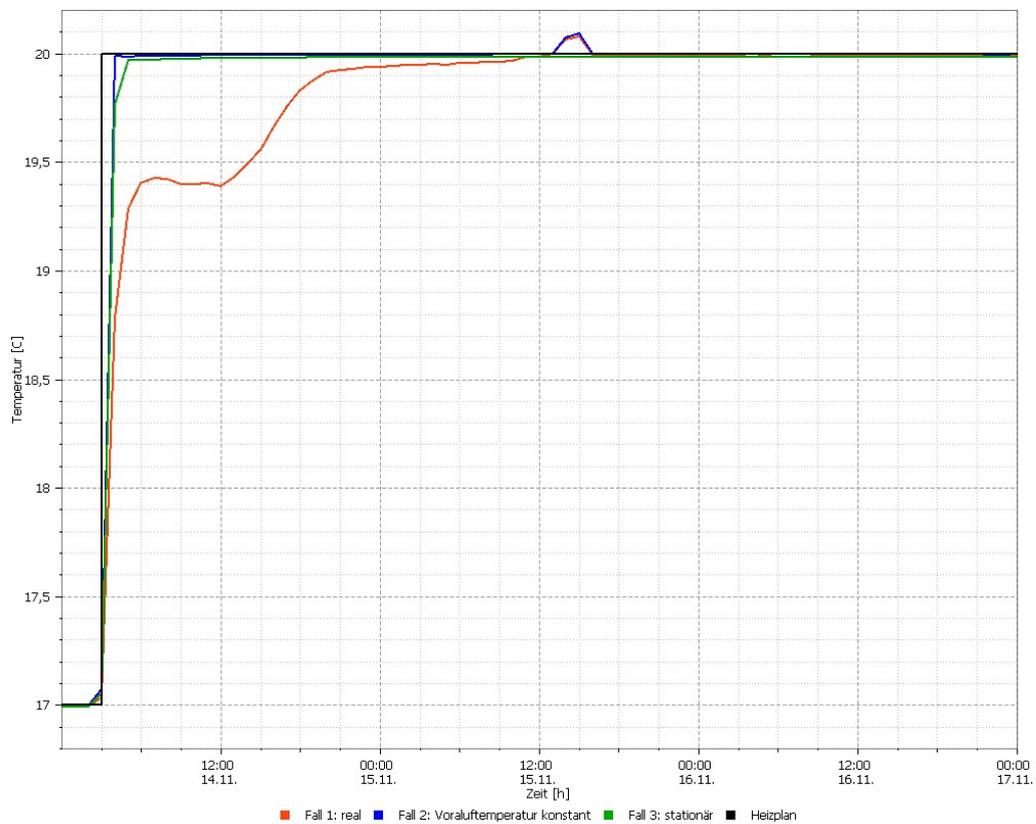


Abbildung 7-15: Lufttemperaturkurve für eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,5

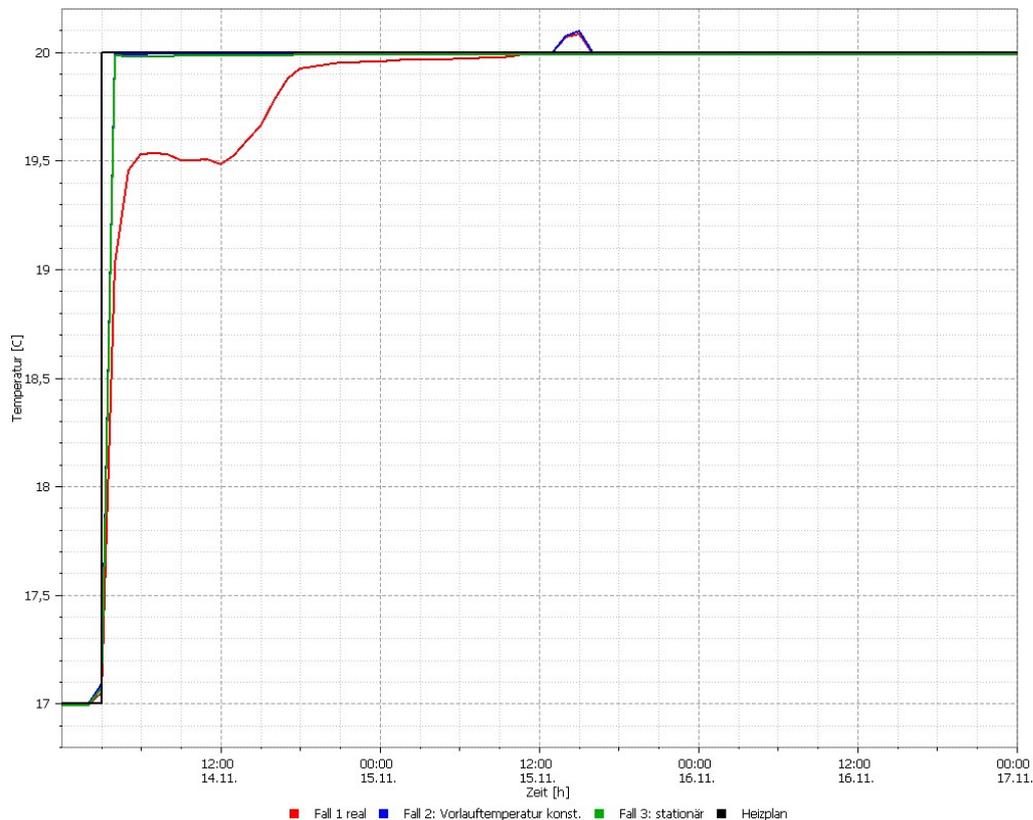


Abbildung 7-16: Lufttemperaturkurve für eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,7

Die dargestellten Diagramme zeigen, dass gerade bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,1 m/s die Unterschiede zwischen dynamischer Simulation, konstanter Vorlauftemperatur und stationärem Klima gegeben sind. Aber auch die anderen Varianten zeigen eine große Differenz allein zwischen thermischer Simulation und den Berechnungen mit konstanten Parametern.

Letztendlich kann aus den Ergebnissen geschlossen werden, dass die dynamischen Simulationen kritischere Ergebnisse liefern, was die Länge der Aufheizdauer betrifft. Das ist der Fall vor allem an Tagen im Herbst, Winter und Frühling, in denen die Temperaturen zwar über Null Grad liegen, aber die Räume dennoch für das Wohlbefinden der Gebäudenutzer beheizt werden müssen.

Gerade für die Einsetzung von Wärmepumpen und Photovoltaik ist eine dynamische Betrachtung notwendig, da nicht immer die gleiche Strahlungseinwirkungen vorherrschen, die bei Verwendung dieser Systeme einen großen Einfluss auf die Heizsituation haben.

7.2.4 Darstellung der Ergebnisse im Heizlastbericht

Für die Darstellung der Heizlastberechnung geben die nationalen Ergänzungen der DIN EN 12831-1 eine Vorlage für den Aufbau des Berichts in der Form von Formblättern vor. Folgende Formblätter sind für die stationäre Berechnung der Heizlast zu berücksichtigen:

- V: Vereinbarungen mit dem Auftraggeber
- G1: Allgemeine Gebäudedaten
- N1: Nutzungseinheiten
- Z1: Zonendaten
- R: Raumheizlast
- Z2: Zonenübersicht Heizlast
- Z3: Zonenübersicht Luftvolumenströme
- N2: Ergebniszusammenstellung der Nutzungseinheiten
- G2: Ergebniszusammenstellung Gebäude [9]

Für die Berichtserstellung in *SIM-VICUS* wurden die Formblätter als Grundlage verwendet, jedoch einige Faktoren, welche auf Darstellung und Berechnung Einfluss nehmen, angepasst. Die Vorlagen wurden so angelegt, dass es nach Berechnung mittels thermischer Gebäudesimulation Sinn ergibt. Aufgrund dessen wird auf das Formblatt N1 verzichtet, da dieses die Aufheizleistung nach Normrechnung abbildet und nicht nach dem gewählten Ansatz der Simulation.

Zusätzlich müssen einige der Formblätter stilistisch angepasst werden. Ein Grund dafür ist, dass in der *QtExt-Library* die Erstellung eines Blattes im Querformat nicht implementiert ist. Eine solche Anpassung wurde im Zuge dieser Arbeit als zu aufwendig betrachtet. Da einige der Formblätter jedoch nach der Norm in Querformat formatiert sind, wurden diese so in der Darstellung angepasst, dass die Ergebnisse auch in Hochformat alle essenziellen Daten beinhalten. Zusätzlich zu den Formblättern wurde eine Legende am Ende des Berichts angelegt, in welcher einige der Begrifflichkeiten genauer erläutert werden. Wie auch im Bericht des Sommerlichen Wärmeschutzes, wurde der Heizlastbericht in englischer Sprache verfasst. Eine Erweiterung auf Deutsch ist in Zukunft geplant.

Room Heat Load

Level: EG		Room-ID: 3		Room name: Wohnzimmer			
Utilization zone:		is building		Ventilation zone: like building			
inside temperature			$\Theta_{int,stand}$	20 °C	outside temperature	Θ_{ref}	-10.9 °C
Room geometry					Ventilation		
Length	l_r	4.82 m		Min air change rate	n_{min}	0.50 h ⁻¹	
Width	b_r	4.24 m		Min air volume flow	$q_{v,min}$	26.6 m ³ /h	
Room height	h_i	2.60 m		Mechanical Ventilation			
Floor height	h_G	2.86 m		Exhaust air volume flow	$q_{v,exh}$	0.0 m ³ /h	
Ceiling thickness	d	0.26 m		Supply air volume flow	$q_{v,sup}$	0.0 m ³ /h	
Floor area	A_{NGF}	20.44 m ²		Supply air temperatur	Θ_{rec}	0.0 °C	
Enveloped area	A_{env}	32.17 m ²		Design air volume flow	$q_{v,ATD,design}$	0.0 m ³ /h	
Room volume	V_i	53.14 m ³		Outside air volume flow	$q_{v,open}$	0.0 m ³ /h	
Ground data				Combustion air volume flow	$q_{v,combi}$	0.0 m ³ /h	
Depth base plate	z	0.00 m		Technical air volume flow	$q_{v,tech}$	0.0 m ³ /h	
Area base plate	A_G	24.77 m ²		Over current	$q_{v,transfer}$	0.0 m ³ /h	
Extent ground contact	P	11.23 m		Over current temperature	$\Theta_{transfer}$	0.0 °C	
Characterized ground plate measure	B'	4.41 m		Infiltration, ALD or minimum-value	$q_{v,env}$	26.6 m ³ /h	

Transmission heat loss

	construction	orientation	inclination	brutto area	netto area	neighbouring construction	neighbouring temperature	temperature adjustment	U-value	thermal bridge value	corrected U-value	Transmission heat loss	
ID [-]	[-]	ϕ [°]	β [°]	A_{brutto} [m ²]	A_{netto} [m ²]	[-]	Θ_x [°C]	$f_{i,x}$ [°C]	U [W/m ² K]	ΔU_{WB} [W/m ² K]	U_{corr} [W/m ² K]	Φ_T [W]	
1	AW6	90.0	90.0	15.3	8.1	e	-10.9	1.00	0.33	0.05	0.38	95.1	
2	AW	90	90		7.2	e	-10.9	1.00	0.56	0.05	0.61	135.7	
3	AW7	180.0	90.0	9.6	8.2	e	-10.9	1.00	0.34	0.05	0.39	98.8	
4	AF	180	90		1.4	e	-10.9	1.00	1.40	0.05	1.45	62.7	
5	IW8	180.0	90.0	3.7	0.4	ae	0.1	0.64	0.34	0.05	0.39	3.1	
6	IF	180	90		3.3	ae	0.1	0.64	1.60	0.05	1.65	108.4	
7	IW9	270.0	90.0	3.6	3.6	ae	20.0	0.00	1.33	0.05	1.38	0.0	
8	FB10	0.0	0.0	24.8	24.8	g	9.6	0.34	0.58	0.05	0.37	138.5	
Transmission heat loss											Φ_T	642.3	W

Ventilation heat loss

Outside air volume (Infiltration,ALD or Minimum)	$\Phi_{v,env/min}$	279.1	W
Supply air volume flow	$\Phi_{v,sup,i}$	0.0	W
Overcurrent volume flow	$\Phi_{v,transfer,ij}$	0.0	W
Ventilation heat loss	Φ_v	279.1	W

Heat Load

Standard heat load	$\Phi_{stand,i}$	921.5	W
Zusatz-Aufheizleistung	$\Phi_{hu,i}$	0.0	W
Zuschlag erhöhter Auslegungsinnentemperatur	$\Delta\Phi_{i,comf}$	0.0	W
Norm heat load	$\Phi_{HL,i}$	921.5	W

Abbildung 7-17: Ausdruck des Heizlastberichts - Raumheizlastbericht am Beispielraum Wohnzimmer

8. DISKUSSION

8.1 Diskussion Sommerlicher Wärmeschutznachweis

8.1.1 Kritik an eigener Arbeit

Aufgrund des komplexen Themenfeldes konnten nicht alle Aspekte im Detail bearbeitet werden. Im folgenden Text wird auf die fehlenden Aspekte genauer eingegangen.

Zum einen sollte die Einbindung der passiven Kühlung überarbeitet werden, um ihren Ansatz angemessen in den Bericht einzubeziehen. Der genaue Ansatz ist zum Zeitpunkt der Arbeit noch unklar. Die Norm gibt ausschließlich vor, dass der Ansatz zu dokumentieren ist, aber stellt die Art und Weise der Einbindung frei. *SIM-VICUS* ermöglicht aktive Bauteile zur Konditionierung eines Raumes einzubinden. Mit diesen Bauteilen kann eine thermische Simulation erfolgen. Die Ergebnisse der Heiz- und Kühlleistung, als auch die Energiekennwerte dieser sind im Jahresverlauf vorhanden und können anschließend ausgewertet werden. Dies wäre ein Ansatz für die Einbindung der passiven Kühlung.

Die DIN 4108-2 bietet zusätzlich die Möglichkeit, die bauliche Verschattung mit in die Betrachtung einzubinden. Da dieser Ansatz selten angewendet wird und die Berechnung auf ein Tageslichtsimulation basieren, wurde dieser noch nicht eingefügt. Die Art der Einbindung ist noch unklar und sollte definitiv aufgegriffen werden.

Diese Aspekte erfordern weitere Aufmerksamkeit und Überarbeitung, um die Qualität und Aussagekraft des Berichts des Sommerlichen Wärmeschutz zu verbessern.

8.1.2 Kritik an der Norm

Die in der DIN 4108-2 beschriebene Berechnung zum Sommerlichen Wärmeschutz sind bereits für die Simulation ausgewiesen. Die Eingabe der Eingangsdaten waren dadurch bei der Berichterstellung unproblematisch, da sie klar in der Norm definiert sind. Ein Kritikpunkt ist hierbei jedoch der Fakt, das viele der Werte statisch festgelegt

sind, insbesondere die inneren Lasten des untersuchten Raumes, was zu einer unrealistischen Darstellung führen kann. Es wäre wünschenswert, wenn diese Werte genauer beschrieben werden könnten, um eine realitätsgetreue Simulation zu ermöglichen.

Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass die Norm, wie sie derzeit vorliegt, hauptsächlich für Bürobauten anwendbar ist und nicht für andere Arten von Nichtwohngebäuden wie Laborgebäude. Dies kann zu Einschränkungen bei der Anwendung und Aussagekraft der Simulationsergebnisse führen.

8.2 Diskussion Heizlastbericht

8.2.1 Kritik an eigener Arbeit

Mit dem gewählten Beispielhaus, das den Vorgaben der Norm entspricht, können nicht alle Aspekte der Eingangsdaten überprüft werden. Es bleiben noch einige Fragestellungen offen, wie beispielsweise:

- Die Untersuchung der Korrektheit der Berechnungen, wenn Luftdurchlässe in die Simulation einbezogen werden.
- Die Überprüfung der Ergebnisse für den Fall, dass das Gebäude ein nicht balanciert Lüftungsverhalten aufweist, also beispielsweise Undichtigkeiten hat. Hierfür müsste der Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung der zusätzlichen Druckdifferenz $f_{e,z}$ eingebunden werden.
- Die Analyse der Funktionsweise der Simulation, wenn das Gebäude aus mehreren Zonen besteht, wie es oft bei Nichtwohngebäuden oder Mehrfamilienhäusern der Fall ist.

Diese Aspekte sind noch nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung und könnten Gegenstand zukünftiger wissenschaftlicher Arbeiten sein, um eine umfassendere Bewertung der Simulationsergebnisse zu ermöglichen.

8.2.2 Kritik am Beispielhaus

In der Bearbeitung sind einige Schwierigkeiten bei der Verwendung des Beispielhauses gemäß den Normvorgaben aufgetreten, da bereits in der Beispielrechnung viele Unstimmigkeiten zu finden sind. Hier sind einige Beispiele für diese:

1. In der Berechnung wird der Flur als unbeheizter Raum angegeben, obwohl er, wie in Abbildung 6-7 zu erkennen, mit einer Temperatur von 20°C versehen wurde. Dies widerspricht der tatsächlichen Situation, da die Temperatur im Treppenhaus nur durch eine Heizung aufrechterhalten werden kann.
2. Im zweiten Beispiel wurden im Wohnzimmer und im Flur Wände weggelassen, die an den Flur angrenzen. Dies hat Auswirkungen auf die Hüllflächenberechnung. Es wurde festgestellt, dass diese Wände keinen Einfluss auf die Heizlast haben ($\Phi_T = 0$), was wahrscheinlich der Grund für das Weglassen der Daten war. Eine Erläuterung, warum Bauteile deren Transmissionswärmeverlust gegen Null geht, weggelassen werden können, ist so in der Norm nicht gegeben. Folglich ist der Ansatz ggf. falsch.
3. Es gibt Inkonsistenzen bei den Eingangsdaten für die Erdreichparameter zwischen Beispiel 1 und Beispiel 2. Vor allem im Flur wechseln die Bodendaten zwischen beiden Beispielen drastisch. Teilweise kann dies damit begründet werden, dass zwei unterschiedliche Ansätze zur Berechnung verwendet werden. Im Beispiel 1 wurde nur der Raum selbst als Bodenfläche und -umfang betrachtet, während im Beispiel 2 der gesamte Gebäudeumfang verwendet wurde. Der Ansatz von Beispiel 2 ist in der Norm in Anhang E; Seite 93 erläutert [8]. An sich sind beide Ansätze möglich, sie sollten jedoch für den Raum nicht variieren. Auch im Wohnzimmer und im WC kommt es zu Unterschieden in den Erdreichparametern. Die genaue Ursache ist unklar. Wahrscheinlich handelt es sich um einfache Eingabefehler. In Tabelle 8-1 sind alle Unterschiede in den Erdreichparametern rot unterlegt dargestellt.

	Parameter	z [m]	A_g [m ²]	P [m]	B' [m]
Wohnzimmer	Beispiel 1	0	24,77	11,23	4,41
	Beispiel 2	0	24,77	5,02	4,96
Bad	Beispiel 1	0	6,94	2,64	5,26
	Beispiel 2	0	6,94	2,64	5,26
Flur	Beispiel 1	0	3,43	2,64	2,60
	Beispiel 2	0	135	47	5,74
WC	Beispiel 1	0	2,68	1,21	4,46
	Beispiel 2	0	2,68	1,21	1,39

Tabelle 8-1: Unstimmigkeiten der Erreichparameter zwischen Beispielrechnung 1 und 2 der DIN/TS 12831-1

- Es erscheint unlogisch, dass Küche, Wohnzimmer und Esszimmer als separate Räume betrachtet werden, obwohl es sich um einen gemeinsamen Luftraum handelt. Dies kann sich negativ auf die Heizlast auswirken.

Diese Unstimmigkeiten in den Eingangsdaten des Beispielhauses erschwerten die Arbeit und warfen kritische Fragen zur Validität der Simulation auf.

8.2.3 Kritik an Heizlastnorm

Im Verlauf dieser wissenschaftlichen Arbeit sind Fragen zu einigen Einstellungen und Eingangsdaten aufgetreten, die in der vorliegenden Norm nicht ausreichend geklärt werden. Im Folgenden werden diese Fragestellungen näher erläutert und diskutiert.

Ein erstes Beispiel betrifft die Erreichparameter und insbesondere die Bodenplattentiefe z , deren genaue Definition in bestimmten Situationen nicht eindeutig ist. Es bleibt unklar, wie die Tiefe z zu bestimmen ist, wenn es sich um ein Haus handelt, das an einem Hang gebaut ist oder in eine Felsenwand eingebettet ist. Bei solchen Häusern, die von Erdmaterial umgeben sind, erweist sich die Festlegung der Tiefe z als problematisch (siehe Abbildung 8-1). Dieser Wert hat Einfluss auf die Berechnung des äquivalenten U-Werts und erschwert somit die Berechnung dieses.

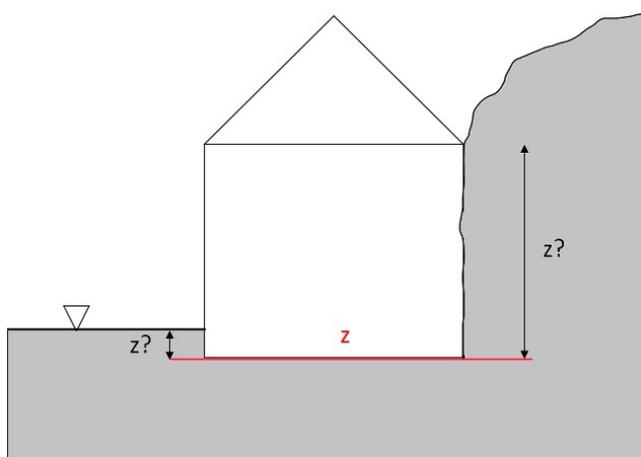


Abbildung 8-1: Darstellung der Problematik der Festlegung von der Bodenplattentiefe z

Ein weiterer Kritikpunkt betrifft einen weiteren Bodenparameter, genauer gesagt die Formel zur Berechnung des Werts U_{equiv} . Es wurde festgestellt, dass diese Formel ab einer bestimmten Tiefe (5 m) nicht mehr anwendbar ist. Insbesondere bei tieferen Kellern kann dieser Ansatz nicht mehr herangezogen werden und es muss gemäß EN ISO 13370 eine alternative Berechnungsmethode verwendet werden. Allerdings gestaltet sich die Implementierung dieses Verfahrens in das vorliegende Programm *SIM-VICUS* als problematisch. Die korrekte Berücksichtigung dieser Bodenparameter ist von entscheidender Bedeutung, um eine genaue Wärmeübertragung durch den Boden zu modellieren. Daher ist es wichtig, dass in zukünftigen Entwicklungen von *SIM-VICUS* eine angemessene Lösung für die Behandlung solcher Fälle gefunden wird.

Ein weiterer Aspekt, welcher sich als fragwürdig erweist, ist die Verwendung der Tabelle B.2 im Anhang der Norm für unbeheizte Räume. In der Regel verfügt man über ausreichende Kenntnisse, um die angemessenen Raumtemperaturen für solche Räume zu bestimmen. Anstatt den Temperaturanpassungsfaktor aus der Tabelle abzulesen, wäre es sinnvoller, diesen anhand der angenommenen Raumtemperatur zu berechnen. Falls jedoch Unklarheiten bestehen, kann alternativ die Tabelle B.14 aus dem Anhang der Norm herangezogen werden. Diese Tabelle liefert detailliertere Anhaltswerte für Rauminnentemperaturen für verschiedene Gebäude- und Raumtypen.

Ein weiteres Problemfeld ergibt sich aus dem Fehlen eines konkreten Beispiels für ein Mehrfamilienhaus und für Nichtwohngebäude in der Norm und den nationalen Ergänzungen. Es ist unklar, wie in diesen Gebäudetypen mit Bauteilen umgegangen wird, welche an andere Nutzungszonen grenzen (siehe Abbildung 8-2). Konkret stellt sich die Frage, ob diese in die Berechnung der Hüllfläche zu integrieren sind, sowie wie diese Bauteile im Programm von den anderen Bauteilen abgegrenzt werden können. Die Norm gibt keine klaren Anweisungen für die Modellierung und Simulation von dieser Situation, was wiederum zu Unsicherheiten und Interpretationsspielräumen führt.

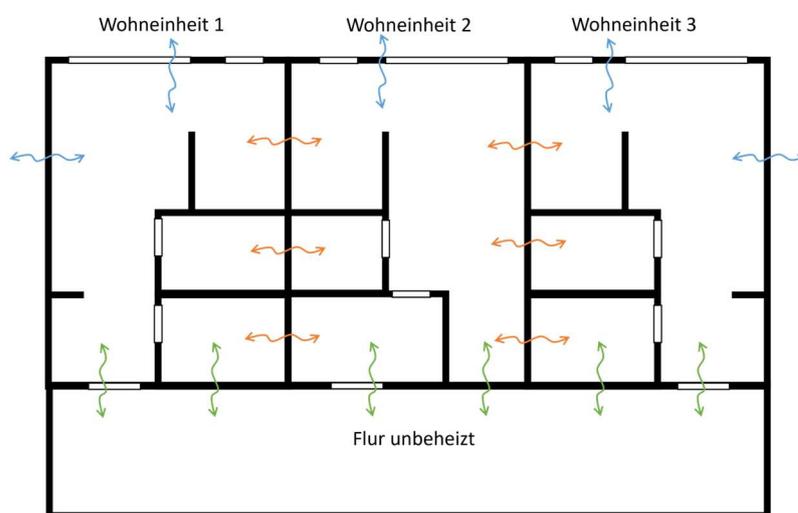


Abbildung 8-2: Transmission in einem Mehrfamilienhaus über die Wände

Des Weiteren wirft die Verwendung der Zeitkonstante zur Anpassung der Auslegungstemperatur Bedenken auf und bedarf einer genaueren Untersuchung. Im vorliegenden Beispielhaus, welches in Wolfsburg gelegen ist, wird auf Grundlage des Standorts eine Auslegungsaußentemperatur von $-11,7\text{ °C}$ festgelegt. Durch die Anwendung der Temperaturanpassung mittels der Zeitkonstante $\Delta\theta_{e,\tau}$ mit einem Wert von $0,8\text{ K}$ wird die Auslegungstemperatur auf $-10,9\text{ °C}$ abgesenkt. Gemäß der DIN/TS 12831-1 soll die Zeitkonstante das thermisch träge Verhalten des Gebäudes widerspiegeln, jedoch wird dieser Wert mithilfe von Konstanten der Aufheizleistung ermittelt. In den nationalen Ergänzungen wird die Verwendung dieser Zeitkonstante als optional angesetzt und erläutert, dass alternative Ansätze zur Anpassung der Auslegungstemperatur in Betracht gezogen werden können. Angesichts des Ziels, die Aufheizleistung durch Simulationen zu berücksichtigen, sollte in diesem Zusammenhang von der Verwendung der Zeitkonstante abgesehen werden.

9. FAZIT UND AUSBLICK

Die vorliegende Arbeit verfolgte das Ziel, automatisierte Berichte für den Sommerlichen Wärmeschutz und der Heizlastberechnung zu erstellen. Die Methodik der Arbeit umfasst die Ermittlung der Eingangsparameter auf Grundlage der dazugehörigen Normen, die Erstellung einer XML-Datei für die Parameter, sowie die Realisierung eines automatisierten PDF-Berichts, der alle relevanten Informationen gemäß der Normen enthält. Die erzeugten Berichte wurden mittels Beispielrechnungen auf ihre Richtigkeit überprüft und sind dem Anhang zu entnehmen.

Für den Sommerlichen Wärmeschutz wurde eine Variantenstudie erstellt, in welcher einzelne Eingangsparameter wie u.a. die Bauteilaufbauten und Luftwechselraten variiert wurden. Es zeigte sich, dass die Berichtsergebnisse mit den händisch ermittelten Daten übereinstimmen.

Bei der Heizlastberechnung wurde eine Überprüfung mittels Beispielrechnungen aus den nationalen Ergänzungen der DIN EN 12831-1 durchgeführt. Am gewählten Beispiel eines Einfamilienhauses wurden in der Berechnung nur kleinere Abweichungen festgestellt. Diese Abweichungen lassen sich auf Fehler in der Normrechnung, sowie Änderungen bei der Berechnung des Transmissionsverlusts für unbeheizte Bauteile, im Vergleich zur normativen Vorgabe, zurückführen. Die Abweichungen der Ergebnisse befinden sich jedoch im akzeptablen Rahmen.

Die Berechnungen für beide Berichtstypen konnten nach der Prüfung als valide angesehen werden. Allerdings ist zu beachten, dass komplexere Gebäudestrukturen noch in der Programmierung getestet und gegebenenfalls Anpassungen durchgeführt werden müssen.

Zum Stand der Erstellung der Arbeit sind einige Parameter nur unzureichend darstellbar. Für den Bericht des Sommerlichen Wärmeschutzes ist die Berücksichtigung von Parametern wie baulicher Verschattung und passiver Kühlung noch ausbaufähig. Des Weiteren wurden der Heizlastbericht für die Bearbeitung von Mehrfamilienhäusern und Nichtwohngebäude aufgrund der fehlenden Beispiele nicht untersucht. Aufgrund dessen konnten mögliche Fehler in der Programmierung für diese Gebäudetypen nicht identifiziert und behoben werden.

Die Erstellung automatisierter Berichte sind von Bedeutung für den Planungsprozess und tragen zur Vereinfachung des Arbeitsprozesses bei. Die zukünftige Anbindung der Berichte an das Programm *SIM-VICUS* ermöglicht eine effiziente Nutzung in Ingenieurbüros des Bauwesens. Durch die Simulation wird u.a. auch eine realistische Abbildung erneuerbarer Energien ermöglicht, welche stark von den Jahreszeiten abhängig sind. Sie tragen somit dazu bei, die Ziele und Vorgaben des Klimaschutzplans der Bundesregierung, sowie des Pariser Abkommens zu erreichen.

Durch die erfolgreiche Programmierung und Ausgabe der automatisierten Berichte zum Sommerlichen Wärmeschutz und der Heizlastberechnung, kann das Ziel der Arbeit folglich als erreicht betrachtet werden.

Insgesamt liefert die vorliegende Arbeit eine solide Grundlage für die automatisierte Berichterstellung. Für die Weiterentwicklung der Berichte, sollte sich auf die Optimierung und Erweiterung der Parameter und energetischer Kennwerte, sowie auf die Berücksichtigung spezifischer Gebäudetypen konzentriert werden.

Zukünftig können auf Grundlage der in dieser Arbeit erarbeiteten Strukturen und Prozesse weitere Berichte in das Programm integriert werden, beispielsweise der Kühllastbericht nach VDI 2078 und der Energiebedarfsbericht. Der Energiebedarfsbericht ermöglicht durch unabhängige Simulationen, die Nutzern Ergebnisse liefern und ihnen den Vergleich mit stationären Normrechnungen ermöglichen. Dies erweitert die Einsatzmöglichkeiten des Programms und fördert eine ganzheitliche energetische Bewertung von Gebäuden.

QUELLENVERZEICHNIS

Literaturquellen

- [1] G. Brown, „The BRIS simulation program for thermal design of buildings and their services“, *Energy Build.*, Bd. 14, Nr. 4, S. 385–400, Jan. 1990, doi: 10.1016/0378-7788(90)90100-W.
- [2] Hirth, Stephan, „Diplomarbeit - Validierung der Heizungsverteilung der Software BIM HVACTool mit dem Gebäudesimulationssolver NANDRAD“.
- [3] Kotte, Luisa, „Projektarbeit- Bewertung von Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes für den Lesesaal des Stadtarchivs in Dresden“. 1. Februar 2022.
- [4] T. Kusuda, „Building environment simulation before desk top computers in the USA through a personal memory“, *Energy Build.*, Bd. 33, Nr. 4, S. 291–302, Apr. 2001, doi: 10.1016/S0378-7788(00)00111-0.
- [5] K. Schild und W. M. Willems, *Wärmeschutz: Grundlagen – Berechnung – Bewertung*, 3. Auflage. in *Detailwissen Bauphysik*. Wiesbaden [Heidelberg]: Springer Vieweg, 2022.
- [6] „Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung“.

Normen

- [7] „DIN 4108-2:2013-02, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden_ - Teil_2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“, Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/1929159.
- [8] „DIN EN 12831-1:2017-09, Energetische Bewertung von Gebäuden_ - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast_ - Teil_1: Raumheizlast, Modul M3-3; Deutsche Fassung EN_12831-1:2017“, Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/2571775.
- [9] „DIN/TS 12831-1:2020-04, Verfahren zur Berechnung der Raumheizlast_ - Teil_1: Nationale Ergänzungen zur DIN_EN_12831-1, mit CD-ROM“, Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/3124717.
- [10] „DIN V 4108-6:2003-06, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden_ - Teil_6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs“, Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/9493310.

Internetquellen

- [11] BauNetz, „Thermische Gebäudesimulation | Gebäudetechnik | Glossar | Baunetz_Wissen“, *Baunetz Wissen*. <https://www.baunetzwissen.de/glossar/t/thermische-gebaeudesimulation-2889235> (zugegriffen 3. April 2023).
- [12] B.-B. für W. und Klimaschutz, „Abkommen von Paris“. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-abkommen-von-paris.html> (zugegriffen 2. März 2023).

- [13] B.-B. für W. und Klimaschutz, „Klimaschutzplan 2050“. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-klimaschutzplan-2050.html> (zugegriffen 2. März 2023).
- [14] tec-science, „Wärmeübertragung durch Strömung (Konvektion)“, *tec-science*, 21. Januar 2020. <https://www.tec-science.com/de/thermodynamik-waermelehre/waerme/waermeuebertragung-durch-stromung-konvektion/> (zugegriffen 9. März 2023).
- [15] „Optimierung von Heizungsanlagen (Rohrnetzberechnung) Teil 1 - SBZ Monteur“, 5. Dezember 2013. <https://www.sbz-monteur.de/gut-zu-wissen/optimierung-von-heizungsanlagen-rohrnetzberechnung-teil-1> (zugegriffen 20. Mai 2023).
- [16] „Passive Kühlung: Definition und Kosten | heizung.de“, 5. Februar 2023. <https://www.heizung.de/waermepumpe/wissen/passive-cooling-mit-der-waermepumpe.html> (zugegriffen 2. März 2023).
- [17] „SIM-VICUS - NEXT LEVEL BUILDING SIMULATION“, 28. März 2023. <https://www.sim-vicus.de/> (zugegriffen 4. April 2023).
- [18] „NANDRAD“. <http://bauklimatik-dresden.de/nandrad/index.php> (zugegriffen 27. April 2023).
- [19] „FAQ | BIM Deutschland“. <https://www.bimdeutschland.de/bim-deutschland/faq> (zugegriffen 3. April 2023).
- [20] „Über BIM Deutschland | BIM Deutschland“. <https://www.bimdeutschland.de/bim-deutschland/aufgaben/ueber-bim-deutschland> (zugegriffen 3. April 2023).
- [21] „Start“, *SimQuality*. <https://simquality.de/> (zugegriffen 27. April 2023).
- [22] „Features - SIM-VICUS“. <https://www.sim-vicus.de/features/> (zugegriffen 19. Januar 2023).
- [23] „Geneigt ist anders - ift Rosenheim“. <https://www.ift-rosenheim.de/geneigt-ist-anders> (zugegriffen 9. März 2023).
- [24] „BMDV - Building Information Modeling“. <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/Building-Information-Modeling/BIM/building-information-modeling.html> (zugegriffen 3. April 2023).

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1: Bericht Sommerlicher Wärmeschutz nach DIN 4108-2

Anlage 2: Bericht Heizlast nach DIN 12831-1 – Beispielrechnung 1

Anlage 3: Bericht Heizlast nach DIN 12831-1 – Beispielrechnung 2

Summer heat protection

Thermal simulation according to DIN 4108-2

Project: Test Cubes
User: AuthorName
Address: AuthorAdresse

General Information

Producer:

Name:	AuthorName
Address:	AuthorAdresse
E-Mail:	AuthorEmail
Phone:	AuthorPhone

Customer:

Name:	CustomerName
Address:	CustomerAdresse
E-Mail:	ConstumerEmail
Phone:	CustomerPhone

Building:

Name:	Test Cubes
Address:	Projekt Adresse
Building age:	2023

Program description

SIM-VICUS is a dynamic simulation model for buildings represented by means of a zone (an airspace with enveloping surface). It considers the interaction between the building and its envelope structure with the environment. Loads such as temperature, solar radiation and user influences are taken into account. The physical model is very detailed and is solved using numerical methods. The solution procedure uses error-driven time integration with dynamic time step adjustment and can thus represent control influences of the system technology (heating/ventilation/cooling) with high time resolution. The building envelope is spatially calculated using the finite volume method. As a result, time-dependent temperature profiles are generated by the constructions. This allows a very accurate consideration of the thermal storage mass, which has a great influence on the damping of the temperature of the zone. This is especially useful for the massive constructions that are common in Central Europe. The calculation method complies with the requirements of DIN 4108-2 for dynamic simulation models for summer thermal insulation.

Object description residential building

Climate:

climate region: B
Reference value of indoor temperature : 26 °C

Building use:

type of building: residential building
time of use: daily, 0.00 - 24.00
Room temperature setpoint for heating: 20°C
inner loads: 100 Wh/m²d
basic air change: Der Grundluftwechsel wird mit $n = 0.5$ 1/h vorgegeben.

Results residential building

The requirements for summer heat protection according to DIN 4108-2 are met. All rooms meet the requirements.

Name	Overkelvin- hours [Kh/a]	Max. temperature [C]	Requirement
Building.Ground floor.Raum_wohnen_massiv(ID=3)	0.0	25.5	valid
Building.Ground floor.Raum_wohnen_leicht(ID=10)	663.4	30.6	valid

Room description

Building.Ground floor.Raum_wohnen_massiv(ID=3)

Room data

Floor area:	25.00 m ²
Mean room height:	3.00 m
Volume:	75.00 m ³

Construction

Outside constructions

ID	Name	A [m ²]	φ [Deg]	β [Deg]	R _i [m ² K/W]	R _o [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
1	Wall 3	10.0	180	90	0.13	0.04	0.31
2	Floor	25.0	0	0	0.17	0.00	0.48
3	Ceiling	25.0	0	0	0.10	0.06	0.22

φ - Orientation of construction (0 - North, 90 - East)
β - inclination of construction (90 - wall, 0 - flat roof)
R_i - contact resistance inside
R_o - contact resistance outside

Inside constructions

ID	Name	A [m ²]	R _i [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
4	Wall 1	15.00	0.40	1.03
5	Wall 2	15.00	0.40	1.03
6	Wall 4	15.00	0.40	1.03

A - entire component area
R_i - contact resistance inside

Windows

ID	Name	Wall-ID	A [m ²]	SHGC	f _R	U-Value [W/m ² K]
1	Window #75	1	2.00	0.60	1.00	1.20
2	Window #76	1	2.00	0.60	1.00	1.20
3	Window #77	1	2.00	0.60	1.00	1.20

A - Window area
SHGC - solar heat gain coefficient
f_R - frame ratio
U-Value - U-Value of window

Shading

Shading System

ID	Name	Window-ID	F _c -Value
1	TestShadingSystem	1	0.80
2	TestShadingSystem	2	0.80
3	TestShadingSystem	3	0.80

Window ID - ID of Window to which the shading is attached
ID -
F_c-Value - shading factor

Shading Control

No shading control available.

constructional shading

No constructional shading available.

Passive Cooling

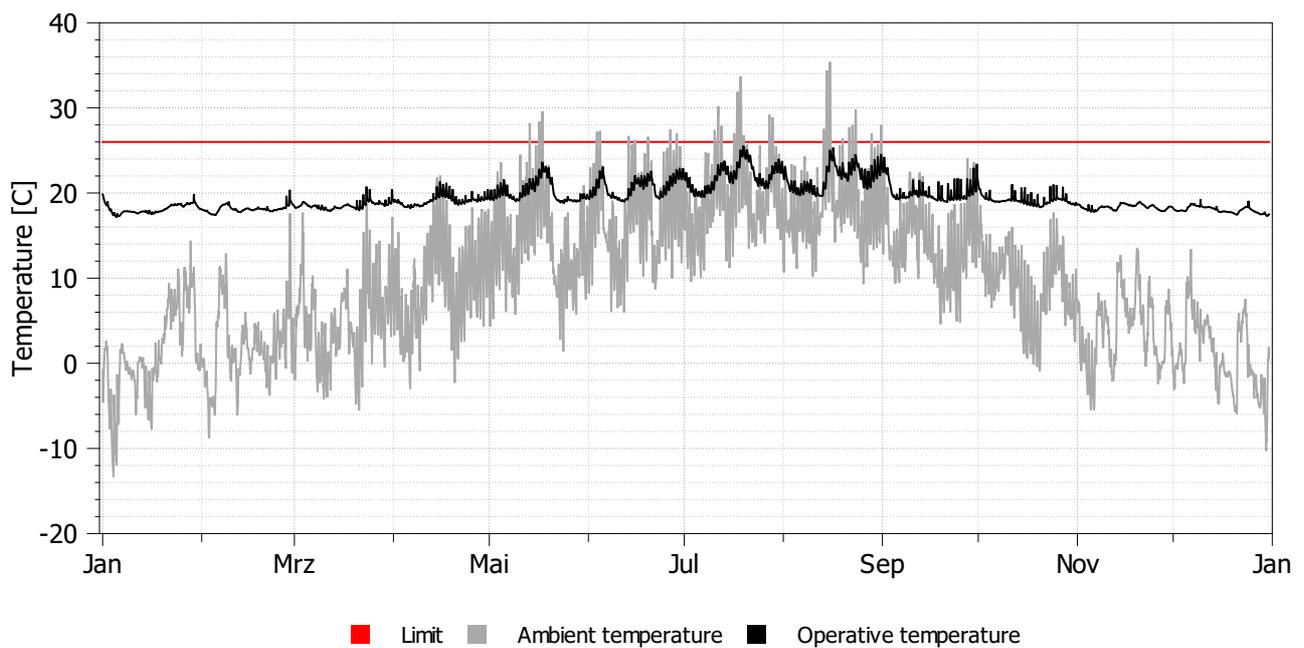
No passive cooling available.

Ventilation

Infiltration: 0.50 h⁻¹

Result according to DIN 4108-2 2013 8.4.1

Temperature Diagram



Overkelvinhours:	0.0 Kh/a
maximum value allowed:	1200 Kh/a
Requirement:	valid!

Room description

Building.Ground floor.Raum_wohnen_leicht(ID=10)

Room data

Floor area:	50.00 m ²
Mean room height:	4.00 m
Volume:	150.00 m ³

Construction

Outside constructions

ID	Name	A [m ²]	φ [Deg]	β [Deg]	R _i [m ² K/W]	R _o [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
1	Wall 3B	10.0	180	90	0.13	0.04	0.23
2	FloorB	25.0	0	0	0.17	0.00	0.48
3	CeilingB	25.0	0	0	0.10	0.06	0.22

φ - Orientation of construction (0 - North, 90 - East)
β - inclination of construction (90 - wall, 0 - flat roof)
R_i - contact resistance inside
R_o - contact resistance outside

Inside constructions

ID	Name	A [m ²]	R _i [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
4	Wall 1B	15.00	0.40	0.20
5	Wall 2B	15.00	0.40	0.20
6	Wall 4B	15.00	0.40	0.20

A - entire component area
R_i - contact resistance inside

Windows

ID	Name	Wall-ID	A [m ²]	SHGC	f _R	U-Value [W/m ² K]
1	Window #78	1	2.00	0.60	1.00	1.20
2	Window #79	1	2.00	0.60	1.00	1.20
3	Window #80	1	2.00	0.60	1.00	1.20

A - Window area
SHGC - solar heat gain coefficient
f_R - frame ratio
U-Value - U-Value of window

Shading

Shading System

ID	Name	Window-ID	F _c -Value
1	TestShadingSystem	1	0.80
2	TestShadingSystem	2	0.80
3	TestShadingSystem	3	0.80

Window ID - ID of Window to which the shading is attached
ID -
F_c-Value - shading factor

Shading Control

No shading control available.

constructional shading

No constructional shading available.

Passive Cooling

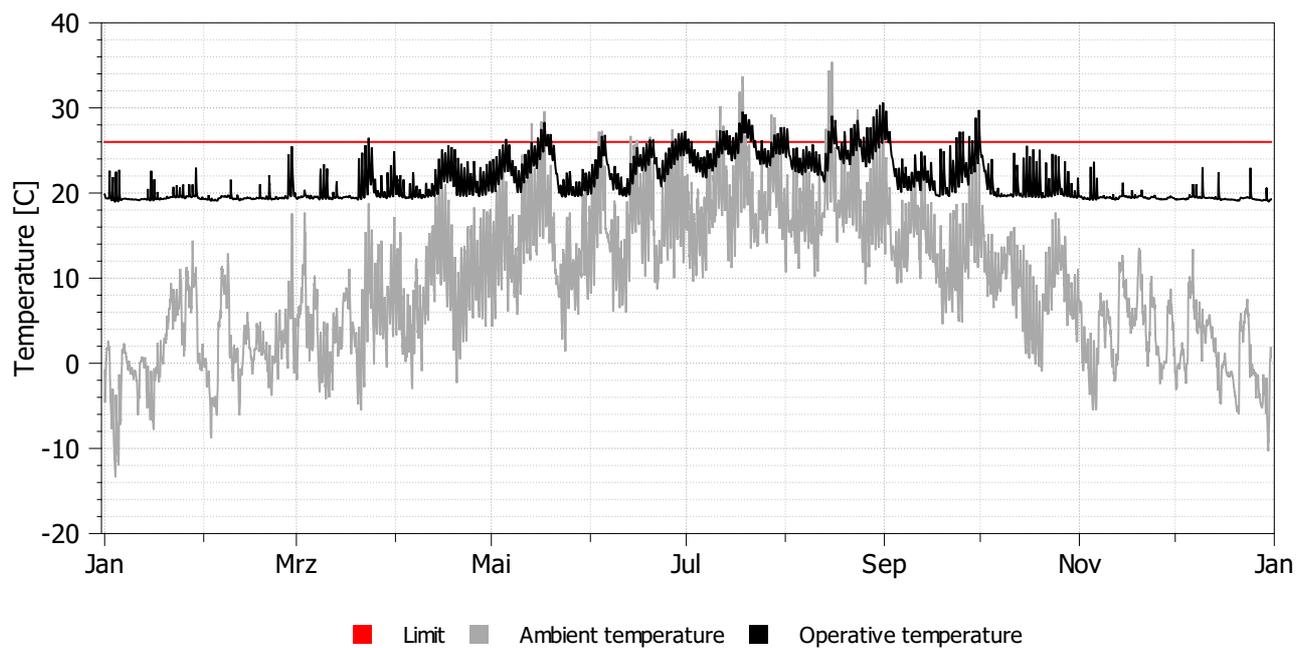
No passive cooling available.

Ventilation

Infiltration: 0.50 h⁻¹

Result according to DIN 4108-2 2013 8.4.1

Temperature Diagram



Overkelvinhours:	663.4 Kh/a
maximum value allowed:	1200 Kh/a
Requirement:	valid!

Object description non residential building

Climate:

climate region: B
Reference value of indoor temperature : 26 °C

Building use:

type of building: nonresidential building
time of use: Mo - Fr from 7.00 - 18.00
Room temperature setpoint for heating: 21°C
inner loads: 144 Wh/m²d
basic air change: Der Grundluftwechsel wird außerhalb der Nutzungszeit mit $n = 0.24$ 1/h vorgegeben. Innerhalb der Nutzungszeit ergibt sich der Grundluftwechsel nach der Formel:
 $n = 4 A_G / V$ in 1/h

Results non residential building

The requirements for summer heat protection according to DIN 4108-2 are not met. Not all rooms meet the requirements.

Name	Overkelvin-hours [Kh/a]	Max. temperature [C]	Requirement
Building.Ground floor.Raum_büro_massiv(ID=23)	7.4	26.7	valid
Building.Ground floor.Raum_büro_leicht(ID=36)	909.8	31.0	not valid
Building.Ground floor.Raum_frei_massiv(ID=49)	6.6	26.7	valid
Building.Ground floor.Raum_frei_leicht(ID=62)	585.7	30.6	not valid

Room description

Building.Ground floor.Raum_büro_massiv(ID=23)

Room data

Floor area:	25.00 m ²
Mean room height:	3.00 m
Volume:	75.00 m ³

Construction

Outside constructions

ID	Name	A [m ²]	φ [Deg]	β [Deg]	R _i [m ² K/W]	R _o [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
1	3.Wall 3	10.0	180	90	0.13	0.04	0.31
2	3.Floor	25.0	0	0	0.17	0.00	0.48
3	3.Ceiling	25.0	0	0	0.10	0.06	0.22

φ - Orientation of construction (0 - North, 90 - East)
β - inclination of construction (90 - wall, 0 - flat roof)
R_i - contact resistance inside
R_o - contact resistance outside

Inside constructions

ID	Name	A [m ²]	R _i [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
4	3.Wall 1	15.00	0.40	1.03
5	3.Wall 2	15.00	0.40	1.03
6	3.Wall 4	15.00	0.40	1.03

A - entire component area
R_i - contact resistance inside

Windows

ID	Name	Wall-ID	A [m ²]	SHGC	f _R	U-Value [W/m ² K]
1	Window #84	1	2.00	0.60	1.00	1.20
2	Window #85	1	2.00	0.60	1.00	1.20
3	Window #86	1	2.00	0.60	1.00	1.20

A - Window area
SHGC - solar heat gain coefficient
f_R - frame ratio
U-Value - U-Value of window

Shading

Shading System

ID	Name	Window-ID	F _c -Value
1	TestShadingSystem	1	0.80
2	TestShadingSystem	2	0.80
3	TestShadingSystem	3	0.80

Window ID - ID of Window to which the shading is attached
ID -
F_c-Value - shading factor

Shading Control

No shading control available.

constructional shading

No constructional shading available.

Passive Cooling

No passive cooling available.

Ventilation

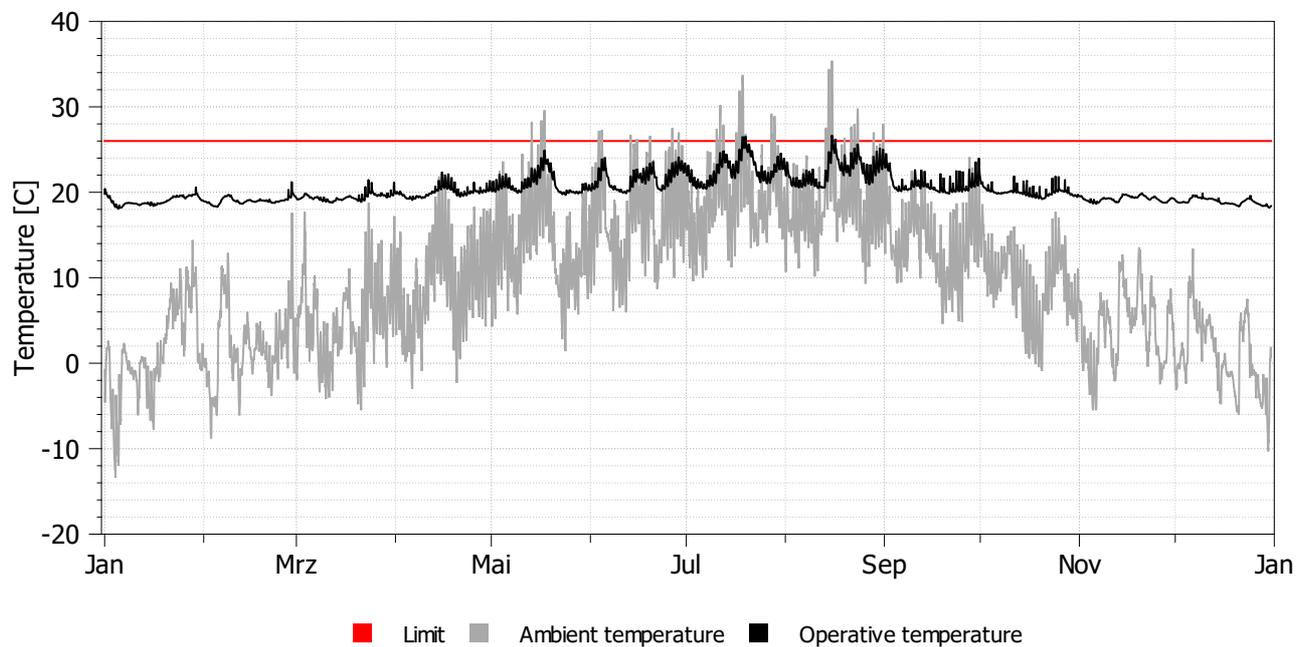
Basic ventilation:

during use time: 0.24 h⁻¹
outside of use time: 1.33 h⁻¹

Enhanced day ventilation: 3.00 h⁻¹

Result according to DIN 4108-2 2013 8.4.1

Temperature Diagram



Overkelvinhours:	7.4 Kh/a
maximum value allowed:	500 Kh/a
Requirement:	valid!

Room description

Building.Ground floor.Raum_büro_leicht(ID=36)

Room data

Floor area:	25.00 m ²
Mean room height:	3.00 m
Volume:	75.00 m ³

Construction

Outside constructions

ID	Name	A [m ²]	φ [Deg]	β [Deg]	R _i [m ² K/W]	R _o [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
1	4.Wall 3	10.0	180	90	0.13	0.04	0.23
2	4.Floor	25.0	0	0	0.17	0.00	0.48
3	4.Ceiling	25.0	0	0	0.10	0.06	0.22

φ - Orientation of construction (0 - North, 90 - East)
β - inclination of construction (90 - wall, 0 - flat roof)
R_i - contact resistance inside
R_o - contact resistance outside

Inside constructions

ID	Name	A [m ²]	R _i [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
4	4.Wall 1	15.00	0.40	0.20
5	4.Wall 2	15.00	0.40	0.20
6	4.Wall 4	15.00	0.40	0.20

A - entire component area
R_i - contact resistance inside

Windows

ID	Name	Wall-ID	A [m ²]	SHGC	f _R	U-Value [W/m ² K]
1	Window #81	1	2.00	0.60	1.00	1.20
2	Window #82	1	2.00	0.60	1.00	1.20
3	Window #83	1	2.00	0.60	1.00	1.20

A - Window area
SHGC - solar heat gain coefficient
f_R - frame ratio
U-Value - U-Value of window

Shading

Shading System

ID	Name	Window-ID	F _c -Value
1	TestShadingSystem	1	0.80
2	TestShadingSystem	2	0.80
3	TestShadingSystem	3	0.80

Window ID - ID of Window to which the shading is attached
ID -
F_c-Value - shading factor

Shading Control

No shading control available.

constructional shading

No constructional shading available.

Passive Cooling

No passive cooling available.

Ventilation

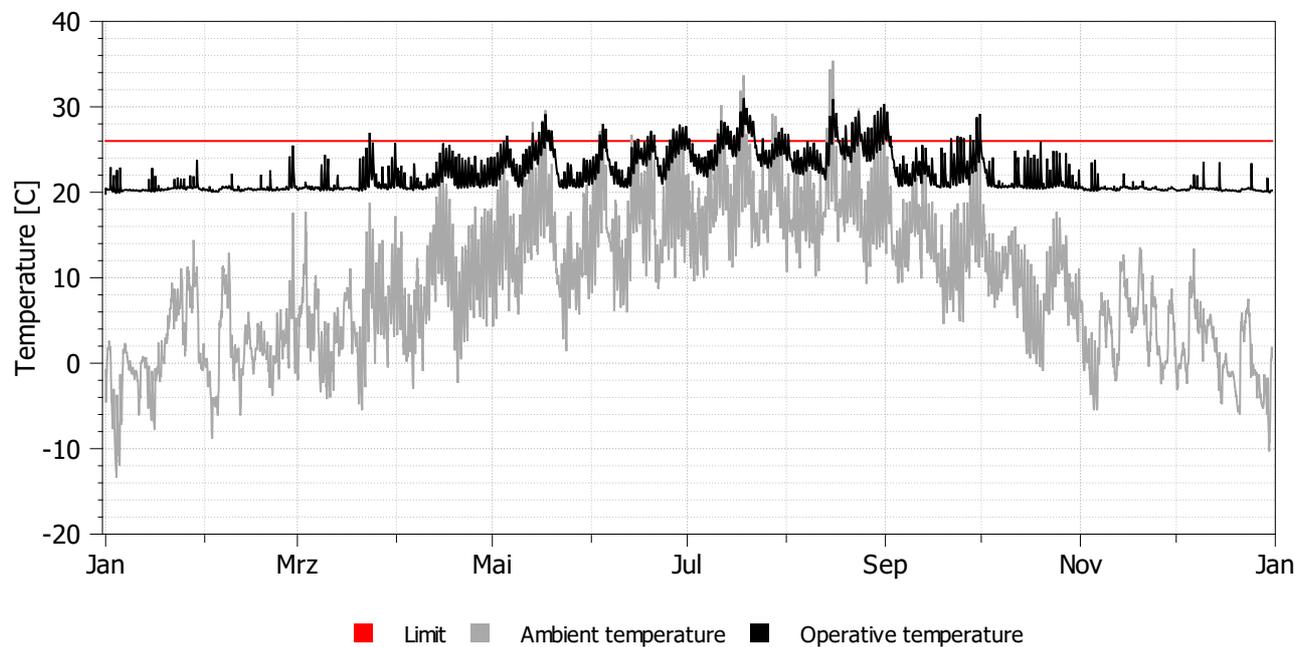
Basic ventilation:

during use time: 0.24 h⁻¹
outside of use time: 1.33 h⁻¹

Enhanced day ventilation: 3.00 h⁻¹

Result according to DIN 4108-2 2013 8.4.1

Temperature Diagram



Overkelvinhours:	909.8 Kh/a
maximum value allowed:	500 Kh/a
Requirement:	not valid!

Room description

Building.Ground floor.Raum_frei_massiv(ID=49)

Room data

Floor area:	25.00 m ²
Mean room height:	3.00 m
Volume:	75.00 m ³

Construction

Outside constructions

ID	Name	A [m ²]	φ [Deg]	β [Deg]	R _i [m ² K/W]	R _o [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
1	Wall 3	10.0	180	90	0.13	0.04	0.31
2	Floor	25.0	0	0	0.17	0.00	0.48
3	Ceiling	25.0	0	0	0.10	0.06	0.22

φ - Orientation of construction (0 - North, 90 - East)
β - inclination of construction (90 - wall, 0 - flat roof)
R_i - contact resistance inside
R_o - contact resistance outside

Inside constructions

ID	Name	A [m ²]	R _i [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
4	Wall 1	15.00	0.40	1.03
5	Wall 2	15.00	0.40	1.03
6	Wall 4	15.00	0.40	1.03

A- entire component area
R_i- contact resistance inside

Windows

ID	Name	Wall-ID	A [m ²]	SHGC	f _R	U-Value [W/m ² K]
1	Window #87	1	2.00	0.60	1.00	1.20
2	Window #88	1	2.00	0.60	1.00	1.20
3	Window #89	1	2.00	0.60	1.00	1.20

A - Window area
SHGC - solar heat gain coefficient
f_R - frame ratio
U-Value - U-Value of window

Shading

Shading System

ID	Name	Window-ID	F _c -Value
1	TestShadingSystem	1	0.80
2	TestShadingSystem	2	0.80
3	TestShadingSystem	3	0.80

Window ID - ID of Window to which the shading is attached
ID -
F_c-Value - shading factor

Shading Control

No shading control available.

constructional shading

No constructional shading available.

Passive Cooling

No passive cooling available.

Ventilation

Basic ventilation:

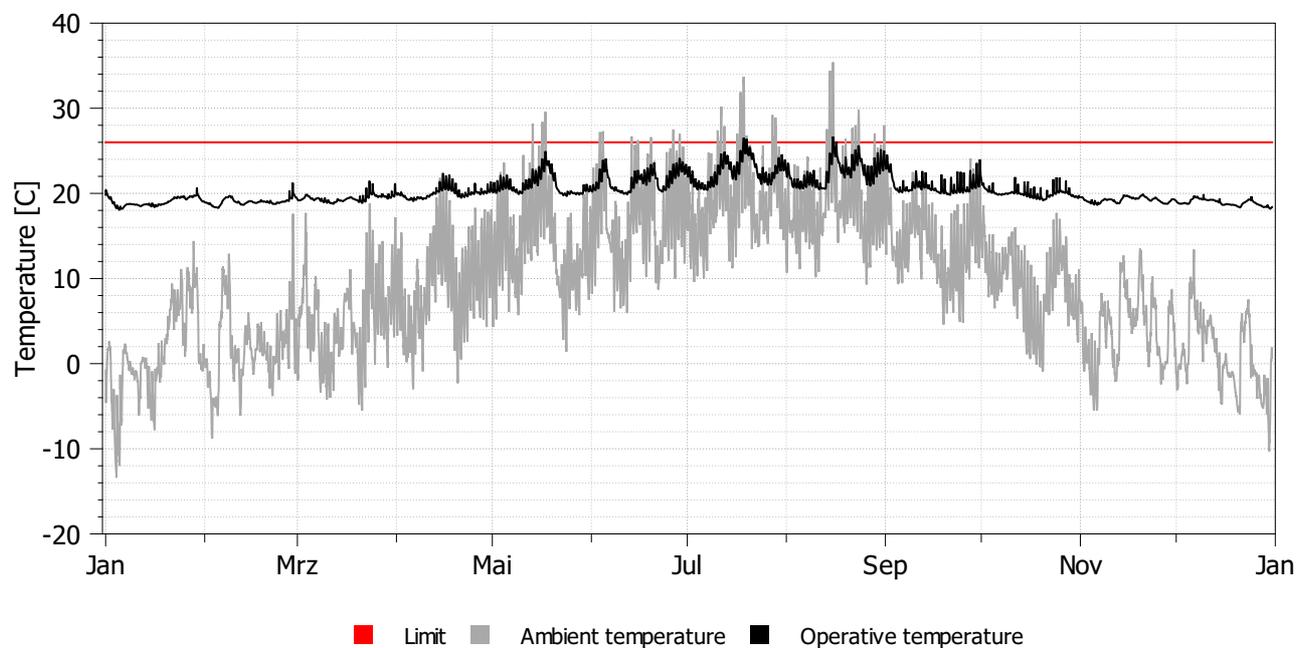
during use time: 0.24 h⁻¹
outside of use time: 1.33 h⁻¹

Enhanced day ventilation: 3.00 h⁻¹

Enhanced night ventilation: 2.00 h⁻¹

Result according to DIN 4108-2 2013 8.4.1

Temperature Diagram



Overkelvinhours:	6.6 Kh/a
maximum value allowed:	500 Kh/a
Requirement:	valid!

Room description

Building.Ground floor.Raum_frei_leicht(ID=62)

Room data

Floor area:	25.00 m ²
Mean room height:	3.00 m
Volume:	75.00 m ³

Construction

Outside constructions

ID	Name	A [m ²]	φ [Deg]	β [Deg]	R _i [m ² K/W]	R _o [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
1	Wall 3	10.0	180	90	0.13	0.04	0.23
2	Floor	25.0	0	0	0.17	0.00	0.48
3	Ceiling	25.0	0	0	0.10	0.06	0.22

φ - Orientation of construction (0 - North, 90 - East)
β - inclination of construction (90 - wall, 0 - flat roof)
R_i - contact resistance inside
R_o - contact resistance outside

Inside constructions

ID	Name	A [m ²]	R _i [m ² K/W]	U-Value [W/m ² K]
4	Wall 1	15.00	0.40	0.20
5	Wall 2	15.00	0.40	0.20
6	Wall 4	15.00	0.40	0.20

A - entire component area
R_i - contact resistance inside

Windows

ID	Name	Wall-ID	A [m ²]	SHGC	f _R	U-Value [W/m ² K]
1	Window #90	1	2.00	0.60	1.00	1.20
2	Window #91	1	2.00	0.60	1.00	1.20
3	Window #92	1	2.00	0.60	1.00	1.20

A - Window area
SHGC - solar heat gain coefficient
f_R - frame ratio
U-Value - U-Value of window

Shading

Shading System

ID	Name	Window-ID	F _c -Value
1	TestShadingSystem	1	0.80
2	TestShadingSystem	2	0.80
3	TestShadingSystem	3	0.80

Window ID - ID of Window to which the shading is attached
ID -
F_c-Value - shading factor

Shading Control

No shading control available.

constructional shading

No constructional shading available.

Passive Cooling

No passive cooling available.

Ventilation

Basic ventilation:

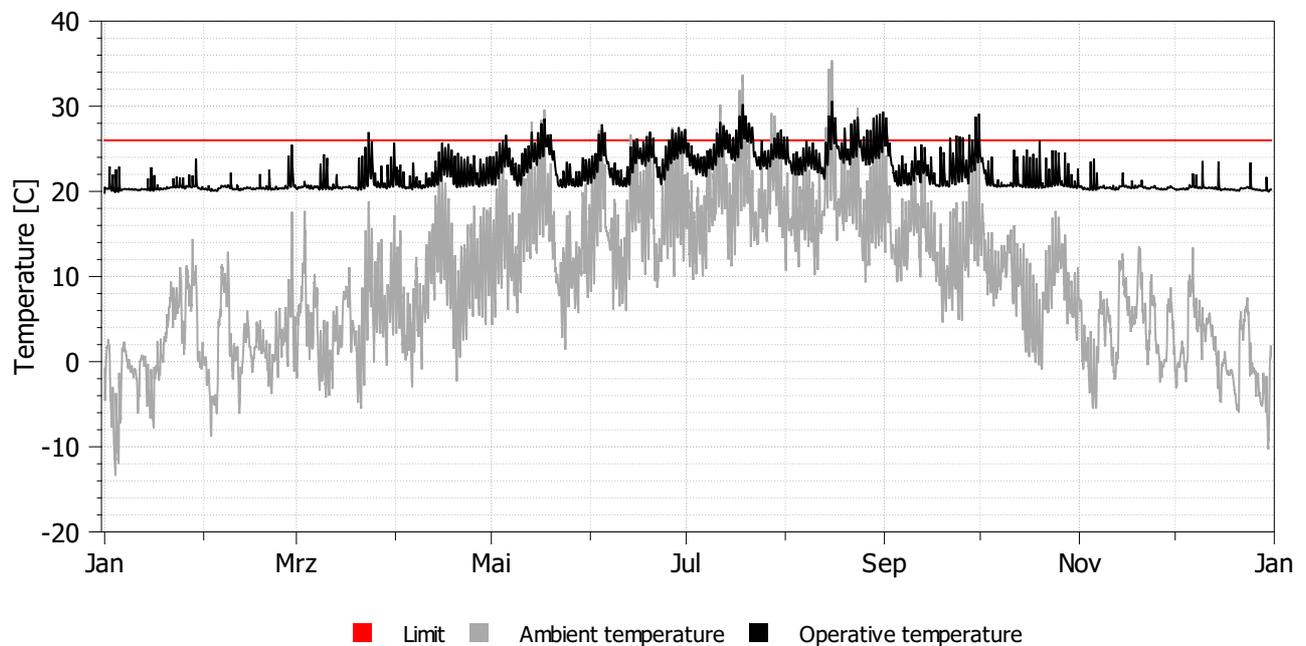
during use time: 0.24 h⁻¹
outside of use time: 1.33 h⁻¹

Enhanced day ventilation: 3.00 h⁻¹

Enhanced night ventilation: 2.00 h⁻¹

Result according to DIN 4108-2 2013 8.4.1

Temperature Diagram



Overkelvinhours:	585.7 Kh/a
maximum value allowed:	500 Kh/a
Requirement:	not valid!

Heizlastberechnung

Standard procedure according to DIN EN 12831-1

Project: Projektname
User: AuthorName
Address: AuthorAdresse

General Information

Producer:

Name:	AuthorName
Address:	AuthorAdresse
E-Mail:	AuthorEmail
Phone:	AuthorPhone

Customer:

Name:	CustomerName
Address:	CustomerAdresse
E-Mail:	ConstumerEmail
Phone:	CustomerPhone

Building:

Name:	Projektname
Address:	Projektadresse
Building age:	1980

Program description

SIM-VICUS is a dynamic simulation model for buildings represented by means of a zone (an airspace with enveloping surface). It considers the interaction between the building and its envelope structure with the environment. Loads such as temperature, solar radiation and user influences are taken into account. The physical model is very detailed and is solved using numerical methods. The solution procedure uses error-driven time integration with dynamic time step adjustment and can thus represent control influences of the system technology (heating/ventilation/cooling) with high time resolution. The building envelope is spatially calculated using the finite volume method. As a result, time-dependent temperature profiles are generated by the constructions. This allows a very accurate consideration of the thermal storage mass, which has a great influence on the damping of the temperature of the zone. This is especially useful for the massive constructions that are common in Central Europe. The calculation method complies with the requirements of DIN 4108-2 for dynamic simulation models for summer thermal insulation.

Arrangement

Floor [-]	Roomname [-]	Insidetemperature [°C]	Air change rate [1/h]	Wiederaufheizzeit [W]
EG	Küche	20.0	0.5	9.8
EG	Essen	20.0	0.0	0.0
EG	Wohnzimmer	20.0	0.5	0.0
EG	Schlafzimmer	20.0	0.5	0.0
EG	Bad EG	24.0	0.5	9.8
EG	Flur	20.0	0.0	0.0
EG	WC EG	20.0	0.5	0.0
EG	Treppenhaus	20.0	0.0	0.0
EG	Windfang	15.0	0.5	0.0
EG	Vorräte	15.0	0.5	0.0
OG	Arbeitszimmer	20.0	0.5	0.0
OG	Kind 1	15.0	0.5	8.1
OG	Kind 2	20.0	0.5	8.1
OG	Bad OG	24.0	0.5	9.8
OG	WC OG	20.0	0.5	0.0
OG	Galerie	20.0	0.5	0.0

.....

date

.....

author

.....

customer

Building Data

Geometry

mean length	l_{build}	13.50 m	enveloped area	$A_{\text{env,build}}$	383.0 m ²
mean width	b_{build}	10.00 m	floor area	A_{build}	135.0 m ²
mean room height	h_{build}	7.52 m	volume	$V_{\text{e,build}}$	761.0 m ³
number of floors	n	2			

Outside temperature

reference site		38448			
norm location temperature	$\Theta_{\text{e,Ref}}$		-10.9	°C	
reference height	h_{Ref}		80.0	m	
site height	h_{build}		96.0	K/m	
annual mean temperature	$\Theta_{\text{e,m}}$		9.6	°C	

Thermal data

specific thermal storage capacity	C_{eff}		41.8	Wh/m ³ K	
thermal storage capacity	C_{eff}		31810	Wh/K	
thermal bridge allowance	ΔU_{TB}		0.05	W/m ² K	

Infiltration

Air tightness test	class		1		
air change rate	n_{50}		1.0	h ⁻¹	
key value air permeability	$q_{\text{env},50}$		2.0	m ³ (m ² h)	
Shielding			good		

Ground data

depth ground floor	z	0.00 m	depth ground water	t_{GW}	3.00 m
extent ground contact	P	47.00m	factor ground water	f_{GW}	1.00 -
char. measure ground floor	B	5.74 m	factor fluctuation	$f_{\theta,\text{ann}}$	1.45 -

Zone data

unit of use:	is building		ventilation zone:		like building	
Height ground to zone bottom edge	h_z	7.5 m	Air tightness test	Test noch auszuführen		
Zone height	Δh_z	3.8 m	Air tightness requirement	0.0		
Mean height of zone to ground	$h_{g,z}$	0 m	Factor of number of facade	$f_{fac,z}$	8.0	-
Volume	V_z	535.5 m ³	Enveloped permeability	$q_{env,50,z}$	2.0	m ³ /(m ² h)
Enveloped area	$A_{env,z}$	432.4 m ²	Volume flow factor	$f_{qv,z}$	0.05	-

air volume flows

Supply volume flow	$q_{v,sup,z}$	0.0 m ³ /h	Design volume flow ALD	$q_{v,ATD,design,z}$	0.0 m ³ /h
Efficiency of heat recovery	$\eta_{rec,z}$	85.0 %	Difference of design of pressure	$\Delta p_{ATD,design,z}$	4.0 Pa
Supply air temperature	$\Theta_{rec,z}$	16.3 °C	Pressure exponent of leakage	$V_{leak,z}$	0.67 -
Exhaust volume flow	$q_{v,exh,z}$	0.0 m ³ /h	Combustion or technical volume flow	$q_{v,comb,z}$	0.0 m ³ /h

Room management

inside temperature	min air change rate	geometry	volumeflows						transfer temperature	heating surcharge				
			$\Theta_{int,i}$ [°C]	$n_{min,i}$ [h ⁻¹]	$A_{env,i}$ [m ²]	V_i [m ³]	$q_{v,sup,i}$ [m ³ /h]	$q_{v,exh,i}$ [m ³ /h]		$q_{v,ATD,i}$ [m ³ /h]	$q_{v,comb,i}$ [m ³ /h]	$q_{v,transfer}$ [m ³ /h]	Θ_{trans} [°C]	t_{sb} [h]
EG 1 Küche														
20.0	0.5	27.6	59.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	2.0	0.1	9.8
EG 2 Essen														
20.0	0.0	32.2	35.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EG 3 Wohnzimmer														
20.0	0.5	32.2	53.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EG 4 Schlafzimmer														
20.0	0.5	32.2	45.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EG 5 Bad EG														
24.0	0.5	7.6	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	2.0	0.1	9.8
EG 6 Flur														
20.0	0.0	7.5	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EG 7 WC EG														
20.0	0.5	3.4	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EG 8 Treppenhaus														
20.0	0.0	32.2	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EG 9 Windfang														
15.0	0.5	32.2	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EG 10 Vorräte														
15.0	0.5	32.2	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OG 11 Arbeitszimmer														
20.0	0.5	32.2	85.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OG 12 Kind 1														
15.0	0.5	32.2	44.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	2.0	0.1	8.1
OG 13 Kind 2														
20.0	0.5	32.2	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	2.0	0.1	8.1
OG 14 Bad OG														
24.0	0.5	32.2	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	2.0	0.1	9.8
OG 15 WC OG														
20.0	0.5	32.2	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OG 16 Galerie														
20.0	0.5	32.2	83.6	0.0	0.0	0.0	0.0	85.5	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Room Heat Load

Level: EG	Room-ID: 3	Room name:	Wohnzimmer
Utilization zone:	is building	Ventilization zone:	like building

inside temperature	$\Theta_{int,Stand}$	20 °C	outside temperature	Θ_{ref}	-10.9 °C
Room geometry			Ventilation		
Length	l_r	4.82 m	Min air change rate	n_{min}	0.50 h ⁻¹
Width	b_r	4.24 m	Min air volume flow	$q_{v,min}$	26.6 m ³ /h
Room height	h_i	2.60 m	Mechanical Ventilation		
Floor height	h_G	2.86 m	Exhaust air volume flow	$q_{v,exh}$	0.0 m ³ /h
Ceiling thickness	d	0.26 m	Supply air volume flow	$q_{v,sup}$	0.0 m ³ /h
Floor area	A_{NGF}	20.44 m ²	Supply air temperatur	Θ_{rec}	0.0 °C
Enveloped area	A_{env}	32.17 m ²	Design air volume flow	$q_{v,ATD,design}$	0.0 m ³ /h
Room volume	V_i	53.14 m ³	Outside air volume flow	$q_{v,open}$	0.0 m ³ /h
Ground data			Combustion air volume flow	$q_{v,combi}$	0.0 m ³ /h
Depth base plate	z	0.00 m	Technical air volume flow	$q_{v,tech}$	0.0 m ³ /h
Area base plate	A_G	24.77 m ²	Over current	$q_{v,transfer}$	0.0 m ³ /h
Extent ground contact	P	11.23 m	Over current temperature	$\Theta_{transfer}$	0.0 °C
Characterized ground plate measure	B'	4.41 m	Infiltration, ALD or minimum-value	$q_{v,env}$	26.6 m ³ /h

Transmission heat loss

	construction	orientation	inclination	brutto area	netto area	neighbouring construction	neighbouring temperature	temperature adjustment	U-value	thermal bridge value	corrected U-value	Transmission heat loss	
ID [-]	[-]	ϕ [°]	β [°]	A_{brutto} [m ²]	A_{netto} [m ²]	[-]	Θ_x [°C]	$f_{i,x}$ [°C]	U [W/m ² K]	ΔU_{WB} [W/m ² K]	U_{corr} [W/m ² K]	Φ_T [W]	
1	AW6	90.0	90.0	15.3	8.1	e	-10.9	1.00	0.33	0.05	0.38	95.1	
2	AW	90	90		7.2	e	-10.9	1.00	0.56	0.05	0.61	135.7	
3	AW7	180.0	90.0	9.6	8.2	e	-10.9	1.00	0.34	0.05	0.39	98.8	
4	AF	180	90		1.4	e	-10.9	1.00	1.40	0.05	1.45	62.7	
5	IW8	180.0	90.0	3.7	0.4	ae	0.1	0.64	0.34	0.05	0.39	3.1	
6	IF	180	90		3.3	ae	0.1	0.64	1.60	0.05	1.65	108.4	
7	IW9	270.0	90.0	3.6	3.6	ae	20.0	0.00	1.33	0.05	1.38	0.0	
8	FB10	0.0	0.0	24.8	24.8	g	9.6	0.34	0.58	0.05	0.37	138.5	
Transmission heat loss											Φ_T	642.3	W

Ventilation heat loss

Outside air volume (Infiltration,ALD or Minimum)	$\Phi_{V,env/min}$	279.1	W
Supply air volume flow	$\Phi_{V,sup,i}$	0.0	W
Overcurrent volume flow	$\Phi_{V,transfer,ij}$	0.0	W
Ventilation heat loss	Φ_V	279.1	W

Heat Load

Standard heat load	$\Phi_{stand,i}$	921.5	W
Zusatz-Aufheizleistung	$\Phi_{hu,i}$	0.0	W
Zuschlag erhöhter Auslegungsinntemperatur	$\Delta\Phi_{i,comf}$	0.0	W
Norm heat load	$\Phi_{HL,i}$	921.5	W

Room Heat Load

Level: EG	Room-ID: 5	Room name: Bad EG
Utilization zone:	is building	Ventilization zone: like building

inside temperature	$\Theta_{int,Stand}$	24 °C	outside temperature	Θ_{ref}	-10.9 °C
Room geometry			Ventilation		
Length	l_r	2.52 m	Min air change rate	n_{min}	0.50 h ⁻¹
Width	b_r	2.16 m	Min air volume flow	$q_{v,min}$	7.1 m ³ /h
Room height	h_i	2.60 m	Mechanical Ventilation		
Floor height	h_G	2.86 m	Exhaust air volume flow	$q_{v,exh}$	0.0 m ³ /h
Ceiling thickness	d	0.26 m	Supply air volume flow	$q_{v,sup}$	0.0 m ³ /h
Floor area	A_{NGF}	5.44 m ²	Supply air temperatur	Θ_{rec}	0.0 °C
Enveloped area	A_{env}	7.60 m ²	Design air volume flow	$q_{v,ATD,design}$	0.0 m ³ /h
Room volume	V_i	14.15 m ³	Outside air volume flow	$q_{v,open}$	0.0 m ³ /h
Ground data			Combustion air volume flow	$q_{v,combi}$	0.0 m ³ /h
Depth base plate	z	0.00 m	Technical air volume flow	$q_{v,tech}$	0.0 m ³ /h
Area base plate	A_G	6.94 m ²	Over current	$q_{v,transfer}$	0.0 m ³ /h
Extent ground contact	P	2.64 m	Over current temperature	$\Theta_{transfer}$	0.0 °C
Characterized ground plate measure	B'	5.26 m	Infiltration, ALD or minimum-value	$q_{v,env}$	7.1 m ³ /h

Transmission heat loss

	construction	orientation	inclination	brutto area	netto area	neighbouring construction	neighbouring temperature	temperature adjustment	U-value	thermal bridge value	corrected U-value	Transmission heat loss	
ID [-]	[-]	ϕ [°]	β [°]	A_{brutto} [m ²]	A_{netto} [m ²]	[-]	Θ_x [°C]	$f_{i,x}$ [°C]	U [W/m ² K]	ΔU_{WB} [W/m ² K]	U_{corr} [W/m ² K]	Φ_T [W]	
1	AW1	0.0	90.0	7.6	6.7	e	-10.9	1.00	0.34	0.05	0.39	91.2	
2	AW	0	90		0.9	e	-10.9	1.00	1.40	0.05	1.45	45.5	
3	IW2	90.0	90.0	7.5	7.5	a	20.0	0.11	1.88	0.00	1.88	56.4	
4	IW3	270.0	90.0	1.1	1.1	a	15.0	0.26	1.88	0.00	1.88	18.6	
5	IW4	270.0	90.0	6.4	6.4	a	20.0	0.11	1.88	0.00	1.88	48.1	
6	IW4	180.0	90.0	7.6	5.8	a	20.0	0.11	1.88	0.00	1.88	43.6	
7	IT	180	90		1.8	a	20.0	0.11	2.00	0.00	2.00	14.4	
8	FB5	0.0	0.0	6.9	6.9	g	9.6	0.41	0.58	0.05	0.35	50.4	
Transmission heat loss											Φ_T	368.3	W

Ventilation heat loss

Outside air volume (Infiltration,ALD or Minimum)	$\Phi_{V,env/min}$	84.0	W
Supply air volume flow	$\Phi_{V,sup,i}$	0.0	W
Overcurrent volume flow	$\Phi_{V,transfer,ij}$	0.0	W
Ventilation heat loss	Φ_V	84.0	W

Heat Load

Standard heat load	$\Phi_{stand,i}$	452.2	W
Zusatz-Aufheizleistung	$\Phi_{hu,i}$	0.0	W
Zuschlag erhöhter Auslegungsinntemperatur	$\Delta\Phi_{i,comf}$	53.3	W
Norm heat load	$\Phi_{HL,i}$	505.6	W

Room Heat Load

Level: EG	Room-ID: 6	Room name: Flur
Utilization zone:	is building	Ventilization zone: like building

inside temperature	$\Theta_{int,Stand}$	20 °C	outside temperature	Θ_{ref}	-10.9 °C
Room geometry			Ventilation		
Length	l_r	2.52 m	Min air change rate	n_{min}	0.00 h ⁻¹
Width	b_r	1.18 m	Min air volume flow	$q_{v,min}$	0.0 m ³ /h
Room height	h_i	2.60 m	Mechanical Ventilation		
Floor height	h_G	2.86 m	Exhaust air volume flow	$q_{v,exh}$	0.0 m ³ /h
Ceiling thickness	d	0.26 m	Supply air volume flow	$q_{v,sup}$	0.0 m ³ /h
Floor area	A_{NGF}	2.97 m ²	Supply air temperatur	Θ_{rec}	0.0 °C
Enveloped area	A_{env}	7.50 m ²	Design air volume flow	$q_{v,ATD,design}$	0.0 m ³ /h
Room volume	V_i	7.73 m ³	Outside air volume flow	$q_{v,open}$	0.0 m ³ /h
Ground data			Combustion air volume flow	$q_{v,combi}$	0.0 m ³ /h
Depth base plate	z	0.00 m	Technical air volume flow	$q_{v,tech}$	0.0 m ³ /h
Area base plate	A_G	3.43 m ²	Over current	$q_{v,transfer}$	0.0 m ³ /h
Extent ground contact	P	2.64 m	Over current temperature	$\Theta_{transfer}$	0.0 °C
Characterized ground plate measure	B'	2.60 m	Infiltration, ALD or minimum-value	$q_{v,env}$	1.5 m ³ /h

Transmission heat loss

	construction	orientation	inclination	brutto area	netto area	neighbouring construction	neighbouring temperature	temperature adjustment	U-value	thermal bridge value	corrected U-value	Transmission heat loss	
ID [-]	[-]	ϕ [°]	β [°]	A_{brutto} [m ²]	A_{netto} [m ²]	[-]	Θ_x [°C]	$f_{i,x}$ [°C]	U [W/m ² K]	ΔU_{WB} [W/m ² K]	U_{corr} [W/m ² K]	Φ_T [W]	
1	IW11	0.0	90.0	7.6	5.8	a	24.0	-0.13	1.88	0.00	1.88	-43.6	
2	IT	0	90		1.8	a	24.0	-0.13	2.00	0.00	2.00	-14.4	
3	IW12	270.0	90.0	3.7	1.9	a	15.0	0.16	1.88	0.00	1.88	17.9	
4	IT	270	90		1.8	a	15.0	0.16	2.00	0.00	2.00	18.0	
5	IW13	180.0	90.0	7.5	5.7	ae	20.0	0.00	1.28	0.05	1.33	0.0	
6	IT	180	90		1.8	ae	20.0	0.00	2.00	0.05	2.05	0.0	
7	FB14	0.0	0.0	3.4	3.4	g	9.6	0.34	0.58	0.05	0.43	21.8	
Transmission heat loss											Φ_T	-0.3	W

Ventilation heat loss

Outside air volume (Infiltration,ALD or Minimum)	$\Phi_{V,env/min}$	15.8	W
Supply air volume flow	$\Phi_{V,sup,i}$	0.0	W
Overcurrent volume flow	$\Phi_{V,transfer,ij}$	0.0	W
Ventilation heat loss	Φ_V	15.8	W

Heat Load

Standard heat load	$\Phi_{stand,i}$	15.4	W
Zusatz-Aufheizleistung	$\Phi_{hu,i}$	0.0	W
Zuschlag erhöhter Auslegungsinntemperatur	$\Delta\Phi_{i,comf}$	0.0	W
Norm heat load	$\Phi_{HL,i}$	15.4	W

Room Heat Load

Level: EG	Room-ID: 7	Room name: WC EG
Utilization zone:	is building	Ventilization zone: like building

inside temperature	$\Theta_{int,Stand}$	20 °C	outside temperature	Θ_{ref}	-10.9 °C
Room geometry			Ventilation		
Length	l_r	1.76 m	Min air change rate	n_{min}	0.50 h ⁻¹
Width	b_r	1.09 m	Min air volume flow	$q_{v,min}$	2.5 m ³ /h
Room height	h_i	2.60 m	Mechanical Ventilation		
Floor height	h_G	2.86 m	Exhaust air volume flow	$q_{v,exh}$	0.0 m ³ /h
Ceiling thickness	d	0.26 m	Supply air volume flow	$q_{v,sup}$	0.0 m ³ /h
Floor area	A_{NGF}	1.92 m ²	Supply air temperatur	Θ_{rec}	0.0 °C
Enveloped area	A_{env}	3.40 m ²	Design air volume flow	$q_{v,ATD,design}$	0.0 m ³ /h
Room volume	V_i	4.99 m ³	Outside air volume flow	$q_{v,open}$	0.0 m ³ /h
Ground data			Combustion air volume flow	$q_{v,combi}$	0.0 m ³ /h
Depth base plate	z	0.00 m	Technical air volume flow	$q_{v,tech}$	20.0 m ³ /h
Area base plate	A_G	2.68 m ²	Over current	$q_{v,transfer}$	20.0 m ³ /h
Extent ground contact	P	1.21 m	Over current temperature	$\Theta_{transfer}$	15.0 °C
Characterized ground plate measure	B'	4.43 m	Infiltration, ALD or minimum-value	$q_{v,env}$	0.7 m ³ /h

Transmission heat loss

	construction	orientation	inclination	brutto area	netto area	neighbouring construction	neighbouring temperature	temperature adjustment	U-value	thermal bridge value	corrected U-value	Transmission heat loss	
ID [-]	[-]	ϕ [°]	β [°]	A_{brutto} [m ²]	A_{netto} [m ²]	[-]	Θ_x [°C]	$f_{i,x}$ [°C]	U [W/m ² K]	ΔU_{WB} [W/m ² K]	U_{corr} [W/m ² K]	Φ_T [W]	
1	AW15	0.0	90.0	3.4	2.5	e	-10.9	1.00	0.34	0.05	0.39	30.1	
2	AF	0	90		0.9	e	-10.9	1.00	1.40	0.05	1.45	40.3	
3	IW16	90.0	90.0	6.4	6.4	a	24.0	-0.13	1.88	0.00	1.88	-48.1	
4	IW17	180.0	90.0	3.5	3.5	a	15.0	0.16	1.88	0.00	1.88	32.9	
5	IW18	270.0	90.0	6.4	4.6	a	15.0	0.16	1.88	0.00	1.88	43.2	
6	IT	270	90		1.8	a	15.0	0.16	2.00	0.00	2.00	18.0	
7	FB19	0.0	0.0	2.7	2.7	g	9.6	0.34	0.58	0.05	0.37	15.1	
Transmission heat loss											Φ_T	131.5	W

Ventilation heat loss

Outside air volume (Infiltration,ALD or Minimum)	$\Phi_{V,env/min}$	7.1	W
Supply air volume flow	$\Phi_{V,sup,i}$	0.0	W
Overcurrent volume flow	$\Phi_{V,transfer,ij}$	34.0	W
Ventilation heat loss	Φ_V	41.1	W

Heat Load

Standard heat load	$\Phi_{stand,i}$	172.7	W
Zusatz-Aufheizleistung	$\Phi_{hu,i}$	0.0	W
Zuschlag erhöhter Auslegungsinntemperatur	$\Delta\Phi_{i,comf}$	0.0	W
Norm heat load	$\Phi_{HL,i}$	172.7	W

Room List

EG							
Θ_{int} [°C]	A_{netto} [m ²]	$\Phi_{T,Stand}$ [W]	$\Phi_{V,Stand}$ [W]	Φ_{Stand} [W]	$\Delta\Theta_{comf}$ [W]	Φ_{hu} [W]	Φ_{HL} [W]
1 Küche							
20	22.85	692.4	311	1003	224	0	1227
2 Essen							
20	15.32	642.1	68	710	0	0	710
3 Wohnzimmer							
20	20.44	642.3	279	921	0	0	921
4 Schlafzimmer							
20	17.59	642.1	240	882	0	0	882
5 Bad EG							
24	5.44	368.3	84	452	53	0	506
6 Flur							
20	2.97	-0.3	16	15	0	0	15
7 WC EG							
20	1.92	131.5	41	173	0	0	173
8 Treppenhaus							
20	4.84	642.1	68	710	0	0	710
9 Windfang							
15	6.84	460.2	79	539	0	0	539
10 Vorräte							
15	4.96	460.2	57	517	0	0	517
Sum	103.17	4681	1243	5924			6201

OG							
Θ_{int} [°C]	A_{netto} [m ²]	$\Phi_{T,Stand}$ [W]	$\Phi_{V,Stand}$ [W]	Φ_{Stand} [W]	$\Delta\Theta_{comf}$ [W]	Φ_{hu} [W]	Φ_{HL} [W]
11 Arbeitszimmer							
20	34.49	666.3	450	1116	0	0	1116
12 Kind 1							
15	20.00	472.8	194	666	162	0	828
13 Kind 2							
20	17.59	666.3	204	871	142	0	1013
14 Bad OG							
24	5.44	821.2	80	901	53	0	954
15 WC OG							
20	2.35	666.3	68	734	0	0	734
16 Galerie							
20	22.26	666.3	68	734	0	0	734
Sum	102.13	3959	1063	5022			5380

Zone air volume flow

unit of use:		is building		ventilation zone:		like building						
air volume flows of zone in m ³ /h												
q _{v,min,i}	q _{v,sup,i}	q _{v,exh,i}	q _{v,ATD,design,i}	q _{v,trans,ij}	q _{v,comb,i}	q _{v,techn,i}	q _{v,open,i}	q _{v,env,i}	q _{v,leak+ATD,i}	q _{v,env/min,i}	q _{v,leak/min,i}	
EG 1 Küche												
29.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	2.8	29.6	14.8	
EG 2 Essen												
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
EG 3 Wohnzimmer												
26.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	3.2	26.6	13.3	
EG 4 Schlafzimmer												
22.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	3.2	22.9	11.4	
EG 5 Bad EG												
7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.8	7.1	3.5	
EG 6 Flur												
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.8	1.5	0.8	
EG 7 WC EG												
2.5	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	20.0	0.0	0.7	0.3	0.7	0.3	
EG 8 Treppenhaus												
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
EG 9 Windfang												
9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	3.2	9.0	4.5	
EG 10 Vorräte												
6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	3.2	6.5	3.2	
OG 11 Arbeitszimmer												
42.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	3.2	42.8	21.4	
OG 12 Kind 1												
22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	3.2	22.0	11.0	
OG 13 Kind 2												
19.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	3.2	19.4	9.7	
OG 14 Bad OG												
6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	3.2	6.7	3.4	
OG 15 WC OG												
2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
OG 16 Galerie												
41.8	0.0	0.0	0.0	85.5	0.0	85.5	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
Sum												
	0.0	0.0		105.5							110.2	

Zone Heat Load

unit of use:		is building											ventilation zone:		like building		
transmission and ventilation heat losses in W																	
$\Phi_{T,e,ae,g}$	Φ_T	$\Phi_{V,env}$	$\Phi_{V,leak} + ATD$	$\Phi_{V,open}$	$\Phi_{V,min}$	$\Phi_{V,tech}$	$\Phi_{V,env} /min$	$\Phi_{V,leak} /min$	$\Phi_{V,sup}$	$\Phi_{V,trans}$	$\Phi_{V,stand}$	Φ_{stand}	$\Delta\Phi_{comf}$	Φ_{hu}	Φ_{HL}		
EG 1 Küche																	
692	692	58	29	0	311	0	311	155	0	0	311	1003	0	224	1227		
EG 2 Essen																	
642	642	68	34	0	0	0	68	34	0	0	68	710	0	0	710		
EG 3 Wohnzimmer																	
642	642	68	34	0	279	0	279	140	0	0	279	921	0	0	921		
EG 4 Schlafzimmer																	
642	642	68	34	0	240	0	240	120	0	0	240	882	0	0	882		
EG 5 Bad EG																	
187	368	18	9	0	84	0	84	42	0	0	84	452	0	53	506		
EG 6 Flur																	
22	-0	16	8	0	0	0	16	8	0	0	16	15	0	0	15		
EG 7 WC EG																	
86	132	7	4	0	26	210	7	4	0	34	41	173	0	0	173		
EG 8 Treppenhaus																	
642	642	68	34	0	0	0	68	34	0	0	68	710	0	0	710		
EG 9 Windfang																	
460	460	57	28	0	79	0	79	40	0	0	79	539	0	0	539		
EG 10 Vorräte																	
460	460	57	28	0	57	0	57	28	0	0	57	517	0	0	517		
OG 11 Arbeitszimmer																	
504	666	68	34	0	450	0	450	225	0	0	450	1116	0	0	1116		
OG 12 Kind 1																	
388	473	57	28	0	194	0	194	97	0	0	194	666	0	162	828		
OG 13 Kind 2																	
504	666	68	34	0	204	0	204	102	0	0	204	871	0	142	1013		
OG 14 Bad OG																	
596	821	76	38	0	80	0	80	40	0	0	80	901	0	53	954		
OG 15 WC OG																	
504	666	68	34	0	31	0	68	34	0	0	68	734	0	0	734		
OG 16 Galerie																	
504	666	68	34	0	439	898	68	34	0	0	68	734	0	0	734		
Sum																	
7476							1136	0	34					635			

Building Heat Load

Geometry

Nettogrundfläche	A_{NGF}	135.0	m^2
Gebäudehüllfläche	$A_{env,build}$	383.0	m^2
Bruttovolumen	$V_{e,build}$	761.0	m^3

Heat Loss coefficient

Transmission	H_T	241.9	W/K
Ventilation	H_V	34.4	W/K
Summe	H	276.3	W/K

Transmission heat loss

fresh air	$\Sigma\Phi_{T,ie}$	5330.0	W
unheated rooms	$\Sigma\Phi_{T,iae}$	1223.2	W
ground	$\Sigma\Phi_{T,ig}$	922.6	W
Summe	$\Sigma\Phi_T$	7475.8	W

Ventilation heat loss

through Leakage, ALT, usage or minimum, supply volume flow	$\Sigma\Phi_{V,leak,min,i}$	1135.7	W
overcurrent from Neighbouring rooms	$\Sigma\Phi_{V,sup,i}$	0.0	W
sum	$\Sigma\Phi_{V,transfer,ij}$	34.0	W
	$\Sigma\Phi_V$	1169.7	W

Building heat load

standard heat load	Φ_{stand}	8645.5	W
additional heating capacity	Φ_{zuschl}	0.0	W
norm heat load	Φ_{HL}	8645.5	W
spec. Values	$\Phi_{HL,m2}$	64.0	W/m^2
	$\Phi_{HL,m3}$	11.4	W/m^3

Legende

Legende zu Transmissionswärmeverlust

Bauteile	ϕ	Orientierung
AW Außenwand	0	Nord
AF Außenfenster	45	Nordost
AT Außentür	90	Ost
IW Innenwand	135	Südost
IF Innenfenster	180	Süd
IT Innentür	225	Südwest
DE Decke	270	West
FB Fussboden	315	Nordwest
DA Dach		

β	Neigung	angr. Raum	angrenzender Raum
90°	vertikale Bauteile	e	grenzt an außen
0°	horizontale Bauteile	a	beheizter Raumr
U	Wärmedurchgangskoeffizient	ae	unbeheizter Raum
ΔU_{WB}	Wärmebrückenzuschlag	aBE	benachbarte Gebäudeeinheit
U_{corr}	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient auch äquivalenter U-Wert mitgemeint	g	Erdreich
		angr. Temp.	angrenzende Temperatur

Heizlastberechnung

Standard procedure according to DIN EN 12831-1

Project: Projektname
User: AuthorName
Address: AuthorAdresse

General Information

Producer:

Name:	AuthorName
Address:	AuthorAdresse
E-Mail:	AuthorEmail
Phone:	AuthorPhone

Customer:

Name:	CustomerName
Address:	CustomerAdresse
E-Mail:	ConstumerEmail
Phone:	CustomerPhone

Building:

Name:	Projektname
Address:	Projektadresse
Building age:	1980

Program description

SIM-VICUS is a dynamic simulation model for buildings represented by means of a zone (an airspace with enveloping surface). It considers the interaction between the building and its envelope structure with the environment. Loads such as temperature, solar radiation and user influences are taken into account. The physical model is very detailed and is solved using numerical methods. The solution procedure uses error-driven time integration with dynamic time step adjustment and can thus represent control influences of the system technology (heating/ventilation/cooling) with high time resolution. The building envelope is spatially calculated using the finite volume method. As a result, time-dependent temperature profiles are generated by the constructions. This allows a very accurate consideration of the thermal storage mass, which has a great influence on the damping of the temperature of the zone. This is especially useful for the massive constructions that are common in Central Europe. The calculation method complies with the requirements of DIN 4108-2 for dynamic simulation models for summer thermal insulation.

Arrangement

Floor [-]	Roomname [-]	Insidetemperature [°C]	Air change rate [1/h]	Wiederaufheizzeit [W]
EG	Küche	20.0	0.5	9.8
EG	Essen	20.0	0.0	0.0
EG	Wohnzimmer	20.0	0.5	0.0
EG	Schlafzimmer	20.0	0.5	0.0
EG	Bad EG	24.0	0.5	9.8
EG	Flur	20.0	0.0	0.0
EG	WC EG	20.0	0.5	0.0
EG	Treppenhaus	20.0	0.0	0.0
EG	Windfang	15.0	0.5	0.0
EG	Vorräte	15.0	0.5	0.0
OG	Arbeitszimmer	20.0	0.5	0.0
OG	Kind 1	15.0	0.5	8.1
OG	Kind 2	20.0	0.5	8.1
OG	Bad OG	24.0	0.5	9.8
OG	WC OG	20.0	0.5	0.0
OG	Galerie	20.0	0.5	0.0

.....

date

.....

author

.....

customer

Building Data

Geometry

mean length	l_{build}	13.50 m	enveloped area	$A_{\text{env,build}}$	383.0 m ²
mean width	b_{build}	10.00 m	floor area	A_{build}	135.0 m ²
mean room height	h_{build}	7.52 m	volume	$V_{\text{e,build}}$	761.0 m ³
number of floors	n	2			

Outside temperature

reference site	38448	Wolfsburg
norm location temperature	$\Theta_{\text{e,Ref}}$	-10.9 °C
reference height	h_{Ref}	80.0 m
site height	h_{build}	96.0 K/m
annual mean temperature	$\Theta_{\text{e,m}}$	9.6 °C

Thermal data

specific thermal storage capacity	C_{eff}	41.8	Wh/m ³ K
thermal storage capacity	C_{eff}	31810	Wh/K
thermal bridge allowance	ΔU_{TB}	0.05	W/m ² K

Infiltration

Air tightness test	class	1	
air change rate	n_{50}	1.0	h ⁻¹
key value air permeability	$q_{\text{env},50}$	2.0	m ³ (m ² h)
Shielding		good	

Ground data

depth ground floor	z	0.00 m	depth ground water	t_{GW}	3.00 m
extent ground contact	P	47.00m	factor ground water	f_{GW}	1.00 -
char. measure ground floor	B	5.74 m	factor fluctuation	$f_{\theta,\text{ann}}$	1.45 -

Zone data

unit of use:	is building		ventilation zone:		like building	
Height ground to zone bottom edge	h_z	7.5 m	Air tightness test	Test noch auszuführen		
Zone height	Δh_z	3.8 m	Air tightness requirement	0.0		
Mean height of zone to ground	$h_{g,z}$	0 m	Factor of number of facade	$f_{fac,z}$	8.0	-
Volume	V_z	535.5 m ³	Enveloped permeability	$q_{env,50,z}$	2.0	m ³ /(m ² h)
Enveloped area	$A_{env,z}$	421.3 m ²	Volume flow factor	$f_{qv,z}$	0.05	-

air volume flows

Supply volume flow	$q_{v,sup,z}$	186.5 m ³ /h	Design volume flow ALD	$q_{v,ATD,design,z}$	0.0	m ³ /h
Efficiency of heat recovery	$\eta_{rec,z}$	85.0 %	Difference of design of pressure	$\Delta p_{ATD,design,z}$	4.0	Pa
Supply air temperature	$\Theta_{rec,z}$	16.3 °C	Pressure exponent of leakage	$V_{leak,z}$	0.67	-
Exhaust volume flow	$q_{v,exh,z}$	186.6 m ³ /h	Combustion or technical volume flow	$q_{v,comb,z}$	0.0	m ³ /h

Room management

inside temperature	min air change rate	geometry	volumeflows						transfer temperature	heating surcharge				
			$\Theta_{int,i}$ [°C]	$n_{min,i}$ [h ⁻¹]	$A_{env,i}$ [m ²]	V_i [m ³]	$q_{v,sup,i}$ [m ³ /h]	$q_{v,exh,i}$ [m ³ /h]		$q_{v,ATD,i}$ [m ³ /h]	$q_{v,comb,i}$ [m ³ /h]	$q_{v,transfer}$ [m ³ /h]	Θ_{trans} [°C]	t_{sb} [h]
EG 1 Küche														
20.0	0.5	27.6	59.2	0.0	40.0	0.0	0.0	69.9	20.0	6.0	2.0	0.1	9.8	
EG 2 Essen														
20.0	0.0	32.2	35.7	23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
EG 3 Wohnzimmer														
20.0	0.5	28.6	53.1	46.6	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
EG 4 Schlafzimmer														
20.0	0.5	32.2	45.7	31.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
EG 5 Bad EG														
24.0	0.5	7.5	14.2	0.0	40.0	0.0	0.0	40.0	20.0	6.0	2.0	0.1	9.8	
EG 6 Flur														
20.0	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	14.4	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
EG 7 WC EG														
20.0	0.5	3.4	5.0	0.0	22.2	0.0	0.0	22.2	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
EG 8 Treppenhaus														
20.0	0.0	32.2	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	23.3	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
EG 9 Windfang														
15.0	0.5	32.2	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
EG 10 Vorräte														
15.0	0.5	32.2	12.9	0.0	22.2	0.0	0.0	22.2	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
OG 11 Arbeitszimmer														
20.0	0.5	32.2	85.6	23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
OG 12 Kind 1														
15.0	0.5	32.2	44.0	31.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	2.0	0.1	8.1	
OG 13 Kind 2														
20.0	0.5	32.2	38.9	31.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	2.0	0.1	8.1	
OG 14 Bad OG														
24.0	0.5	32.2	13.4	0.0	40.0	0.0	0.0	40.0	20.0	6.0	2.0	0.1	9.8	
OG 15 WC OG														
20.0	0.5	32.2	5.8	0.0	22.2	0.0	0.0	22.2	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
OG 16 Galerie														
20.0	0.5	32.2	83.6	0.0	0.0	0.0	0.0	85.5	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Room Heat Load

Level: EG	Room-ID: 3	Room name:	Wohnzimmer
Utilization zone:	is building	Ventilization zone:	like building

inside temperature	$\Theta_{int,Stand}$	20 °C	outside temperature	Θ_{ref}	-10.9 °C
Room geometry			Ventilation		
Length	l_r	4.82 m	Min air change rate	n_{min}	0.50 h ⁻¹
Width	b_r	4.24 m	Min air volume flow	$q_{v,min}$	26.6 m ³ /h
Room height	h_i	2.60 m	Mechanical Ventilation		
Floor height	h_G	2.86 m	Exhaust air volume flow	$q_{v,exh}$	0.0 m ³ /h
Ceiling thickness	d	0.26 m	Supply air volume flow	$q_{v,sup}$	46.6 m ³ /h
Floor area	A_{NGF}	20.44 m ²	Supply air temperatur	Θ_{rec}	16.3 °C
Enveloped area	A_{env}	28.60 m ²	Design air volume flow	$q_{v,ATD,design}$	0.0 m ³ /h
Room volume	V_i	53.14 m ³	Outside air volume flow	$q_{v,open}$	0.0 m ³ /h
Ground data			Combustion air volume flow	$q_{v,combi}$	0.0 m ³ /h
Depth base plate	z	0.00 m	Technical air volume flow	$q_{v,tech}$	46.6 m ³ /h
Area base plate	A_G	24.77 m ²	Over current	$q_{v,transfer}$	0.0 m ³ /h
Extent ground contact	P	11.23 m	Over current temperature	$\Theta_{transfer}$	20.0 °C
Characterized ground plate measure	B'	4.41 m	Infiltration, ALD or minimum-value	$q_{v,env}$	5.7 m ³ /h

Transmission heat loss

	construction	orientation	inclination	brutto area	netto area	neighbouring construction	neighbouring temperature	temperature adjustment	U-value	thermal bridge value	corrected U-value	Transmission heat loss	
ID [-]	[-]	ϕ [°]	β [°]	A_{brutto} [m ²]	A_{netto} [m ²]	[-]	Θ_x [°C]	$f_{i,x}$ [°C]	U [W/m ² K]	ΔU_{WB} [W/m ² K]	U_{corr} [W/m ² K]	Φ_T [W]	
1	AW6	90.0	90.0	15.3	8.1	e	-10.9	1.00	0.33	0.05	0.38	95.1	
2	AW	90	90		7.2	e	-10.9	1.00	0.56	0.05	0.61	135.7	
3	AW7	180.0	90.0	9.6	8.2	e	-10.9	1.00	0.34	0.05	0.39	98.8	
4	AF	180	90		1.4	e	-10.9	1.00	1.40	0.05	1.45	62.7	
5	IW8	180.0	90.0	3.7	0.4	ae	0.1	0.64	0.34	0.05	0.39	3.1	
6	IF	180	90		3.3	ae	0.1	0.64	1.60	0.05	1.65	108.4	
7	FB10	0.0	0.0	24.8	24.8	g	9.6	0.34	0.58	0.05	0.37	138.5	
Transmission heat loss											Φ_T	642.3	W

Ventilation heat loss

Outside air volume (Infiltration,ALD or Minimum)	$\Phi_{V,env/min}$	60.2	W
Supply air volume flow	$\Phi_{V,sup,i}$	58.6	W
Overcurrent volume flow	$\Phi_{V,transfer,ij}$	0.0	W
Ventilation heat loss	Φ_V	118.8	W

Heat Load

Standard heat load	$\Phi_{stand,i}$	761.1	W
Zusatz-Aufheizleistung	$\Phi_{hu,i}$	0.0	W
Zuschlag erhöhter Auslegungsinntemperatur	$\Delta\Phi_{i,comf}$	0.0	W
Norm heat load	$\Phi_{HL,i}$	761.1	W

Room Heat Load

Level: EG	Room-ID: 5	Room name: Bad EG
Utilization zone:	is building	Ventilization zone: like building

inside temperature	$\Theta_{int,Stand}$	24 °C	outside temperature	Θ_{ref}	-10.9 °C
Room geometry			Ventilation		
Length	l_r	2.52 m	Min air change rate	n_{min}	0.50 h ⁻¹
Width	b_r	2.16 m	Min air volume flow	$q_{v,min}$	7.1 m ³ /h
Room height	h_i	2.60 m	Mechanical Ventilation		
Floor height	h_G	2.86 m	Exhaust air volume flow	$q_{v,exh}$	40.0 m ³ /h
Ceiling thickness	d	0.26 m	Supply air volume flow	$q_{v,sup}$	0.0 m ³ /h
Floor area	A_{NGF}	5.44 m ²	Supply air temperatur	Θ_{rec}	0.0 °C
Enveloped area	A_{env}	7.55 m ²	Design air volume flow	$q_{v,ATD,design}$	0.0 m ³ /h
Room volume	V_i	14.15 m ³	Outside air volume flow	$q_{v,open}$	0.0 m ³ /h
Ground data			Combustion air volume flow	$q_{v,combi}$	0.0 m ³ /h
Depth base plate	z	0.00 m	Technical air volume flow	$q_{v,tech}$	40.0 m ³ /h
Area base plate	A_G	6.94 m ²	Over current	$q_{v,transfer}$	40.0 m ³ /h
Extent ground contact	P	2.64 m	Over current temperature	$\Theta_{transfer}$	20.0 °C
Characterized ground plate measure	B'	5.26 m	Infiltration, ALD or minimum-value	$q_{v,env}$	1.5 m ³ /h

Transmission heat loss

	construction	orientation	inclination	brutto area	netto area	neighbouring construction	neighbouring temperature	temperature adjustment	U-value	thermal bridge value	corrected U-value	Transmission heat loss	
ID [-]	[-]	ϕ [°]	β [°]	A_{brutto} [m ²]	A_{netto} [m ²]	[-]	Θ_x [°C]	$f_{i,x}$ [°C]	U [W/m ² K]	ΔU_{WB} [W/m ² K]	U_{corr} [W/m ² K]	Φ_T [W]	
1	AW1	0.0	90.0	7.5	6.6	e	-10.9	1.00	0.34	0.05	0.39	90.5	
2	AW	0	90		0.9	e	-10.9	1.00	1.40	0.05	1.45	45.5	
3	IW2	90.0	90.0	7.5	7.5	a	20.0	0.11	1.88	0.00	1.88	56.4	
4	IW3	270.0	90.0	1.1	1.1	a	15.0	0.26	1.88	0.00	1.88	18.6	
5	IW4	270.0	90.0	6.4	6.4	a	20.0	0.11	1.88	0.00	1.88	48.1	
6	IW4	180.0	90.0	7.6	5.8	a	20.0	0.11	1.88	0.00	1.88	43.6	
7	IT	180	90		1.8	a	20.0	0.11	2.00	0.00	2.00	14.4	
8	FB5	0.0	0.0	6.9	6.9	g	9.6	0.41	0.58	0.05	0.35	50.4	
Transmission heat loss											Φ_T	367.6	W

Ventilation heat loss

Outside air volume (Infiltration,ALD or Minimum)	$\Phi_{V,env/min}$	17.9	W
Supply air volume flow	$\Phi_{V,sup,i}$	0.0	W
Overcurrent volume flow	$\Phi_{V,transfer,ij}$	54.4	W
Ventilation heat loss	Φ_V	72.3	W

Heat Load

Standard heat load	$\Phi_{stand,i}$	439.9	W
Zusatz-Aufheizleistung	$\Phi_{hu,i}$	0.0	W
Zuschlag erhöhter Auslegungsinntemperatur	$\Delta\Phi_{i,comf}$	53.3	W
Norm heat load	$\Phi_{HL,i}$	493.3	W

Room Heat Load

Level: EG	Room-ID: 6	Room name: Flur
Utilization zone:	is building	Ventilization zone: like building

inside temperature	$\Theta_{int,Stand}$	20 °C	outside temperature	Θ_{ref}	-10.9 °C
Room geometry			Ventilation		
Length	l_r	2.52 m	Min air change rate	n_{min}	0.00 h ⁻¹
Width	b_r	1.18 m	Min air volume flow	$q_{v,min}$	0.0 m ³ /h
Room height	h_i	2.60 m	Mechanical Ventilation		
Floor height	h_G	2.86 m	Exhaust air volume flow	$q_{v,exh}$	0.0 m ³ /h
Ceiling thickness	d	0.26 m	Supply air volume flow	$q_{v,sup}$	0.0 m ³ /h
Floor area	A_{NGF}	2.97 m ²	Supply air temperatur	Θ_{rec}	0.0 °C
Enveloped area	A_{env}	0.00 m ²	Design air volume flow	$q_{v,ATD,design}$	0.0 m ³ /h
Room volume	V_i	7.73 m ³	Outside air volume flow	$q_{v,open}$	0.0 m ³ /h
Ground data			Combustion air volume flow	$q_{v,combi}$	0.0 m ³ /h
Depth base plate	z	0.00 m	Technical air volume flow	$q_{v,tech}$	14.4 m ³ /h
Area base plate	A_G	135.00 m ²	Over current	$q_{v,transfer}$	14.4 m ³ /h
Extent ground contact	P	47.00 m	Over current temperature	$\Theta_{transfer}$	20.0 °C
Characterized ground plate measure	B'	5.74 m	Infiltration, ALD or minimum-value	$q_{v,env}$	0.0 m ³ /h

Transmission heat loss

	construction	orientation	inclination	brutto area	netto area	neighbouring construction	neighbouring temperature	temperature adjustment	U-value	thermal bridge value	corrected U-value	Transmission heat loss	
ID [-]	[-]	ϕ [°]	β [°]	A_{brutto} [m ²]	A_{netto} [m ²]	[-]	Θ_x [°C]	$f_{i,x}$ [°C]	U [W/m ² K]	ΔU_{WB} [W/m ² K]	U_{corr} [W/m ² K]	Φ_T [W]	
1	IW11	0.0	90.0	7.6	5.8	a	24.0	-0.13	1.88	0.00	1.88	-43.6	
2	IT	0	90		1.8	a	24.0	-0.13	2.00	0.00	2.00	-14.4	
3	IW12	270.0	90.0	3.7	1.9	a	15.0	0.16	1.88	0.00	1.88	17.9	
4	IT	270	90		1.8	a	15.0	0.16	2.00	0.00	2.00	18.0	
5	FB14	0.0	0.0	3.4	3.4	g	9.6	0.34	0.58	0.05	0.34	17.5	
Transmission heat loss											Φ_T	-4.6	W

Ventilation heat loss

Outside air volume (Infiltration,ALD or Minimum)	$\Phi_{v,env/min}$	0.0	W
Supply air volume flow	$\Phi_{v,sup,i}$	0.0	W
Overcurrent volume flow	$\Phi_{v,transfer,ij}$	0.0	W
Ventilation heat loss	Φ_v	0.0	W

Heat Load

Standard heat load	$\Phi_{stand,i}$	-4.6	W
Zusatz-Aufheizleistung	$\Phi_{hu,i}$	0.0	W
Zuschlag erhöhter Auslegungsinntemperatur	$\Delta\Phi_{i,comf}$	0.0	W
Norm heat load	$\Phi_{HL,i}$	-4.6	W

Room Heat Load

Level: EG	Room-ID: 7	Room name: WC EG
Utilization zone:	is building	Ventilization zone: like building

inside temperature	$\Theta_{int,Stand}$	20 °C	outside temperature	Θ_{ref}	-10.9 °C
Room geometry			Ventilation		
Length	l_r	1.76 m	Min air change rate	n_{min}	0.50 h ⁻¹
Width	b_r	1.09 m	Min air volume flow	$q_{v,min}$	2.5 m ³ /h
Room height	h_i	2.60 m	Mechanical Ventilation		
Floor height	h_G	2.86 m	Exhaust air volume flow	$q_{v,exh}$	22.2 m ³ /h
Ceiling thickness	d	0.26 m	Supply air volume flow	$q_{v,sup}$	0.0 m ³ /h
Floor area	A_{NGF}	1.92 m ²	Supply air temperatur	Θ_{rec}	0.0 °C
Enveloped area	A_{env}	3.40 m ²	Design air volume flow	$q_{v,ATD,design}$	0.0 m ³ /h
Room volume	V_i	4.99 m ³	Outside air volume flow	$q_{v,open}$	0.0 m ³ /h
Ground data			Combustion air volume flow	$q_{v,combi}$	0.0 m ³ /h
Depth base plate	z	0.00 m	Technical air volume flow	$q_{v,tech}$	22.2 m ³ /h
Area base plate	A_G	2.68 m ²	Over current	$q_{v,transfer}$	22.2 m ³ /h
Extent ground contact	P	1.21 m	Over current temperature	$\Theta_{transfer}$	15.0 °C
Characterized ground plate measure	B'	4.43 m	Infiltration, ALD or minimum-value	$q_{v,env}$	0.7 m ³ /h

Transmission heat loss

	construction	orientation	inclination	brutto area	netto area	neighbouring construction	neighbouring temperature	temperature adjustment	U-value	thermal bridge value	corrected U-value	Transmission heat loss	
ID [-]	[-]	ϕ [°]	β [°]	A_{brutto} [m ²]	A_{netto} [m ²]	[-]	Θ_x [°C]	$f_{i,x}$ [°C]	U [W/m ² K]	ΔU_{WB} [W/m ² K]	U_{corr} [W/m ² K]	Φ_T [W]	
1	AW15	0.0	90.0	3.4	2.5	e	-10.9	1.00	0.34	0.05	0.39	30.1	
2	AF	0	90		0.9	e	-10.9	1.00	1.40	0.05	1.45	40.3	
3	IW16	90.0	90.0	6.4	6.4	a	24.0	-0.13	1.88	0.00	1.88	-48.1	
4	IW17	180.0	90.0	3.5	3.5	a	15.0	0.16	1.88	0.00	1.88	32.9	
5	IW18	270.0	90.0	6.4	4.6	a	15.0	0.16	1.88	0.00	1.88	43.2	
6	IT	270	90		1.8	a	15.0	0.16	2.00	0.00	2.00	18.0	
7	FB19	0.0	0.0	2.7	2.7	g	9.6	0.34	0.58	0.05	0.37	15.1	
Transmission heat loss											Φ_T	131.5	W

Ventilation heat loss

Outside air volume (Infiltration,ALD or Minimum)	$\Phi_{V,env/min}$	7.2	W
Supply air volume flow	$\Phi_{V,sup,i}$	0.0	W
Overcurrent volume flow	$\Phi_{V,transfer,ij}$	37.7	W
Ventilation heat loss	Φ_v	44.9	W

Heat Load

Standard heat load	$\Phi_{stand,i}$	176.4	W
Zusatz-Aufheizleistung	$\Phi_{hu,i}$	0.0	W
Zuschlag erhöhter Auslegungsinntemperatur	$\Delta\Phi_{i,comf}$	0.0	W
Norm heat load	$\Phi_{HL,i}$	176.4	W

Room List

EG							
Θ_{int} [°C]	A_{netto} [m ²]	$\Phi_{T,Stand}$ [W]	$\Phi_{V,Stand}$ [W]	Φ_{Stand} [W]	$\Delta\Theta_{comf}$ [W]	Φ_{hu} [W]	Φ_{HL} [W]
1 Küche							
20	22.85	692.4	58	750	224	0	974
2 Essen							
20	15.32	642.1	97	739	0	0	739
3 Wohnzimmer							
20	20.44	642.3	119	761	0	0	761
4 Schlafzimmer							
20	17.59	642.1	107	749	0	0	749
5 Bad EG							
24	5.44	367.6	72	440	53	0	493
6 Flur							
20	2.97	-4.6	0	-5	0	0	-5
7 WC EG							
20	1.92	131.5	45	176	0	0	176
8 Treppenhaus							
20	4.84	642.1	68	710	0	0	710
9 Windfang							
15	6.84	460.2	79	539	0	0	539
10 Vorräte							
15	4.96	460.2	19	479	0	0	479
Sum	103.17	4676	664	5340			5617

OG							
Θ_{int} [°C]	A_{netto} [m ²]	$\Phi_{T,Stand}$ [W]	$\Phi_{V,Stand}$ [W]	Φ_{Stand} [W]	$\Delta\Theta_{comf}$ [W]	Φ_{hu} [W]	Φ_{HL} [W]
11 Arbeitszimmer							
20	34.49	666.3	234	900	0	0	900
12 Kind 1							
15	20.00	472.8	43	516	162	0	678
13 Kind 2							
20	17.59	666.3	107	773	142	0	916
14 Bad OG							
24	5.44	821.2	131	952	53	0	1005
15 WC OG							
20	2.35	666.3	68	734	0	0	734
16 Galerie							
20	22.26	666.3	68	734	0	0	734
Sum	102.13	3959	650	4610			4967

Zone air volume flow

unit of use:		is building		ventilation zone:		like building						
air volume flows of zone in m ³ /h												
q _{v,min,i}	q _{v,sup,i}	q _{v,exh,i}	q _{v,ATD,design,i}	q _{v,trans,ij}	q _{v,comb,i}	q _{v,techn,i}	q _{v,open,i}	q _{v,env,i}	q _{v,leak+ATD,i}	q _{v,env/min,i}	q _{v,leak/min,i}	
EG 1 Küche												
29.6	0.0	40.0	0.0	69.9	0.0	69.9	0.0	5.5	2.8	5.5	2.8	
EG 2 Essen												
0.0	23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	23.3	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
EG 3 Wohnzimmer												
26.6	46.6	0.0	0.0	0.0	0.0	46.6	0.0	5.7	2.9	5.7	2.9	
EG 4 Schlafzimmer												
22.9	31.1	0.0	0.0	0.0	0.0	31.1	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
EG 5 Bad EG												
7.1	0.0	40.0	0.0	40.0	0.0	40.0	0.0	1.5	0.8	1.5	0.8	
EG 6 Flur												
0.0	0.0	0.0	0.0	14.4	0.0	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
EG 7 WC EG												
2.5	0.0	22.2	0.0	22.2	0.0	22.2	0.0	0.7	0.3	0.7	0.3	
EG 8 Treppenhaus												
0.0	0.0	0.0	0.0	23.3	0.0	23.3	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
EG 9 Windfang												
9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	3.2	9.0	4.5	
EG 10 Vorräte												
6.5	0.0	22.2	0.0	22.2	0.0	22.2	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
OG 11 Arbeitszimmer												
42.8	23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	23.3	0.0	6.4	3.2	19.5	3.2	
OG 12 Kind 1												
22.0	31.1	0.0	0.0	0.0	0.0	31.1	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
OG 13 Kind 2												
19.4	31.1	0.0	0.0	0.0	0.0	31.1	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
OG 14 Bad OG												
6.7	0.0	40.0	0.0	40.0	0.0	40.0	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
OG 15 WC OG												
2.9	0.0	22.2	0.0	22.2	0.0	22.2	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
OG 16 Galerie												
41.8	0.0	0.0	0.0	85.5	0.0	85.5	0.0	6.4	3.2	6.4	3.2	
Sum												
	186.5	186.6		339.7							43.5	

Zone Heat Load

unit of use:		is building											ventilation zone:		like building		
transmission and ventilation heat losses in W																	
$\Phi_{T,e,ae,g}$	Φ_T	$\Phi_{V,env}$	$\Phi_{V,leak} + ATD$	$\Phi_{V,open}$	$\Phi_{V,min}$	$\Phi_{V,tech}$	$\Phi_{V,env} /min$	$\Phi_{V,leak} /min$	$\Phi_{V,sup}$	$\Phi_{V,trans}$	$\Phi_{V,stand}$	Φ_{stand}	$\Delta\Phi_{comf}$	Φ_{hu}	Φ_{HL}		
EG 1 Küche																	
692	692	58	29	0	311	734	58	29	0	0	58	750	0	224	974		
EG 2 Essen																	
642	642	68	34	0	0	245	68	34	29	0	97	739	0	0	739		
EG 3 Wohnzimmer																	
642	642	60	30	0	279	490	60	30	59	0	119	761	0	0	761		
EG 4 Schlafzimmer																	
642	642	68	34	0	240	327	68	34	39	0	107	749	0	0	749		
EG 5 Bad EG																	
186	368	18	9	0	84	475	18	9	0	54	72	440	0	53	493		
EG 6 Flur																	
18	-5	0	0	0	0	151	0	0	0	0	0	-5	0	0	-5		
EG 7 WC EG																	
86	132	7	4	0	26	233	7	4	0	38	45	176	0	0	176		
EG 8 Treppenhaus																	
642	642	68	34	0	0	245	68	34	0	0	68	710	0	0	710		
EG 9 Windfang																	
460	460	57	28	0	79	0	79	40	0	0	79	539	0	0	539		
EG 10 Vorräte																	
460	460	57	28	0	57	195	57	28	0	-38	19	479	0	0	479		
OG 11 Arbeitszimmer																	
504	666	68	34	0	450	245	205	34	29	0	234	900	0	0	900		
OG 12 Kind 1																	
388	473	57	28	0	194	274	57	28	-14	0	43	516	0	162	678		
OG 13 Kind 2																	
504	666	68	34	0	204	327	68	34	39	0	107	773	0	142	916		
OG 14 Bad OG																	
596	821	77	38	0	80	475	77	38	0	54	131	952	0	53	1005		
OG 15 WC OG																	
504	666	68	34	0	31	233	68	34	0	0	68	734	0	0	734		
OG 16 Galerie																	
504	666	68	34	0	439	898	68	34	0	0	68	734	0	0	734		
Sum																	
7471							444	182	109					635			

Building Heat Load

Geometry

Nettogrundfläche	A_{NGF}	135.0	m^2
Gebäudehüllfläche	$A_{env,build}$	383.0	m^2
Bruttovolumen	$V_{e,build}$	761.0	m^3

Heat Loss coefficient

Transmission	H_T	241.8	W/K
Ventilation	H_V	21.6	W/K
Summe	H	263.4	W/K

Transmission heat loss

fresh air	$\Sigma\Phi_{T,ie}$	5329.3	W
unheated rooms	$\Sigma\Phi_{T,iae}$	1223.2	W
ground	$\Sigma\Phi_{T,ig}$	918.3	W
Summe	$\Sigma\Phi_T$	7470.9	W

Ventilation heat loss

through Leakage, ALT, usage or minimum, supply volume flow	$\Sigma\Phi_{V,leak,min,i}$	443.9	W
supply volume flow	$\Sigma\Phi_{V,sup,i}$	181.7	W
overcurrent from Neighbouring rooms	$\Sigma\Phi_{V,transfer,ij}$	108.8	W
sum	$\Sigma\Phi_V$	734.4	W

Building heat load

standard heat load	Φ_{stand}	8205.3	W
additional heating capacity	Φ_{zuschl}	0.0	W
norm heat load	Φ_{HL}	8205.3	W
spec. Values	$\Phi_{HL,m2}$	60.8	W/m ²
	$\Phi_{HL,m3}$	10.8	W/m ³

Legende

Legende zu Transmissionswärmeverlust

Bauteile	ϕ	Orientierung
AW Außenwand	0	Nord
AF Außenfenster	45	Nordost
AT Außentür	90	Ost
IW Innenwand	135	Südost
IF Innenfenster	180	Süd
IT Innentür	225	Südwest
DE Decke	270	West
FB Fussboden	315	Nordwest
DA Dach		

β	Neigung	angr. Raum	angrenzender Raum
90°	vertikale Bauteile	e	grenzt an außen
0°	horizontale Bauteile	a	beheizter Raumr
U	Wärmedurchgangskoeffizient	ae	unbeheizter Raum
ΔU_{WB}	Wärmebrückenzuschlag	aBE	benachbarte Gebäudeeinheit
U_{corr}	korrigierter Wärmedurchgangskoeffizient auch äquivalenter U-Wert mitgemeint	g	Erdreich
		angr. Temp.	angrenzende Temperatur