alware
beyond simulation

Ingenieurbüro für Bauphysik und Gebäudesimulation

alware GmbH · Rebenring 37 · D-38106 Braunschweig
Tel +49 531 250 72 80 · Fax +49 531 250 72 81 · info@alware.de · www.alware.de

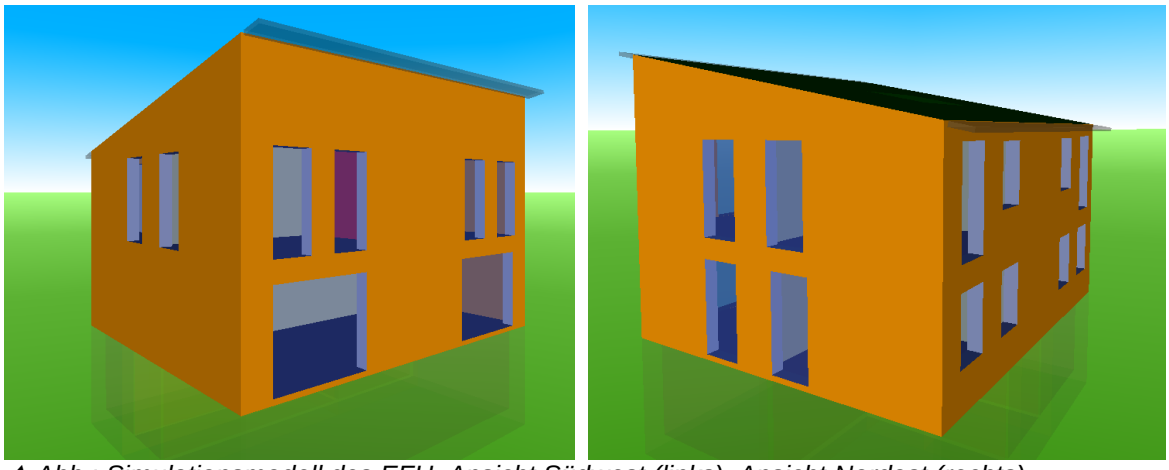
Projekt:

Einfamilien-Typenhaus
nach EnEV-2016-Standard
in verschiedenen Bauweisen

Bericht:

Beratung
zur Verbesserung des thermischen Komforts
und zur Energieeinsparung

Untersuchung des Typenhauses in 5 verschiedenen Bauweisen



◢ *Abb.: Simulationsmodell des EFH, Ansicht Südwest (links), Ansicht Nordost (rechts)*

alware GmbH
Ingenieurbüro für Bauphysik und Gebäudesimulation
Rebenring 37
D-38106 Braunschweig

Tel.: +49 . 531 . 250 72 - 80
Fax: +49 . 531 . 250 72 - 81
E-Mail: info@alware.de
Internet: www.alware.de

alware GmbH · Rebenring 37 · D-38106 Braunschweig
Tel +49 531 250 72 80 · Fax +49 531 250 72 81 · info@alware.de · www.alware.de

Inhalt

1 Projektbeteiligte 4

1.1 Auftraggeber und Bauherr 4

1.2 Kooperation 4

1.3 Auftragnehmer 4

2 Aufgabenstellung und Vorgehensweise 5

2.1 Aufgabe 5

2.2 Vorgehen 5

3 Zusammenfassung und Empfehlungen 6

3.1 Ergebnisbeschreibung (Fazit) 6
3.1.1 Thermischer Komfort 6
3.1.2 Temperaturverhalten 6
3.1.3 Heizung 7

3.2 Empfehlungen 8
3.2.1 Überhitzungen 8
3.2.2 Heizenergiebedarf 8

4 Informationen zum Projekt 9

4.1 Pläne, Ansichten 9
4.1.1 Lage 9
4.1.2 Schnitt und Grundrisse 9
4.1.3 Ansichten 10
4.1.4 Bauweisen 10

5 Bewertungskriterien 11
5.1.1 Überhitzungshäufigkeit nach DIN 4108 Teil 2 11

6 Ergebnisübersicht 12

6.1 Variationsmatrix 12
6.1.1 Eingaben, Randbedingungen 12
6.1.2 Ergebnisse 12
6.1.3 Zusammenfassende Beschreibung 13

7 Analyse Referenzfall: Holzbauweise 14

7.1 Eingabedokumentation thermisches Simulationsmodell 14
7.1.1 Thermische Zonierung 14
7.1.2 Angrenzende thermische Randbedingungen 15
7.1.3 Klimadaten 16
7.1.4 Bauteile 16
7.1.5 Randbedingungen für die Nutzung 18
7.1.6 Rechenverfahren: Thermische Gebäudesimulation 19

7.2 Ergebnisse 20
7.2.1 Ergebnisübersicht: Thermischer Komfort und Heizung 20
7.2.2 Gesamtgebäude: Thermischer Komfort und Heizung 21
7.2.2.1 Thermischer Komfort 21
7.2.2.2 Heizung 21
7.2.3 Exemplarischer Raum: Wohnen (TZ-03) 22
7.2.3.1 Thermischer Komfort 22

7.2.3.2 Thermisches Verhalten und Energiebilanz in der Winterwoche 23
7.2.3.3 Thermisches Verhalten und Energiebilanz in der Sommerwoche 24

8 Analyse Variante 1: Bauweise mit Ziegel 25

8.1 Eingabedokumentation ... 25
8.1.1 Änderungen gegenüber dem Referenzfall ... 25

8.2 Ergebnisse ... 28
8.2.1 Ergebnisübersicht: Thermischer Komfort und Heizung ... 28
8.2.2 Gesamtgebäude: Thermischer Komfort und Heizung ... 29
8.2.2.1 Thermischer Komfort 29
8.2.2.2 Heizung 30
8.2.3 Exemplarischer Raum: Wohnen (TZ-03) ... 30

9 Analyse Variante 2: Bauweise mit Kalksandstein 32

9.1 Eingabedokumentation ... 32
9.1.1 Änderungen gegenüber dem Referenzfall ... 32

9.2 Ergebnisse ... 35
9.2.1 Ergebnisübersicht: Thermischer Komfort und Heizung ... 35
9.2.2 Gesamtgebäude: Thermischer Komfort und Heizung ... 36
9.2.2.1 Thermischer Komfort 36
9.2.2.2 Heizung 37
9.2.3 Exemplarischer Raum: Wohnen (TZ-03) ... 37

10 Analyse Variante 3: Bauweise mit Porenbeton 39

10.1 Eingabedokumentation ... 39
10.1.1 Änderungen gegenüber dem Referenzfall ... 39

10.2 Ergebnisse ... 42
10.2.1 Ergebnisübersicht: Thermischer Komfort und Heizung ... 42
10.2.2 Gesamtgebäude: Thermischer Komfort und Heizung ... 43
10.2.2.1 Thermischer Komfort 43
10.2.2.2 Heizung 44
10.2.3 Exemplarischer Raum: Wohnen (TZ-03) ... 44

11 Analyse Variante 4: Bauweise mit Leichtbeton 46

11.1 Eingabedokumentation ... 46
11.1.1 Änderungen gegenüber dem Referenzfall ... 46

11.2 Ergebnisse ... 49
11.2.1 Ergebnisübersicht: Thermischer Komfort und Heizung ... 49
11.2.2 Gesamtgebäude: Thermischer Komfort und Heizung ... 50
11.2.2.1 Thermischer Komfort 50
11.2.2.2 Heizung 51
11.2.3 Exemplarischer Raum: Wohnen (TZ-03) ... 51

1 Projektbeteiligte

1.1 Auftraggeber und Bauherr

Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e. V.
Kochstr. 6 - 7
10969 Berlin

Ansprechpartner:	Dr. Ronald Rast
Telefon:	030-253 596 40
Fax:	030-253 596 45
E-Mail:	rast@dgfm.de
Internet:	www.dgfm.de

1.2 Kooperation

Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.
Walkerdamm 17
24103 Kiel

Ansprechpartner:	Thorsten Schulze
Telefon:	0431 - 663 69 15
E-Mail:	tschulze@arge-sh.de
Internet:	www.arge-sh.de

1.3 Auftragnehmer

alware GmbH
Ingenieurbüro für Bauphysik und Gebäudesimulationen
Rebenring 37
D-38106 Braunschweig

Geschäftsführer
Dipl.-Phys. Ing. Andreas Lahme VDI

Telefon:	0531 250 72 80
Fax:	0531 250 72 81
E-Mail:	info@alware.de
Internet:	www.alware.de

Bearbeitung:
Dipl.-Ing. Sascha Buchholz (Architektur, Spezialist Gebäudesimulation)

alware GmbH · Rebenring 37 · D-38106 Braunschweig
Tel +49 531 250 72 80 · Fax +49 531 250 72 81 · info@alware.de · www.alware.de

2 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

2.1 Aufgabe

Für ein Ein-Familien-Typenhaus soll die Wirkung der massiven Bauweise gegenüber der Holzbauweise auf das thermische Verhalten dargestellt werden. Dabei soll auch ermittelt werden, inwiefern sich die Wärmespeicherung in den massiven Bauteilen auf den Heizenergiebedarf auswirkt.

Für diese Untersuchung sind 5 verschiedene Bauweisen vorgegeben:

- Massivbauweise mit Ziegel
- Massivbauweise mit Kalksandstein
- Massivbauweise mit Porenbeton
- Massivbauweise mit Leichtbeton
- Leichtbauweise mit Holzrahmenbau

2.2 Vorgehen

Die Untersuchung ist in die verschiedenen Bereiche gegliedert:

- Analyse des Referenzfalles: Holzbauweise
  - Simulation des thermischen Raumverhaltens
    - Bewertung des thermischen Komforts
    - Ermittlung des Heizenergiebedarfs und der maximalen Heizleistung
- Analyse Variante 1: Ziegel (hier: Poroton T9)
  - Simulation des thermischen Raumverhaltens
    - Bewertung des thermischen Komforts
    - Ermittlung des Heizenergiebedarfs und der maximalen Heizleistung
- Analyse Variante 2: Kalksandstein (hier: KS Quadro)
  - Simulation des thermischen Raumverhaltens
    - Bewertung des thermischen Komforts
    - Ermittlung des Heizenergiebedarfs und der maximalen Heizleistung
- Analyse Variante 3: Porenbeton (hier: Ytong)
  - Simulation des thermischen Raumverhaltens
    - Bewertung des thermischen Komforts
    - Ermittlung des Heizenergiebedarfs und der maximalen Heizleistung
- Analyse Variante 4: Leichtbeton (hier: KLB Plan-Block)
  - Simulation des thermischen Raumverhaltens
    - Bewertung des thermischen Komforts
    - Ermittlung des Heizenergiebedarfs und der maximalen Heizleistung

alware GmbH · Rebenring 37 · D-38106 Braunschweig
Tel +49 531 250 72 80 · Fax +49 531 250 72 81 · info@alware.de · www.alware.de

3 Zusammenfassung und Empfehlungen

In diesem Kapitel sind die wesentlichen Ergebnisse[1] aus den einzelnen Untersuchungen, Simulationen und Analysen zusammengefasst.

3.1 Ergebnisbeschreibung (Fazit)

In diesem Kapitel erfolgt eine zusammenfassende Beschreibung der Ergebnisse mit Bewertung.

Hinweise:

- Eine tabellarische Übersicht der wesentlichen Ergebnisse befindet sich in Kap. 6.1 (S. 11).
- Detaillierte Ergebnisdarstellungen befinden sich in den jeweiligen Kapiteln der untersuchten Fälle (Kapitel 6,7,8,9,10).

3.1.1 Thermischer Komfort

Der thermische Komfort im EFH-Typenhaus kann in allen Bauweisen sichergestellt werden. Im Winterhalbjahr (Heizperiode Oktober bis April) wird der thermische Komfort mittels Beheizung sichergestellt. Im Sommer besteht die Tendenz, den thermischen Komfort zu gefährden: Es kommt zu Überhitzungen (Raumtemperaturen über 26°C).

Die Überhitzungshäufigkeiten und die erreichten Spitzen-Raumtemperaturen sind in den Massivhäusern (7,9 – 8,9% der Nutzungszeit) geringer als im Holzhaus (9,4% der Nutzungszeit): Je nach Bauweise der Massivhäuser ist die Überhitzungshäufigkeit im Mittel 0,5 – 1,5 Prozentpunkte niedriger und die erreichte Maximaltemperatur im Mittel 0,9 – 2,1 K geringer. In den Massivhäusern treten Überhitzungen im Zeitraum von Juni bis August auf. Im Holzhaus treten vereinzelt Überhitzungen auch schon im Mai auf.

Kennwerte zum thermischen Komfort (Gebäude-Mittelwerte)[2]

- Ziegel-Massivhaus: Überhitzungshäufigkeit 8,7%, max. Raumtemperatur 30,6°C
- Kalksandstein-Massivhaus: Überhitzungshäufigkeit 7,9%, max. Raumtemperatur 29,6°C
- Porenbeton-Massivhaus: Überhitzungshäufigkeit 8,9%, max. Raumtemperatur 30,8°C
- Leichtbeton-Massivhaus: Überhitzungshäufigkeit 8,9%, max. Raumtemperatur 30,7°C
- Holzhaus: Überhitzungshäufigkeit 9,4%, max. Raumtemperatur 31,7°C

Fazit: Der thermische Komfort ist in den Massivhäusern besser als im Holzhaus.

3.1.2 Temperaturverhalten

Aufgrund der größeren thermischen Speicherfähigkeit der Bauteile ist das thermische Verhalten der Massivhäuser stabiler als beim Holzhaus: Die Amplitude ist kleiner, d.h. die Temperaturschwankungen sind geringer. Die Räume im Massivhaus werden weniger schnell warm (überhitzen damit nicht so schnell) und kühlen weniger schnell wieder ab. Das Temperaturverhalten im Massivhaus ist aufgrund der größeren thermischen Speichermasse träger.

- Ziegel-Massivhaus (Poroton T9):
  - Sommer: maximale Raumtemperatur 1,1 K niedriger als im Holzhaus
  - Sommer: minimale Raumtemperatur 1,2 K höher als im Holzhaus
  - Winter: keine nennenswerten Unterschiede
- Kalksandstein-Massivhaus (KS Quadro):
  - Sommer: maximale Raumtemperatur 2,1 K niedriger als im Holzhaus
  - Sommer: minimale Raumtemperatur 1,5 K höher als im Holzhaus
  - Winter: minimale Raumtemperatur ca. 0,5 K höher als im Holzhaus
  - Winter: maximale Raumtemperatur ca. 0,5 K höher als im Holzhaus
  - insgesamt geringste Temperaturschwankungen von allen untersuchten Varianten

[1] vgl. Kapitel 6.1 (Tabelle Ergebnisübersicht)

[2] In den einzelnen thermischen Zonen können die erreichten Werte größer oder kleiner sein als die hier angegebenen Mittelwerte für das Gesamtgebäude (ohne Keller), vgl. Detailergebnisse ab Kapitel 6.

- Porenbeton-Massivhaus (Ytong):
  - Sommer: maximale Raumtemperatur 0,9 K niedriger als im Holzhaus
  - Sommer: minimale Raumtemperatur 0,9 K höher als im Holzhaus
  - Winter: keine nennenswerten Unterschiede
- Leichtbeton-Massivhaus (KLB Planblock):
  - Sommer: maximale Raumtemperatur 1,0 K niedriger als im Holzhaus
  - Sommer: minimale Raumtemperatur 1,1 K höher als im Holzhaus
  - Winter: keine nennenswerten Unterschiede

Fazit: Im Vergleich zum Holzhaus sind die maximalen Raumtemperaturen im Sommer in den Massivhäusern um 0,9 – 2,1 K geringer. Die minimalen Raumtemperaturen im Sommer sind in den Massivhäusern um 0,9 – 1,5 K höher. Im Winter gibt es keine nennenswerten Temperaturunterschiede zwischen Holzhaus und den Massivhäusern.

3.1.3 Heizung

Zur Sicherstellung des thermischen Komforts im Winter wird das EFH-Typenhaus beheizt. Die Heizperiode besteht von ca. Ende September bis Anfang Mai. Von November bis Mitte April wird ganztägig geheizt. In den Übergangsmonaten April und Oktober wird hauptsächlich nachts geheizt, tagsüber ist häufig keine Heizung erforderlich. Die Beheizung der Massivhäuser unterscheidet sich von der Beheizung des Holzhauses insofern, als die heizfreien Zeiträume in den Übergangsmonaten April und Oktober größer sind.

Der Heizenergiebedarf der Massivbauweise ist geringer als der Heizenergiebedarf der Holzbauweise (8,5 MWh).

- Ziegel-Massivhaus (Poroton T9): 7,8 MWh (-8%)
- Kalksandstein-Massivhaus (KS Quadro): 8,0 MWh (-6%)
- Porenbeton-Massivhaus (Ytong): 8,1 MWh (-5%)
- Leichtbeton-Massivhaus (KLB Planblock): 7,9 MWh (-7%)
- Holzhaus: 8,5 MWh

Die Spitzen-Heizleistungen sind bei den Massivbauweisen geringer als beim Holzhaus.

- Massivhaus (alle vier Varianten): 4,6 kW (-4%)
- Holzhaus: 4,8 kW

Fazit: Der Heizenergiebedarf der Massivhäuser ist 5% – 8% geringer als der Heizenergiebedarf des Holzhauses. Die Spitzen-Heizleistungen sind bei den Massivhäusern 4% geringer als beim Holzhaus.

alware GmbH · Rebenring 37 · D-38106 Braunschweig
Tel +49 531 250 72 80 · Fax +49 531 250 72 81 · info@alware.de · www.alware.de

3.2 Empfehlungen

Hier werden mögliche Maßnahmen zur Verbesserung des thermischen Komforts und zur Verringerung des Energiebedarfs gegeben.

3.2.1 Überhitzungen

Um die Überhitzungsproblematik des EFH-Typenhauses weiter zu entschärfen, wird eine gezielte Fensterlüftung gegen Hitze empfohlen. Diese ist nutzerseitig auszuführen. In Räumen mit Fenstern an zwei Seiten besteht die Möglichkeit zur Querlüftung. Dabei werden Luftwechsel bis 3/h erreicht. Eine solche Lüftung gegen Hitze kann die Überhitzungshäufigkeiten sowie die auftretenden Maximaltemperaturen noch erheblich verringern.

Hinweis: Wird gar keine Fensterlüftung gegen Hitze durchgeführt, kommt es zu einer sehr stark ausgeprägten Überhitzungsproblematik.[3]

Da die solaren Einträge im Sommer der Hauptauslöser für die sommerlichen Überhitzungen darstellen, sollte auch eine Verringerung der solaren Wärmelasten angestrebt werden. Hierzu empfiehlt sich eine bessere Verschattung (z.B. F_C-Wert 0,4, automatisch geregelt, aktiv ab 60 W/m² solarer Durchgang durch das Fenster).

3.2.2 Heizenergiebedarf

Um den Heizenergiebedarf weiter zu senken, wird für die Massivhäuser (thermische Speicherfähigkeit) als Betriebsweise für die Heizung eine Nachtabsenkung empfohlen. Dabei könnte z.B. in den Nachtstunden von 23:00 – 5:00 Uhr die Ziel-Raumtemperatur auf 17°C (statt 20°C) abgesenkt werden. Damit würde der Heizenergiebedarf verringert werden.

[3] Vorherige Studien mit leicht geänderten Bauteilparametern haben Überhitzungshäufigkeiten von bis zu ca. 25% ergeben.

4 Informationen zum Projekt

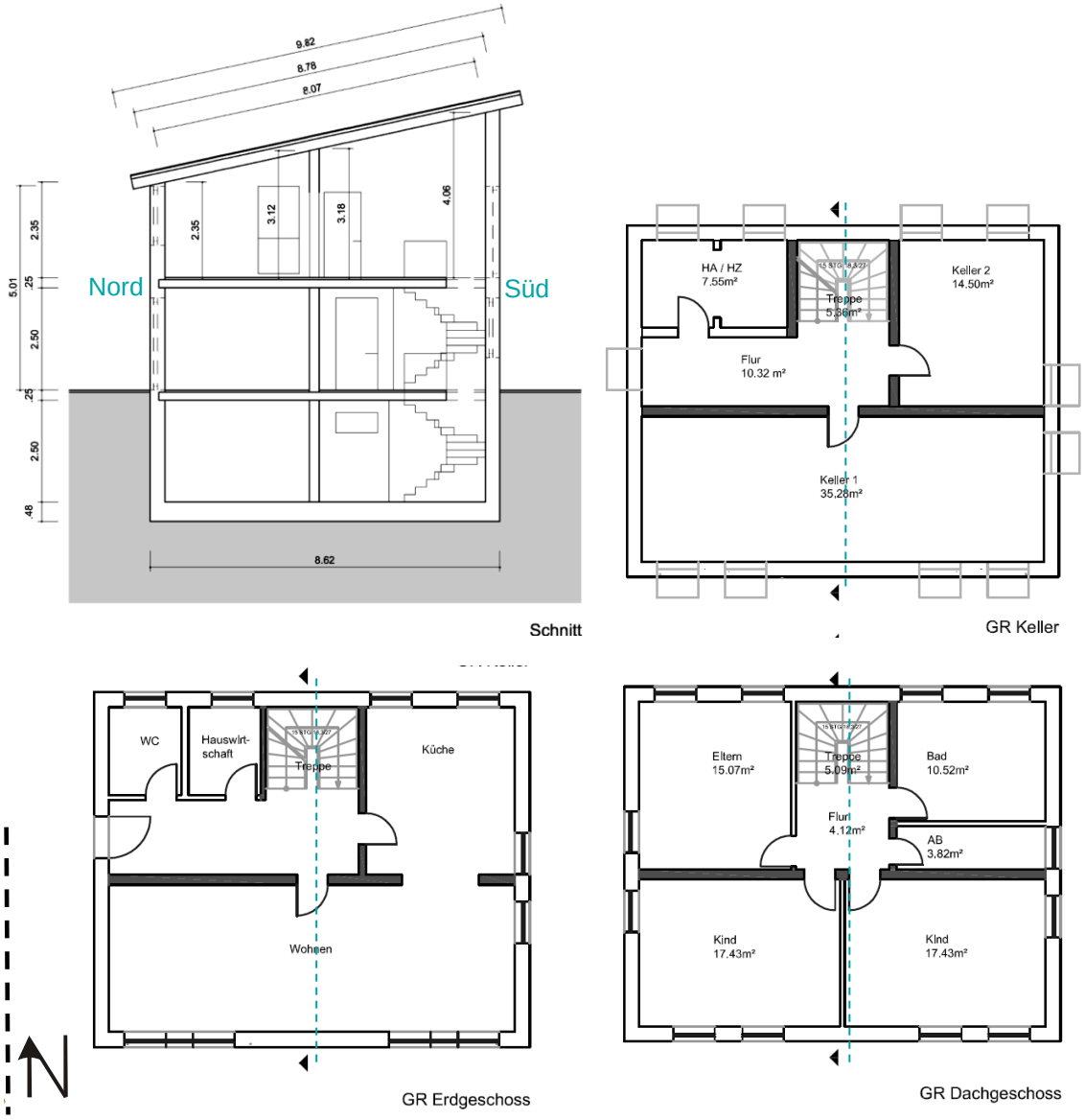
4.1 Pläne, Ansichten

4.1.1 Lage

Standort und Lage:[4]

- Standort Potsdam
- Gartenseite nach Süden orientiert

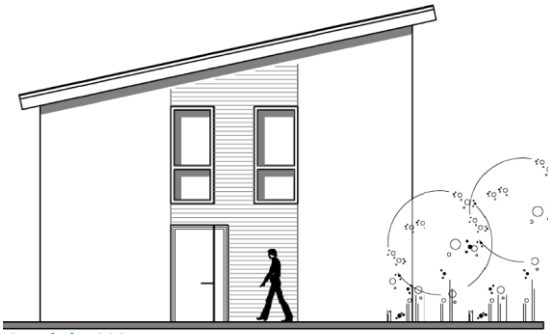
4.1.2 Schnitt und Grundrisse



◢ *Abb.: Querschnitt und Grundrisse des EFH-Typenhauses[5] mit Orientierung*

[4] Mitteilung von Herrn Schulze am 03.11.2014
[5] Auszug aus den Plänen, erhalten von Herrn Rast am 31.10.2014

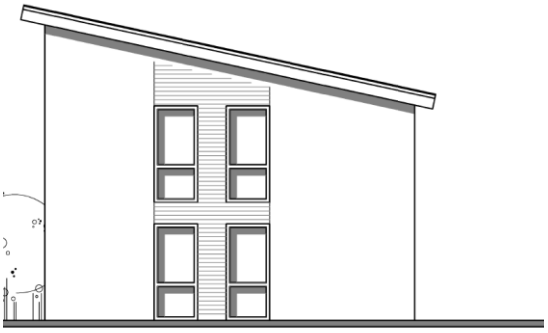
4.1.3 Ansichten


Ansicht West

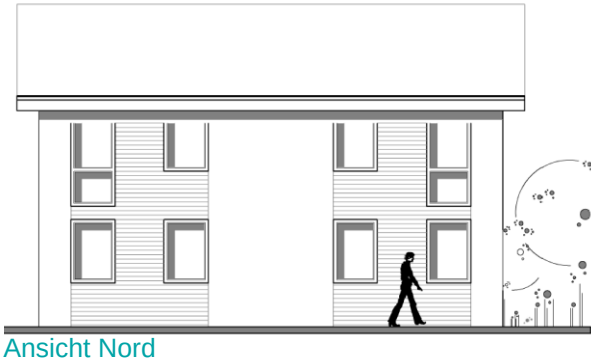
Ansicht 1 Eingang

Ansicht Süd

Ansicht 2 Garter


Ansicht Ost

Ansicht 3


Ansicht Nord

Ansicht 4

◢ *Abb.: Ansichten des EFH-Typenhauses*[6]

4.1.4 Bauweisen

Bauweisen		
Nr.	**Variante**	**Kurzbeschreibung**
1	**Ziegel**	AW Poroton T9 (d=33,5 cm); U=0,28 W/(m²K) IW Poroton T9 (d=20,5 cm bzw. d=14,5 cm)
2	**Kalksandstein**	AW KS Quadro (d=30,5 cm); U=0,26 W/(m²K) IW KS Quadro (d=20,5 cm bzw. d=14,5 cm)
3	**Porenbeton**	AW Ytong (d=33,5 cm); U=0,28 W/(m²K) IW Ytong (d=20,5 cm bzw. d=14,5 cm)
4	**Leichtbeton**	AW KLB Plan-Block (d=34,0 cm); U=0,28 W/(m²K) IW KLB-Plan-Block (d=27 cm)
5	**Holzbau (Referenzfall)**	AW Holzrahmenbau (d=29,8 cm); U=0,28 W/(m²K) IW Holzrahmenbau (d=15,5 cm bzw. d=10 cm)

◢ *Tabelle: Übersicht der Bauweisen*[7] *für das EFH-Typenhauses*

[6] Auszug aus den Plänen, erhalten von Herrn Rast am 31.10.2014
[7] Bauteile neu abgestimmt mit Herrn Dr. Rast am 23.01.2015

alware GmbH · Rebenring 37 · D-38106 Braunschweig
Tel +49 531 250 72 80 · Fax +49 531 250 72 81 · info@alware.de · www.alware.de

5 Bewertungskriterien

5.1.1 Überhitzungshäufigkeit nach DIN 4108 Teil 2

Die DIN 4108 Teil 2[8] gibt folgende Kriterien zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit an.

- Begrenzung der sommerlichen Überhitzung:
  - Nach DIN 4108 Teil 2 Wärmeschutz im Hochbau soll die Überhitzung der Raumtemperatur in nicht mehr als 10% der Betriebszeit über dem Grenzwert[9] auftreten.
    - Grenzwert für Sommer-Klimaregion A (sommerkühl): 25°C
    - Grenzwert für Sommer-Klimaregion B (gemäßigt): 26°C
    - Grenzwert für Sommer-Klimaregion C (sommerheiß): 27°C
- Anlagentechnik für Kühlung:
  - Der ggf. erforderliche Kühlenergiebedarf soll möglichst gering sein.

[8] DIN 4108-2:2003-07
[9] Anmerkung: In dieser Studie wird der Grenzwert für gemäßigte Sommer-Klimaregionen herangezogen (26°C Raumtemperatur).

6 Ergebnisübersicht

6.1 Variationsmatrix

6.1.1 Eingaben, Randbedingungen

Hier werden die untersuchten Fälle mit wesentlichen Eingaben (Unterschiede zueinander) als Übersichtstabelle dargestellt.

Variationen - Übersicht
Eingaben

Nr.	Variante	Bauteile									
		Außenwände [W/m² K]	Innenwände tr. [W/m² K]	Innenwände n. tr. [W/m² K]	Bodenplatte [W/m² K]	Geschossdecke KG-EG [W/m² K]	Geschossdecke EG-OG [W/m² K]	Dach [W/m² K]	Außenwand Keller [W/m² K]	Innenwand Keller [W/m² K]	Fenster [W/m² K]
1	**Ziegel**	Poroton T9, U=0,28	Poroton T9, U=0,45	Poroton T9, U=0,63	Beton, U=0,31	Beton, U=0,30	Beton, U=0,88	Leichtbau, U=0,20	KS, U=0,30	KS, U=2,08 bzw. U=2,47	3-fach WSV, U=1,1
2	**Kalksandstein**	KS Quadro, U=0,26	KS Quadro, U=2,17	KS Quadro, U=2,46	Beton, U=0,31	Beton, U=0,30	Beton, U=0,88	Leichtbau, U=0,20	KS, U=0,30	KS, U=2,08 bzw. U=2,47	3-fach WSV, U=1,1
3	**Porenbeton**	Ytong, U=0,28	Ytong, U=0,45	Ytong, U=0,63	Beton, U=0,31	Beton, U=0,30	Beton, U=0,88	Leichtbau, U=0,20	KS, U=0,30	KS, U=2,08 bzw. U=2,47	3-fach WSV, U=1,1
4	**Leichtbeton**	KLB Planblock, U=0,28	KLB Planblock, U=0,37	KLB Planblock, U=0,37	Beton, U=0,31	Beton, U=0,30	Beton, U=0,88	Leichtbau, U=0,20	KS, U=0,30	KS, U=2,08 bzw. U=2,47	3-fach WSV, U=1,1
5	**Holzbau (Ref.-Fall)**	Holzbau, U=0,28	Holzbau, U=0,33	Holzbau, U=0,61	Beton, U=0,31	Holz, U=0,30	Holz, U=0,83	Leichtbau, U=0,20	KS, U=0,30	KS, U=2,08 bzw. U=2,47	3-fach WSV, U=1,1

◢ *Tabelle: Übersicht der untersuchten Fälle mit den wesentlichen Eingaben*

6.1.2 Ergebnisse

Hier werden die untersuchten Fälle mit den jeweiligen Simulationsergebnissen zum thermischen Komfort als Übersichtstabelle dargestellt.

Variationen - Übersicht
Ergebnisse

Nr.	Variante			Thermischer Komfort				Heizung		
	Bauweise	Raum-Fläche [m²]	Volumen [m³]	min. Raum-Temperatur [°C]	Häufigkeit T<20°C [%/a (h/a)]	max. Raum-Temperatur [°C]	Häufigkeit T>26°C [%/a (h/a)]	Energiebedarf [MWh/a]	max. Leistung [kW]	spez. max. Leistung [W/m² K]
1	**Ziegel**	149 m²	423 m³	Wohnräume 20°C (Flur, AB 17°C)	-	30,6°C (-1,1 K)	8,7% (764 h) (-0,7 %-Pkt.)	7,8 MWh/a (-8,2%)	4,6 kW (-4,2%)	30,9 W/m²
2	**Kalksandstein**	151 m²	429 m²	Wohnräume 20°C (Flur, AB 17°C)	-	29,6°C (-2,1 K)	7,9% (694 h) (-1,5 %-Pkt.)	8,0 MWh/a (-5,9%)	4,6 kW (-4,2%)	30,5 W/m³
3	**Porenbeton**	149 m²	423 m²	Wohnräume 20°C (Flur, AB 17°C)	-	30,8°C (-0,9 K)	8,9% (776 h) (-0,5 %-Pkt.)	8,1 MWh/a (-4,7%)	4,6 kW (-4,2%)	31,2 W/m²
4	**Leichtbeton**	144 m²	410 m²	Wohnräume 20°C (Flur, AB 17°C)	-	30,7°C (-1,0 K)	8,9% (780 h) (-0,5 %-Pkt.)	7,9 MWh/a (-7,1%)	4,6 kW (-4,2%)	29,6 W/m²
5	**Holzbau (Ref.-Fall)**	154 m²	454 m³	Wohnräume 20°C (Flur, AB 17°C)	-	31,7°C (0 K)	9,4% (824 h)	8,5 MWh/a (100%)	4,8 kW (100%)	31,5 W/m²

◢ *Tabelle: Übersicht der untersuchten Fälle mit den wesentlichen Ergebnissen.*
Die farbigen Werte geben die Unterschiede zum Referenzfall Holzhaus an.

alware GmbH · Rebenring 37 · D-38106 Braunschweig
Tel +49 531 250 72 80 · Fax +49 531 250 72 81 · info@alware.de · www.alware.de

6.1.3 Zusammenfassende Beschreibung

- Im Sommer kommt es im EFH-Typenhaus zu Überhitzungen. Die Überhitzungen können durch Nutzerverhalten (gezielte Fensterlüftung) im moderaten Bereich gehalten werden, sodass der thermische Komfort insgesamt als sichergestellt zu betrachten ist.
- Der thermische Komfort im Sommer ist in den Massivhäusern besser als im Holzhaus.
    - Je nach Bauweise der Massivhäuser ist die Überhitzungshäufigkeit im Mittel 0,5 – 1,5 Prozentpunkte niedriger und die erreichte Maximaltemperatur im Mittel 0,9 – 2,1 K geringer.
- Zur Sicherstellung des thermischen Komforts im Winter wird das EFH-Typenhaus beheizt. Der Heizenergiebedarf ist in den in den Massivhäusern geringer als im Holzhaus.
    - Je nach Bauweise der Massivhäuser ist der Heizenergiebedarf 4,7% bis 8,2% geringer.
        - Bei den Bauweisen Ziegel (Poroton T9) und Leichtbeton (KLB Planblock) ist der Heizenergiebedarf 8,2% bzw. 7,1% geringer als bei der Holzbauweise.
        - Bei den Bauweisen Kalksandstein (KS Quadro) und Porenbeton (Ytong) ist der Heizenergiebedarf 5,9% bzw. 4,7% geringer als bei der Holzbauweise.
    - Die maximale Heizleistung ist bei der Massivbauweise 4,2% kleiner als bei der Holzbauweise.

7 Analyse Referenzfall: Holzbauweise

Für die Analyse des thermischen Raumverhaltens des EFH-Typenhauses wird für jede der 5 Bauweisen ein thermisches Simulationsmodell erstellt.

Die fünf Simulationsmodelle unterscheiden sich lediglich durch die angesetzten Bauteile, alles andere ist gleich.[10]

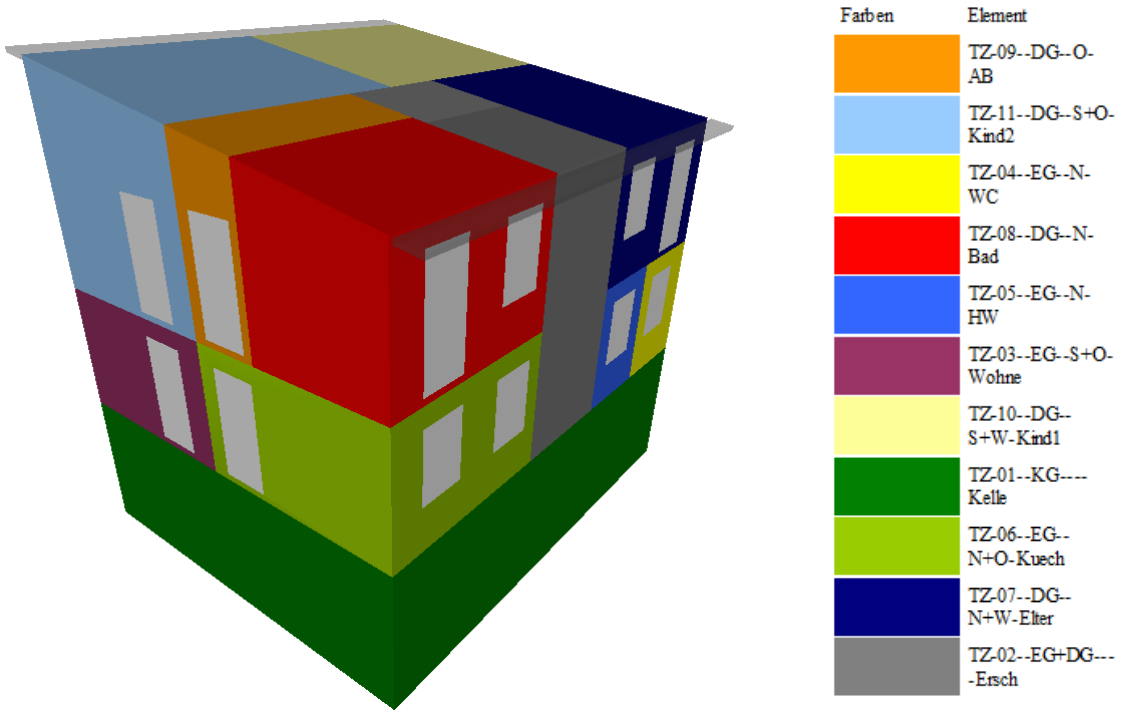
Die Holzbauweise bildet den Referenzfall.

7.1 Eingabedokumentation thermisches Simulationsmodell

7.1.1 Thermische Zonierung

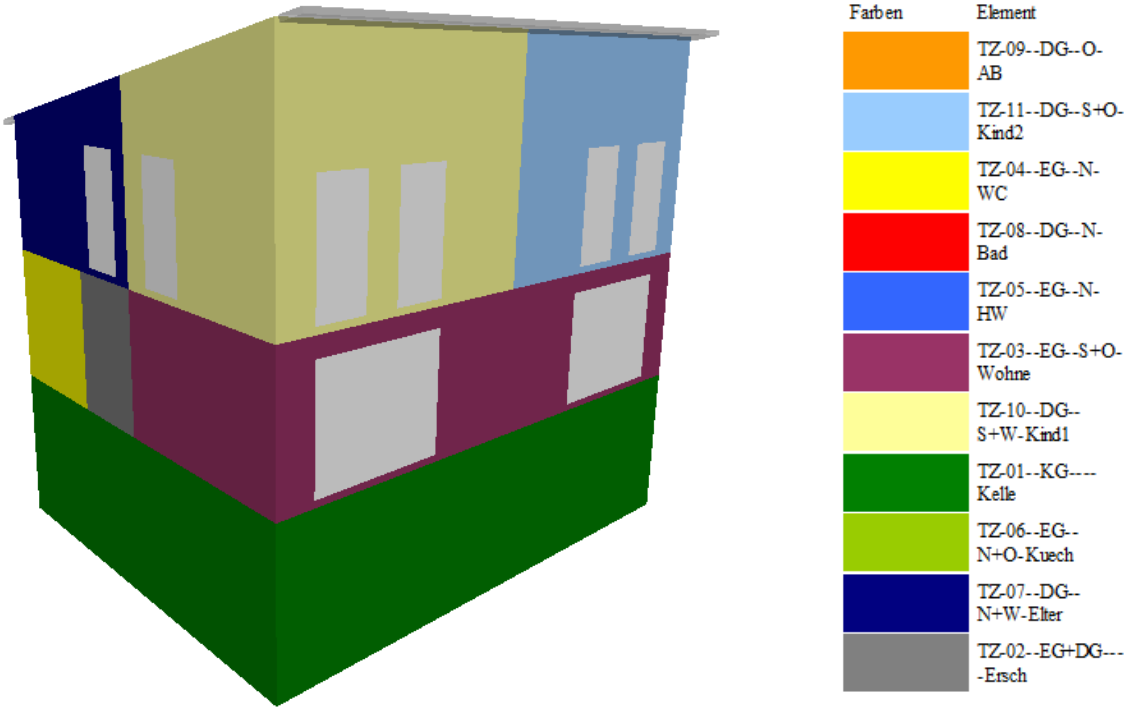
Die thermische Zonierung fasst Gebäudebereiche zusammen, die sich thermisch gleichartig verhalten.

Das Simulationsmodell besteht aus 11 thermischen Zonen.



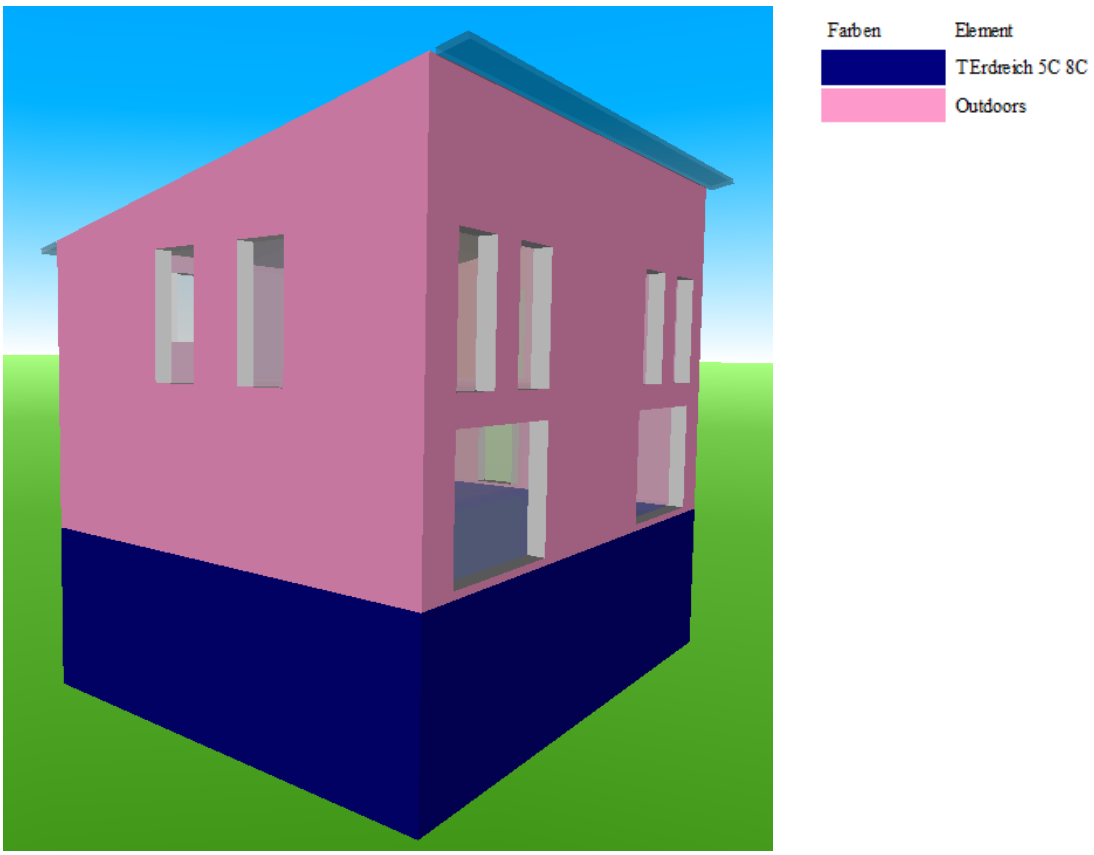
◢ *Abb.: Thermische Zonierung, Ansicht von Nordosten*

[10] Aufgrund der unterschiedlichen Bauteildicken (Wandstärken) unterscheiden sich die 5 Modelle auch entsprechend geringfügig in ihren Netto-Raumflächen und Netto-Raumvolumina.



◢ *Abb.: Thermische Zonierung, Ansicht von Südwesten*

7.1.2 Angrenzende thermische Randbedingungen



◢ *Abb.: Thermische Randbedingungen, Blick von Süd-Westen*

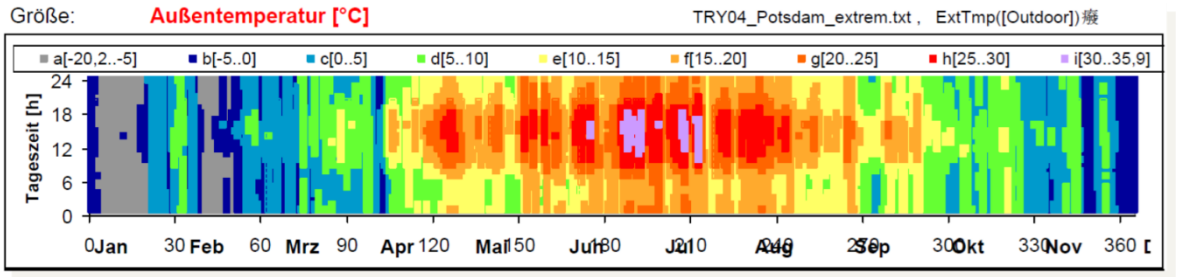
Die Außenfassade und das Dach grenzen an das Außenklima (Klimadaten siehe Kapitel 7.1.3).

Die Keller-Außenwände grenzen an das Erdreich. Diesem ist ein sinusförmiger Temperaturverlauf von 5°C bis 8°C zugewiesen.

Die Eigenverschattung des Gebäudes (z.B. durch die Dachüberstände) wird in der Simulation berücksichtigt. Verschattungswirkung von umgebender Bebauung ist nicht vorhanden und wird somit in der Simulation nicht berücksichtigt.

7.1.3 Klimadaten

Für die thermische Simulation werden die Klimadaten „TRY-04_Potsdam_extrem“ des Deutschen Wetterdienstes (DWD)[11] mit extremem Sommer und Winter verwendet (T_a: -20,2 bis 35,9°C).



◢ *Abb.: Jahresgang der Außentemperatur*

7.1.4 Bauteile

Der Referenzfall stellt die Holzbauweise dar.

Variationen - Übersicht

Eingaben

Nr.	Variante	Bauteile									
		Außenwand [W/m² K]	Innenwand tragend [W/m² K]	Innenwand nicht trag. [W/m² K]	Bodenplatte [W/m² K]	Geschossdecke KG-EG [W/m² K]	Geschossdecke EG-OG [W/m² K]	Dach [W/m² K]	Außenwand Keller [W/m² K]	Innenwand Keller [W/m² K]	Fenster [W/m² K]
5	**Holzbau (Ref.-Fall)**	Holzbau, U=0,28	Holzbau, U=0,33	Holzbau, U=0,61	Beton, U=0,31	Holz, U=0,30	Holz, U=0,83	Leichtbau, U=0,20	KS, U=0,30	KS, U=2,08 bzw. U=2,47	3-fach WSV, U=1,1

◢ *Tabelle: Übersicht der Bauweise Holzbau*

Für die thermische Simulation werden folgende Bauteile verwendet.

Dokumentation der Bauteile

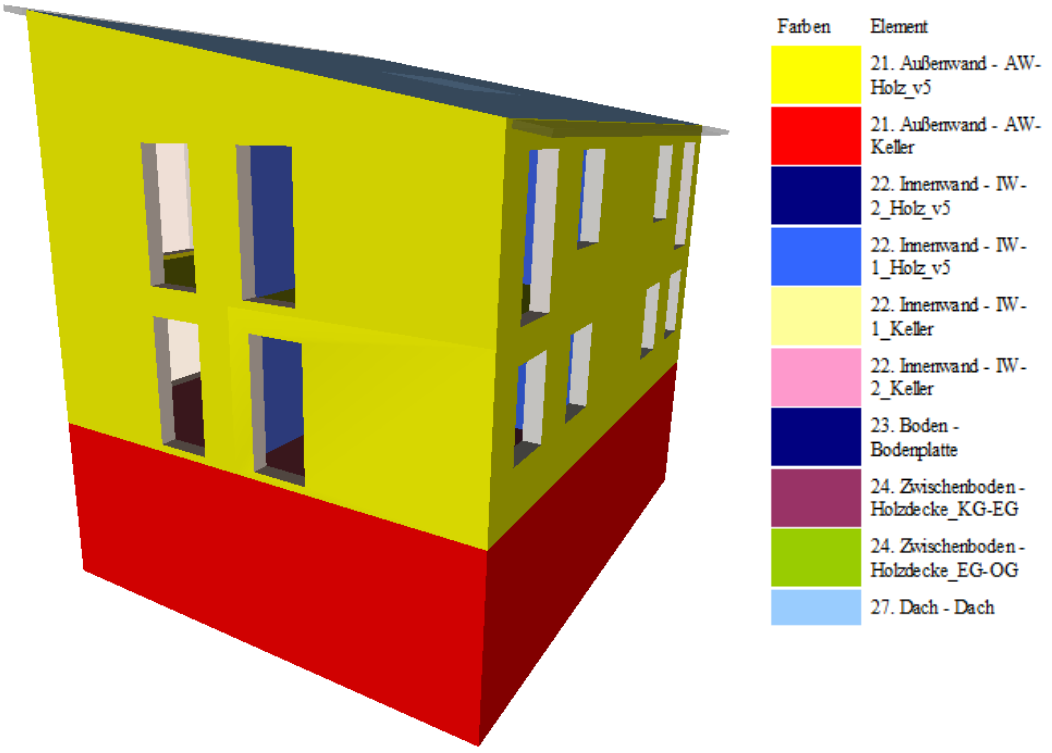
Nr,	Bauteil	Typ	Dicke d [m]	U [W/m² K]	Besonderheiten
1	Bodenplatte	AussenBoden an Erdreic	0,460	**0,311**	
2	Holzdecke KG-EG	ZwischenBoden	0,250	**0,303**	0
3	Holzdecke EG-OG	ZwischenBoden	0,090	**0,828**	
4	Dach	Dach	0,233	**0,197**	
5	AW-Keller	AussenWand an Erdreic	0,340	**0,304**	0
6	IW-1_Keller	InnenWand	0,175	**2,077**	
7	IW-2_Keller	InnenWand	0,115	**2,466**	
8	AW-Holz_v5	AussenWand	0,298	**0,275**	0
9	IW-1_Holz_v5	InnenWand	0,155	**0,330**	
10	IW-2_Holz_v5	InnenWand	0,100	**0,605**	

Dokumentation der Fenster

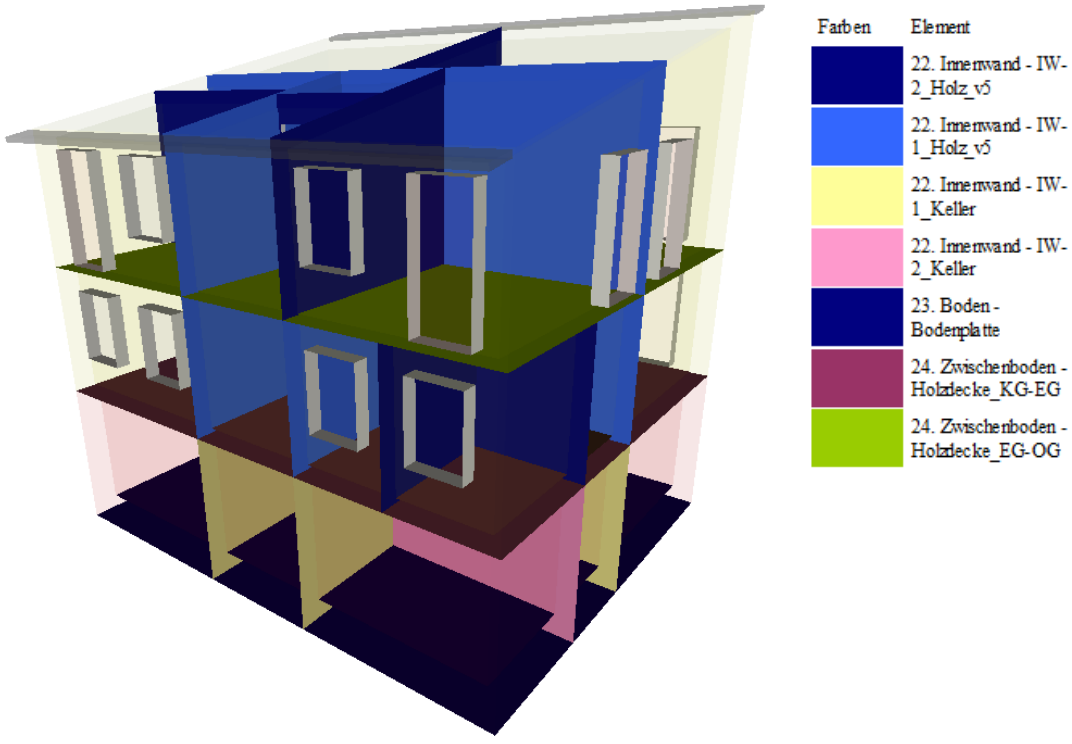
Nr,	Bauteil (Typ)	U [W/m² K]	Verglasung	Rahmen	Panel	Fenster-Maß [Breite x Höhe]
1	Fe_268_225 (AussenFenster)	**1,029**	69,4%_iplus 3CE_u50_g50_t72	30,6%_Rahmen_u180		3 2,68 x 2,25 - Fe_Garten
2	Fe_101_225 (AussenFenster)	**1,101**	66,9%_iplus 3CE_u50_g50_t72	33,1%_Rahmen_u180		1 1,01 x 2,25 - Fe_groß
3	Fe_101_145 (AussenFenster)	**1,103**	66,4%_iplus 3CE_u50_g50_t72	33,6%_Rahmen_u180		2 1,01 x 1,45 - Fe_klein

◢ *Tabelle: Bauteile und Fenster (Kurzdokumentation)*

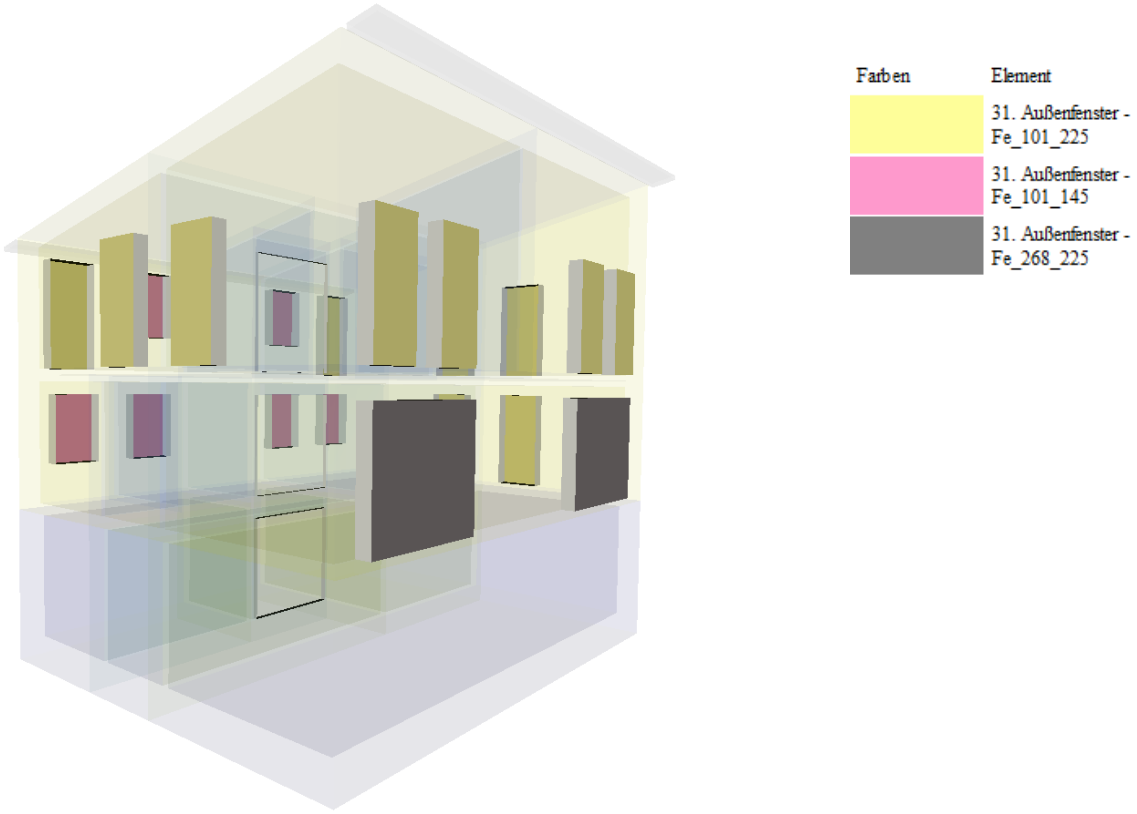
[11] Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes (www.dwd.de)



◢ *Abb.: Zuweisung der Bauteile, Blick von Nordosten*



◢ *Abb.: Zuweisung der Innenbauteile mit Bodenplatte, Blick von Nordwesten*



◢ *Abb.: Zuweisung der Fenster, Blick von Südwesten*

7.1.5 Randbedingungen für die Nutzung

Hier werden die Nutzungsprofile, Wärmelasten, Versorgungssysteme und Betriebsweisen für die thermische Simulation dokumentiert.

Personenlast	4 Personen, gleichmäßig flächengewichtet verteilt auf die Zonen TZ-03 (Wohnen), TZ-06 (Küche), TZ-07 (Eltern), TZ-10 (Kind 1), TZ-11 (Kind 2)
Nutzungszeit	0 – 24 Uhr
Auslastung	Mo. – Fr.: 40% 0 – 6 Uhr; 100% 6 – 10 Uhr; 60% 10 – 16 Uhr; 100% 16 – 21 Uhr; 40% 21 – 24 Uhr Sa. + So.: 40% 0 – 6 Uhr; 60% 6 – 9 Uhr; 100% 9 – 20 Uhr; 60% 20 – 23 Uhr; 40% 23 – 24 Uhr
Winterabsenkung	70%, Gleichzeitigkeitsfaktor 0,8 (Nov. – Apr.)
Gerätelast	0,730 kW, verteilt in den Zonen TZ-03 (Wohnen), TZ-05 (Hauswirtschaft), TZ-06 (Küche), TZ-07 (Eltern), TZ-10 (Kind 1), TZ-11 (Kind 2)
Nutzungszeit	0 – 24 Uhr
Auslastung	Mo. – Fr.: 40% 0 – 6 Uhr; 100% 6 – 10 Uhr; 60% 10 – 16 Uhr; 100% 16 – 21 Uhr; 40% 21 – 24 Uhr Sa. + So.: 40% 0 – 6 Uhr; 60% 6 – 9 Uhr; 100% 9 – 20 Uhr; 60% 20 – 23 Uhr; 40% 23 – 24 Uhr
Winterabsenkung	70%, Gleichzeitigkeitsfaktor 0,8 (Nov. – Apr.)
Beleuchtungslast	3 W/m² in den Zonen TZ-03 (Wohnen), TZ-05 (Hauswirtschaft), TZ-06 (Küche), TZ-07 (Eltern), TZ-10 (Kind 1), TZ-11 (Kind 2)
Betriebszeit	0 – 24 Uhr (bei Bedarf)
Regelung	tageslichtabhängig geregelt (300 lx, 100% tageslichtversorgte Fläche)

Infiltration	Lüftung durch Fugen mit Außenluft, Luftwechsel 0,1/h
Betriebszeit	immer
Hygienische Lüftung	Luftwechsel 0,6/h im Mittel (keine hyg. Lüftung in TZ-01, TZ-02, TZ-09)
Betriebszeit	immer
System und Regelung	RLT mit Zulufterhitzer, WRG 85%, min. Zulufttemperatur 19°C
Erhöhte **Lüftung gegen Hitze**	
Betriebszeit	immer
System und Regelung	Fensterlüftung moderat, Ziel 23°C, max. Luftwechsel 0,9/h in TZ-02, TZ-04, TZ-05, TZ-08, TZ-09 (einseitig), max. Luftwechsel 1/h in TZ-03, TZ-06, TZ-07, TZ-10, TZ-11 (Querlüftung möglich)
Heizung	Raumheizung
Betriebszeit	immer (bei Bedarf)
System und Regelung	max. 80 W/m², Zieltemperatur 20°C
Kühlung	keine
Verschattung	Senkrecht-Markise
Betriebszeit	immer
System und Regelung	F_C=0,55; aktiv ab 75 W/m², Windabschaltung ab 6 m/s

7.1.6 Rechenverfahren: Thermische Gebäudesimulation

Vom Gebäude wird ein dreidimensionales Simulationsmodell erstellt. Auf Basis von stündlichen Klimadaten, einer vorgegebenen Nutzung (Wärmequellen, Lüftung) und technischer Versorgungssysteme wird die stündliche Wärmebilanz mit der resultierenden Raumtemperatur berechnet und daraus die Überhitzungshäufigkeit analysiert.

Durch Variation können die maximalen Einflüsse der verschiedenen Systeme ermittelt werden. Stündlich dynamische Simulation: Die Ergebnisse der vorhergehenden Stunde sind die Anfangsbedingungen der nächsten Stunde. Damit kann die Wirkung aus der Vergangenheit berücksichtigt und die speichernde Wirkung der Bauteile abgebildet werden.

Es wurde das Simulationsprogramm 3D Thermal[12] mit BSim[13] verwendet.

[12] www.alware.de
[13] www.bsim.dk bzw. www.sbi.dk

7.2 Ergebnisse

Dargestellt werden die Ergebnisse zum thermischen Raumverhalten der Variante „Referenzfall“ (Holzhaus) für das Gesamtgebäude ohne Keller und einen exemplarischen Raum (Wohnen).

7.2.1 Ergebnisübersicht: Thermischer Komfort und Heizung

Übersicht der Simulationsergebnisse je Raumbereich					Raum-Temperatur (Nutzungszeit)			zu kalt ?	Heizung			67 Heizung (gesamt)
Zone	Variation	Fläche	Volumen	Nutzungszeit	T_min (soll	Mittel	Min.	Häufigkeit (<T_min)	Energie	Leistung	Volllast-Stunden	spez. Leistung
		m2	m3	h/a,	°C	°C	°C	%/a, h/a	MWh/a	kW	h/a	W/m²
TZ-01--KG----Kelle	Holzbau	75	187	8.760	8	11,4	8,7	-	-	-	-	-
TZ-02--EG+DG----Ersch	Holzbau	25	66	8.760	17	19,4	17,0	-	0,242	0,2	1.130	8,5
TZ-03--EG--S+O-Wohne	Holzbau	38	95	8.760	20	22,3	20,0	-	1,988	1,2	1.651	31,6
TZ-04--EG--N-WC	Holzbau	4	10	8.760	20	21,2	20,0	-	0,473	0,2	2.439	48,7
TZ-05--EG--N-HW	Holzbau	4	10	8.760	20	22,1	20,0	-	0,231	0,1	1.738	33,0
TZ-06--EG--N+O-Kuech	Holzbau	15	38	8.760	20	23,1	20,0	-	0,600	0,4	1.345	29,4
TZ-07--DG--N+W-Elter	Holzbau	15	42	8.760	20	22,0	20,0	-	1,203	0,6	1.888	42,9
TZ-08--DG--N-Bad	Holzbau	10	26	8.760	20	21,7	20,0	-	0,988	0,5	2.176	46,9
TZ-09--DG--O-AB	Holzbau	5	16	8.760	17	20,7	17,0	-	0,095	0,1	726	25,5
TZ-10--DG--S+W-Kind1	Holzbau	19	69	8.760	20	22,4	20,0	-	1,325	0,8	1.662	42,2
TZ-11--DG--S+O-Kind2	Holzbau	19	69	8.760	20	22,4	20,0	-	1,371	0,8	1.697	42,8
Gesamtgebäude	Holzbau	154	441	8.760	20	21,8	19,4	29,9% (2615 h)	8,515	4,8	1.757	31,5

◢ *Tabelle: Ergebnisübersicht Raumtemperaturen und Heizung*

Der thermische Komfort im Winter ist in allen Räumen sichergestellt:

- Die Heizleistungen halten die Raumtemperatur auf der Zieltemperatur von 20°C (bzw. 17°C in den Nebenräumen Erschließung und Abstellbereich).
- Das Gebäude hat einen Heizenergiebedarf von 8,515 MWh/a. Die maximale Heizleistung beträgt 4,8 kW.

Übersicht der Simulationsergebnisse je Raumbereich					Raum-Temperatur (Nutzungszeit)		Überhitzung?	Kühlung			68 Kühlung (gesamt)
Zone	Variation	Fläche	Volumen	Nutzungszeit	T_max (soll)	Max.	Häufigkeit (>T_max_soll)	Energie	Leistung	Volllast-Stunden	spez. Leistung
		m2	m3	h/a,	°C	°C	%/a, h/a	MWh/a	kW	h/a	W/m²
TZ-01--KG----Kelle	Holzbau	75	187	8.760	26	14,8	-	-	-	-	-
TZ-02--EG+DG----Ersch	Holzbau	25	66	8.760	26	27,1	_0,8% (66 h)	-	-	-	-
TZ-03--EG--S+O-Wohne	Holzbau	38	95	8.760	26	32,5	10,7% (935 h)	-	-	-	-
TZ-04--EG--N-WC	Holzbau	4	10	8.760	26	28,7	_3,0% (262 h)	-	-	-	-
TZ-05--EG--N-HW	Holzbau	4	10	8.760	26	30,7	_8,2% (721 h)	-	-	-	-
TZ-06--EG--N+O-Kuech	Holzbau	15	38	8.760	26	34,4	18,9% (1656 h)	-	-	-	-
TZ-07--DG--N+W-Elter	Holzbau	15	42	8.760	26	32,3	_9,3% (817 h)	-	-	-	-
TZ-08--DG--N-Bad	Holzbau	10	26	8.760	26	31,7	_8,2% (715 h)	-	-	-	-
TZ-09--DG--O-AB	Holzbau	5	16	8.760	26	32,4	12,0% (1054 h)	-	-	-	-
TZ-10--DG--S+W-Kind1	Holzbau	19	69	8.760	26	33,1	11,9% (1040 h)	-	-	-	-
TZ-11--DG--S+O-Kind2	Holzbau	19	69	8.760	26	32,9	11,9% (1039 h)	-	-	-	-
Gesamtgebäude	Holzbau	154	441	8.760	26	31,7	_9,4% (824 h)	-	-	-	-

◢ *Tabelle: Ergebnisübersicht Raumtemperaturen und Kühlung*

Der thermische Komfort im Sommer ist überwiegend Räumen gewährleistet:

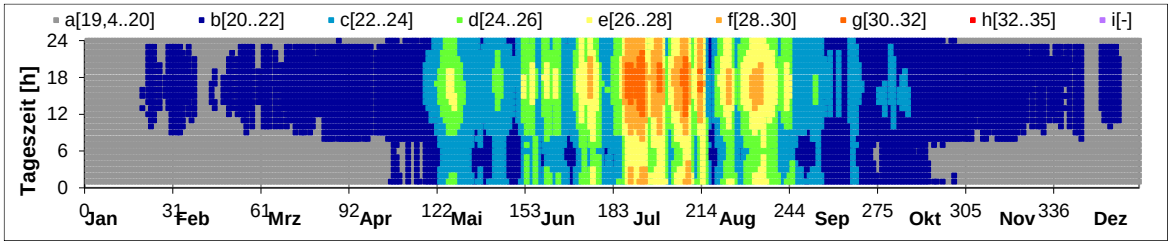
- Es ist keine Kühlung in dem Haus vorgesehen. Es kommt in den einzelnen Räumen zu Überhitzungen (Raumtemperaturen über 26°C). Die Überhitzungen bewegen sich meist im geringfügigen bis noch akzeptablen Bereich.[14]
- Das **Gesamtgebäude** hat im Mittel eine Überhitzungshäufigkeit von akzeptablen 9,4% der Nutzungszeit und eine gemittelte Maximaltemperatur von 31,7°C.
- Die Überhitzungshäufigkeit im **Wohnzimmer** (TZ-03) ist gerade noch akzeptabel (10,7% der Nutzungszeit, max. 32,5°C).
- Die Überhitzungshäufigkeit in den **Kinderzimmern** (TZ-10 + TZ-11) liegt geringfügig über dem akzeptablen Wert (11,9% der Nutzungszeit, 33,1°C bzw. 32,9°C)

[14] In Anlehnung an DIN 4108 sollten Überhitzungen der Raumtemperatur über 26°C maximal 10% der Nutzungszeit nicht übersteigen. Ab einer Überhitzungshäufigkeit von 10% gilt der thermische Komfort als nicht mehr gewährleistet.

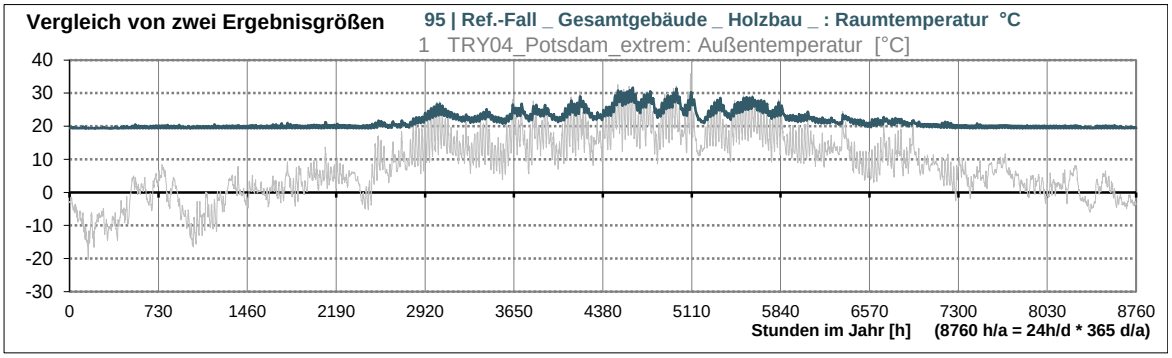
7.2.2 Gesamtgebäude: Thermischer Komfort und Heizung

7.2.2.1 Thermischer Komfort

Dargestellt ist die für das Gesamtgebäude ohne Keller gemittelte stündliche Raumtemperatur in °C im Jahresgang.



▲ *Stündliche Raumtemperaturen [°C] im Jahresgang als Teppichdarstellung*



▲ *Stündliche Raumtemperaturen [°C] im Jahresgang als Jahreskurve (blau-grüne Kurve) mit Angabe der Außentemperaturen (graue Kurve)*

Thermisches Verhalten im Winter

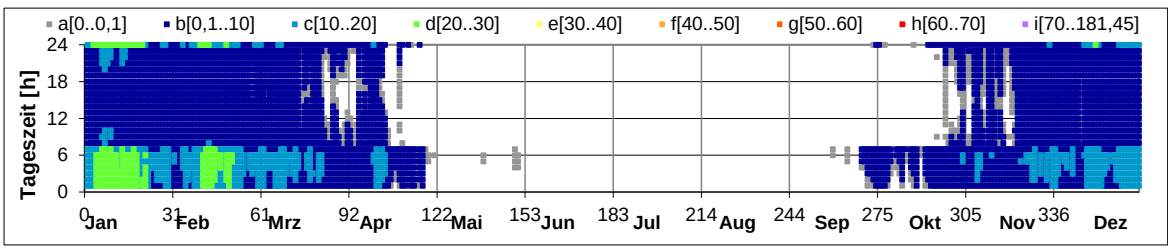
- Die Heizung stellt den gewünschten Komfort (20°C in Wohnräumen, 17°C in Flur und Abstellbereich) sicher. Es gibt somit keine Untertemperaturen.

Thermisches Verhalten im Sommer

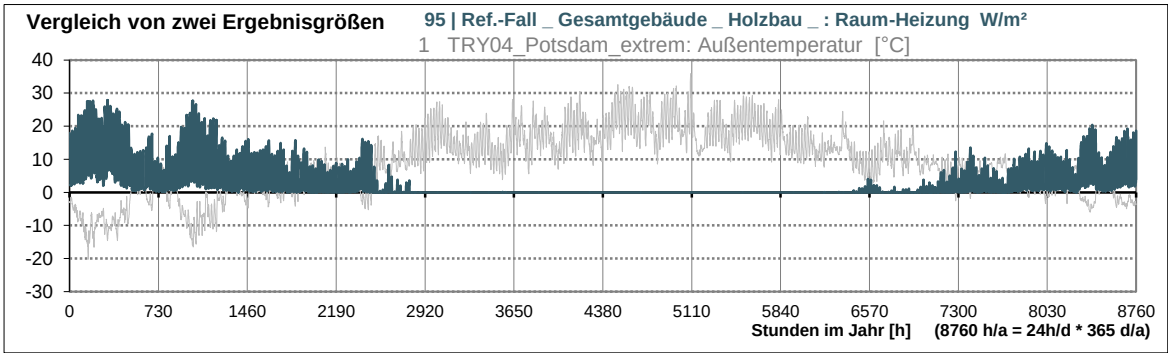
- Noch bevor die Außentemperatur 20°C übersteigt, steigt auch die Innenraumtemperatur über 20°C.
- Die Außentemperaturspitzen werden von der Innenraumtemperatur meistens nachvollzogen.
- Aufgrund der geringen thermischen Speicherfähigkeit der Bauteile führt ein Abfall der Außentemperatur zu einem recht schnellen Absinken der Innenraumtemperatur. Die Innenraumtemperatur sinkt allerdings – auch bei Außentemperaturen unter 20°C – während des gesamten Sommers nie ganz auf den Zielwert von 20°C ab.

7.2.2.2 Heizung

Dargestellt ist die für das Gesamtgebäude ohne Keller gemittelte stündliche Heizleistung in W/m² im Jahresgang.



▲ *Stündliche Heizleistungen [W/m²] im Jahresgang als Teppichdarstellung*



▲ *Stündliche Heizleistungen [W/m²] im Jahresgang als Jahreskurve (blau-grüne Kurve) mit Angabe der Außentemperaturen (graue Kurve)*

Von Mai bis September sind im Holzhaus keine Heizleistungen erforderlich. Von Oktober bis April sind Heizleistungen erforderlich. Das Maximum beträgt knapp 28 W/m² und findet zu den kältesten Zeiten statt.

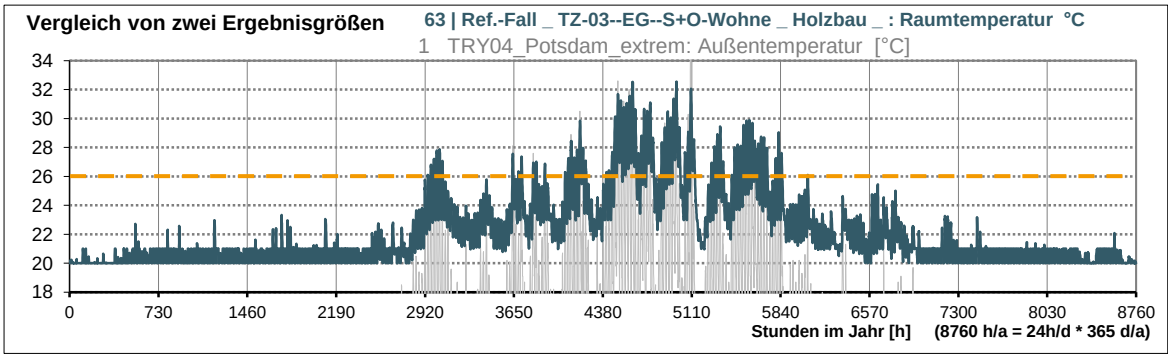
7.2.3 Exemplarischer Raum: Wohnen (TZ-03)

Als exemplarische Darstellung wird hier das Wohnzimmer nach Süden im EG (TZ-03) diskutiert.

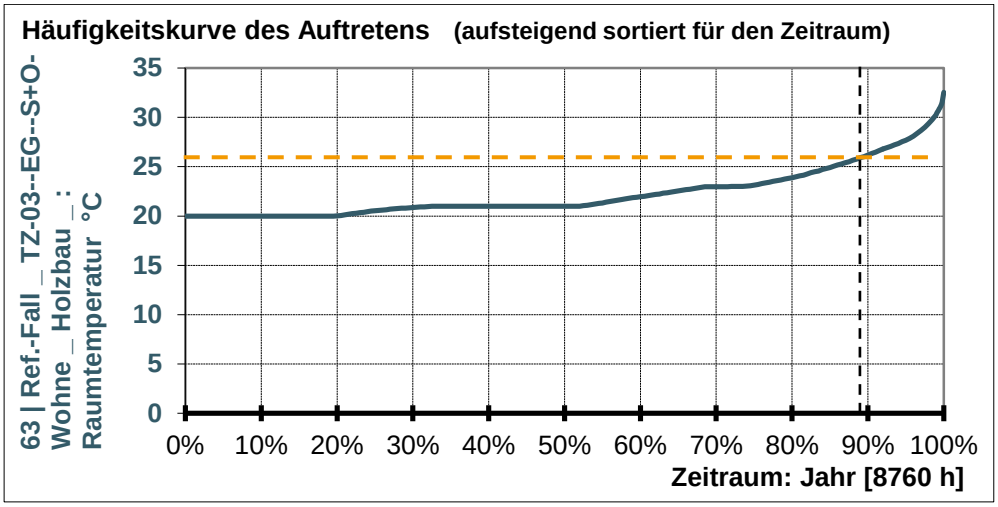
7.2.3.1 Thermischer Komfort

Im Winter ist der thermische Komfort sichergestellt. Die Raumtemperatur sinkt nicht unter 20°C.

Im Sommer kommt es in dem Raum zu Überhitzungen (Raumtemperaturen > 26°C). Die Überhitzungshäufigkeit beträgt 10,7% (vgl. untere Grafik). Die maximal erreichte Raumtemperatur beträgt 32,5°C.



▲ *Raumtemperaturen [°C] Holzhaus (blau-grüne Kurve) und Außentemperatur (graue Kurve)*

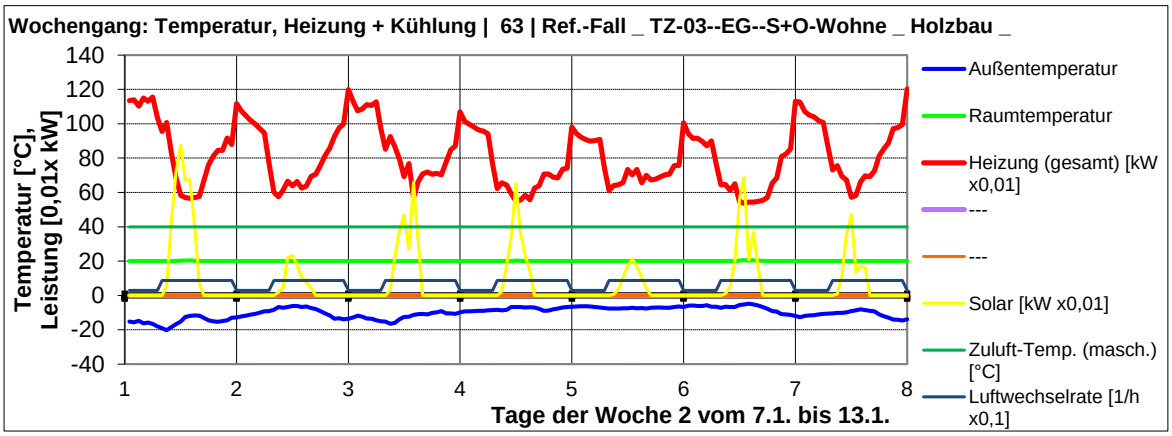


▲ *Raumtemperaturen [°C] während der Nutzungszeit (8760 h/a) als Summenkurve*

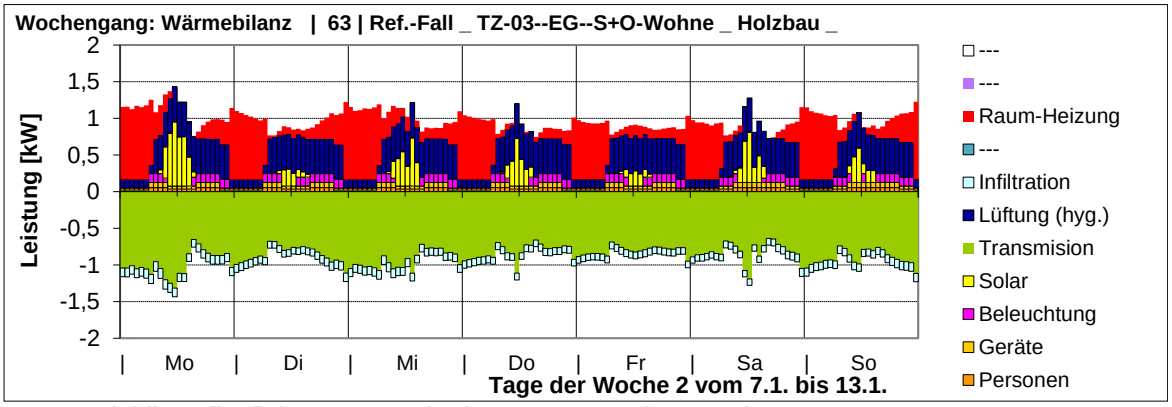
7.2.3.2 Thermisches Verhalten und Energiebilanz in der Winterwoche

Um die Zieltemperatur von 20°C im Wohnzimmer zu halten, sind Heizleistungen von etwa 1 kW erforderlich.

Die untere Grafik zeigt, dass die winterlichen solaren Einträge ebenfalls einen nennenswerten Anteil zur Raumerwärmung beisteuern (kurzzeitige Spitzen bis 0,8 kW). In Verbindung mit dem Wärmeeintrag aus der RLT-Anlage (ca. 0,5 kW) braucht die Raumheizung zeitweise fast gar nicht aktiv sein. Die Abwärme aus Personen, Geräten und künstlicher Beleuchtung trägt kaum zur Raumerwärmung bei.



▲ *Temperaturen [°C] und Leistungen [kW] im Raum in der extremen Winterwoche*

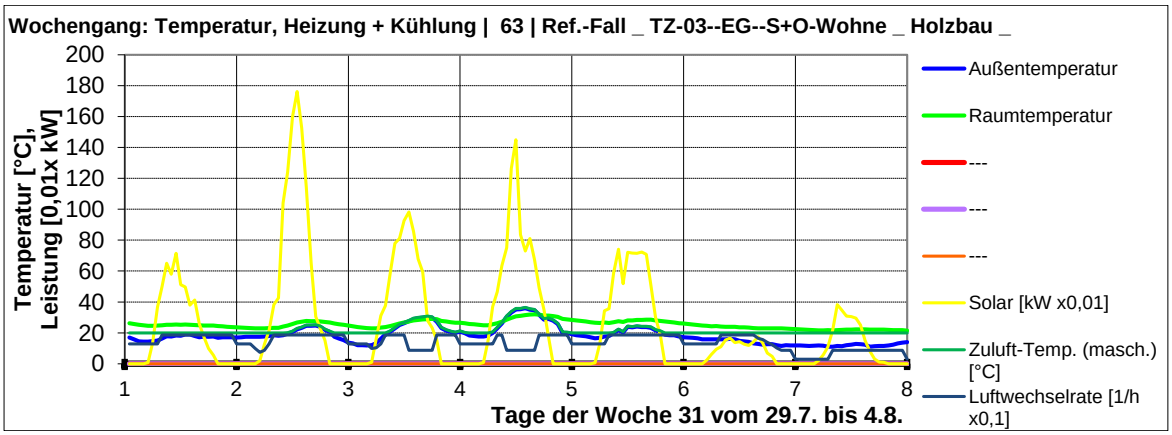


▲ *Energiebilanz [kW] des Raumes in der extremen Winterwoche*

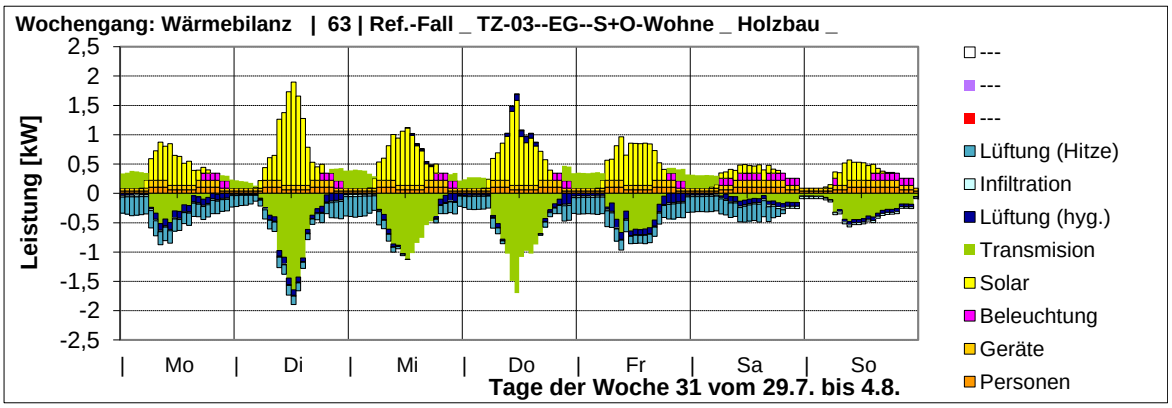
7.2.3.3 Thermisches Verhalten und Energiebilanz in der Sommerwoche

Im Sommer sind es hauptsächlich die solaren Einträge (bis 1,8 kW), die den Raum erwärmen und zu Überhitzungen führen.

Insbesondere in den Nachtstunden kann durch die gezielte Fensterlüftung gegen Hitze eine Wärmeleistung bis ca. 0,5 kW aus dem Raum abgeführt werden. Auch die hygienische Lüftung über die RLT-Anlage trägt geringfügig zur Raumentwärmung bei.



▲ *Temperaturen [°C] und Leistungen [kW] im Raum in der extremen Sommerwoche*



▲ *Energiebilanz [kW] des Raumes in der extremen Sommerwoche*

alware GmbH · Rebenring 37 · D-38106 Braunschweig
Tel +49 531 250 72 80 · Fax +49 531 250 72 81 · info@alware.de · www.alware.de

8 Analyse Variante 1: Bauweise mit Ziegel

8.1 Eingabedokumentation

8.1.1 Änderungen gegenüber dem Referenzfall

Gegenüber dem Referenzfall werden folgende Eingabeparameter geändert. Alle anderen Eingaben bleiben gleich.

- Die Bauweise erfolgt mit Ziegel (Poroton T9, Außenwand und Innenwände).

Variationen - Übersicht

Eingaben

Nr.	Variante	Bauteile									
		Außenwände [W/m² K]	Innenwände tr. [W/m² K]	Innenwände n. tr. [W/m² K]	Bodenplatte [W/m² K]	Geschossdecke KG-EG [W/m² K]	Geschossdecke EG-OG [W/m² K]	Dach [W/m² K]	Außenwand Keller [W/m² K]	Innenwand Keller [W/m² K]	Fenster [W/m² K]
1	**Ziegel**	Poroton T9, U=0,28	Poroton T9, U=0,45	Poroton T9, U=0,63	Beton, U=0,31	Beton, U=0,30	Beton, U=0,88	Leichtbau, U=0,20	KS, U=0,30	KS, U=2,08 bzw. U=2,47	3-fach WSV, U=1,1

◢ *Tabelle: Übersicht der Bauweise Ziegel (Poroton T9)*

Für die thermische Simulation werden folgende Bauteile verwendet.

Dokumentation der Bauteile

Nr,	Bauteil	Typ	Dicke d [m]	U [W/m² K]	Besonderheiten
1	Bodenplatte	AussenBoden an Erdreic	0,460	**0,311**	
2	Deckenplatte KG-EG	ZwischenBoden	0,335	**0,303**	0
3	Deckenplatte EG-OG	ZwischenBoden	0,260	**0,880**	
4	Dach	Dach	0,233	**0,197**	
5	AW-Keller	AussenWand an Erdreic	0,340	**0,304**	0
6	IW-1_Keller	InnenWand	0,175	**2,077**	
7	IW-2_Keller	InnenWand	0,115	**2,466**	
8	AW-Poroton_v1	AussenWand	0,335	**0,281**	
9	IW-1_Poroton_v1	InnenWand	0,205	**0,445**	
10	IW-2_Poroton_v1	InnenWand	0,145	**0,633**	

Dokumentation der Fenster

Nr,	Bauteil (Typ)		U [W/m² K]	Verglasung	Rahmen	Panel	Fenster-Maß [Breite x Höhe]
1	Fe_268_225	(AussenFenster)	**1,029**	69,4%_iplus 3CE_u50_g50_t72	30,6%_Rahmen_u180		3 2,68 x 2,25 - Fe_Garten
2	Fe_101_225	(AussenFenster)	**1,101**	66,9%_iplus 3CE_u50_g50_t72	33,1%_Rahmen_u180		1 1,01 x 2,25 - Fe_groß
3	Fe_101_145	(AussenFenster)	**1,103**	66,4%_iplus 3CE_u50_g50_t72	33,6%_Rahmen_u180		2 1,01 x 1,45 - Fe_klein

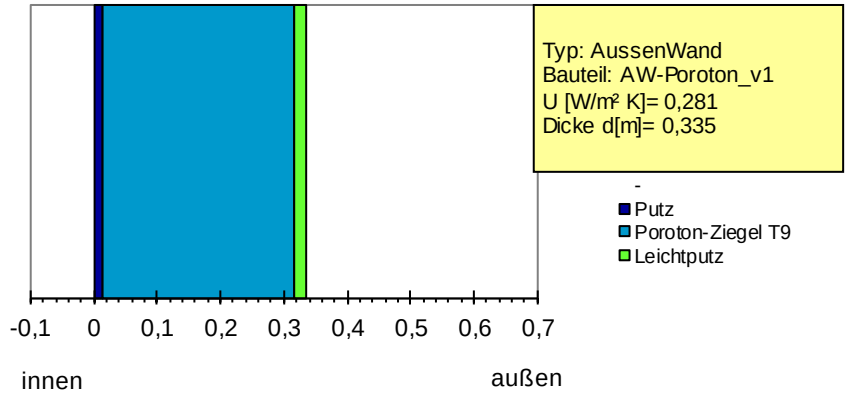
◢ *Tabelle: Bauteile und Fenster (Kurzdokumentation)*

Typ:	**AussenWand**	U [W/m² K]
Bauteil:	**AW-Poroton_v1**	**0,281**

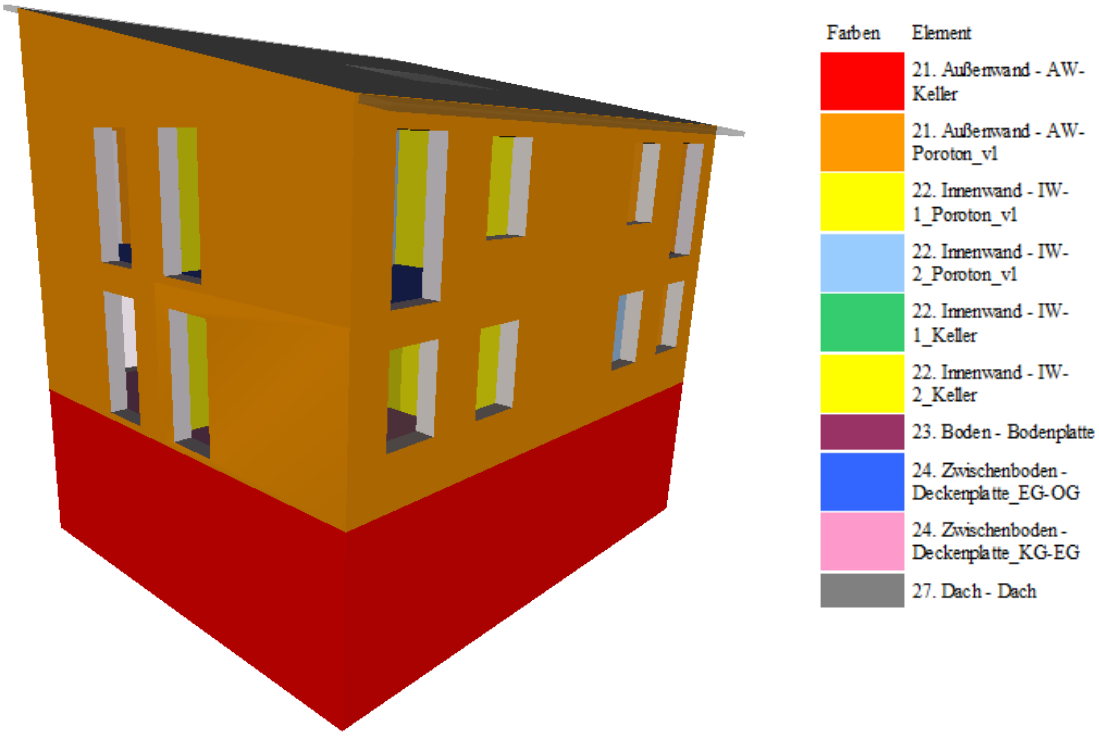
Schichtaufbau von (innen) nach (außen)

	Name	Dicke d [m]	Wärmeleitf. [W/m K]	Widerstand R [m² K/W]	Dichte [kg/m³]
innen	Wärmeübergang			0,130	
1	Putz	0,015	0,700	0,021	1400
2	Poroton-Ziegel T9	0,300	0,090	3,333	650
3	Leichtputz	0,020	0,700	0,029	900
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
außen	Wärmeübergang			0,040	
Summe		0,335		**3,553**	

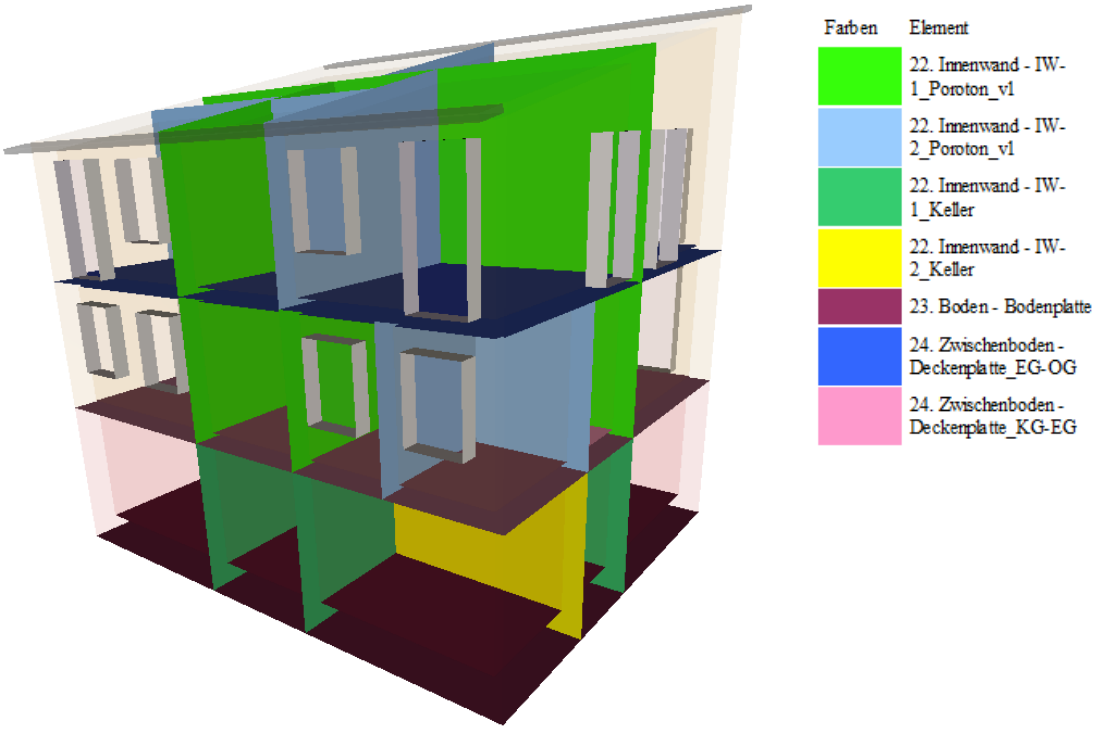
◢ *Tabelle: Bauteil Außenwand mit Ziegel (Poroton T9)*



◢ *Abb.: Schnittdarstellung Bauteil Außenwand mit Ziegel (Poroton T9)*



◢ *Abb.: Zuweisung der Bauteile, Blick von Nordosten*



◢ *Abb.: Zuweisung der Innenbauteile mit Bodenplatte, Blick von Nordwesten*

8.2 Ergebnisse

Dargestellt werden die Ergebnisse zum thermischen Raumverhalten der Variante „**Ziegel (Poroton (T9)**“ für das Gesamtgebäude ohne Keller und einen exemplarischen Raum (Wohnen).

8.2.1 Ergebnisübersicht: Thermischer Komfort und Heizung

Übersicht der Simulationsergebnisse je Raumbereich					Raum-Temperatur (Nutzungszeit)			zu kalt ?	Heizung			67 Heizung (gesamt)
Zone	Variation	Fläche	Volumen	Nutzungszeit	T_min (soll	Mittel	Min.	Häufigkeit (<T_min)	Energie	Leistung	Volllast-Stunden	spez. Leistung
		m2	m3	h/a,	°C	°C	°C	%/a, h/a	MWh/a	kW	h/a	W/m²
TZ-01--KG----Kelle	Ziegel	75	184	8.760	8	11,2	8,5	-	-	-	-	-
TZ-02--EG+DG----Ersch	Ziegel	24	62	8.760	17	19,6	17,0	-	0,132	0,1	908	6,0
TZ-03--EG--S+O-Wohne	Ziegel	37	91	8.760	20	22,3	20,0	-	1,826	1,1	1.596	30,8
TZ-04--EG--N-WC	Ziegel	4	9	8.760	20	21,2	20,0	-	0,422	0,2	2.454	45,9
TZ-05--EG--N-HW	Ziegel	4	9	8.760	20	22,2	20,0	-	0,212	0,1	1.710	32,5
TZ-06--EG--N+O-Kuech	Ziegel	15	36	8.760	20	23,2	20,0	-	0,542	0,4	1.398	26,4
TZ-07--DG--N+W-Elter	Ziegel	14	41	8.760	20	22,0	20,0	-	1,134	0,6	1.866	42,3
TZ-08--DG--N-Bad	Ziegel	9	25	8.760	20	21,7	20,0	-	0,936	0,4	2.233	45,0
TZ-09--DG--O-AB	Ziegel	5	15	8.760	17	20,7	17,0	-	0,073	0,1	597	25,3
TZ-10--DG--S+W-Kind1	Ziegel	18	67	8.760	20	22,4	20,0	-	1,248	0,8	1.629	41,8
TZ-11--DG--S+O-Kind2	Ziegel	18	67	8.760	20	22,4	20,0	-	1,305	0,8	1.671	42,6
Gesamtgebäude	Ziegel	149	423	8.760	20	21,8	19,4	26,9% (2354 h)	7,831	4,6	1.706	30,9

◢ *Tabelle: Ergebnisübersicht Raumtemperaturen und Heizung*

Der thermische Komfort im Winter ist in allen Räumen sichergestellt:

- Die Heizleistungen halten die Raumtemperatur auf der Zieltemperatur von 20°C (bzw. 17°C in den Nebenräumen Erschließung und Abstellbereich).
- Das Gebäude hat einen Heizenergiebedarf von 7,831 MWh/a. Die maximale Heizleistung beträgt 4,6 kW.
    - Heizenergiebedarf: 8,2% weniger als beim Holzhaus
    - Max. Heizleistung 4,2% weniger als beim Holzhaus

Übersicht der Simulationsergebnisse je Raumbereich					Raum-Temperatur (Nutzungszeit)		Überhitzung?	Kühlung				68 Kühlung (gesamt)
Zone	Variation	Fläche	Volumen	Nutzungszeit	T_max (soll)	Max.	Häufigkeit (>T_max_soll)	Energie	Leistung	Volllast-Stunden	spez. Leistung	
		m2	m3	h/a,	°C	°C	%/a, h/a	MWh/a	kW	h/a	W/m²	
TZ-01--KG----Kelle	Ziegel	75	184	8.760	26	14,5	-	-	-	-	-	
TZ-02--EG+DG----Ersch	Ziegel	24	62	8.760	26	25,9	-	-	-	-	-	
TZ-03--EG--S+O-Wohne	Ziegel	37	91	8.760	26	31,1	_9,4% (825 h)	-	-	-	-	
TZ-04--EG--N-WC	Ziegel	4	9	8.760	26	27,6	_1,8% (156 h)	-	-	-	-	
TZ-05--EG--N-HW	Ziegel	4	9	8.760	26	29,5	_8,1% (709 h)	-	-	-	-	
TZ-06--EG--N+O-Kuech	Ziegel	15	36	8.760	26	32,7	20,3% (1781 h)	-	-	-	-	
TZ-07--DG--N+W-Elter	Ziegel	14	41	8.760	26	31,8	_9,1% (797 h)	-	-	-	-	
TZ-08--DG--N-Bad	Ziegel	9	25	8.760	26	30,8	_7,7% (677 h)	-	-	-	-	
TZ-09--DG--O-AB	Ziegel	5	15	8.760	26	31,4	11,5% (1008 h)	-	-	-	-	
TZ-10--DG--S+W-Kind1	Ziegel	18	67	8.760	26	32,5	11,4% (996 h)	-	-	-	-	
TZ-11--DG--S+O-Kind2	Ziegel	18	67	8.760	26	32,2	11,4% (997 h)	-	-	-	-	
Gesamtgebäude	Ziegel	149	423	8.760	26	30,6	_8,7% (764 h)	-	-	-	-	

◢ *Tabelle: Ergebnisübersicht Raumtemperaturen und Kühlung*

Der thermische Komfort im Sommer ist überwiegend Räumen gewährleistet:

- Es ist keine Kühlung in dem Haus vorgesehen. Es kommt in den einzelnen Räumen zu Überhitzungen (Raumtemperaturen über 26°C). Die Überhitzungen bewegen sich meist im geringfügigen bis noch akzeptablen Bereich.[15]
- Das **Gesamtgebäude** hat im Mittel eine Überhitzungshäufigkeit von akzeptablen 8,7% der Nutzungszeit und eine gemittelte Maximaltemperatur von 30,6°C.
    - Überhitzungshäufigkeit: 0,7%-Punkte weniger als beim Holzhaus
    - Maximaltemperatur: 1,1 K weniger als beim Holzhaus

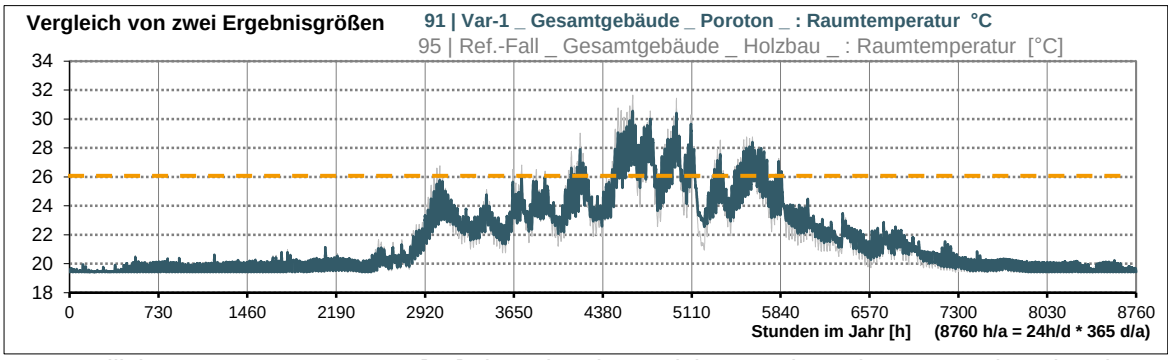
[15] In Anlehnung an DIN 4108 sollten Überhitzungen der Raumtemperatur über 26°C maximal 10% der Nutzungszeit nicht übersteigen. Ab einer Überhitzungshäufigkeit von 10% gilt der thermische Komfort als nicht mehr gewährleistet.

- Die Überhitzungshäufigkeit im **Wohnzimmer** (TZ-03) ist noch akzeptabel (9,4% der Nutzungszeit, max. 31,1°C).
  - Überhitzungshäufigkeit: 1,3%-Punkte weniger als beim Holzhaus
  - Maximaltemperatur: 1,4 K weniger als beim Holzhaus
- Die Überhitzungshäufigkeit in den **Kinderzimmern** (TZ-10 + TZ-11) liegt geringfügig über dem akzeptablen Wert (11,4% der Nutzungszeit, 32,5°C bzw. 32,2°C).
  - Überhitzungshäufigkeit: 0,5%-Punkte weniger als beim Holzhaus
  - Maximaltemperatur: 0,6 K bzw. 0,7 K weniger als beim Holzhaus

8.2.2 Gesamtgebäude: Thermischer Komfort und Heizung

8.2.2.1 Thermischer Komfort

Dargestellt ist die für das Gesamtgebäude ohne Keller gemittelte stündliche Raumtemperatur in °C im Jahresgang.



▲ *Stündliche Raumtemperaturen [°C] des Ziegel-Massivhauses im Jahresgang als Jahreskurve (blau-grüne Kurve) im Vergleich zum Holzhaus (graue Kurve)*

Thermisches Verhalten im Winter

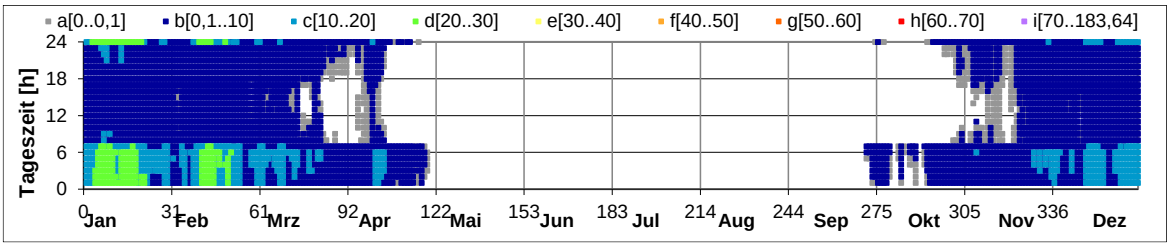
- Die Heizung stellt den gewünschten Komfort (20°C in Wohnräumen, 17°C in Flur und Abstellbereich) sicher. Es gibt somit keine Untertemperaturen.
  - Im Vergleich zum Holzhaus gibt es keine nennenswerten Unterschiede.

Thermisches Verhalten im Sommer

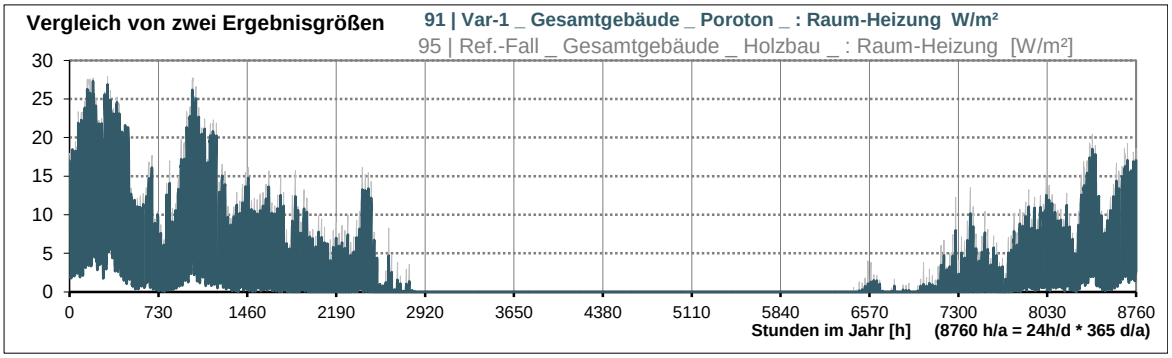
- Wie beim Holzhaus führen auch beim Ziegel-Massivhaus Außentemperaturen von knapp 20°C zu Innenraumtemperaturen über 20°C.
- Aufgrund der größeren thermischen Speicherfähigkeit der Bauteile ist das thermische Verhalten des Ziegel-Massivhauses stabiler als beim Holzhaus: Die Amplitude ist kleiner, d.h. die Temperaturschwankungen sind geringer.
  - Die erreichten Spitzentemperaturen liegen mitunter etwas mehr als 1 K unter denen des Holzhauses. Die Erhöhung der Innenraumtemperaturen geht etwas langsamer vonstatten als beim Holzhaus.
  - Die Innenraumtemperaturen des Ziegel-Massivhauses sinken bei abfallenden Außentemperaturen nicht ganz so rasch wie beim Holzhaus. Vor allem sinken sie nicht so tief. Mitunter sind die Tiefstwerte mehr als 1 K über denen des Holzhauses.

8.2.2.2 Heizung

Dargestellt ist die für das Gesamtgebäude ohne Keller gemittelte stündliche Heizleistung in W/m² im Jahresgang.



▲ *Stündliche Heizleistungen [W/m²] im Jahresgang als Teppichdarstellung*



▲ *Stündliche Heizleistungen [W/m²] des Ziegel-Massivhauses im Jahresgang als Jahreskurve (blau-grüne Kurve) im Vergleich zum Holzhaus (graue Kurve)*

Von Mai bis September sind im Ziegel-Massivhaus keine Heizleistungen erforderlich. Von Oktober bis April sind Heizleistungen erforderlich. Das Maximum beträgt 27,3 W/m² und findet zu den kältesten Zeiten statt.

- Im Vergleich zum Holzhaus sind die Spitzen-Heizleistungen beim Ziegel-Massivhaus meistens etwas geringer.

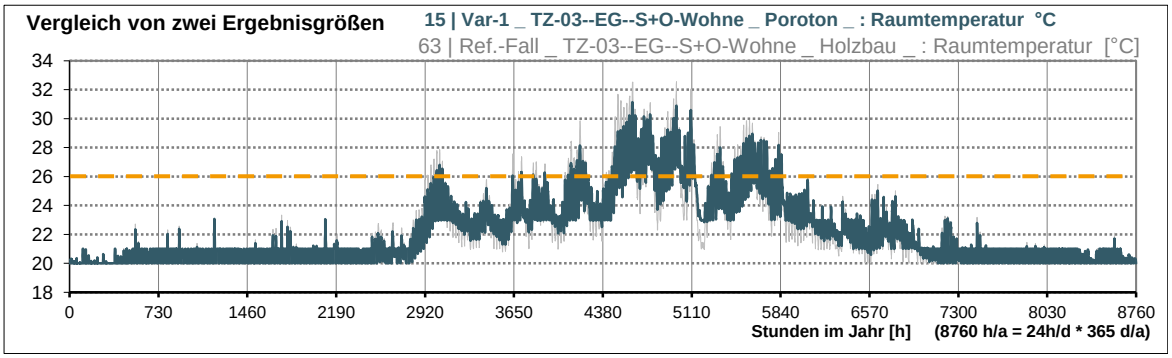
8.2.3 Exemplarischer Raum: Wohnen (TZ-03)

Als exemplarische Darstellung wird hier der thermische Komfort des Wohnzimmers nach Süden im EG (TZ-03) diskutiert.

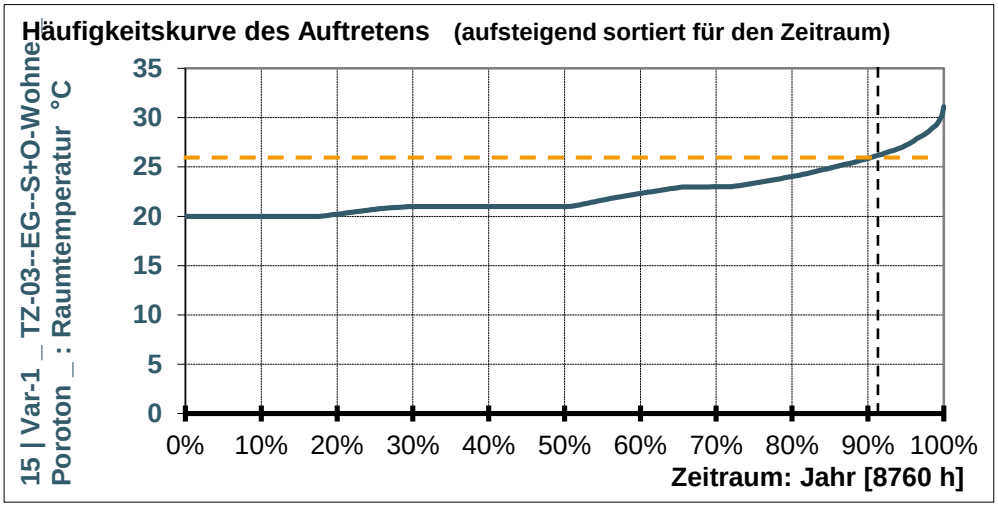
Im Winter ist der thermische Komfort sichergestellt. Die Raumtemperatur sinkt nicht unter 20°C.

Im Sommer kommt es in dem Raum zu Überhitzungen (Raumtemperaturen > 26°C). Die Überhitzungshäufigkeit beträgt 9,4% (vgl. untere Grafik). Die maximal erreichte Raumtemperatur beträgt 31,1°C.

- Überhitzungshäufigkeit: 1,3%-Punkte weniger als beim Holzhaus
- Maximaltemperatur: 1,4 K weniger als beim Holzhaus



▲ *Raumtemperaturen [°C] im Massivhaus (blau-grüne Kurve) und Holzhaus (graue Kurve)*



▲ *Raumtemperaturen [°C] während der Nutzungszeit (8760 h/a) als Summenkurve*

9 Analyse Variante 2: Bauweise mit Kalksandstein

9.1 Eingabedokumentation

9.1.1 Änderungen gegenüber dem Referenzfall

Gegenüber dem Referenzfall werden folgende Eingabeparameter geändert. Alle anderen Eingaben bleiben gleich.

- Die Bauweise erfolgt mit Kalksandstein (Außenwand und Innenwände).

Variationen - Übersicht

Eingaben

Nr.	Variante	Bauteile: Außenwände [W/m² K]	Innenwände tr. [W/m² K]	Innenwände n. tr. [W/m² K]	Bodenplatte [W/m² K]	Geschossdecke KG-EG [W/m² K]	Geschossdecke EG-OG [W/m² K]	Dach [W/m² K]	Außenwand Keller [W/m² K]	Innenwand Keller [W/m² K]	Fenster [W/m² K]
2	**Kalksandstein**	KS Quadro, U=0,26	KS Quadro, U=2,17	KS Quadro, U=2,46	Beton, U=0,31	Beton, U=0,30	Beton, U=0,88	Leichtbau, U=0,20	KS, U=0,30	KS, U=2,08 bzw. U=2,47	3-fach WSV, U=1,1

◢ *Tabelle: Übersicht der Bauweise Kalksandstein (KS Quadro)*

Für die thermische Simulation werden folgende Bauteile verwendet.

Dokumentation der Bauteile

Nr,	Bauteil	Typ	Dicke d [m]	U [W/m² K]	Besonderheiten
1	Bodenplatte	AussenBoden an Erdreic	0,460	**0,311**	
2	Deckenplatte KG-EG	ZwischenBoden	0,335	**0,303**	0
3	Deckenplatte EG-OG	ZwischenBoden	0,260	**0,880**	
4	Dach	Dach	0,233	**0,197**	
5	AW-Keller	AussenWand an Erdreic	0,340	**0,312**	0
6	IW-1_Keller	InnenWand	0,175	**2,386**	
7	IW-2_Keller	InnenWand	0,115	**2,743**	
8	AW-KS_v2	AussenWand	0,305	**0,264**	0
9	IW-1_KS_v2	InnenWand	0,205	**2,165**	
10	IW-2_KS_v2	InnenWand	0,145	**2,455**	

Dokumentation der Fenster

Nr,	Bauteil (Typ)		U [W/m² K]	Verglasung	Rahmen	Panel	Fenster-Maß [Breite x Höhe]
1	Fe_268_225	(AussenFenster)	**1,029**	69,4%_iplus 3CE_u50_g50_t72	30,6%_Rahmen_u180		3 2,68 x 2,25 - Fe_Garten
2	Fe_101_225	(AussenFenster)	**1,101**	66,9%_iplus 3CE_u50_g50_t72	33,1%_Rahmen_u180		1 1,01 x 2,25 - Fe_groß
3	Fe_101_145	(AussenFenster)	**1,103**	66,4%_iplus 3CE_u50_g50_t72	33,6%_Rahmen_u180		2 1,01 x 1,45 - Fe_klein

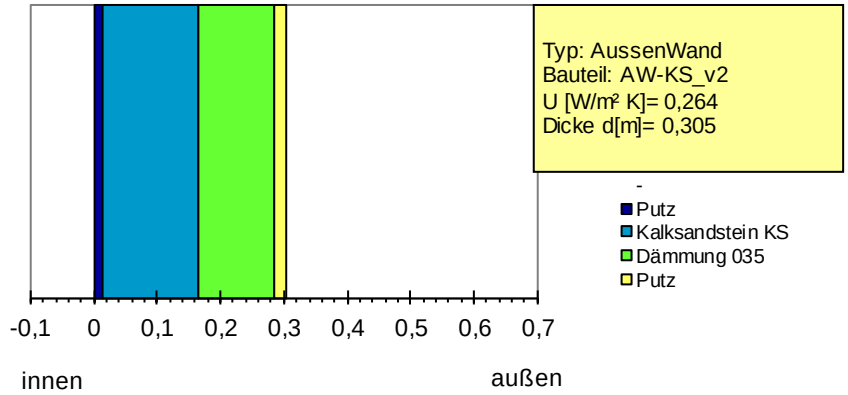
◢ *Tabelle: Bauteile und Fenster (Kurzdokumentation)*

Typ:	**AussenWand**	U [W/m² K]	BSim-Kennung
Bauteil:	**AW-KS_v2**	**0,264**	**21.10.08**

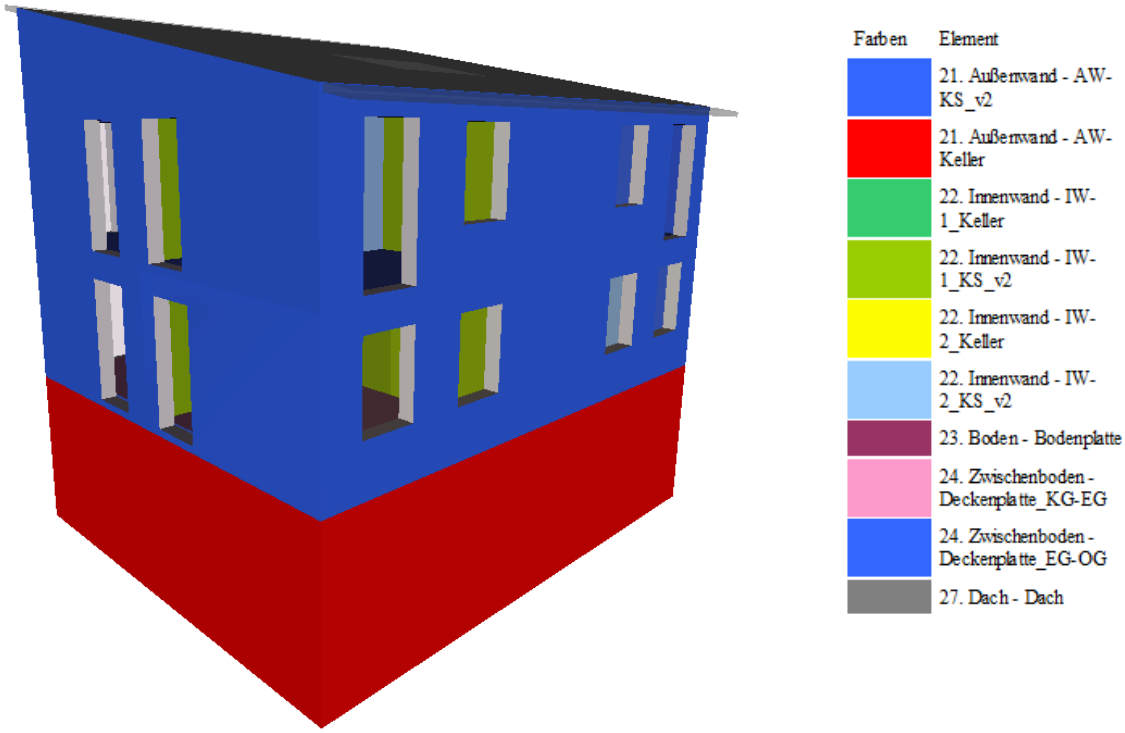
Schichtaufbau von (innen) nach (außen)

	Name	Dicke d [m]	Wärmeleitf. [W/m K]	Widerstand R [m² K/W]	Dichte [kg/m³]	Wärmekap. c c [Ws/kg K]
innen	Wärmeübergang			0,130		
1	Putz	0,015	0,700	0,021	1400	1000
2	Kalksandstein KS	0,150	1,100	0,136	2000	1000
3	Dämmung 035	0,120	0,035	3,429	45	1000
4	Putz	0,020	0,700	0,029	1400	1000
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
außen	Wärmeübergang			0,040		
Summe		0,305		**3,785**		

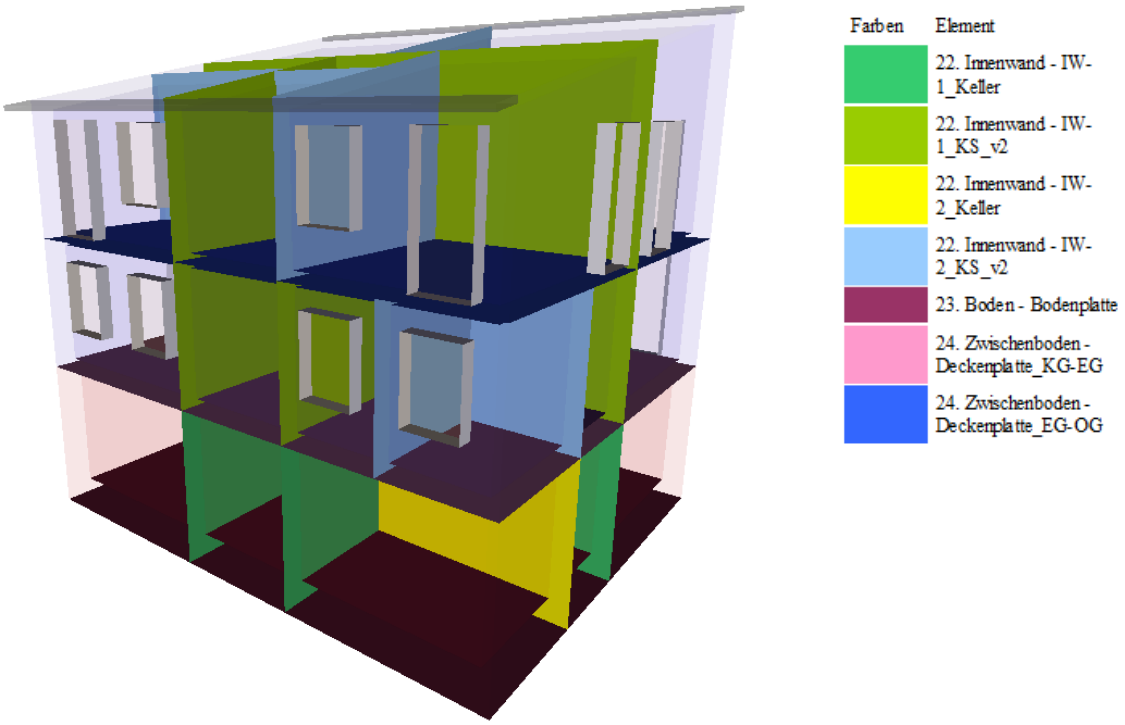
◢ *Tabelle: Bauteil Außenwand mit Kalksandstein (KS Quadro)*



◢ *Abb.: Schnittdarstellung Bauteil Außenwand mit Kalksandstein (KS Quadro)*



◢ *Abb.: Zuweisung der Bauteile, Blick von Nordosten*



◢ *Abb.: Zuweisung der Innenbauteile mit Bodenplatte, Blick von Nordwesten*

9.2 Ergebnisse

Dargestellt werden die Ergebnisse zum thermischen Raumverhalten der Variante „**Kalksandstein (KS Quadro)**“ für das Gesamtgebäude ohne Keller und einen exemplarischen Raum (Wohnen).

9.2.1 Ergebnisübersicht: Thermischer Komfort und Heizung

Übersicht der Simulationsergebnisse je Raumbereich					Raum-Temperatur (Nutzungszeit)			zu kalt ?	Heizung			67 Heizung (gesamt)
Zone	Variation	Fläche	Volumen	Nutzungszeit	T_min (soll	Mittel	Min.	Häufigkeit (<T_min)	Energie	Leistung	Volllast-Stunden	spez. Leistung
		m2	m3	h/a,	°C	°C	°C	%/a, h/a	MWh/a	kW	h/a	W/m²
TZ-01--KG----Kelle	Kalksandstein	75	184	8.760	8	11,3	8,6	-	-	-	-	-
TZ-02--EG+DG----Ersch	Kalksandstein	24	63	8.760	17	21,2	18,4	-	-	-	-	-
TZ-03--EG--S+O-Wohne	Kalksandstein	38	93	8.760	20	22,2	20,0	-	1,919	1,2	1.606	31,7
TZ-04--EG--N-WC	Kalksandstein	4	9	8.760	20	21,4	20,0	-	0,410	0,2	2.190	48,4
TZ-05--EG--N-HW	Kalksandstein	4	9	8.760	20	21,9	20,0	-	0,246	0,1	1.723	37,0
TZ-06--EG--N+O-Kuech	Kalksandstein	15	37	8.760	20	22,8	20,0	-	0,595	0,4	1.382	28,9
TZ-07--DG--N+W-Elter	Kalksandstein	15	42	8.760	20	22,0	20,0	-	1,135	0,6	1.764	44,0
TZ-08--DG--N-Bad	Kalksandstein	9	26	8.760	20	21,7	20,0	-	0,998	0,5	1.996	52,7
TZ-09--DG--O-AB	Kalksandstein	5	15	8.760	17	21,2	17,0	-	0,000	0,0	2	2,9
TZ-10--DG--S+W-Kind1	Kalksandstein	19	68	8.760	20	22,3	20,0	-	1,297	0,8	1.660	42,0
TZ-11--DG--S+O-Kind2	Kalksandstein	19	68	8.760	20	22,2	20,0	-	1,412	0,8	1.690	45,0
Gesamtgebäude	Kalksandstein	151	429	8.760	20	22,0	19,6	20,0% (1752 h)	8,012	4,6	1.726	30,8

◢ *Tabelle: Ergebnisübersicht Raumtemperaturen und Heizung*

Der thermische Komfort im Winter ist in allen Räumen sichergestellt:

- Die Heizleistungen halten die Raumtemperatur auf der Zieltemperatur von 20°C (bzw. 17°C in den Nebenräumen Erschließung und Abstellbereich).
- Das Gebäude hat einen Heizenergiebedarf von 8,012 MWh/a. Die maximale Heizleistung beträgt 4,6 kW.
    - Heizenergiebedarf: 5,9% weniger als beim Holzhaus
    - Max. Heizleistung 4,2% weniger als beim Holzhaus

Übersicht der Simulationsergebnisse je Raumbereich					Raum-Temperatur (Nutzungszeit)		Überhitzung?	Kühlung			68 Kühlung (gesamt)
Zone	Variation	Fläche	Volumen	Nutzungszeit	T_max (soll)	Max.	Häufigkeit (>T_max_soll)	Energie	Leistung	Volllast-Stunden	spez. Leistung
		m2	m3	h/a,	°C	°C	%/a, h/a	MWh/a	kW	h/a	W/m²
TZ-01--KG----Kelle	Kalksandstein	75	184	8.760	26	14,5	-	-	-	-	-
TZ-02--EG+DG----Ersch	Kalksandstein	24	63	8.760	26	27,4	_4,1% (358 h)	-	-	-	-
TZ-03--EG--S+O-Wohne	Kalksandstein	38	93	8.760	26	30,0	_8,1% (708 h)	-	-	-	-
TZ-04--EG--N-WC	Kalksandstein	4	9	8.760	26	27,4	_2,0% (174 h)	-	-	-	-
TZ-05--EG--N-HW	Kalksandstein	4	9	8.760	26	28,3	_5,5% (486 h)	-	-	-	-
TZ-06--EG--N+O-Kuech	Kalksandstein	15	37	8.760	26	30,9	14,3% (1249 h)	-	-	-	-
TZ-07--DG--N+W-Elter	Kalksandstein	15	42	8.760	26	30,5	_7,9% (693 h)	-	-	-	-
TZ-08--DG--N-Bad	Kalksandstein	9	26	8.760	26	29,2	_6,1% (536 h)	-	-	-	-
TZ-09--DG--O-AB	Kalksandstein	5	15	8.760	26	29,2	_8,6% (754 h)	-	-	-	-
TZ-10--DG--S+W-Kind1	Kalksandstein	19	68	8.760	26	30,9	_9,7% (853 h)	-	-	-	-
TZ-11--DG--S+O-Kind2	Kalksandstein	19	68	8.760	26	30,6	_9,5% (832 h)	-	-	-	-
Gesamtgebäude	Kalksandstein	151	429	8.760	26	29,6	_7,9% (694 h)	-	-	-	-

◢ *Tabelle: Ergebnisübersicht Raumtemperaturen und Kühlung*

Der thermische Komfort im Sommer ist überwiegend Räumen gewährleistet:

- Es ist keine Kühlung in dem Haus vorgesehen. Es kommt in den einzelnen Räumen zu Überhitzungen (Raumtemperaturen über 26°C). Die Überhitzungen bewegen sich meist im geringfügigen bis noch akzeptablen Bereich.[16]
- Das **Gesamtgebäude** hat im Mittel eine Überhitzungshäufigkeit von akzeptablen 7,9% der Nutzungszeit und eine gemittelte Maximaltemperatur von 29,6°C.
    - Überhitzungshäufigkeit: 1,5%-Punkte weniger als beim Holzhaus
    - Maximaltemperatur: 2,1 K weniger als beim Holzhaus

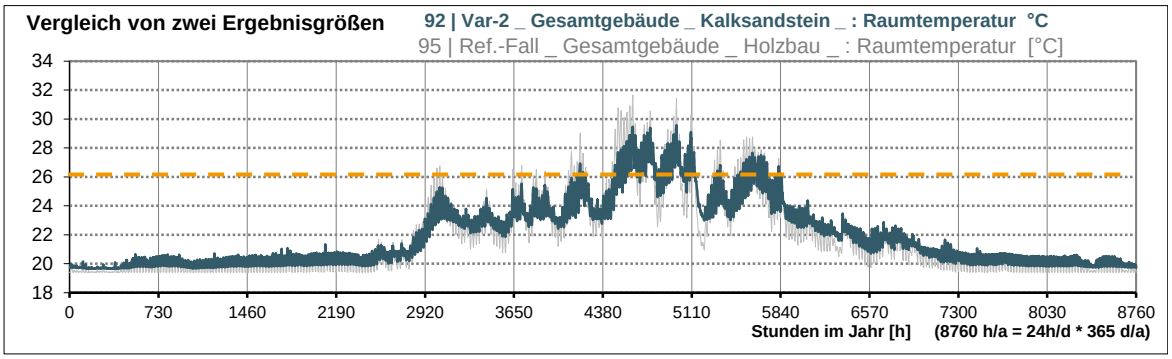
[16] In Anlehnung an DIN 4108 sollten Überhitzungen der Raumtemperatur über 26°C maximal 10% der Nutzungszeit nicht übersteigen. Ab einer Überhitzungshäufigkeit von 10% gilt der thermische Komfort als nicht mehr gewährleistet.

- Die Überhitzungshäufigkeit im **Wohnzimmer** (TZ-03) ist noch akzeptabel (8,1% der Nutzungszeit, max. 30,0°C).
  - Überhitzungshäufigkeit: 2,6%-Punkte weniger als beim Holzhaus
  - Maximaltemperatur: 2,5 K weniger als beim Holzhaus
- Die Überhitzungshäufigkeit im **Kinderzimmer** (TZ-10) ist noch akzeptabel (9,7% der Nutzungszeit, 30,9°C)
  - Überhitzungshäufigkeit: 2,2%-Punkte weniger als beim Holzhaus
  - Maximaltemperatur: 2,2 K weniger als beim Holzhaus

9.2.2 Gesamtgebäude: Thermischer Komfort und Heizung

9.2.2.1 Thermischer Komfort

Dargestellt ist die für das Gesamtgebäude ohne Keller gemittelte stündliche Raumtemperatur in °C im Jahresgang.



▲ *Stündliche Raumtemperaturen [°C] des Kalksandstein-Massivhauses im Jahresgang als Jahreskurve (blau-grüne Kurve) im Vergleich zum Holzhaus (graue Kurve)*

Thermisches Verhalten im Winter

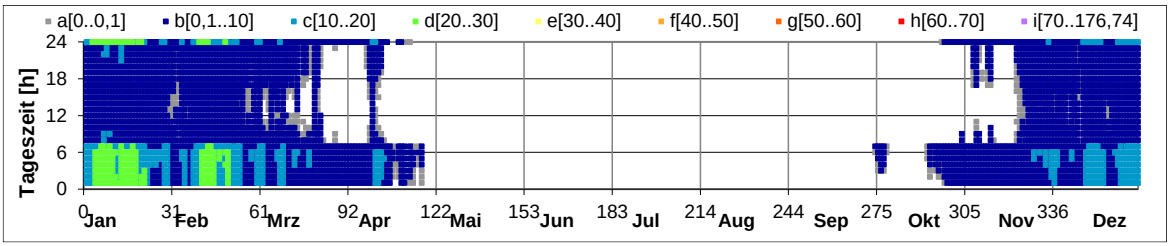
- Die Heizung stellt den gewünschten Komfort (20°C in Wohnräumen, 17°C in Flur und Abstellbereich) sicher. Es gibt somit keine Untertemperaturen.
  - Im Vergleich zum Holzhaus sind die Höchsttemperaturen im Winter geringfügig höher. Ebenso liegen die Tiefsttemperaturen meist etwas höher.

Thermisches Verhalten im Sommer

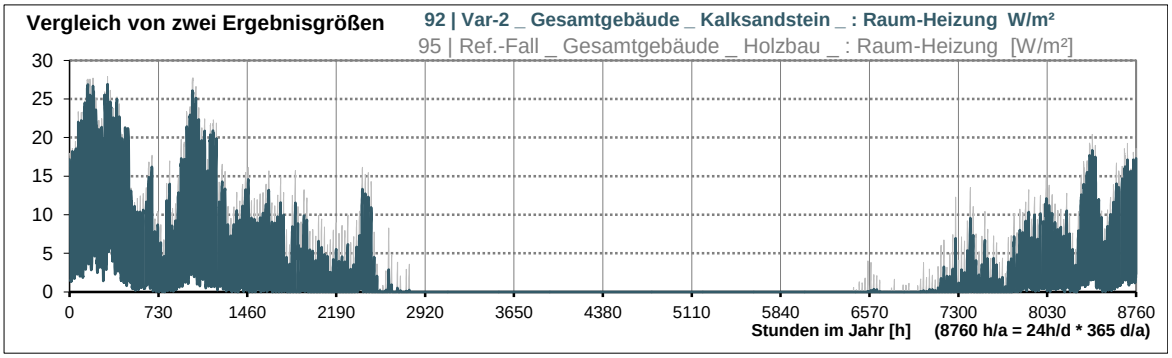
- Wie beim Holzhaus führen auch beim Kalksandstein-Massivhaus Außentemperaturen von knapp 20°C zu Innenraumtemperaturen über 20°C.
- Aufgrund der größeren thermischen Speicherfähigkeit der Bauteile ist das thermische Verhalten des Kalksandstein-Massivhauses stabiler als beim Holzhaus: Die Amplitude ist kleiner, d.h. die Temperaturschwankungen sind geringer.
  - Die erreichten Spitzentemperaturen liegen mitunter etwas mehr als 2 K unter denen des Holzhauses. Die Erhöhung der Innenraumtemperaturen geht etwas langsamer vonstatten als beim Holzhaus.
  - Die Innenraumtemperaturen des Kalksandstein-Massivhauses sinken bei abfallenden Außentemperaturen nicht ganz so rasch wie beim Holzhaus. Vor allem sinken sie nicht so tief. Mitunter sind die Tiefstwerte mehr als 1 K über denen des Holzhauses.

9.2.2.2 Heizung

Dargestellt ist die für das Gesamtgebäude ohne Keller gemittelte stündliche Heizleistung in W/m² im Jahresgang.



▲ *Stündliche Heizleistungen [W/m²] im Jahresgang als Teppichdarstellung*



▲ *Stündliche Heizleistungen [W/m²] des Kalksandstein-Massivhauses im Jahresgang als Jahreskurve (blau-grüne Kurve) im Vergleich zum Holzhaus (graue Kurve)*

Von Mai bis September sind im Holzhaus keine Heizleistungen erforderlich. Von Oktober bis April sind Heizleistungen erforderlich. Das Maximum beträgt 26,9 W/m² und findet zu den kältesten Zeiten statt.

- Im Vergleich zum Holzhaus sind die Spitzen-Heizleistungen beim Kalksandstein-Massivhaus meistens etwas geringer.

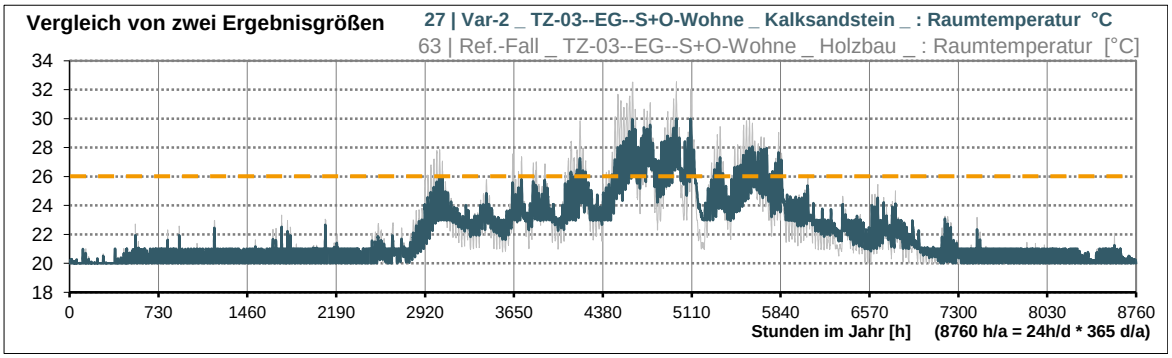
9.2.3 Exemplarischer Raum: Wohnen (TZ-03)

Als exemplarische Darstellung wird hier der thermische Komfort des Wohnzimmers nach Süden im EG (TZ-03) diskutiert.

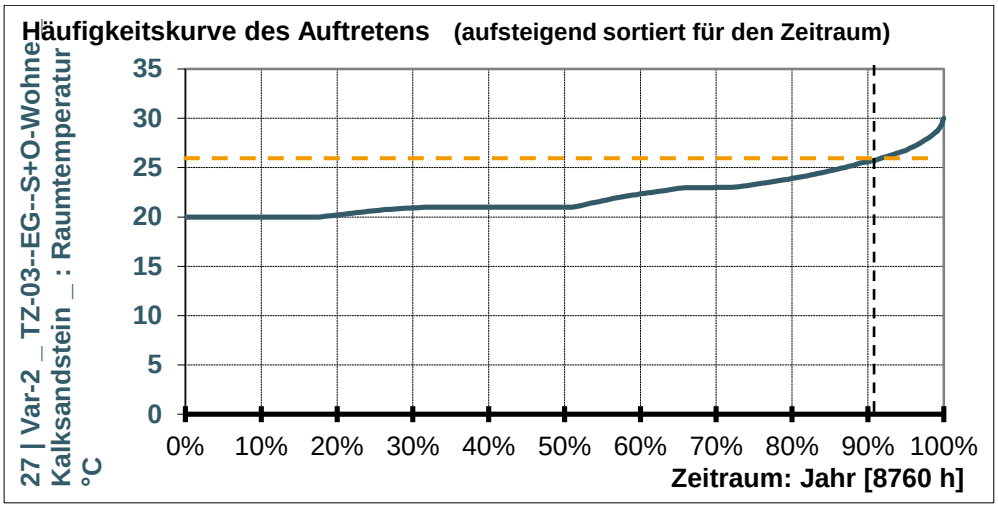
Im Winter ist der thermische Komfort sichergestellt. Die Raumtemperatur sinkt nicht unter 20°C.

Im Sommer kommt es in dem Raum zu Überhitzungen (Raumtemperaturen > 26°C). Die Überhitzungshäufigkeit beträgt 8,1% (vgl. untere Grafik). Die maximal erreichte Raumtemperatur beträgt 30,0°C.

- Überhitzungshäufigkeit: 2,6%-Punkte weniger als beim Holzhaus
- Maximaltemperatur: 2,5 K weniger als beim Holzhaus



▲ *Raumtemperaturen [°C] im Massivhaus (blau-grüne Kurve) und Holzhaus (graue Kurve)*



▲ *Raumtemperaturen [°C] während der Nutzungszeit (8760 h/a) als Summenkurve*

10 Analyse Variante 3: Bauweise mit Porenbeton

10.1 Eingabedokumentation

10.1.1 Änderungen gegenüber dem Referenzfall

Gegenüber dem Referenzfall werden folgende Eingabeparameter geändert. Alle anderen Eingaben bleiben gleich.

- Die Bauweise erfolgt mit Porenbeton (Außenwand und Innenwände).

Variationen - Übersicht

Eingaben

Nr.	Variante	Bauteile									
		Außenwände [W/m² K]	Innenwände tr. [W/m² K]	Innenwände n. tr. [W/m² K]	Bodenplatte [W/m² K]	Geschossdecke KG-EG [W/m² K]	Geschossdecke EG-OG [W/m² K]	Dach [W/m² K]	Außenwand Keller [W/m² K]	Innenwand Keller [W/m² K]	Fenster [W/m² K]
3	Porenbeton	Ytong, U=0,28	Ytong, U=0,45	Ytong, U=0,63	Beton, U=0,31	Beton, U=0,30	Beton, U=0,88	Leichtbau, U=0,20	KS, U=0,30	KS, U=2,08 bzw. U=2,47	3-fach WSV, U=1,1

◢ *Tabelle: Übersicht der Bauweise Porenbeton (YTONG)*

Für die thermische Simulation werden folgende Bauteile verwendet.

Dokumentation der Bauteile

Nr,	Bauteil	Typ	Dicke d [m]	U [W/m² K]	Besonderheiten
1	Bodenplatte	AussenBoden an Erdreic	0,460	**0,311**	
2	Deckenplatte KG-EG	ZwischenBoden	0,335	**0,303**	0
3	Deckenplatte EG-OG	ZwischenBoden	0,260	**0,880**	
4	Dach	Dach	0,233	**0,197**	
5	AW-Keller	AussenWand an Erdreic	0,340	**0,304**	0
6	IW-1_Keller	InnenWand	0,175	**2,077**	
7	IW-2_Keller	InnenWand	0,115	**2,466**	
8	AW-Porenbeton_v3	AussenWand	0,335	**0,281**	
9	IW-1_Porenbeton_v3	InnenWand	0,205	**0,445**	
10	IW-2_Porenbeton_v3	InnenWand	0,145	**0,633**	

Dokumentation der Fenster

Nr,	Bauteil (Typ)		U [W/m² K]	Verglasung	Rahmen	Panel	Fenster-Maß [Breite x Höhe]
1	Fe_268_225	(AussenFenster)	**1,029**	69,4%_iplus 3CE_u50_g50_t72	30,6%_Rahmen_u180		3 2,68 x 2,25 - Fe_Garten
2	Fe_101_225	(AussenFenster)	**1,101**	66,9%_iplus 3CE_u50_g50_t72	33,1%_Rahmen_u180		1 1,01 x 2,25 - Fe_groß
3	Fe_101_145	(AussenFenster)	**1,103**	66,4%_iplus 3CE_u50_g50_t72	33,6%_Rahmen_u180		2 1,01 x 1,45 - Fe_klein

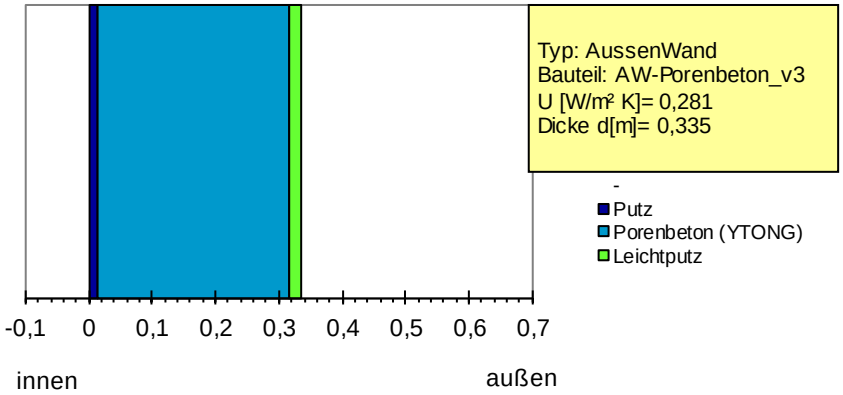
◢ *Tabelle: Bauteile und Fenster (Kurzdokumentation)*

Typ:	**AussenWand**	U [W/m² K]
Bauteil:	**AW-Porenbeton_v3**	**0,281**

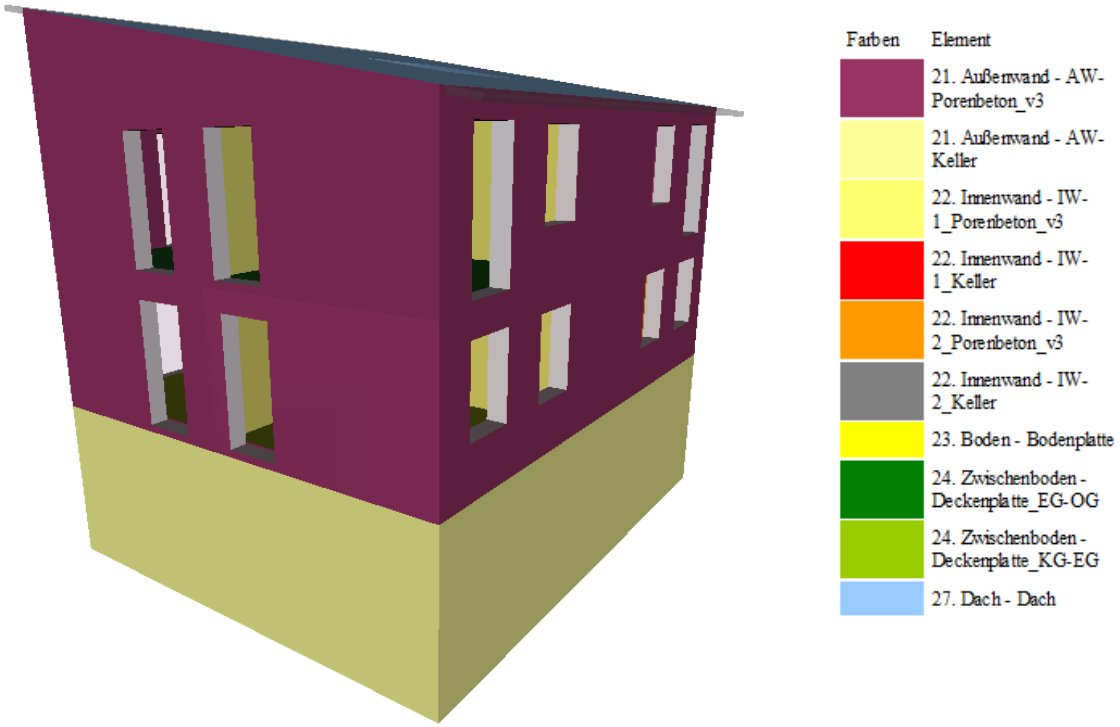
Schichtaufbau von (innen) nach (außen)

	Name	Dicke d [m]	Wärmeleitf. [W/m K]	Widerstand R [m² K/W]	Dichte [kg/m³]
innen	Wärmeübergang			0,130	
1	Putz	0,015	0,700	0,021	1400
2	Porenbeton (YTONG)	0,300	0,090	3,333	350
3	Leichtputz	0,020	0,700	0,029	900
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
außen	Wärmeübergang			0,040	
Summe		0,335		**3,553**	

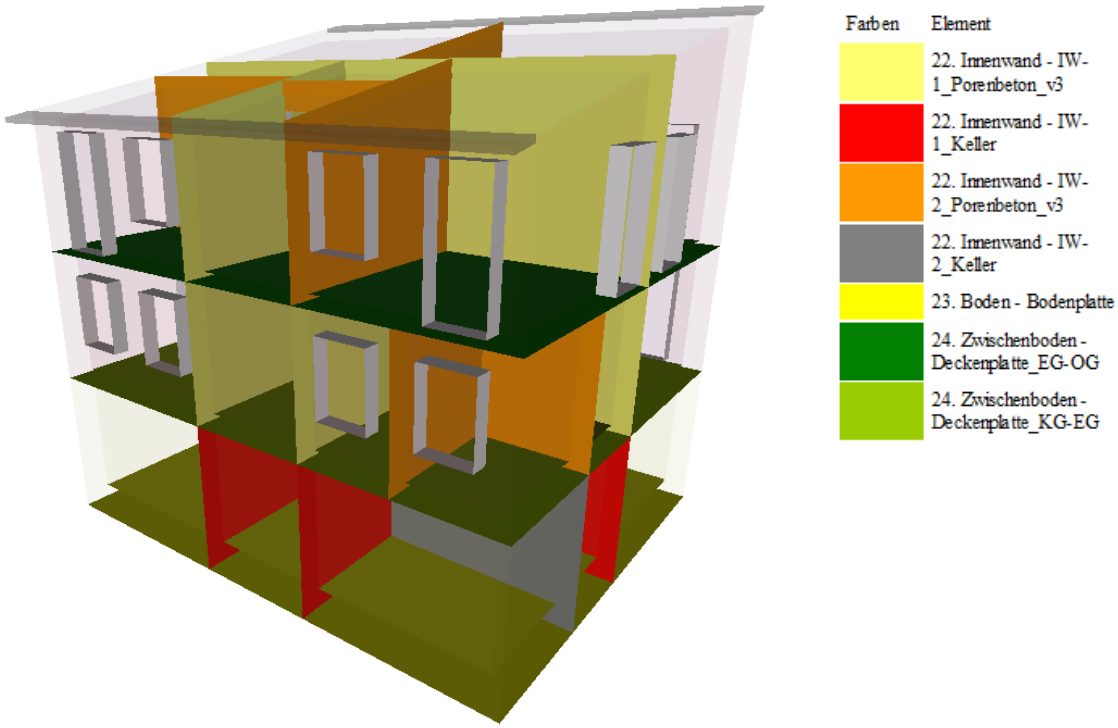
◢ *Tabelle: Bauteil Außenwand mit Porenbeton (YTONG)*



◢ *Abb.: Schnittdarstellung Bauteil Außenwand mit Porenbeton (YTONG)*



◢ *Abb.: Zuweisung der Bauteile, Blick von Nordosten*



◢ *Abb.: Zuweisung der Innenbauteile mit Bodenplatte, Blick von Nordwesten*

10.2 Ergebnisse

Dargestellt werden die Ergebnisse zum thermischen Raumverhalten der Variante „**Porenbeton (YTONG)**“ für das Gesamtgebäude ohne Keller und einen exemplarischen Raum (Wohnen).

10.2.1 Ergebnisübersicht: Thermischer Komfort und Heizung

Übersicht der Simulationsergebnisse je Raumbereich					Raum-Temperatur (Nutzungszeit)			zu kalt ?	Heizung			67 Heizung (gesamt)
Zone	Variation	Fläche	Volumen	Nutzungszeit	T_min (soll	Mittel	Min.	Häufigkeit (<T_min)	Energie	Leistung	Volllast-Stunden	spez. Leistung
		m2	m3	h/a,	°C	°C	°C	%/a, h/a	MWh/a	kW	h/a	W/m²
TZ-01--KG----Kelle	Porenbeton	75	184	8.760	8	11,2	8,5	-	-	-	-	-
TZ-02--EG+DG----Ersch	Porenbeton	24	62	8.760	17	19,6	17,0	-	0,150	0,2	932	6,7
TZ-03--EG--S+O-Wohne	Porenbeton	37	91	8.760	20	22,3	20,0	-	1,871	1,2	1.611	31,2
TZ-04--EG--N-WC	Porenbeton	4	9	8.760	20	21,2	20,0	-	0,437	0,2	2.469	47,3
TZ-05--EG--N-HW	Porenbeton	4	9	8.760	20	22,2	20,0	-	0,217	0,1	1.707	33,3
TZ-06--EG--N+O-Kuech	Porenbeton	15	36	8.760	20	23,1	20,0	-	0,562	0,4	1.388	27,6
TZ-07--DG--N+W-Elter	Porenbeton	14	41	8.760	20	22,0	20,0	-	1,159	0,6	1.870	43,1
TZ-08--DG--N-Bad	Porenbeton	9	25	8.760	20	21,7	20,0	-	0,958	0,4	2.213	46,6
TZ-09--DG--O-AB	Porenbeton	5	15	8.760	17	20,7	17,0	-	0,077	0,1	620	25,5
TZ-10--DG--S+W-Kind1	Porenbeton	18	67	8.760	20	22,4	20,0	-	1,291	0,8	1.672	42,1
TZ-11--DG--S+O-Kind2	Porenbeton	18	67	8.760	20	22,4	20,0	-	1,348	0,8	1.712	42,9
Gesamtgebäude	Porenbeton	149	423	8.760	20	21,8	19,4	28,0% (2450 h)	8,070	4,6	1.741	31,2

◢ *Tabelle: Ergebnisübersicht Raumtemperaturen und Heizung*

Der thermische Komfort im Winter ist in allen Räumen sichergestellt:

- Die Heizleistungen halten die Raumtemperatur auf der Zieltemperatur von 20°C (bzw. 17°C in den Nebenräumen Erschließung und Abstellbereich).
- Das Gebäude hat einen Heizenergiebedarf von 8,070 MWh/a. Die maximale Heizleistung beträgt 4,6 kW.
    - Heizenergiebedarf: 4,7% weniger als beim Holzhaus
    - Max. Heizleistung 4,2% weniger als beim Holzhaus

Übersicht der Simulationsergebnisse je Raumbereich					Raum-Temperatur (Nutzungszeit)		Überhitzung?	Kühlung			68 Kühlung (gesamt)
Zone	Variation	Fläche	Volumen	Nutzungszeit	T_max (soll)	Max.	Häufigkeit (>T_max_soll)	Energie	Leistung	Volllast-Stunden	spez. Leistung
		m2	m3	h/a,	°C	°C	%/a, h/a	MWh/a	kW	h/a	W/m²
TZ-01--KG----Kelle	Porenbeton	75	187	8.760	26	14,5	-	-	-	-	-
TZ-02--EG+DG----Ersch	Porenbeton	24	63	8.760	26	26,3	_0,1% (10 h)	-	-	-	-
TZ-03--EG--S+O-Wohne	Porenbeton	37	93	8.760	26	31,3	_9,6% (843 h)	-	-	-	-
TZ-04--EG--N-WC	Porenbeton	4	9	8.760	26	27,8	_2,0% (177 h)	-	-	-	-
TZ-05--EG--N-HW	Porenbeton	4	10	8.760	26	29,6	_8,3% (724 h)	-	-	-	-
TZ-06--EG--N+O-Kuech	Porenbeton	15	37	8.760	26	32,9	20,0% (1752 h)	-	-	-	-
TZ-07--DG--N+W-Elter	Porenbeton	14	41	8.760	26	32,0	_9,3% (813 h)	-	-	-	-
TZ-08--DG--N-Bad	Porenbeton	9	25	8.760	26	31,1	_7,9% (690 h)	-	-	-	-
TZ-09--DG--O-AB	Porenbeton	5	15	8.760	26	31,7	11,7% (1027 h)	-	-	-	-
TZ-10--DG--S+W-Kind1	Porenbeton	18	67	8.760	26	32,7	11,6% (1013 h)	-	-	-	-
TZ-11--DG--S+O-Kind2	Porenbeton	18	67	8.760	26	32,5	11,6% (1012 h)	-	-	-	-
Gesamtgebäude	Porenbeton	149	427	8.760	26	30,8	_8,9% (776 h)	-	-	-	-

◢ *Tabelle: Ergebnisübersicht Raumtemperaturen und Kühlung*

Der thermische Komfort im Sommer ist überwiegend Räumen gewährleistet:

- Es ist keine Kühlung in dem Haus vorgesehen. Es kommt in den einzelnen Räumen zu Überhitzungen (Raumtemperaturen über 26°C). Die Überhitzungen bewegen sich meist im geringfügigen bis noch akzeptablen Bereich.[17]
- Das **Gesamtgebäude** hat im Mittel eine Überhitzungshäufigkeit von akzeptablen 8,9% der Nutzungszeit und eine gemittelte Maximaltemperatur von 30,8°C.
    - Überhitzungshäufigkeit: 0,5%-Punkte weniger als beim Holzhaus
    - Maximaltemperatur: 0,9 K weniger als beim Holzhaus

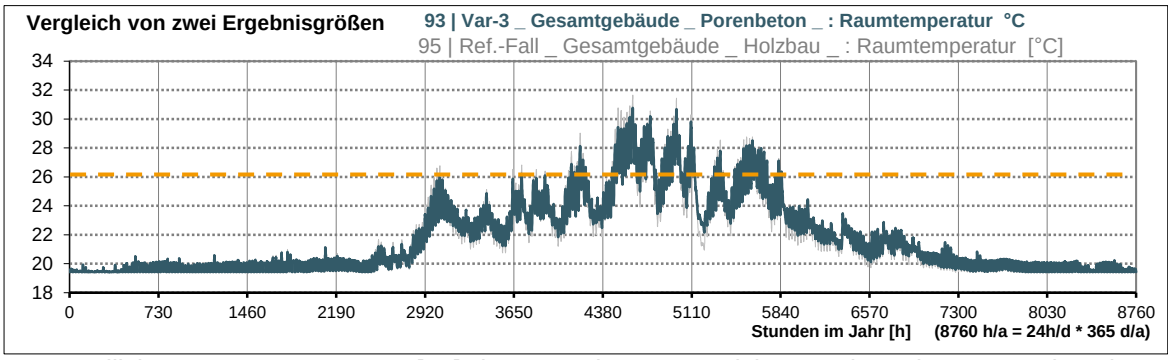
[17] In Anlehnung an DIN 4108 sollten Überhitzungen der Raumtemperatur über 26°C maximal 10% der Nutzungszeit nicht übersteigen. Ab einer Überhitzungshäufigkeit von 10% gilt der thermische Komfort als nicht mehr gewährleistet.

- Die Überhitzungshäufigkeit im **Wohnzimmer** (TZ-03) ist noch akzeptabel (9,6% der Nutzungszeit, max. 31,3°C).
  - Überhitzungshäufigkeit: 1,1 %-Punkte weniger als beim Holzhaus
  - Maximaltemperatur: 1,2 K weniger als beim Holzhaus
- Die Überhitzungshäufigkeit im **Kinderzimmer** (TZ-10) liegt leicht über dem akzeptablen Wert (11,6% der Nutzungszeit, 32,7°C).
  - Überhitzungshäufigkeit: 0,3%-Punkte weniger als beim Holzhaus
  - Maximaltemperatur: 0,4 K weniger als beim Holzhaus

10.2.2 Gesamtgebäude: Thermischer Komfort und Heizung

10.2.2.1 Thermischer Komfort

Dargestellt ist die für das Gesamtgebäude ohne Keller gemittelte stündliche Raumtemperatur in °C im Jahresgang.



▲ *Stündliche Raumtemperaturen [°C] des Porenbeton-Massivhauses im Jahresgang als Jahreskurve (blau-grüne Kurve) im Vergleich zum Holzhaus (graue Kurve)*

Thermisches Verhalten im Winter

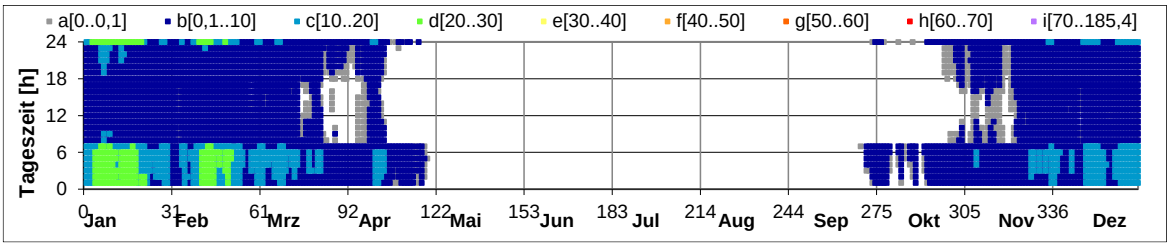
- Die Heizung stellt den gewünschten Komfort (20°C in Wohnräumen, 17°C in Flur und Abstellbereich) sicher. Es gibt somit keine Untertemperaturen.
  - Im Vergleich zum Holzhaus gibt es keine nennenswerten Unterschiede.

Thermisches Verhalten im Sommer

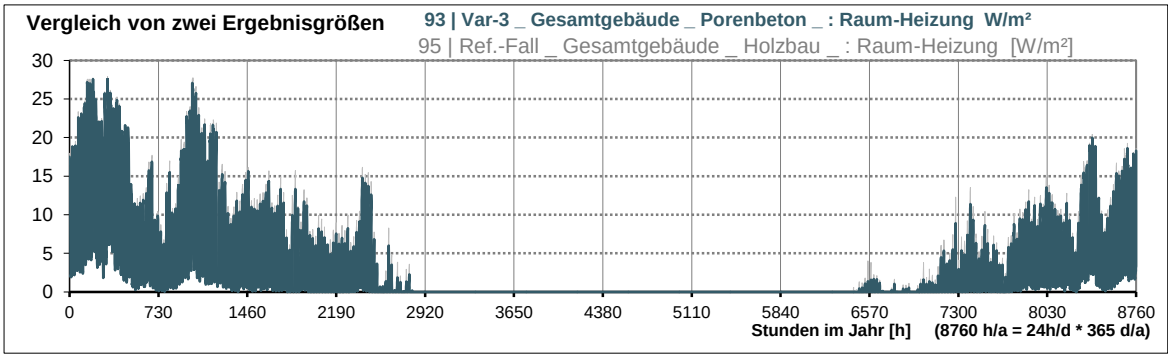
- Wie beim Holzhaus führen auch beim Porenbeton-Massivhaus Außentemperaturen von knapp 20°C zu Innenraumtemperaturen über 20°C.
- Aufgrund der größeren thermischen Speicherfähigkeit der Bauteile ist das thermische Verhalten des Porenbeton-Massivhauses stabiler als beim Holzhaus: Die Amplitude ist kleiner, d.h. die Temperaturschwankungen sind geringer.
  - Die erreichten Spitzentemperaturen liegen mitunter bis ca. 1 K unter denen des Holzhauses. Die Erhöhung der Innenraumtemperaturen geht etwas langsamer vonstatten als beim Holzhaus.
  - Die Innenraumtemperaturen des Porenbeton-Massivhauses sinken bei abfallenden Außentemperaturen nicht ganz so rasch wie beim Holzhaus. Vor allem sinken sie nicht so tief. Mitunter sind die Tiefstwerte ca. 1 K über denen des Holzhauses.

10.2.2.2 Heizung

Dargestellt ist die für das Gesamtgebäude ohne Keller gemittelte stündliche Heizleistung in W/m² im Jahresgang.



▲ *Stündliche Heizleistungen [W/m²] im Jahresgang als Teppichdarstellung*



▲ *Stündliche Heizleistungen [W/m²] des Porenbeton-Massivhauses im Jahresgang als Jahreskurve (blau-grüne Kurve) im Vergleich zum Holzhaus (graue Kurve)*

Von Mai bis September sind im Holzhaus keine Heizleistungen erforderlich. Von Oktober bis April sind Heizleistungen erforderlich. Das Maximum beträgt 27,6 W/m² und findet zu den kältesten Zeiten statt.

- Im Vergleich zum Holzhaus sind die Spitzen-Heizleistungen beim Porenbeton-Massivhaus meistens geringfügig kleiner.

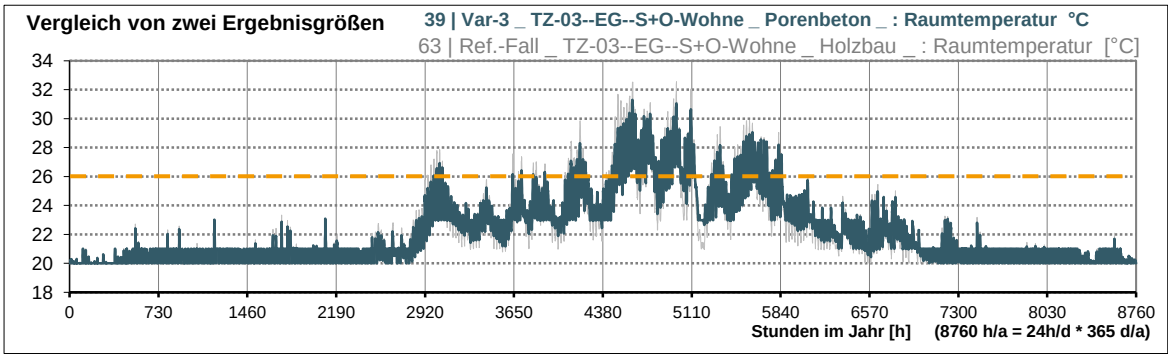
10.2.3 Exemplarischer Raum: Wohnen (TZ-03)

Als exemplarische Darstellung wird hier der thermische Komfort des Wohnzimmers nach Süden im EG (TZ-03) diskutiert.

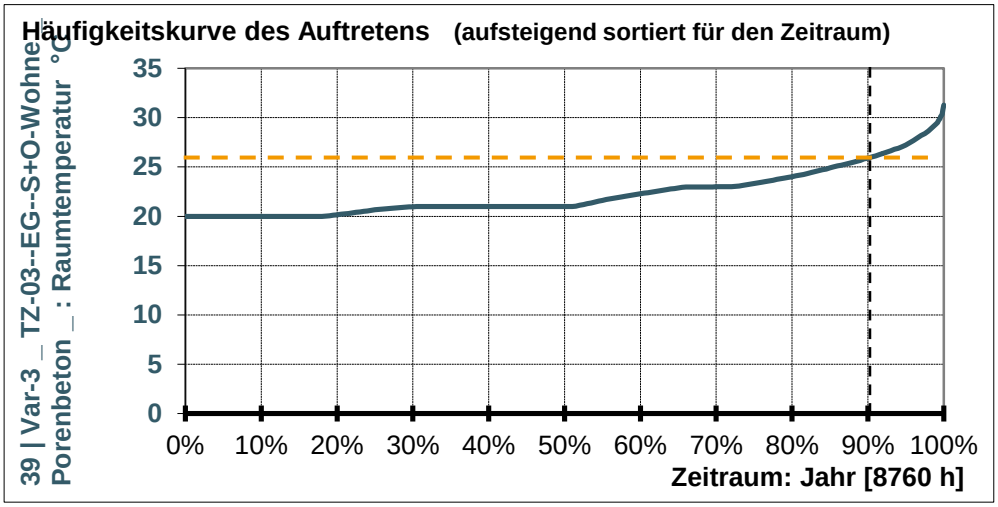
Im Winter ist der thermische Komfort sichergestellt. Die Raumtemperatur sinkt nicht unter 20°C.

Im Sommer kommt es in dem Raum zu Überhitzungen (Raumtemperaturen > 26°C). Die Überhitzungshäufigkeit beträgt 9,6% (vgl. untere Grafik). Die maximal erreichte Raumtemperatur beträgt 31,3°C.

- Überhitzungshäufigkeit: 1,1%-Punkte weniger als beim Holzhaus
- Maximaltemperatur: 1,2 K weniger als beim Holzhaus



▲ *Raumtemperaturen [°C] im Massivhaus (blau-grüne Kurve) und Holzhaus (graue Kurve)*



▲ *Raumtemperaturen [°C] während der Nutzungszeit (8760 h/a) als Summenkurve*

11 Analyse Variante 4: Bauweise mit Leichtbeton

11.1 Eingabedokumentation

11.1.1 Änderungen gegenüber dem Referenzfall

Gegenüber dem Referenzfall werden folgende Eingabeparameter geändert. Alle anderen Eingaben bleiben gleich.

- Die Bauweise erfolgt mit Leichtbeton (Außenwand und Innenwände).

Variationen - Übersicht

Eingaben

Nr.	Variante	Bauteile									
		Außenwände [W/m² K]	Innenwände tr. [W/m² K]	Innenwände n. tr. [W/m² K]	Bodenplatte [W/m² K]	Geschossdecke KG-EG [W/m² K]	Geschossdecke EG-OG [W/m² K]	Dach [W/m² K]	Außenwand Keller [W/m² K]	Innenwand Keller [W/m² K]	Fenster [W/m² K]
4	**Leichtbeton**	KLB Planblock, U=0,28	KLB Planblock, U=0,37	KLB Planblock, U=0,37	Beton, U=0,31	Beton, U=0,30	Beton, U=0,88	Leichtbau, U=0,20	KS, U=0,30	KS, U=2,08 bzw. U=2,47	3-fach WSV, U=1,1

◢ *Tabelle: Übersicht der Bauweise Leichtbeton (KLB Planblock)*

Für die thermische Simulation werden folgende Bauteile verwendet.

Dokumentation der Bauteile

Nr,	Bauteil	Typ	Dicke d [m]	U [W/m² K]	Besonderheiten
1	Bodenplatte	AussenBoden an Erdreic	0,460	**0,311**	
2	Deckenplatte KG-EG	ZwischenBoden	0,335	**0,303**	0
3	Deckenplatte EG-OG	ZwischenBoden	0,260	**0,880**	
4	Dach	Dach	0,233	**0,197**	
5	AW-Keller	AussenWand an Erdreic	0,340	**0,304**	0
6	IW-1_Keller	InnenWand	0,175	**2,077**	
7	IW-2_Keller	InnenWand	0,115	**2,466**	
8	AW-Leichtbeton_v4	AussenWand	0,340	**0,282**	
9	IW-1_Leichtbeton_v4	InnenWand	0,270	**0,370**	

Dokumentation der Fenster

Nr,	Bauteil (Typ)		U [W/m² K]	Verglasung	Rahmen	Panel	Fenster-Maß [Breite x Höhe]
1	Fe_268_225	(AussenFenster)	**1,029**	69,4%_iplus 3CE_u50_g50_t72	30,6%_Rahmen_u180		3 2,68 x 2,25 - Fe_Garten
2	Fe_101_225	(AussenFenster)	**1,101**	66,9%_iplus 3CE_u50_g50_t72	33,1%_Rahmen_u180		1 1,01 x 2,25 - Fe_groß
3	Fe_101_145	(AussenFenster)	**1,103**	66,4%_iplus 3CE_u50_g50_t72	33,6%_Rahmen_u180		2 1,01 x 1,45 - Fe_klein

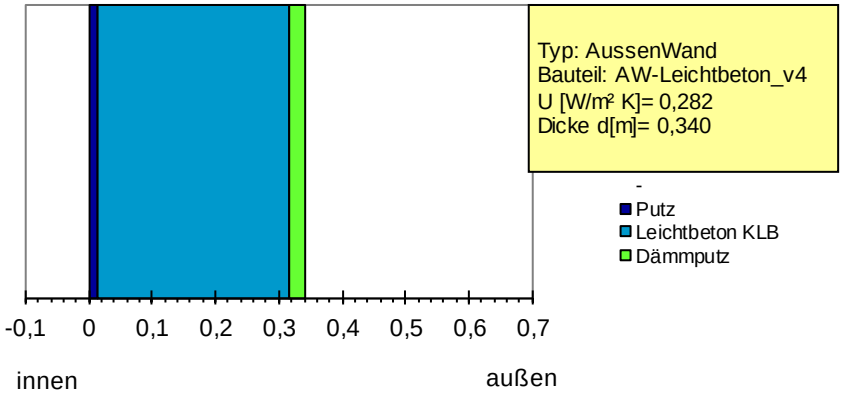
◢ *Tabelle: Bauteile und Fenster (Kurzdokumentation)*

Typ:	**AussenWand**	U [W/m² K]
Bauteil:	**AW-Leichtbeton_v4**	**0,282**

Schichtaufbau von (innen) nach (außen)

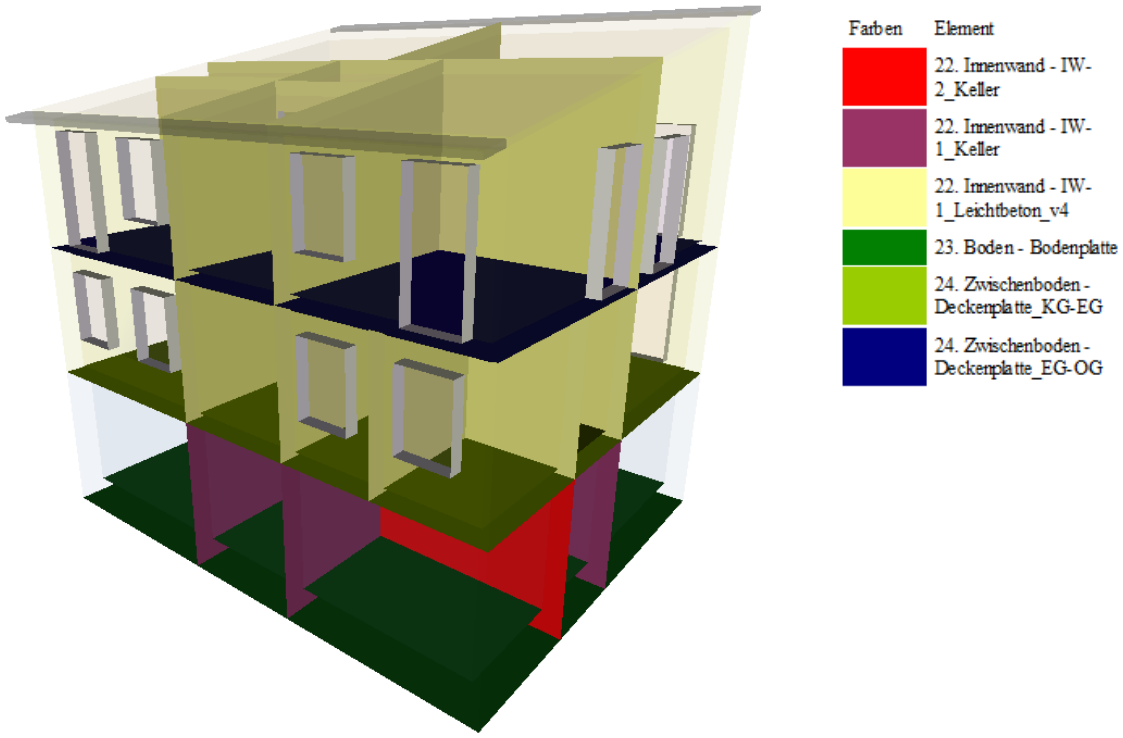
	Name	Dicke d [m]	Wärmeleitf. [W/m K]	Widerstand R [m² K/W]	Dichte [kg/m³]
innen	Wärmeübergang			0,130	
1	Putz	0,015	0,700	0,021	1400
2	Leichtbeton KLB	0,300	0,100	3,000	450
3	Dämmputz	0,025	0,070	0,357	250
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
außen	Wärmeübergang			0,040	
Summe		0,340		**3,549**	

◢ *Tabelle: Bauteil Außenwand mit Leichtbeton (KLB Plan-Block SW1)*



◢ *Abb.: Schnittdarstellung Bauteil Außenwand mit Leichtbeton (KLB Plan-Block SW1)*

◢ *Abb.: Zuweisung der Bauteile, Blick von Nordosten*



◢ *Abb.: Zuweisung der Innenbauteile mit Bodenplatte, Blick von Nordwesten*

11.2 Ergebnisse

Dargestellt werden die Ergebnisse zum thermischen Raumverhalten der Variante „**Leichtbeton (KLB Plan-Block)**“ für das Gesamtgebäude ohne Keller und einen exemplarischen Raum (Wohnen).

11.2.1 Ergebnisübersicht: Thermischer Komfort und Heizung

Übersicht der Simulationsergebnisse je Raumbereich					Raum-Temperatur (Nutzungszeit)			zu kalt ?	Heizung			67 Heizung (gesamt)
Zone	Variation	Fläche	Volumen	Nutzungszeit	T_min (soll	Mittel	Min.	Häufigkeit (<T_min)	Energie	Leistung	Volllast-Stunden	spez. Leistung
		m2	m3	h/a,	°C	°C	°C	%/a, h/a	MWh/a	kW	h/a	W/m²
TZ-01--KG----Kelle	Leichtbeton	75	184	8.760	8	11,2	8,5	-	-	-	-	-
TZ-02--EG+DG----Ersch	Leichtbeton	22	58	8.760	17	19,4	17,0	-	0,212	0,2	1.227	7,7
TZ-03--EG--S+O-Wohne	Leichtbeton	37	90	8.760	20	22,3	20,0	-	1,855	1,2	1.603	31,4
TZ-04--EG--N-WC	Leichtbeton	3	9	8.760	20	21,2	20,0	-	0,415	0,2	2.458	48,5
TZ-05--EG--N-HW	Leichtbeton	3	9	8.760	20	22,4	20,0	-	0,187	0,1	1.627	32,9
TZ-06--EG--N+O-Kuech	Leichtbeton	14	35	8.760	20	23,2	20,0	-	0,547	0,4	1.403	27,1
TZ-07--DG--N+W-Elter	Leichtbeton	14	40	8.760	20	22,1	20,0	-	1,111	0,6	1.840	43,2
TZ-08--DG--N-Bad	Leichtbeton	9	24	8.760	20	21,8	20,0	-	0,916	0,4	2.207	46,3
TZ-09--DG--O-AB	Leichtbeton	4	14	8.760	17	20,7	17,0	-	0,096	0,1	747	28,8
TZ-10--DG--S+W-Kind1	Leichtbeton	18	65	8.760	20	22,4	20,0	-	1,272	0,8	1.645	43,2
TZ-11--DG--S+O-Kind2	Leichtbeton	18	65	8.760	20	22,4	20,0	-	1,316	0,8	1.684	43,6
Gesamtgebäude	Leichtbeton	144	409	8.760	20	21,8	19,4	26,1% (2287 h)	7,928	4,6	1.726	31,9

◢ *Tabelle: Ergebnisübersicht Raumtemperaturen und Heizung*

Der thermische Komfort im Winter ist in allen Räumen sichergestellt:

- Die Heizleistungen halten die Raumtemperatur auf der Zieltemperatur von 20°C (bzw. 17°C in den Nebenräumen Erschließung und Abstellbereich).
- Das Gebäude hat einen Heizenergiebedarf von 7,928 MWh/a. Die maximale Heizleistung beträgt 4,6 kW.
  - Heizenergiebedarf: 7,1% weniger als beim Holzhaus
  - Max. Heizleistung: 4,2% weniger als beim Holzhaus

Übersicht der Simulationsergebnisse je Raumbereich					Raum-Temperatur (Nutzungszeit)		Überhitzung?	Kühlung				68 Kühlung (gesamt)
Zone	Variation	Fläche	Volumen	Nutzungszeit	T_max (soll)	Max.	Häufigkeit (>T_max_soll)	Energie	Leistung	Volllast-Stunden	spez. Leistung	
		m2	m3	h/a,	°C	°C	%/a, h/a	MWh/a	kW	h/a	W/m²	
TZ-01--KG----Kelle	Leichtbeton	75	184	8.760	26	14,5	-	-	-	-	-	
TZ-02--EG+DG----Ersch	Leichtbeton	22	58	8.760	26	25,6	-	-	-	-	-	
TZ-03--EG--S+O-Wohne	Leichtbeton	37	90	8.760	26	31,3	_9,6% (842 h)	-	-	-	-	
TZ-04--EG--N-WC	Leichtbeton	3	9	8.760	26	27,8	_2,0% (178 h)	-	-	-	-	
TZ-05--EG--N-HW	Leichtbeton	3	9	8.760	26	30,1	10,5% (924 h)	-	-	-	-	
TZ-06--EG--N+O-Kuech	Leichtbeton	14	35	8.760	26	33,0	20,8% (1821 h)	-	-	-	-	
TZ-07--DG--N+W-Elter	Leichtbeton	14	40	8.760	26	32,1	_9,7% (851 h)	-	-	-	-	
TZ-08--DG--N-Bad	Leichtbeton	9	24	8.760	26	31,0	_7,8% (684 h)	-	-	-	-	
TZ-09--DG--O-AB	Leichtbeton	4	14	8.760	26	31,8	12,6% (1100 h)	-	-	-	-	
TZ-10--DG--S+W-Kind1	Leichtbeton	18	65	8.760	26	32,7	11,6% (1015 h)	-	-	-	-	
TZ-11--DG--S+O-Kind2	Leichtbeton	18	65	8.760	26	32,4	11,7% (1021 h)	-	-	-	-	
Gesamtgebäude	Leichtbeton	144	409	8.760	26	30,7	_8,9% (780 h)	-	-	-	-	

◢ *Tabelle: Ergebnisübersicht Raumtemperaturen und Kühlung*

Der thermische Komfort im Sommer ist überwiegend Räumen gewährleistet:

- Es ist keine Kühlung in dem Haus vorgesehen. Es kommt in den einzelnen Räumen zu Überhitzungen (Raumtemperaturen über 26°C). Die Überhitzungen bewegen sich meist im geringfügigen bis noch akzeptablen Bereich.[18]
- Das **Gesamtgebäude** hat im Mittel eine Überhitzungshäufigkeit von akzeptablen 8,9% der Nutzungszeit und eine gemittelte Maximaltemperatur von 30,7°C.
  - Überhitzungshäufigkeit: 0,5%-Punkte weniger als beim Holzhaus
  - Maximaltemperatur: 1,0 K weniger als beim Holzhaus

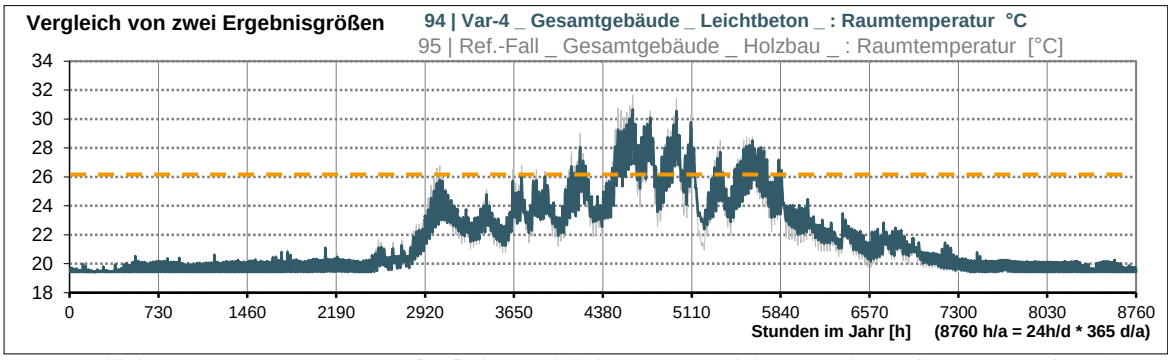
[18] In Anlehnung an DIN 4108 sollten Überhitzungen der Raumtemperatur über 26°C maximal 10% der Nutzungszeit nicht übersteigen. Ab einer Überhitzungshäufigkeit von 10% gilt der thermische Komfort als nicht mehr gewährleistet.

- Die Überhitzungshäufigkeit im **Wohnzimmer** (TZ-03) ist akzeptabel (9,6% der Nutzungszeit, max. 31,3°C).
  - Überhitzungshäufigkeit: 1,1 %-Punkte weniger als beim Holzhaus
  - Maximaltemperatur: 1,2 K weniger als beim Holzhaus
- Die Überhitzungshäufigkeit im **Kinderzimmer** (TZ-10) liegt leicht über dem akzeptablen Wert (11,6% der Nutzungszeit, 32,7°C).
  - Überhitzungshäufigkeit: 0,3%-Punkte weniger als beim Holzhaus
  - Maximaltemperatur: 0,4 K weniger als beim Holzhaus

11.2.2 Gesamtgebäude: Thermischer Komfort und Heizung

11.2.2.1 Thermischer Komfort

Dargestellt ist die für das Gesamtgebäude ohne Keller gemittelte stündliche Raumtemperatur in °C im Jahresgang.



▲ *Stündliche Raumtemperaturen [°C] des Leichtbeton-Massivhauses im Jahresgang als Jahreskurve (blau-grüne Kurve) im Vergleich zum Holzhaus (graue Kurve)*

Thermisches Verhalten im Winter

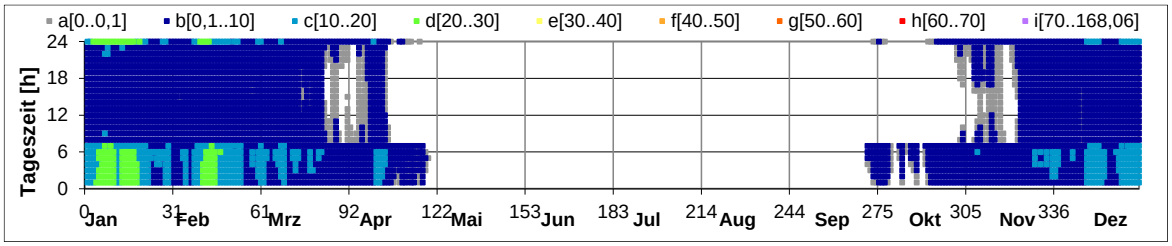
- Die Heizung stellt den gewünschten Komfort (20°C in Wohnräumen, 17°C in Flur und Abstellbereich) sicher. Es gibt somit keine Untertemperaturen.
  - Im Vergleich zum Holzhaus gibt es keine nennenswerten Unterschiede.

Thermisches Verhalten im Sommer

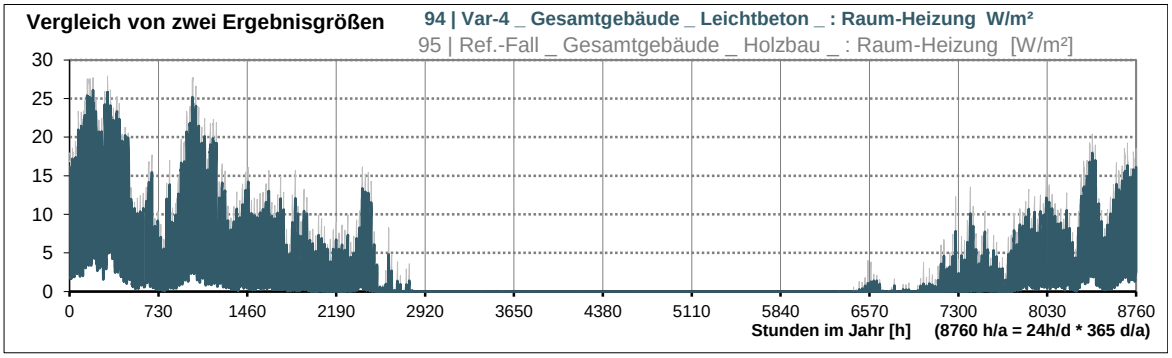
- Wie beim Holzhaus führen auch beim Leichtbeton-Massivhaus Außentemperaturen von knapp 20°C zu Innenraumtemperaturen über 20°C.
- Aufgrund der größeren thermischen Speicherfähigkeit der Bauteile ist das thermische Verhalten des Leichtbeton-Massivhauses stabiler als beim Holzhaus: Die Amplitude ist kleiner, d.h. die Temperaturschwankungen sind geringer.
  - Die erreichten Spitzentemperaturen liegen mitunter bis ca. 1 K unter denen des Holzhauses. Die Erhöhung der Innenraumtemperaturen geht etwas langsamer vonstatten als beim Holzhaus.
  - Die Innenraumtemperaturen des Leichtbeton-Massivhauses sinken bei abfallenden Außentemperaturen nicht ganz so rasch wie beim Holzhaus. Vor allem sinken sie nicht so tief. Mitunter sind die Tiefstwerte mehr als 1 K über denen des Holzhauses.

11.2.2.2 Heizung

Dargestellt ist die für das Gesamtgebäude ohne Keller gemittelte stündliche Heizleistung in W/m² im Jahresgang.



▲ *Stündliche Heizleistungen [W/m²] im Jahresgang als Teppichdarstellung*



▲ *Stündliche Heizleistungen [W/m²] des Leichtbeton-Massivhauses im Jahresgang als Jahreskurve (blau-grüne Kurve) im Vergleich zum Holzhaus (graue Kurve)*

Von Mai bis September sind im Holzhaus keine Heizleistungen erforderlich. Von Oktober bis April sind Heizleistungen erforderlich. Das Maximum beträgt 26,1 W/m² und findet zu den kältesten Zeiten statt.

- Im Vergleich zum Holzhaus sind die Spitzen-Heizleistungen beim Leichtbeton-Massivhaus meistens etwas geringer.

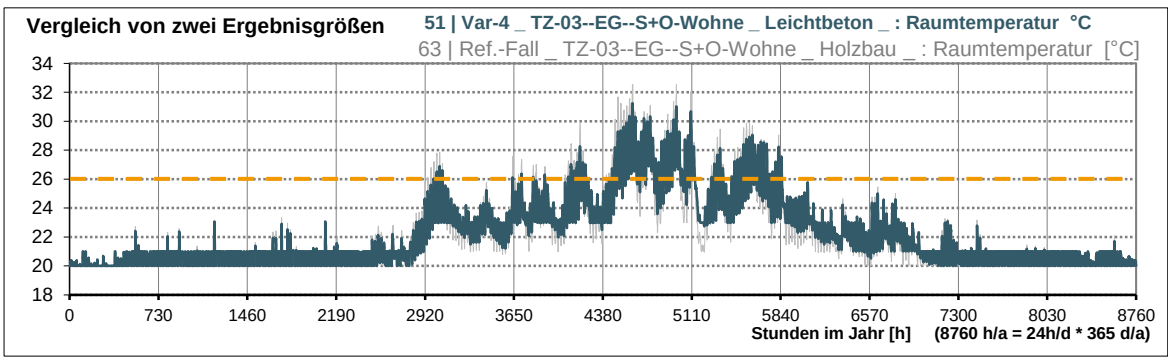
11.2.3 Exemplarischer Raum: Wohnen (TZ-03)

Als exemplarische Darstellung wird hier der thermische Komfort des Wohnzimmers nach Süden im EG (TZ-03) diskutiert.

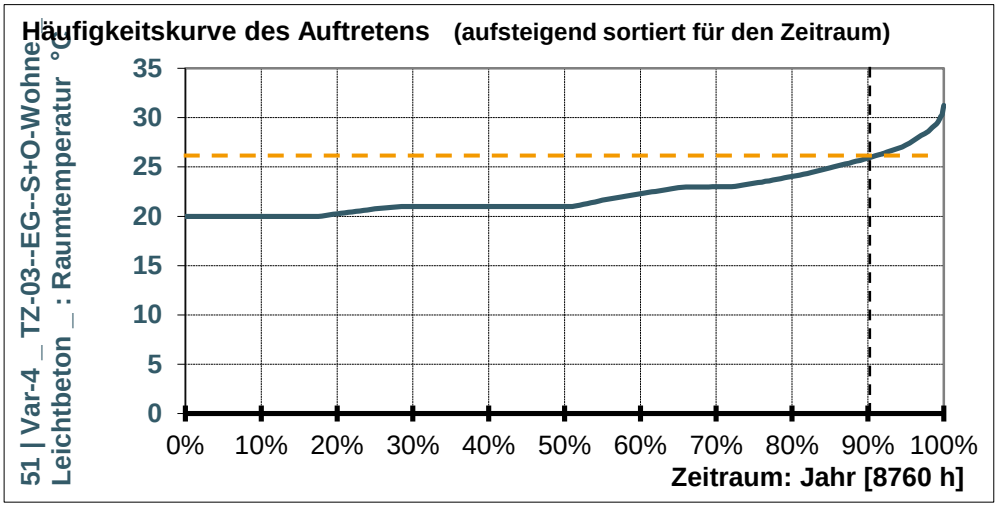
Im Winter ist der thermische Komfort sichergestellt. Die Raumtemperatur sinkt nicht unter 20°C.

Im Sommer kommt es in dem Raum zu Überhitzungen (Raumtemperaturen > 26°C). Die Überhitzungshäufigkeit beträgt 9,6% (vgl. untere Grafik). Die maximal erreichte Raumtemperatur beträgt 31,3°C.

- Überhitzungshäufigkeit: 1,1%-Punkte weniger als beim Holzhaus
- Maximaltemperatur: 1,2 K weniger als beim Holzhaus



▲ *Raumtemperaturen [°C] im Massivhaus (blau-grüne Kurve) und Holzhaus (graue Kurve)*



▲ *Raumtemperaturen [°C] während der Nutzungszeit (8760 h/a) als Summenkurve*