

Wien, 5. Juni 2021

## ***Weiterentwicklung des Programms Thesim3D***

### ***Kurzbericht***

#### Inhalt

Vorbemerkungen.....	3
1. Auswahlmöglichkeiten für Bauweisen beim Programmstart.....	3
1.1 Erweiterung der Programmoberfläche .....	4
1.2 Allgemeine Festlegungen .....	5
1.3 Festlegung der Bauteilaufbauten .....	7
1.4 Simulationsergebnisse .....	7
2. Ausgabe von leicht lesbaren Berichten .....	8
2.1 Tagesgang der operativen Temperatur .....	9
2.2 Standortdaten .....	11
2.3 Nutzungsdaten .....	12
2.4 Bauteile opak .....	13
2.5 Bauteile transparent .....	14
2.6 Wärmebilanz des Raums.....	17
2.7 Diagramm zum Variantenvergleich.....	19
3. Zusammenfassung der Ergebnisse verschiedener Berechnungsvarianten in einem Diagramm ..	21
4. Erweiterung auf die Berechnung sensibler Kühlleistungen .....	22
5. Einbau eines zusätzlichen Moduls zur Berechnung von Verschattungen .....	25
5.1 Modellierung des Horizonts .....	26
5.2 Modellierung verschattender Objekte.....	27
5.3 Berechnung von Verschattungsfaktoren .....	28
6. Zusammenfassung.....	28
7. Literatur .....	30



8.	Anhang .....	30
8.1	Liste der Bauteilaufbauten in Abhängigkeit von den Bauweisen .....	31
8.1.1	Bauweise Beton .....	32
8.1.2	Bauweise Ziegel .....	33
8.1.3	Bauweise Holz massiv.....	34
8.1.4	Bauweise Holz leicht.....	35
8.2	Eingabedokumentation und Ergebnisdarstellung für das Standard-Beispiel „Bauweise Beton“	36
8.2.1	Tagesgang der operativen Temperatur.....	37
8.2.2	Standortdaten .....	38
8.2.3	Bauteile opak.....	39
8.2.4	Bauteile transparent.....	43
8.2.5	Nutzungsdaten .....	47
8.2.6	Wärmebilanz des Raums .....	48
8.2.7	Diagramm zum Variantenvergleich .....	49
8.3	Validierung der Verschattungsberechnungen nach EN ISO 13791:2012.....	50
8.3.1	Prüfung Nr. 1 .....	51
8.3.2	Prüfung Nr. 2 .....	53
8.3.3	Prüfung Nr. 3 .....	54
8.3.4	Prüfung Nr. 4 .....	55
8.3.5	Prüfung Nr. 5 .....	56
8.3.6	Prüfung Nr. 6 .....	56
8.3.7	Validierungsergebnis .....	57



## Vorbemerkungen

Dieser Bericht dient der Dokumentation der im Zusammenhang mit der Beauftragung des Fachverbands der Stein- und keramischen Industrie und der Bundesinnung Bau der WKO vom 19. Juli 2019 an Programm Thesim3D durchgeführten Verbesserungs- und Erweiterungsarbeiten.

Thesim3D ist eine Eingabeoberfläche für das Programmpaket GEBA, welches das thermische Verhalten von Räumen im periodisch eingeschwungenen Zustand zu simulieren vermag. Vorrangiges Einsatzgebiet ist – auch aufgrund der normativen Lage – die Simulation des sommerlichen Raumverhaltens.

Die Besonderheit von Thesim3D ist im Umstand zu sehen, dass einerseits die Dateneingabe für den Programmbenutzer einfach und weitgehend selbsterklärend ist und andererseits das Ergebnis der Simulation hoch genau ist, und damit hohe Planungssicherheit gewährleistet.

Natürlich ist das Programmpaket in erster Linie für BauplanerInnen konzipiert. Da Thesim3D aber unter [www.thesim.at](http://www.thesim.at) aufrufbar und für die Allgemeinheit kostenlos benutzbar ist, kann dieses leicht handhabbare Werkzeug auch als Instrument zur Bewusstseinsbildung in Hinblick auf die aktuelle Problematik des sommerlichen Raumverhaltens und auf dessen Einflussfaktoren angesehen werden.

Die hier dokumentierten Arbeiten haben Thesim3D attraktiver und leistungsfähiger gemacht und sollen den Weg ebnen, das Programmpaket auch als Nachweis für die Sommertauglichkeit von Räumen verwenden zu können.

### 1. Auswahlmöglichkeiten für Bauweisen beim Programmstart

Die ProgrammbenutzerInnen sind unmittelbar nach dem Programmaufruf auf die Bedeutung der Bauweise in Hinblick auf das thermische Sommerverhalten eines Raums hinzuweisen. Dies wird dadurch umgesetzt, dass bei Programmstart nicht nur – wie derzeit – die Dimensionen des als Ausgangsmodell dienenden Quaders von den BenutzerInnen festgelegt werden können bzw. sollen, sondern auch eine Auswahl für die Vorbelegung einer Bauweise zu treffen ist.

## 1.1 Erweiterung der Programmoberfläche

Die folgende Abbildung zeigt ein Bildschirm-Foto der sich derzeit beim Programmaufruf für die ProgrammbeutzerInnen ergebenden Eingabesituation.

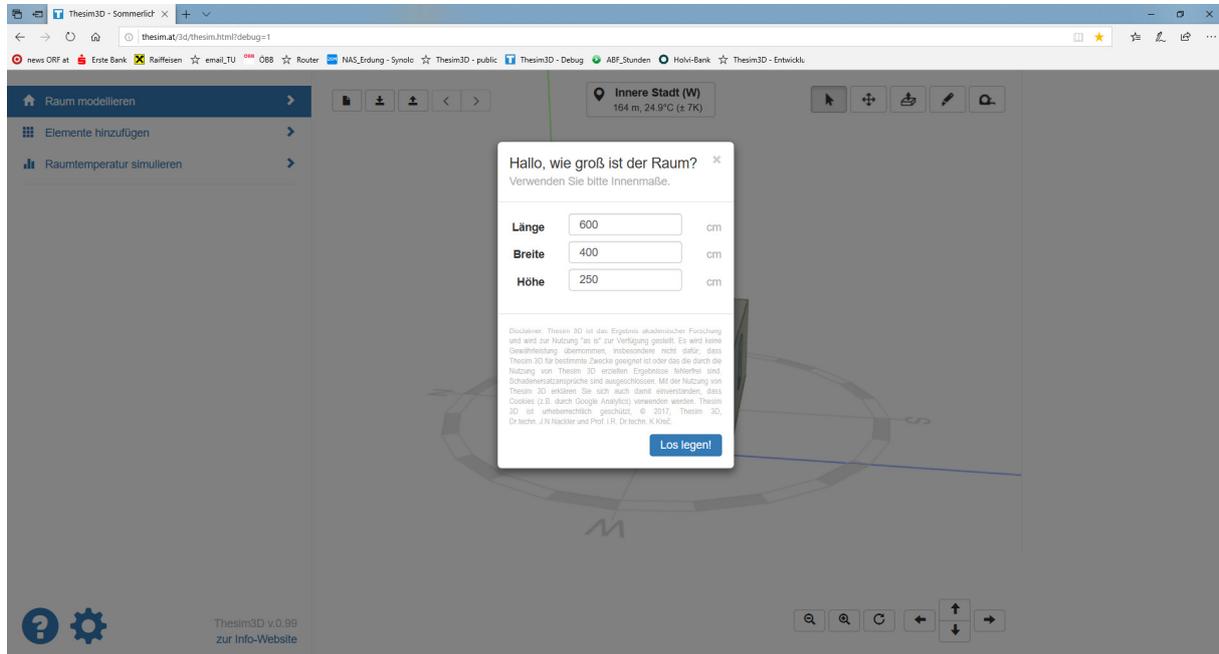


Abb. 1. 1: Bildschirm direkt nach Programmaufruf – derzeitiger Stand

Diese Einladung an die BenutzerInnen, sofort aktiv zu werden, wird wie folgt erweitert.

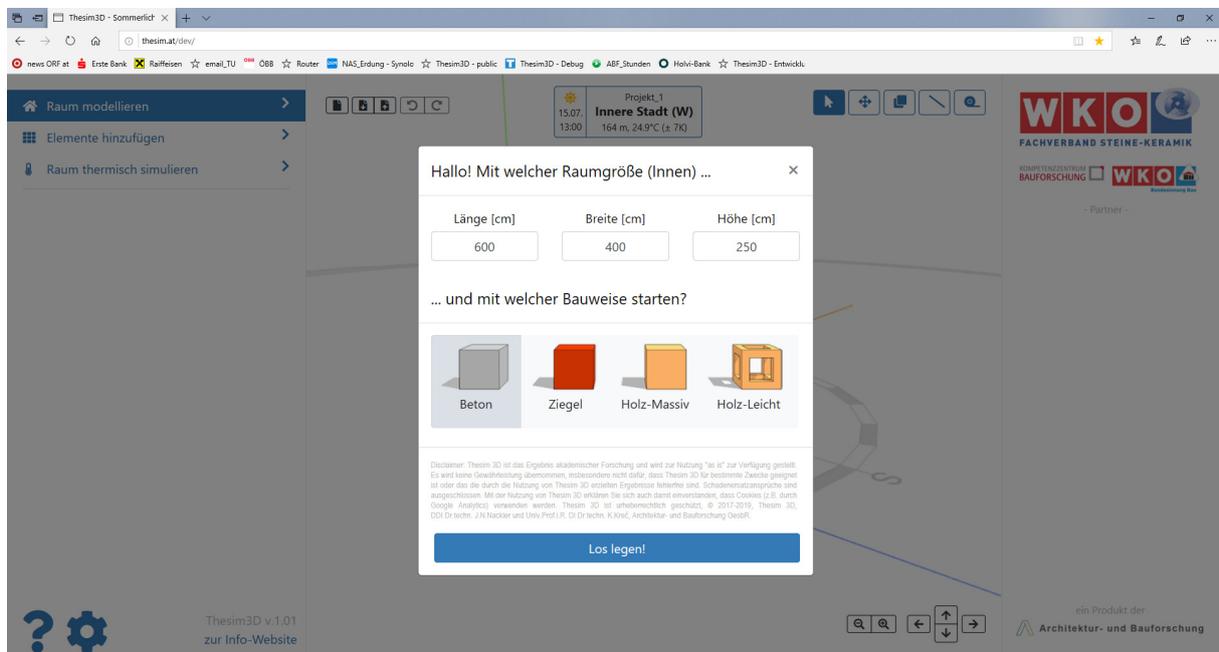


Abb. 1. 2: Bildschirm direkt nach Programmaufruf – erweiterte Version

Es besteht nun die Aufgabe, die Aufbauten der raumschließenden Bauteile in Abhängigkeit von der gewählten Bauweise derart festzulegen, dass ein fairer Vergleich der Bauweisen in Hinblick auf das Simulationsergebnis – den Tagesgang der operativen Temperatur – möglich ist.

## 1.2 Allgemeine Festlegungen

Um im Zuge eines Vergleichs nur den Einfluss der Bauweise – und damit des Wärmespeichervermögens aller Bauteile – sehen zu können, sind folgende Voraussetzungen einzuhalten:

- gleicher Gebäudestandort,
- gleiche Raumgeometrie und Fassadenorientierungen,
- gleiche Fenster und Fenstertüren,
- gleiche Raumnutzung,
- gleiche Lüftungsannahmen,
- gleiche U-Werte der Außenbauteile.

Als Gebäudestandort wird aufgrund der Bautätigkeit Wien, Aspern, festgelegt. Bei normgemäßer Berechnung bedeutet dies, dass der Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur gemäß ÖNorm B8110-5 (1) mit 23,2 °C festgelegt ist.

Die Raumgeometrie des bei Programmstart angebotenen Modellraums wird bewusst quaderförmig beibehalten. Aufgrund der von Thesim3D angebotenen Möglichkeiten kann dieser Quader ohne großen Aufwand in die für die BenutzerInnen interessierende Geometrie transferiert werden.

In Hinblick auf die Anzahl und die Verteilung der transparenten Außenbauteile wird der derzeit vorliegende Ansatz insofern geändert als von einem Fenster auf 2 Fenster und eine Fenstertür übergegangen wird. Die folgende Abbildung zeigt den bei Programmstart angebotenen Modellraum nach dem derzeit vorliegenden Stand.

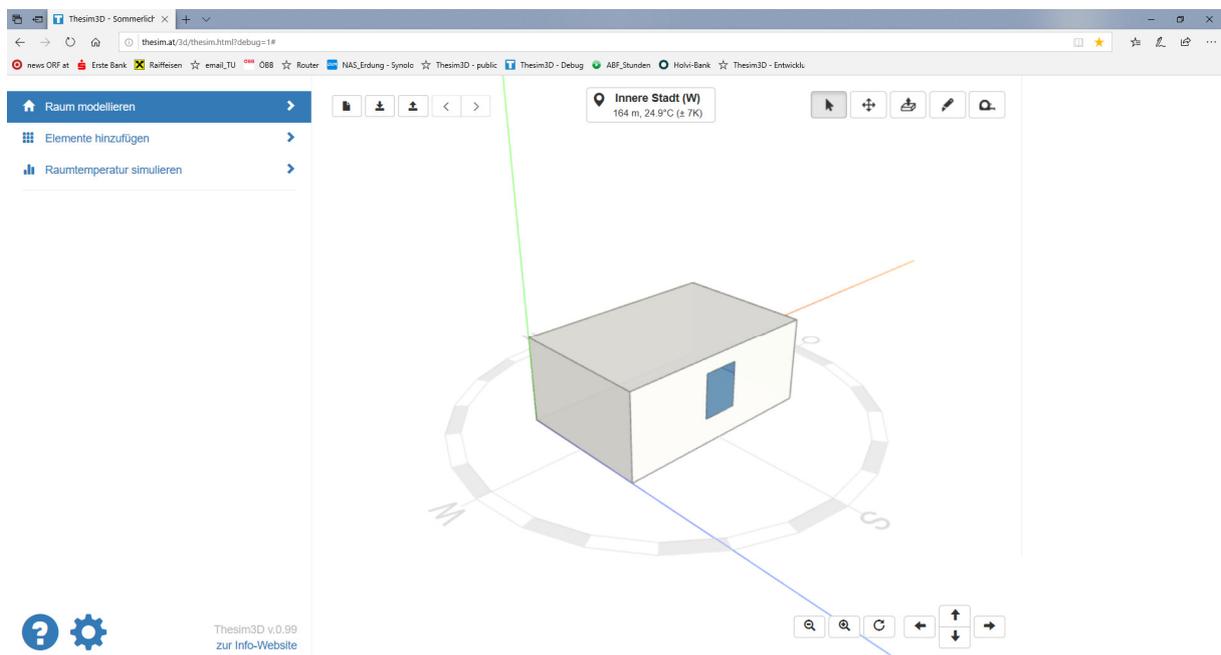


Abb. 1. 3: Angebotenes Raummodell – „alter“ Stand

Für BenutzerInnen, die Thesim3D eher zufällig anwählen kann das anfänglich gezeigte Raum-Modell gemäß Abb. 1. 3 zur Fehleinschätzung führen, dass die thermische Simulation nur primitive Fälle abzudecken vermag. Es ist daher angezeigt, bereits beim Programmeinstieg mehr von den zur Verfügung stehenden Möglichkeiten des Programms zu zeigen. Wie bereits angemerkt, soll dabei aber von der quaderförmigen Raumgeometrie nicht abgegangen werden.

Zum einen wird das Modell von einem Fenster in der Südfassade (siehe Abb. 1. 3) auf ein zusätzliches Fenster in der Westfassade und eine zusätzliche Fenstertür in der Südfassade erweitert. Dies führt dazu, dass der Raum in Hinblick auf sein thermisches Sommerverhalten kritischer wird. Die beiden Fenster und die Fenstertür ermöglichen aber zudem mittels Öffnung eine sehr effektive Nachtlüftung.

Zum anderen wird das Grundmodell insofern erweitert als von vornherein Daten zur Raumnutzung angesetzt werden. Die nutzungsbedingten Innenwärmen aufgrund von Personenbelegung, Beleuchtung und Geräten werden hierbei normgemäß nach ÖNorm B8110-3:2012 (2) angenommen. Auch bezüglich der aus hygienischen Gründen erforderlichen Frischluftzufuhr werden die Normwerte nach ÖNorm B8110-3:2012 (2) angesetzt.

Bezüglich der Berechnungsergebnisse wird gefordert, dass alle Bauweisen zu Tagesgängen der operativen Temperatur führen, die insofern normgemäß sind als deren Maximalwerte unter der Obergrenze von 27 °C zu liegen kommen. Nach Testrechnungen wird diese Forderung für den gewählten Standort Wien, Aspern, erfüllt, wenn die beiden Fenster und die Fenstertür unter Tags mit Außenjalousien, deren Abschattungsfaktor mit  $F_c = 0,27$  angesetzt wird, verschattet werden. Zudem erweist es sich als erforderlich, die beiden Fenster in der Nacht ganz geöffnet zu halten und die Fenstertür zu kippen (Kippwinkel 6 °).

**Anmerkung:** Die Fensteröffnung ist insofern mit dem Raummodell verträglich als angenommen ist, dass der entworfene Raum im obersten Geschoß des Gebäudes liegt.

Die folgende Abbildung zeigt mittels eines Bildschirm-Dumps das neu entwickelte Raummodell für den Programmstart von Thesim3D.



Abb. 1. 4: Modifiziertes Raummodell

Die Auswirkung der Bauweise auf das sommerliche Raumverhalten wird einzig durch die Annahmen in Hinblick auf die Art der Aufbauten der raumbegrenzenden Bauteile bestimmt. Die entsprechenden Setzungen müssen natürlich plausibel sein und der derzeit üblichen Baupraxis entsprechen.

### 1.3 Festlegung der Bauteilaufbauten

Als wichtige Bedingung für den Entwurf der Bauteilaufbauten ist zu beachten, dass alle Außenbauteile in jeder Bauweise gleiche Wärmedurchgangskoeffizienten („U-Werte“) aufweisen. Für die beiden Fenster und die Fenstertür ist dies unmittelbar möglich, wenn in allen 4 Bauweisen identische Annahmen getroffen werden. Angesetzt werden Holzfenster mit einem Rahmenanteil von 25%. Für die Fenstertür wird der Rahmenanteil mit 20% etwas niedriger angesetzt. Für den Holzrahmen wird ein mittlerer U-Wert von  $U = 1,36 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  angesetzt, das Fensterglas soll als Dreifach-Wärmeschutzglas mit einem U-Wert von  $U = 0,7 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  ausgeführt sein.

Die Außenwände sind derart anzusetzen, dass deren U-Wert in etwa  $U = 0,17 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  erreicht. Das über dem Raum angenommene Flachdach soll mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von  $U = 0,15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  etwas besser gedämmt sein. Auch die Farbe der Außenseiten der Außenwände und des Flachdachs spielt für das sommerliche Innenklima eine nicht unbedeutende Rolle und ist damit für alle Bauweisen gleich anzusetzen. Gemäß ÖNorm EN ISO 13791:2012 (3) wird eine „mittlere Farbe“ angesetzt, was der Annahme eines solaren Absorptionsgrads von 0,6 entspricht.

Bei den als Innenbauteil auftretenden Innenwänden und dem Fußboden ist der U-Wert unbedeutend, da bei normgemäßer thermischer Simulation davon auszugehen ist, dass die angrenzenden Nachbarräume die gleiche Temperatur ausweisen wie der betrachtete Raum. Natürlich spiegelt sich aber der von der Bauweise abhängige Schichtaufbau der Innenbauteile im Simulationsergebnis wider.

Im Anhang A sind die für die vier angebotenen Bauweisen (Beton, Ziegel, Holz-massiv und Holz-leicht) angenommenen Schichtaufbauten aufgelistet. Diese werden je nach Wahl (siehe Abb. 1. 4) den anfänglichen Simulationsläufen zugrunde gelegt. Natürlich muss in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, dass die BenutzerInnen jederzeit die Aufbauten ändern und damit an das jeweils vorliegende Projekt anpassen können.

### 1.4 Simulationsergebnisse

Die sommerlichen innenklimatischen Verhältnisse sind natürlich von der Bauweise und damit von der Wärmespeicherfähigkeit der raumbegrenzenden Bauteile abhängig. Je nach Wahl der angebotenen Bauweisen wird sich somit ein anderer Tagesgang der operativen Raumtemperatur einstellen. Die folgende Abbildung zeigt die errechneten Tagesgänge der operativen Temperatur für das bei unmittelbar nach Programmaufruf angebotene Raummodell. Die Raumabmessungen werden dabei mit einer Grundfläche von 6,00 x 4,00 m und einer Raumhöhe von 2,5 m ungeändert beibehalten.

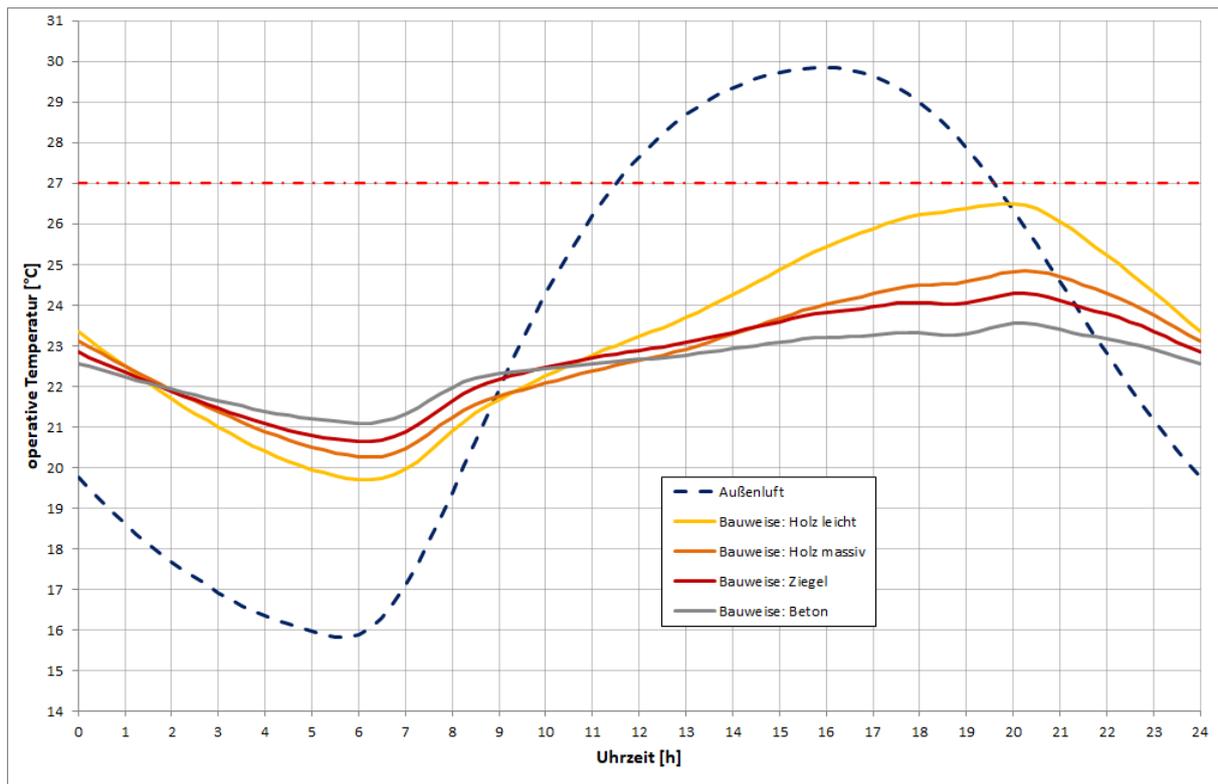


Abb. 1. 5: Berechnete Tagesgänge der operativen Temperatur im Raum in Abhängigkeit von der Bauweise

Aufgrund der getroffenen Annahmen zeigt Abb. 1. 5 klar die Auswirkung des durch die Bauweise fixierten Wärmespeichervermögens der raumumschließenden Bauteile auf das sommerliche Innenraumklima. Die Tagesmittelwerte der operativen Temperatur schwanken zwischen 22,5 °C bei sehr schwerer Bauweise (Beton) und 23,3 °C bei Holzleichtbauweise. Der Tagesmittelwert der operativen Temperatur ist damit bei schwerer Bauweise etwas niedriger als bei leichter Bauweise.

Als weit größer erweist sich hingegen der Einfluss der Bauweise auf die Tagesschwankung der operativen Temperatur. Diese Tagesschwankung – definiert als Differenz zwischen Tagesmaximum und Tagesminimum – ist bei schwerer Bauweise mit 2,5 K eher klein. Bei Holzleichtbauweise liegt sie hingegen bei 6,8 K und sorgt damit für einen Maximalwert der operativen Temperatur von 26,5 °C.

Mit den voreingestellten Bauweisen wird den ProgrammbenutzerInnen von Thesim3D somit deutlich vor Augen geführt, dass eine Vergrößerung des Wärmespeichervermögens der raumumschließenden Bauteile zu einer Reduzierung der Tagesschwankung der sich im Raum einstellenden Temperatur führt. Als Grund für diesen sehr stark ausgeprägten Effekt darf die nächtliche Fensterlüftung genannt werden.

## 2. Ausgabe von leicht lesbaren Berichten

Der Anspruch von Thesim3D auf Benutzerfreundlichkeit mit weitgehend selbsterklärender Bedienung sollte zum einen selbstverständlich auch in Hinblick auf die Art und Darstellung der Ergebnisdarstellungen erfüllt werden. Zum anderen ist eine Möglichkeit zu schaffen, die Ergebnisse von Simulationsläufen mit Thesim3D nicht nur auf dem Bildschirm darzustellen, sondern sie auch auf eine Datei abzuspeichern und damit einer Weiterverwertung zugänglich zu machen.

Der Bericht eines durchgeführten Simulationslaufs muss natürlich neben dem eigentlichen Ergebnis auch eine Dokumentation aller vom Benutzer eingegebenen Größen enthalten. Bisher war lediglich die Möglichkeit geboten, die sehr umfangreiche Eingabedokumentation des Simulationsprogramms am Bildschirm zu sichten. Diese Berichte enthalten allerdings sehr detaillierte Informationen über die Eingabedaten, gemischt mit Zwischenergebnissen und dokumentieren u. a. den ursprünglichen Charakter des Simulationsprogramms als rein wissenschaftliches Werkzeug. Die Aufgabe besteht u. a. also darin, leicht lesbare, weitgehend selbsterklärende Dokumentationen zu erzeugen.

Eine weitere Problematik stellt der Umfang der Eingabedokumentation dar. Der Anspruch an eine Eingabedokumentation in Hinblick auf ihre Vollständigkeit muss einerseits natürlich stets gewahrt bleiben. Andererseits wird es im Zuge der Eingabe oftmals die Situation geben, in der es hilfreich ist, nur Teile der Eingabe einsehen zu können und die Sichtung einer vollen Dokumentation eher aufwändig und störend sein würde.

Naheliegender war es daher, ein Konzept für ein modular aufgebautes Dokumentationssystem zu entwickeln, das es dem Benutzer ermöglicht, Inhalt und Umfang der Eingabedokumentation einfach und gezielt selbst zu bestimmen.

Die folgende Abbildung zeigt die Oberfläche des Berichtgenerators, der erscheint, sobald der Benutzer die Simulation und – darauffolgend – die Erstellung eines Berichts geordert hat.

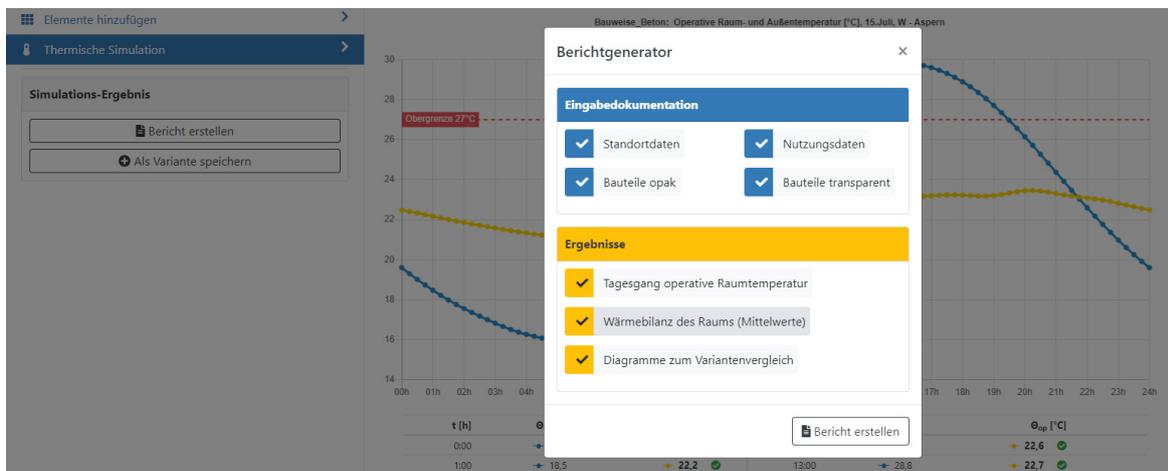


Abb. 2. 1: Auswahlmenü des Berichtgenerators

Der Berichtsgenerator strukturiert somit Eingabedokumentation und Ergebnisdarstellung und ermöglicht es dem Benutzer mittels Deaktivierung einzelner Teile die Ausgabe gezielt einzuschränken. Ohne derartige Eingriffe wird stets die volle Ausgabe erzeugt und als PDF-Datei ausgegeben. Im Folgenden wird kurz auf die einzelnen Berichtsteile eingegangen.

## 2.1 Tagesgang der operativen Temperatur

Im Fall einer vollen Ausgabe bildet das Berechnungsergebnis – im Normalfall der Tagesgang der operativen Temperatur – die erste Seite des Berichts. Die folgende Abbildung zeigt diese Seite für den Standard-Fall „Bauweise Beton“.

## Thesim 3D

Ergebnisausdruck

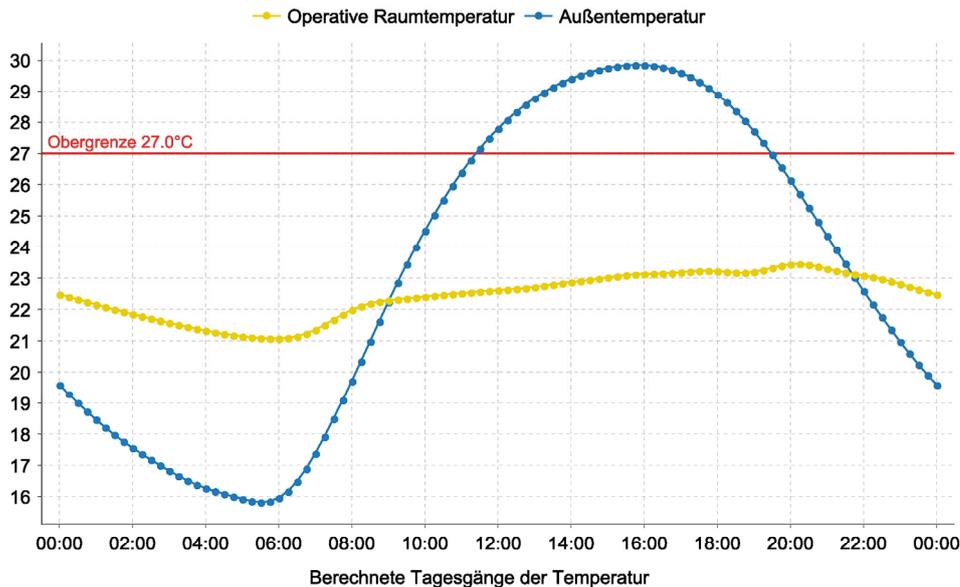
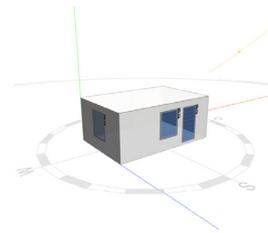
Bauweise\_Beton

**Projekt: Bauweise\_Beton**

Thermische, dynamische Raumsimulation zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung

Fragestellung: operative Temperatur

Zeitzone: mitteleuropäische Sommerzeit (UTC+2)



	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
•• Operative Raumtemperatur	22,5	22,2	21,9	21,6	21,3	21,1	21,1	21,4	22,0	22,3	22,4	22,5	22,6
•• Außentemperatur	19,6	18,5	17,6	16,8	16,3	15,9	16,0	17,4	19,7	22,3	24,5	26,4	27,8

	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	Max
•• Operative Raumtemperatur	22,7	22,9	23,0	23,1	23,2	23,2	23,2	23,5	23,3	23,1	22,8	22,5	23,5
•• Außentemperatur	28,8	29,4	29,8	29,8	29,6	28,9	27,7	26,1	24,4	22,6	21,0	19,6	29,8

Validierung: Der Rechenkern von Thesim 3D, das thermisch dynamische Gebäudesimulationsprogramm GEBA V10.0 ist nach ÖNORM EN ISO 13792:2012 Klasse 1 validiert. Die Verschattungsberechnung von Thesim 3D ist nach ÖNORM EN ISO 13791:2012 validiert. Disclaimer: Thesim 3D ist das Ergebnis akademischer Forschung und wird zur Nutzung "as is" zur Verfügung gestellt. Es wird keine Gewährleistung übernommen, insbesondere nicht dafür, dass Thesim 3D für bestimmte Zwecke geeignet ist oder dass die durch die Nutzung von Thesim 3D erzielten Ergebnisse fehlerfrei sind. Schadenersatzansprüche sind ausgeschlossen. Thesim 3D ist urheberrechtlich geschützt, © 2017-2020, Thesim 3D, DDI Dr.techn. J.N.Nackler und Univ.Prof.I.R. DI Dr.techn. K.Krec, Architektur- und Bauforschung GesbR.

Abb. 2. 2: Standard-Fall „Bauweise\_Beton“: Ergebnisdarstellung für den Fall der Berechnung der operativen Temperatur

Anzumerken ist, dass in diesem am Anfang der Eingabedokumentation stehenden Block auch die Fragestellung angeführt ist. Dies ist notwendig, da im Zuge der hier dokumentierten Überarbeitung von Thesim3D auch die Berechnung des Tagesverlaufs der zur Begrenzung der Raumtemperatur notwendigen Kühlleistung eingeführt wurde – siehe Kapitel 4.

Die Angabe der Zeitzone ist notwendig, um die Zeitskala im Diagramm richtig interpretieren zu können. Dies ist insofern wichtig als Thesim3D auch für Standorte außerhalb von Mitteleuropa anwendbar ist, die mitteleuropäische Sommerzeit der Berechnung somit nicht in allen Fällen zugrunde gelegt wird.

**Anmerkung:** Für Standorte, deren Eckdaten (siehe Abschnitt 2.2) von Thesim3D nicht vollautomatisch generiert werden, ist im Zweig „beliebiger Standort“ u. a. der Bezugsmeridian der Zeitzone einzutragen.

## 2.2 Standortdaten

Im Fall der vollen Ausgabe stehen die im Folgenden beschriebenen Informationen am Beginn der Eingabedokumentation, die dem auf der ersten Seite des Berichts gezeigten Ergebnis entspricht.

In der Eingabedokumentation mit dem Titel „Standortdaten“ ist zum einen der Gebäudestandort mittels Angabe der Ortsbezeichnung, der geografischen Koordinaten, sowie der Seehöhe definiert. Zum anderen sind die verwendeten Eckdaten für die Modellierung der außenklimatischen Verhältnisse angegeben.

In der folgenden Abbildung ist der Ausdruck des Blocks „Standortdaten“ für die Standard-Fälle dargestellt.

### Standortdaten

<b>Standort:</b>	<b>Aspern (W)</b>	48° 12' N, 16° 29' O
	Seehöhe:	155,0 m
<b>Außenklima:</b>	Lufttemperatur:	Tagesmittelwert: 23,2°C
		Tagesschwankung: 14,0 K
	Bodentemperatur:	Tagesmittelwert: 20,0°C
	Sonnenstrahlung:	Trübungsfaktor nach Linke: 4,500
		Diffusstrahlungsfaktor nach Reitz: 0,333
		Reflexionszahl der Umgebung (Albedo): 0,200
		Datum: 15.7.
		Sonnenaufgang (berechnet): 5:10
		Sonnenuntergang (berechnet): 20:49

Abb. 2. 3: Eingabedokumentation mit Standortdaten für die Standard-Fälle

Mit den in Abb. 2. 3 dokumentierten Angaben werden die der Simulation zugrunde gelegten außenklimatischen Verhältnisse vollständig dokumentiert. Die hierzu erforderlichen Berechnungsalgorithmen sind mit den in Anhang A der ÖNorm B8110-3:2020 (4) skizzierten Ansätzen kompatibel.

Die Angaben zu Sonnenauf- und -untergang sind vom Simulationsprogramm gelieferte Zwischenergebnisse, die bei der Interpretation der Angaben für transparente Bauteile hilfreich sind.

## 2.3 Nutzungsdaten

Unter „Nutzungsdaten“ sind Eingabedaten zusammengefasst, die sich aufgrund der Art der Benutzung des Raums ergeben. Zum einen sind dies die zeitlichen Verläufe der durch die Raumnutzung innerhalb des Raums entstehenden Wärmequellen. Diese werden durch die Personenbelegung und durch die Wärmeabgabe von im Raum betriebenen Geräten hervorgerufen. Zum anderen gehören auch alle Angaben in Hinblick auf die Frischluftzufuhr in den Raum zu den Nutzungsdaten.

In folgender Abbildung ist der Ausdruck des Blocks „Nutzungsdaten“ für die Standard-Fälle dargestellt.

### Daten zur Raumnutzung

#### Tagesgang der Personenbelegung [Personen]

01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,63	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
0,50	0,75	0,75	0,75	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Wärmeabgabeleistung pro Person: 90 W

#### Tagesgang der Wärmeabgabeleistung von Beleuchtung und Geräten [W]

01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
41,20	41,60	43,20	52,90	100,40	130,20	157,80	178,80	157,70	143,60	117,20	90,80
13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
81,60	104,30	139,90	168,00	172,90	155,60	139,40	116,20	89,20	69,70	56,20	56,20

### Angaben zur Raumlüftung

Luftwechselzahl bautechnischer Luftwechsel: 0,05 1/h

#### Tagesgang des hygienisch erforderlichen Luftwechsels [1/h]

01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,35	0,14	0,14	0,14	0,14
13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
0,14	0,28	0,42	0,42	0,42	0,49	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56

### Fensterlüftung:

Öffnung

20:00-08:00

Abb. 2. 4: Eingabedokumentation mit Nutzungsdaten für die Standard-Fälle

Obige Abbildung zeigt, dass die nutzungsbedingten Tagesverläufe über die Angabe der Werte zu den vollen Stunden dokumentiert sind. Lediglich bei der Fensterlüftung sind nur das oder die Zeitintervalle angegeben, während derer Fenster geöffnet oder gekippt sind. Im Sonderfall der Fensterlüftung werden ja nicht Luftwechselzahlen, sondern Angaben über den Öffnungsgrad der Fenster vorgegeben, aus denen im Zuge der Simulation die sich einstellenden Luftwechselzahlen errechnet werden.

## 2.4 Bauteile opak

Unter dem Titel „Bauteile opak“ verbirgt sich die Bauteilliste für alle opaken, also nicht transparenten Bauteile.

Anhand dieser Bauteilliste lässt sich die Notwendigkeit der Überarbeitung der Eingabedokumentationen besonders einfach belegen. Als Beispiel für die diesbezüglich erforderlichen Änderungen ist in den folgenden beiden Abbildungen die „alte“ Auflistung des Bauteilaufbaus für den Fußboden des Standard-Falls „Bauweise Beton“ der neu gestalteten Dokumentation gegenübergestellt.

BAUTEIL NR. 3:		FB Beton (Standard)	>>> BAUTEILKENNGROESSEN <<<<	
*****				
NR.	DICKE [m]	AUSSEN	BAUTEILDICKE:	.435 m
4	.0150	Innenputz	DURCHLASSWIDERSTAND:	2.573 qm*K/W
6	.2000	Stahlbetondecke	FLAECHEBEOEGENE MASSE:	739.460 kg/qm
7	.0800	Dämschüttung gebund	NORM-WAERMESPEICHERKAPAZITAET INNEN:	208.290 kJ/(qm*K)
8	.0300	Trittschalldämmplatt	AUSSEN:	247.533 kJ/(qm*K)
9	.1000	Zementestrich	SPEICHERWIRKSAME MASSE INNEN:	198.997 kg/qm
10	.0100	Bodenbelag (Fliesen)	AUSSEN:	236.489 kg/qm
		INNEN		

Abb. 2. 5: „Bauweise Beton“: Dokumentation des Standard-Fußboden-Aufbaus; ursprüngliche Darstellung

Diese Dokumentation des Schichtaufbaus ist insofern nicht leicht zu lesen als die einzelnen Schichten nur über die am Beginn jeder Zeile angeführten Schichttyp-Nummer und die Bezeichnung zu identifizieren sind. Die Materialdaten der Schichten müssen aus einer gesonderten Auflistung aller vorkommenden Schichten herausgelesen werden.

Mit der Neuerstellung der Eingabedokumentation wird dieser Nachteil behoben, indem die Schichtenfolge mit allen für die Simulation relevanten Materialkenngrößen ausgegeben wird. Zudem wird das Layout den heute gewohnten Anforderungen angepasst und Konventionen in der Bauplanung – wie die Angabe der Schichtdicken in cm – nachgegeben. Die Angabe des U-Werts anstelle des Durchlasswiderstands verbessert zudem den Informationsgehalt der Eingabedokumentation – siehe die folgende Abbildung.

Bauteil Nr. 3		Bezeichnung: FB Beton (Standard)				
Schichtaufbau:		Schichtdicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]	Massendichte [kg/m³]	Spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg·K)]	Durchlasswiderstand [m²·K/W]
außen						0,130
1	Innenputz	1,5	0,670	1500,0	1,000	0,022
2	Stahlbetondecke	20,0	2,500	2400,0	1,000	0,080
3	Dämschüttung gebunden	8,0	0,050	200,0	1,560	1,600
4	Trittschalldämmplatte	3,0	0,038	32,0	1,450	0,789
5	Zementestrich	10,0	1,400	2000,0	1,130	0,071
6	Bodenbelag (Fliesen)	1,0	1,000	2000,0	0,920	0,010
innen						0,130
Kenngößen:						
		Dicke des Bauteils:		43,5 [cm]		
		Flächenbezogene Masse:		739,5 [kg·m <sup>-2</sup> ]		
		Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert):		0,35 [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]		
		Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität außen:		247,533 [kJ·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]		
		Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen:		208,290 [kJ·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]		

Abb. 2. 6: „Bauweise Beton“: Dokumentation des Standard-Fußboden-Aufbaus; neue Eingabedokumentation

Natürlich enthält die neue Eingabedokumentation u. a. die Auflistungen der Schichtenfolgen und zugehörigen Kenngrößen für alle vorkommenden opaken Bauteile.

Zur Eingabedokumentation „Bauteile opak“ gehören natürlich auch die den jeweiligen Bauteilen zukommenden Flächen. Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt der „Flächenliste“.

### Liste opaker Bauteile

#### Flächenliste

Winkelangaben beziehen sich auf die nach außen orientierten Flächennormalen

**Bezeichnung: AW 1**

Bauteil Nr.:	1
Ausrichtung (Azimut):	180,0 ° von Norden
Neigung:	0,0 ° von Horizontale
Fläche:	11,18 m <sup>2</sup>
Fläche inkl. Öffnungen:	15,00 m <sup>2</sup>

**Bezeichnung: IW 2**

Bauteil Nr.:	2
Ausrichtung (Azimut):	90,0 ° von Norden
Neigung:	0,0 ° von Horizontale
Fläche:	10,00 m <sup>2</sup>
Fläche inkl. Öffnungen:	10,00 m <sup>2</sup>

**Bezeichnung: IW 1**

Bauteil Nr.:	2
Ausrichtung (Azimut):	0,0 ° von Norden
Neigung:	0,0 ° von Horizontale
Fläche:	13,20 m <sup>2</sup>
Fläche inkl. Öffnungen:	15,00 m <sup>2</sup>

Abb. 2. 7: „Bauweise Beton“: Auszug aus der Flächenliste; neue Eingabedokumentation

In Abb. 2. 7 wurden die Bauteilbezeichnungen vom Standard-Fall ungeändert übernommen. So kennzeichnet „AW1“ die Südfassade des Raums. Neben der Fassadenfläche von 15 m<sup>2</sup> ist auch die Fläche der Außenwand (11,18 m<sup>2</sup>) ausgewiesen. Die Identifizierung der jeweils angegebenen Teilfläche wird einerseits durch eine Skizze erleichtert. Andererseits sorgt die Angabe der Flächenorientierung zusätzlich für ein eindeutiges Erkennen der Teilfläche. Die Flächenorientierung wird hierbei in Thesim3D mittels Angabe von Azimut und Neigung der nach außen gerichteten Flächennormale angegeben.

## 2.5 Bauteile transparent

Die Trennung zwischen opaken und transparenten Bauteilen ist notwendig, da transparente Außenbauteile nicht nur den Wärmedurchgang durch die Außenhülle des Raums mitbestimmen, sondern auch für die solaren Wärmegewinne im Raum verantwortlich zeichnen. Neben dem U-Wert und der Fläche spielen damit auch die strahlungstechnischen Eigenschaften, die Art etwaiger Beschattung und die Orientierung eine wesentliche Rolle.

Um den Umfang der Eingabedokumentation für die transparenten Bauteile nicht zu stark anwachsen zu lassen, werden in einem ersten Schritt die Eigenschaften der vorkommenden Verglasungen deklariert und einem Glastype zugeordnet. Die folgende Abbildung zeigt den zugehörigen Ausschnitt aus diesem Teil der Eingabedokumentation.

**Liste transparenter Bauteile**

Anzahl Glas-Typen: 1

**Glastype Nr. 1      Bezeichnung: 3S-Wärmeschutzglas beschichtet 4-8-4-8-4 (Kr)**

Schichtaufbau:		Schichtdicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]	Massendichte [kg/m³]	Spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg·K)]	Durchlasswiderstand [m²·K/W]
	außen					0,040
1	Scheibe	0,4	0,814	2500,0	0,921	0,005
2	SZR	0,8				0,625
3	Scheibe	0,4	0,814	2500,0	0,921	0,005
4	SZR	0,8				0,625
5	Scheibe	0,4	0,814	2500,0	0,921	0,005
	innen					0,130

Anmerkung: SZR ... Scheibenzwischenraum

Wärmetechnische Kenngrößen:

Dicke des Bauteils:	2,8 [cm]
Flächenbezogene Masse:	30,0 [kg·m <sup>-2</sup> ]
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert):	0,7 [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]

Strahlungstechnische Kenngrößen:

Gesamtenergiedurchlassgrad:	0,45
Strahlungstransmissionsgrad:	0,29
Strahlungsreflexionsgrad:	0,35
Exponent:	1,50

Abb. 2. 8: Dokumentation der Eigenschaften eines 3-fach Wärmeschutzglases

Neben dem Schichtaufbau des dokumentierten Glastyps und dem daraus resultierenden Glas-U-Wert sind auch jene strahlungstechnischen Kenngrößen angegeben, die für die thermische Simulation verwendet werden.

**Anmerkung:** mit dem „Exponenten“ wird die Abhängigkeit des Strahlungstransmissionsgrads – und damit auch des Gesamtenergiedurchlassgrads – vom Einfallswinkel der Sonne erfasst. Der entsprechende Berechnungsansatz ist mittlerweile in die ÖNorm B8110-3:2020 (4) übernommen worden.

Als nächster Block in der Dokumentation transparenter Bauteile wird eine Typisierung der vorliegenden Fensterrahmen vorgenommen – siehe die folgende Abbildung.

Anzahl Rahmen-Typen: 2

<b>Rahmentyp 1</b>	<b>Bezeichnung:</b>	<b>Holzrahmen</b>		
	U-Wert:	1,36 [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Rahmenanteil:	25 %
<b>Rahmentyp 2</b>	<b>Bezeichnung:</b>	<b>Holzrahmen</b>		
	U-Wert:	1,36 [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Rahmenanteil:	20 %

Abb. 2. 9: Dokumentation der Eigenschaften der Fensterrahmen

Streng genommen sind die Fensterrahmen in der Dokumentation von transparenten Bauteilen natürlich fehl am Platz. Dennoch wird mit der Auflistung der Rahmen im Zuge der Charakterisierung von Fenstern einer Konvention nachgegeben, die sich mittlerweile durchgesetzt hat.

Da Rahmen mit ihren üblicherweise eher kleinen Bauteilflächen keinen großen Einfluss auf das Simulationsergebnis haben, wird in der Dokumentation nur die Rahmenbezeichnung, der U-Wert des Rahmens und der Rahmenanteil ausgedruckt. Programmintern wird allerdings eine thermische Ersatzkonstruktion verwendet, die den U-Wert garantiert, aber auch die Wärmespeicherfähigkeit des Rahmens in Abhängigkeit von dessen Art zumindest überschlägig berücksichtigt.

Nach der Dokumentation von Glas- und Rahmentypen folgt die Beschreibung von den solaren Wärmegegewinn bestimmenden Einflüssen für jeden transparenten Bauteil in der Außenhülle des Raums. Die folgende Abbildung zeigt diesen Teil der Eingabedokumentation für die Fenstertür des Standard-Raums.

<b>Fenster Nr. 2</b>	<b>Bezeichnung: F 2</b>															
Glas-Typ Nr.:	1															
Rahmen-Typ Nr.:	2															
Orientierung:	Azimit:	180.0° von Norden					Neigung:	0.0° von Horizontale								
<b>Jalousiebenutzung:</b>																
Abschattungsfaktor Jalousie: $F_c = 0,27$																
Jalousiebenutzung von 08:00 bis 20:00																
<b>Tagesgang der Verschattungsfaktoren (berechnet):</b>																
05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Tagesgang des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases (berechnet):</b>																
05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
0,45	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,45
<b>Lüftung durch Fensteröffnung:</b> Fenster gekippt mit Öffnungswinkel 6°																
Öffnung																
20:00-08:00																

Abb. 2. 10: Standard-Raum: Eingabedokumentation für die Fenstertür in der Süd-Fassade

Die Art des transparenten Bauteils ist aufgrund von Glas- und Rahmentyp-Nummer durch die vorhergehenden Spezifizierungen gegeben. Im Fall von Jalousien, wird über den Abschattungsfaktor  $F_c$  und das Zeitintervall, in denen die Jalousien in Verwendung sind, deren verschattende Wirkung definiert.

Als Zwischenergebnisse werden der Tagesgang der Verschattung und der Tagesgang des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases dokumentiert. Natürlich sind diese Angaben von der – ebenfalls angegebenen – Fassadenorientierung abhängig.

Die angegebenen Verschattungsfaktoren sind Ergebnis der in Kapitel 5 beschriebenen Verschattungsberechnungen. Sie erfassen nicht nur die Verschattung aufgrund des Horizonts, sondern auch die Auswirkung von Nachbarverbauung, Gebäudeform und/oder Fassadengestaltung auf die Besonnung des Fensterglases. Aus dem einfachen Fall des in Abb. 2. 10 gezeigten Tagesverlaufs der Verschattungsfaktoren lässt sich ablesen, dass das Glas bis 8<sup>00</sup> voll verschattet, von 9<sup>00</sup> bis 17<sup>00</sup> voll besonnt, und danach wieder voll verschattet ist.

Die Angabe des Tagesgangs des Gesamtenergiedurchlassgrads zeigt die Reduktion des solaren Energieeintrags in den Raum in Abhängigkeit vom Einfallswinkel der Sonne. Dieser Effekt wird natürlich im Zuge der thermischen Simulation berücksichtigt. Aus den in Abb. 2. 10 gezeigten Zwischenergebnissen lässt sich ablesen, dass der Gesamtenergiedurchlassgrad von 0,45 (siehe Abb. 2. 8) von 6<sup>00</sup> bis 20<sup>00</sup> um 84% auf 0,38 reduziert wird. Diese konstante Reduktion rührt daher, dass aufgrund der vorgezogenen Außenjalousien ganztags keine direkte Strahlung das Fenster trifft.

**Anmerkung:** Im Zeitraum direkter Sonneneinstrahlung ist das Glas durch die Jalousieverwendung verschattet. Für den Fall der Jalousieverwendung nimmt das Simulationsprogramm an, dass Direktstrahlung durch die Jalousie gestreut wird und somit nur diffuse Sonnenstrahlung auf die Außenseite des Glases trifft.

Schließlich wird im Fall von Fensterlüftung noch die Art der Fensterlüftung (gekippt oder voll geöffnet) sowie das Zeitintervall der natürlichen Lüftung angegeben. Die Auswirkung der Fensterlüftung wird gemäß ÖNorm B8110-3:2020 durch das Simulationsprogramm modelliert.

Zur Eingabedokumentation „Bauteile transparent“ gehört natürlich auch die Angabe der jeweiligen Bauteilflächen. Diese entspricht formal der entsprechenden Aufstellung für opake Bauteile – siehe Abb. 2. 7.

## 2.6 Wärmebilanz des Raums

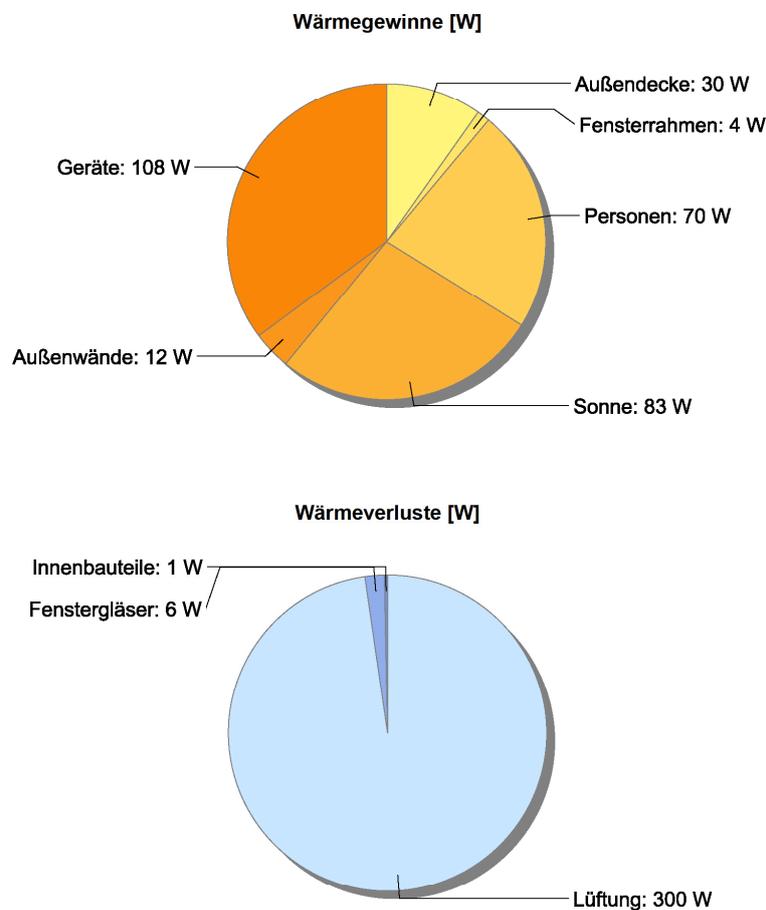
Als Teil der Ergebnisdokumentation kann die Wärmebilanz für den Raum abgerufen werden. Diese enthält eine Auflistung von Tagesmittelwerten der im Raum entstandenen Wärmemengen (Wärmegewinne) und der dem Raum entzogenen Wärmemengen (Wärmeverluste).

Sowohl die Wärmegewinne als auch die Wärmeverluste werden aufgeschlüsselt dargestellt. Als Wärmegewinne treten immer die nutzungsbedingten Wärmegewinne aufgrund der Personenbelegung und der Wärmeabgabe von Beleuchtung und Geräten, sowie die solaren Gewinne aufgrund der Sonneneinstrahlung über die Fenster auf. Diese Wärmegewinne können null, aber nicht negativ werden.

Die Transmissionswärmeströme durch die Hülle des Raums wie auch die sich aufgrund der Lüftung einstellenden Wärmeströme hängen hingegen unmittelbar von der Differenz der Temperaturen zwischen innen und außen ab. Die Tagesmittelwerte dieser Größen können sowohl positiv als auch negativ werden und somit entweder als Gewinne oder als Verluste auftreten. Thesim3D trennt diese Komponenten auf die jeweiligen raumbegrenzenden Bauteile auf und ordnet diese je nach Vorzeichen den Wärmegewinnen und Wärmeverlusten zu.

Die Wärmebilanz liefert für die ProgrammbenutzerInnen zum einen insofern wichtige Informationen als die aufgrund ihrer Größe bestimmenden Einflussfaktoren auf das thermische Raumverhalten unmittelbar ins Auge stechen. Zum anderen gibt die Aufstellung der mittleren Wärmeflüsse dem Bauplaner Hinweise darauf, wo gezielt durch bautechnische Maßnahmen eine Verbesserung des sommerlichen Raumverhaltens erzielt werden kann.

Als Folge des periodisch eingeschwungenen Berechnungsansatzes, durch den ja u. a. dadurch gewährleistet ist, dass der thermische Zustand des Raums am Tagesbeginn exakt jenem am Tagesende entspricht, ergibt sich unmittelbar die Aussage, dass die Tagesmittelwerte der Wärmegewinne exakt den Tagesmittelwerten der Wärmeverluste entsprechen müssen. Dies legt es nahe, die Komponenten der Wärmeverluste jenen der Wärmegewinne in Form zweier Tortendiagramme einander gegenüberzustellen – siehe die folgende Abbildung.

**Wärmebilanz – Tagesmittelwerte**


Anmerkung: Die Summe der Tagesmittelwerte der Wärmegewinne (307 W) entspricht der Summe der Tagesmittelwerte der Wärmeverluste (307 W)

Abb. 2. 11: „Bauweise Beton“: Darstellung der Wärmebilanz über den Tag

Auf einen Blick ist aus dieser Darstellung erkennbar, dass die Wärmeverluste durch die Lüftung dominiert werden. Das nächtliche Öffnen der Fenster erweist sich damit in Hinblick auf die Verhinderung einer Überwärmung als hoch effektiv.

Ein Blick auf die Tagesmittelwerte der Wärmegewinne zeigt zum einen, dass die nutzungsbedingten Wärmegewinne aufgrund von Personenbelegung und Geräten mehr als 50% der gesamten Wärmegewinne ausmachen. Die Wärmegewinne aufgrund der solaren Einstrahlung durch die Fenster („Sonne“ in Abb. 2. 11) spielen in der Wärmebilanz hingegen eine untergeordnete Rolle. Dies bedeutet, dass bauliche Maßnahmen in Hinblick auf eine weitere Reduktion des solaren Eintrags, wie z. B. Veränderung des Glases oder Verbesserung des Sonnenschutzes, nicht nur aufwändig, sondern auch wenig wirksam sein werden.

In Hinblick auf das Potential einer weiteren Verbesserung des sommerlichen Raumverhaltens aus bautechnischer Sicht fällt auf, dass durch die Außendecke ein nicht unerheblicher Wärmeeintrag in den Raum entsteht. Dies legt es nahe zu untersuchen, ob durch eine verbesserte Wärmedämmung der

Decke oder durch Abschattungsmaßnahmen des angenommenen Flachdachs das sommerliche Raumverhalten weiter verbessert werden kann.

**Anmerkung:** Die soeben angeführte Interpretation des in Abb. 2. 11 gezeigten Berechnungsergebnisses trifft natürlich nur für den beispielhaft gezeigten Standard-Fall „Bauweise Beton“ zu. Natürlich können sich die gezeigten Aufteilungen sowie die daraus ableitbaren Folgerungen bei anderen Projekten nahezu beliebig ändern.

## 2.7 Diagramm zum Variantenvergleich

Jeweils am Ende der Ausgabe kann ein Diagramm als Teil der Ergebnisdarstellung angefügt werden, das die Ergebnisse von Berechnungsvarianten enthält. Im folgenden Kapitel 3 wird näher darauf eingegangen, wie ein solches Diagramm erzeugt wird.

Natürlich ist die Positionierung des Diagramms am Ende des Berichts bewusst gewählt. Wie bisher beschrieben, wird das Ergebnis eines einzigen Simulationslaufs mit den zu diesem Lauf gehörigen Eingabedaten dokumentiert. Im Normalfall sollte im Zuge einer Parameterstudie immer nur eine Einflussgröße variiert werden, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. In diesem Fall bleibt die Eingabedokumentation mit Ausnahme des variierten Parameters gültig.

Als Beispiel ist in der folgenden Abbildung die Ergebnisdokumentation einer Parameterstudie mit dem Abschattungsfaktor  $F_c$  einer Jalousie als variiertes Größe dargestellt. Der Parameterstudie wurde das Standard-Raummodell gemäß Abb. 1. 4 zugrunde gelegt und die „Bauweise Beton“ angesetzt. Ausgehend von der Annahme außen liegender Jalousien mit  $F_c = 0,27$ , die von 8<sup>00</sup> bis 20<sup>00</sup> heruntergelassen werden (siehe z. B. Abb. 2. 10) wird untersucht, welche Auswirkung die Verwendung heller Innenjalousien mit  $F_c = 0,75$  auf das sommerliche Raumklima hat. Diesen beiden Berechnungsvarianten wird schließlich der Fall gänzlich unverschatteter Fenster gegenübergestellt.

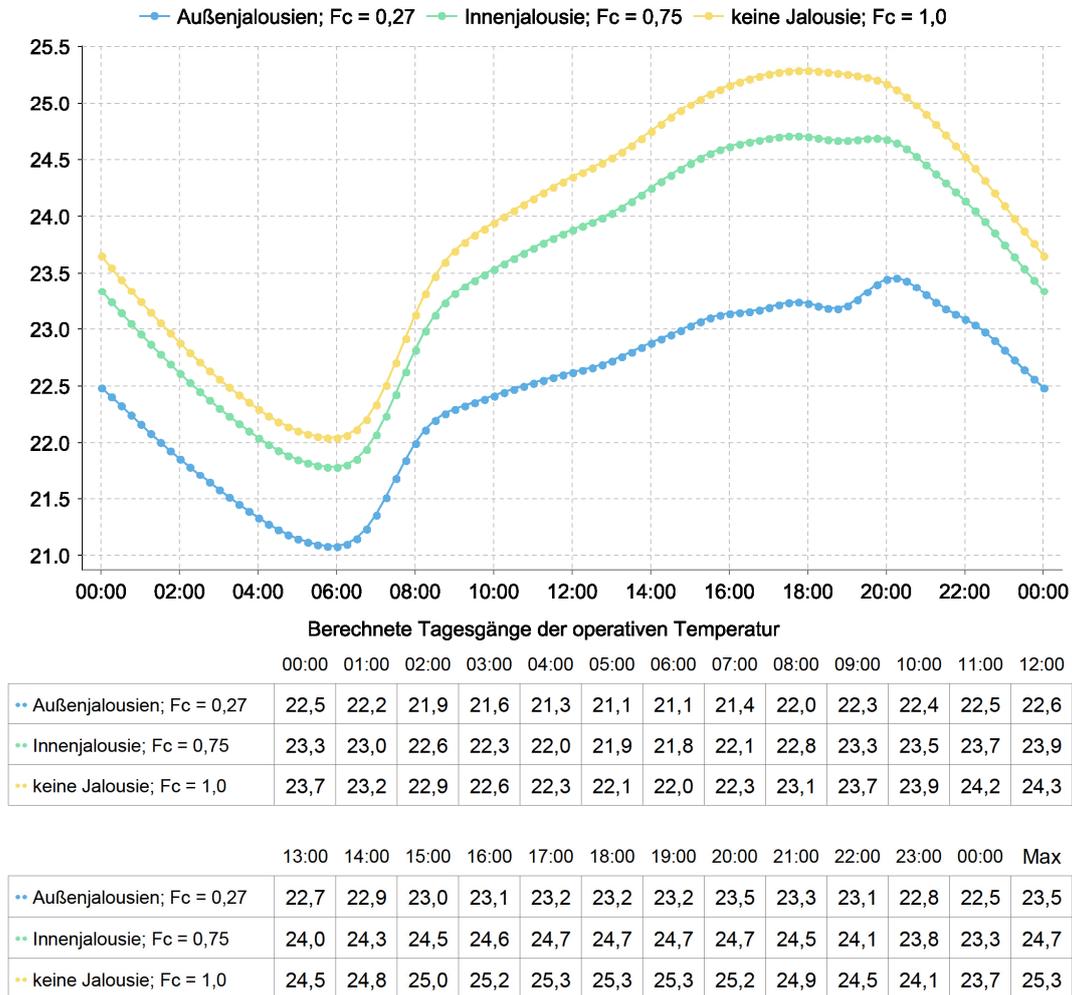
**Variantenvergleich / Parameterstudien:**


Abb. 2. 12: „Bauweise Beton“; Ergebnisdarstellung einer Parameterstudie über die Auswirkung verschiedener Jalousien auf das thermische Raumverhalten

Das Diagramm in Abb. 2. 12 zeigt auf einen Blick, dass der Raum selbst ohne Jalousiebenützung angenehm kühl bleibt. Als Grund für dieses vorerst überraschende Ergebnis kann der Effekt der Nachtlüftung ausgemacht werden, der aufgrund der hohen Wärmespeicherefähigkeit der schweren Bauweise ganztags nachwirkt.

### 3. Zusammenfassung der Ergebnisse verschiedener Berechnungsvarianten in einem Diagramm

Für das Verständnis von Simulationsergebnissen hilfreich ist es, wenn die berechneten Tagesverläufe für verschiedene Berechnungsvarianten zusammengespielt und in einem Diagramm dargestellt werden. Solche Darstellungen erleichtern es, den Zusammenhang zwischen einer baulichen Maßnahme als Ursache und den thermischen Verhältnissen im Inneren des Raums als Wirkung anschaulich zu vermitteln und damit unmittelbar begreifbar zu machen.

Im Rahmen dieses Projekts wurde die Möglichkeit geschaffen, ein Diagramm mit mehreren Berechnungsvarianten zu erstellen. Nach jeder Durchrechnung besteht die Möglichkeit, das Berechnungsergebnis – den errechneten Tagesverlauf der operativen Temperatur – abzuspeichern und mit einem Variantennamen zu versehen. Damit kann eine Liste von verschiedenen Berechnungsergebnissen generiert werden. Parallel dazu wird das Diagramm mit den errechneten Tagesverläufen jeweils aktualisiert und am Bildschirm angezeigt. Die Darstellung kann insofern laufend den Erfordernissen gemäß angepasst werden als das Löschen von als uninteressant identifizierten Berechnungsvarianten jederzeit möglich ist. Der jeweilige Stand des Diagramms kann im Zuge der Ausgabe eines Berichts auch als PDF ausgegeben werden – siehe Abschnitt 2.7.

Als Beispiel für die Gegenüberstellung von Berechnungsvarianten ist in der folgenden Abbildung das Ergebnis einer Parameterstudie in Hinblick auf die Auswirkung nächtlicher Fensterlüftung für den Basisfall „Bauweise Beton“ (siehe Kapitel 1) dargestellt.

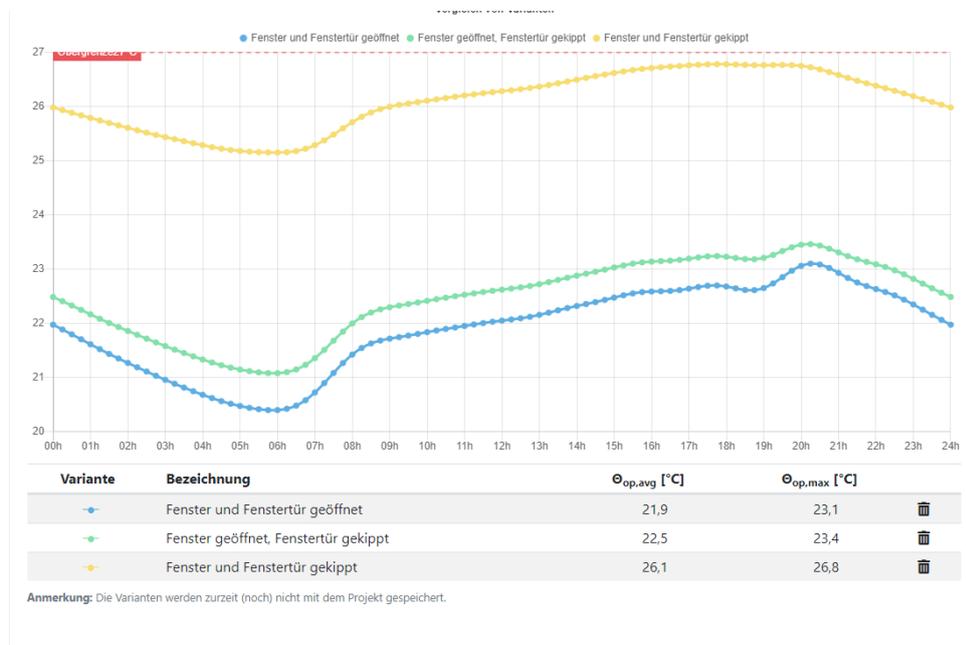


Abb. 3. 1: Variantenvergleich: Bauweise Beton; Auswirkung verschiedener Nachtlüftungs-Strategien

Auf einen Blick ist erkennbar, dass ein nächtliches (von 20<sup>00</sup> bis 8<sup>00</sup>) Kippen der beiden Fenster und der Fenstertür gerade ausreicht, um die operative Temperatur im Raum unterhalb 27 °C zu halten. Diese Aussage ist z. B. wichtig, wenn es um die Frage geht, ob auch ein im EG liegender Raum mittels nächtlicher Fensterlüftung sommertauglich gemacht werden kann. Natürlich ist auch unmittelbar

ersichtlich, welch' großen Einfluss eine volle Öffnung der Fenster in der Nacht auf den Tagesgang der operativen Temperatur hat.

#### 4. Erweiterung auf die Berechnung sensibler Kühlleistungen

Der Leistungsumfang von Thesim3D war bisher auf die Berechnung des Tagesverlaufs der operativen Temperatur ohne Berücksichtigung etwaiger durch eine Klimatisierung eingebrachter Heiz- oder Kühlleistungen beschränkt.

Zeigen die Ergebnisse der Simulation eine Tendenz zur Überhitzung des Raums, so ist es naheliegend, vorerst Maßnahmen zur Temperaturabsenkung, wie z. B. Verschattung der Fenster, Veränderung der Bauweise, Entwicklung eines wirksamen Lüftungskonzepts, etc., per Simulation auf ihre Wirksamkeit hin zu überprüfen. Natürlich kann und wird es auch immer wieder vorkommen, dass sämtliche mögliche Maßnahmen die Überhitzungsneigung nicht vollständig eliminieren können. Ein Beispiel für solch' eine Situation ist immer dann gegeben, wenn sich als Grund für die Überhitzung zu hohe nutzungsbedingte Innenwärmen, wie sie durch sehr hohe Personenbelegung oder eine zu große Wärmeabgabe durch Geräte im Raum entstehen, herausstellt.

**Anmerkung:** Für eine derartige Analyse stellt das Ergebnisblatt „Wärmebilanz“ eine wertvolle Hilfe dar – siehe Abschnitt 2.6.

In solch' einem Fall ergibt sich die Notwendigkeit, die Raumtemperatur mittels aktiver Kühlung abzusenken. Neben der Berechnung der sich bei aktiver Kühlung einstellenden operativen Temperatur ist dann zum einen die Kenntnis der maximal erforderlichen Kühlleistung von besonderem Interesse, da diese Information vor Über- oder Unterdimensionierung des Kühlgeräts schützt. Zum anderen ermöglicht der Tagesmittelwert der erforderlichen Kühlleistung Abschätzungen in Hinblick auf den für die Kühlung zu erwartenden Energiebedarf.

Die Berechnung des Tagesverlaufs der sensiblen Kühlleistung wird ermöglicht, indem in Thesim3D die Fragestellung von „Temperatur“ auf „Kühlleistung“ verschoben wird. In das Feld „Obergrenze der Temperatur“ ist in diesem Fall jene Raumtemperatur einzutragen, die im Tagesverlauf nicht überschritten werden darf.

Als Beispiel für das neu implementierte Werkzeug zur Berechnung von Tagesgängen der sensiblen Kühlleistung sei im Folgenden angenommen, dass die im Standard-Fall „Bauweise Beton“ angenommene Nachtlüftung mittels Fensteröffnung nicht möglich ist. Als Lüftung ist in diesem Fall lediglich der hygienisch erforderliche Luftwechsel gemäß ÖNorm B8110-3 angesetzt. Die folgende Abbildung zeigt den errechneten Tagesgang der operativen Temperatur im Raum ohne verstärkte Nachtlüftung.

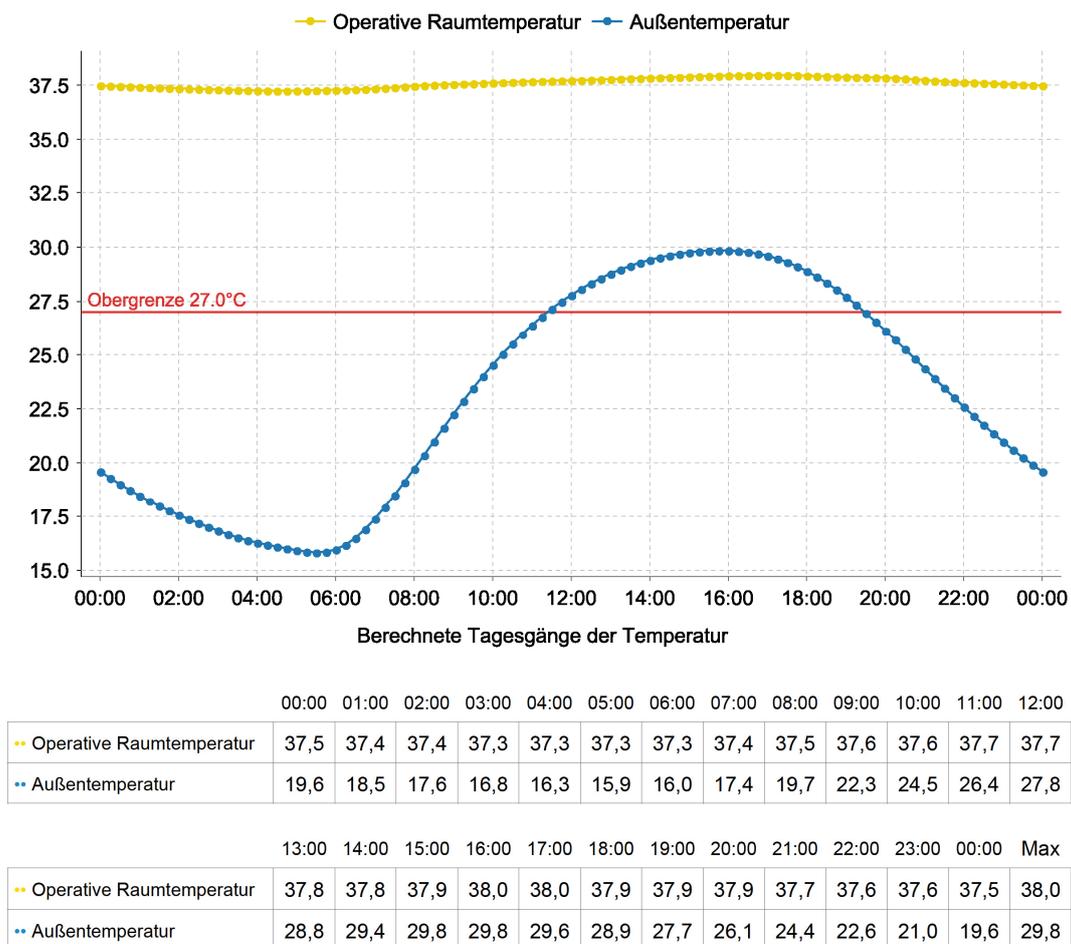


Abb. 4. 1: Tagesgang der operativen Temperatur ohne Nachtlüftung

Ersichtlich wird es ohne Nachtlüftung im Raum ganztägig unerträglich heiß. Aufgrund der schweren Bauweise verschwindet die Tagesschwankung der operativen Temperatur nahezu; der Tagesmittelwert liegt mit 37,6 °C mehr als 10 K über der gesetzten Obergrenze von 27 °C.

Da eine Absenkung der Raumtemperatur um zumindest 10,6 K weder durch Verbesserung der Beschattungswirkung der Jalousien noch durch sonstige bauliche Maßnahmen Aussicht auf Erfolg hat, liegt bei Fehlen wirksamer Lüftungsstrategien der Einsatz eines Kühlgeräts nahe. Die Fragestellung nach der Vermeidung von Überwärmungsneigungen des Raums im Sommer verschiebt sich in diesem Fall zur Fragestellung nach der Beschränkung des Einsatzes von Kühlenergie und der richtigen Dimensionierung des Kühlgeräts.

Wird nun – bei sonst gleich gehaltenen Eingabedaten – die Fragestellung auf „Kühlleistung“ geändert und die Obergrenze der Temperatur aus Komfortgründen mit 26,0 °C festgelegt, so ergibt sich als Berechnungsergebnis der Tagesgang der erforderlichen sensiblen Kühlleistung; siehe die folgende Abbildung.

0

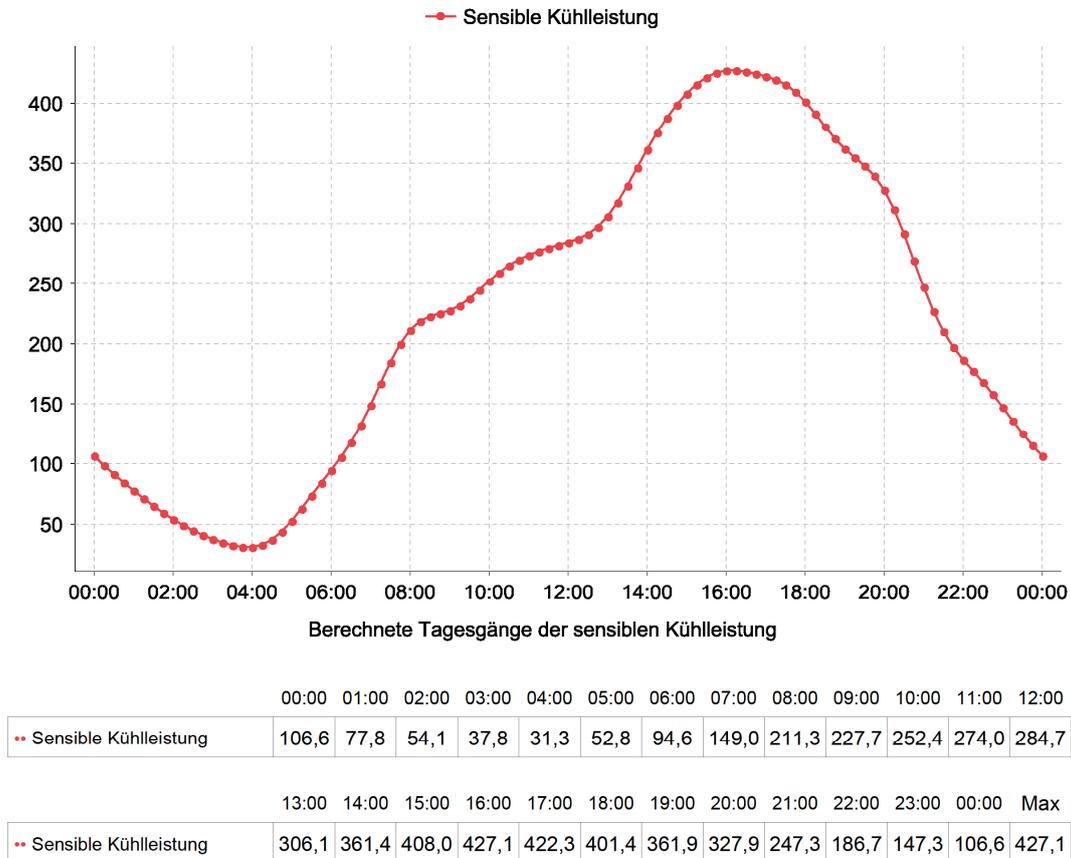


Abb. 4. 2: Errechneter Tagesgang der erforderlichen sensiblen Kühlleistung für eine Obergrenze der Raumtemperatur von 26,0 °C

Es zeigt sich, dass durchlaufende Kühlung des Raums erforderlich ist, um die Raumtemperatur ganztags nicht über 26,0 °C ansteigen zu lassen. Als erste wesentliche Information ergibt die maximal erforderliche sensible Kühlleistung um 16<sup>00</sup> zu 427,1 W. Dies ist ein wichtiger Hinweis für die Auslegung des Kühlgeräts.

**Anmerkung:** Zum einen muss hier betont werden, dass es sich beim Berechnungsergebnis um die sensible Kühlleistung handelt. Für die Auslegung muss berücksichtigt werden, dass zum sensiblen Anteil noch der latente Kühlleistungsanteil dazu kommt. Zum anderen ist zu berücksichtigen, dass dem Berechnungsergebnis die Annahme idealer Regelung zugrunde liegt. Wird z. B. die Kühlung in der Nacht ausgeschaltet, so erhöht sich natürlich der maximale Kühlleistungsbedarf unter Tags.

Als weiteres interessantes Ergebnis ergibt sich der Tagesmittelwert der am Norm-Sommertag erforderlichen Kühlleistung zu 227 W. Die an diesem Tag erforderliche Kühlenergie ergibt sich durch Multiplikation mit der Tageslänge (24 h) zu 5,448 kWh.

**Anmerkung:** Die ermittelten 5,5 kWh ist jene Kühlenergie, die dem Raum im Tagesverlauf konvektiv zuzuführen ist. Sie darf nicht mit dem Energieverbrauch des Kühlgeräts gleichgesetzt werden. Zudem ist bei der Interpretation des Ergebnisses zu beachten, dass dieses nur für den der Berechnung zugrunde gelegten „Norm-Sommertag“ gilt und damit wohl eine Obergrenze darstellt.

Der jährliche sensible Kühlenergiebedarf für die der Simulation zugrunde gelegten außenklimatischen Verhältnisse ergibt sich mittels Multiplikation des berechneten täglichen Kühlenergiebedarfs (5,448 kWh) mit der Häufigkeit des Auftretens eines solchen Tages im Jahr. Die dafür erforderlichen Klassenhäufigkeiten können mit Programm OEKLIM (5) für alle Gebäudestandorte in Österreich errechnet und ausgegeben werden.

Für den beispielhaft gewählten Gebäudestandort Aspern in Wien tritt ein Tag mit einem Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur zwischen 23 und 24 °C im langjährigen Schnitt an 7,96 Tagen im Jahr auf, was unter Zugrundelegung des „Norm-Sommertags“ auf einen mittleren jährlichen Kühlenergiebedarf von 43,4 kWh führt.

Natürlich müsste für eine Abschätzung des für die sensible Kühlung zu erwartenden gesamten Jahresbedarf eine Simulation für alle Temperaturwerte, an denen die Kühlenergie nicht verschwindet, wiederholt und die Einzelergebnisse aufsummiert werden.

## 5. Einbau eines zusätzlichen Moduls zur Berechnung von Verschattungen

Die Verschattung transparenter Bauteile in der Außenhülle eines Raums hat in der Mehrzahl der Fälle einen wesentlichen Einfluss auf den sich im Raum einstellenden thermischen Komfort. Daher müssen Verschattungseffekte möglichst genau erfasst werden und in die thermische Simulation einfließen.

Die Verschattung von Fenstern, Fenstertüren oder anderer transparenter Bauteile kann im Simulationsprogramm auf verschiedene Arten modelliert werden. Zum einen kann die Reduktion der direkten Sonneneinstrahlung aufgrund des Verlaufs des Horizonts mittels Eingabe von Überhöhungswinkeln in Abhängigkeit von der jeweiligen Himmelsrichtung errechnet werden. Zum anderen ist die Verschattung durch die Fassadengestaltung, wie sie z. B. durch vorspringende Leisten, Balkone oder durch den Einfluss der Leibungen und des Sturzes im Fall von hinter der Fassadenebene liegenden Fenstern mittels Eingabe der Geometrie dieser „Leisten“ modellierbar. Schließlich kann auch der Einfluss der Verschattung durch die Gebäudeform oder benachbarte Gebäude durch direkte Eingabe von „Verschattungsfaktoren“, welche z. B. durch Vorwegberechnungen ermittelt wurden, erfasst werden. Die zu jeder vollen Stunde des Tages einzugebenden Verschattungsfaktoren liegen zwischen 0 und 1 und kennzeichnen den Anteil der verschatteten Fläche an der Gesamtfläche des transparenten Bauteils. Ein Verschattungsfaktor von 1 bedeutet damit „volle Verschattung“; ein Verschattungsfaktor von 0 tritt auf, wenn die Fläche zur Gänze von direkter Sonneneinstrahlung getroffen wird.

Der Anspruch von Thesim3D in Hinblick auf eine einfache und - soweit möglich - selbsterklärende Handhabung ist mit den oben skizzierten Modellierungsmöglichkeiten für Verschattungseffekte nicht erfüllbar. Daher wird die Modellierung von verschattenden Einflüssen zur Gänze in die Eingabeoberfläche Thesim3D verschoben und nur der Tagesgang von Verschattungsfaktoren für jeden transparenten Bauteil in der Außenhülle des Raums an das Simulationsprogramm übergeben.

Die Berechnung von Verschattungsfaktoren durch Thesim3D erfordert zum einen die - tunlichst vollautomatische - Modellierung des Horizonts in Abhängigkeit vom jeweils gewählten Standort. Zum anderen ist ein Tool zu entwerfen, das die Modellierung von verschattenden Elementen, wie z. B. Vorsprüngen aber auch Nachbargebäuden in einfacher und intuitiv geführter Weise ermöglicht. Zudem ist ein Berechnungsalgorithmus zu entwickeln, der die Verschattungsfaktoren in hoher Genauigkeit zu ermitteln gestattet.

### 5.1 Modellierung des Horizonts

Für die vollautomatische Modellierung des vom interessierenden Raum aus gesehenen Horizonts steht innerhalb des österreichischen Staatsgebiets mit Geoland (Link: [www.geoland.at](http://www.geoland.at)) ein Geländemodell und damit eine flächendeckende Datenbasis zur Verfügung: Im Auftrag der BundesländerKooperation geoland.at wurde vom Unternehmen Rechenraum GmbH das voibos Web-Service entwickelt und wird von diesem gehostet. Das Service umfasst verschiedene Abfragen und Anwendungen auf hoch aufgelösten Gelände- und Oberflächenmodellen Österreichs (1x1 Meter) und seiner Umgebung (5x5 Meter). In Thesim3D wurde eine entsprechende Schnittstelle zu dem voibos Web-Service implementiert, um Vektorinformationen zu dem Horizont am vorliegenden Standort ermitteln zu können.

Liegt der vom Benutzer gewählte und über die geografischen Koordinaten definierte Gebäudestandort in Österreich, so generiert Thesim3D vollautomatisch den Horizontverlauf, zeigt diesen an, und berücksichtigt den verschattenden Effekt des Horizonts bei der Berechnung der Verschattungsfaktoren.

Als Beispiel für die Modellierung und Visualisierung des Horizontverlaufs ist in folgender Abbildung beispielhaft die Verschattungssituation des Grundmoduls für einen Gebäudestandort in Bad Goisern (oberösterreichisches Salzkammergut) am 15. Juli um 7<sup>15</sup> dargestellt.

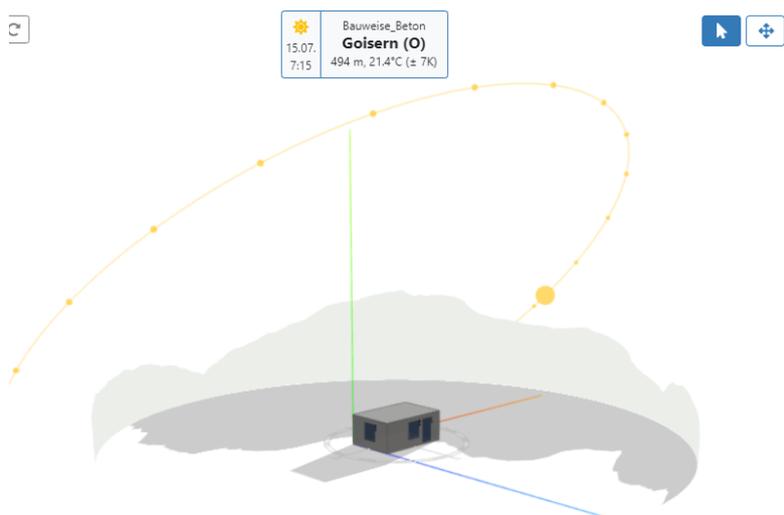


Abb. 5. 1: Darstellung der Verschattung durch den Horizont am frühen Morgen für einen Gebäudestandort in Bad Goisern

Ersichtlich sorgt der schemenhaft eingezeichnete Verlauf des Horizonts im Osten für eine Verschattung des Objekts am frühen Morgen. Das Verständnis für den Schattenwurf wird zum einen durch die eingezeichnete Sonnenbahn für den 15. Juli und zum anderen durch die Darstellung der Position der

Sonne um 7<sup>15</sup> auf dieser Bahn geweckt. Besonders instruktiv ist es, wenn mittels Änderung der Uhrzeit die Veränderung der Verschattung im Tagesverlauf untersucht wird.

Wie in Abb. 5. 1 gezeigt, wird immer auch die Verschattung der Umgebung durch das modellierte Objekt dargestellt. Genau genommen ist diese Darstellung in den meisten Fällen aber insofern unzutreffend als ja ein aus einem Gebäude heraus gegriffener Raum untersucht wird. Der gezeigte Schattenwurf ist nur dann richtig, wenn es sich beim Modell um das Gebäude selbst handelt. Die Darstellung des Schattenwurfs wird ungeachtet dieser Unstimmigkeit bewusst beibehalten, da sie die Einstrahlungssituation auf die Fassaden sofort und plakativ zu erfassen gestattet.

## 5.2 Modellierung verschattender Objekte

Zur Modellierung von verschattenden Objekten, wie z. B. Nachbarverbauung, Vorsprünge über Fenstern oder Gebäudeteilen, wurde ein neues, einfach und selbsterklärend bedienbares Werkzeug entwickelt. Hierzu wurde das Auswahlménú „Elemente hinzufügen“ durch den Punkt „Verschattendes Objekt“ erweitert – siehe die folgende Abbildung.

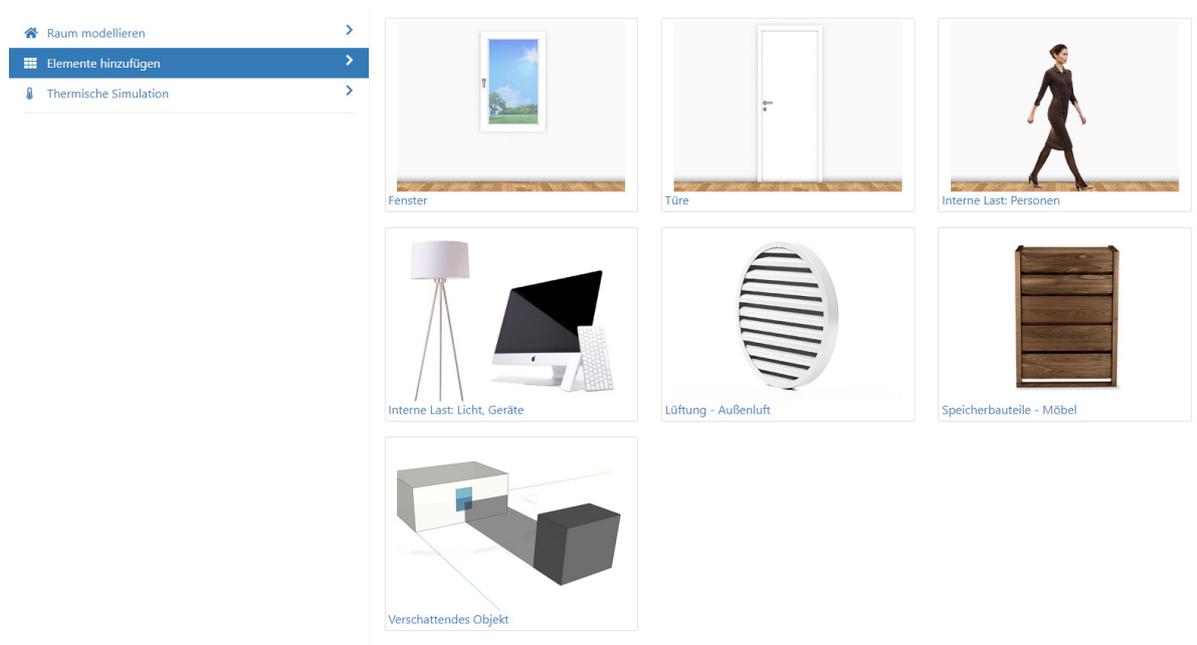


Abb. 5. 2: neue Ansicht des Menüs „Elemente hinzufügen“

Das Anklicken des Felds „Verschattendes Objekt“ bewirkt, dass im Modellierungsbildschirm ein Quader erscheint, der mit der Maus beliebig verschiebbar ist. Der Schattenwurf dieses Objekts zum jeweils eingestellten Zeitpunkt wird dargestellt, sodass sofort ein Eindruck bezüglich der verschattenden Wirkung vermittelt wird. Mit dem Anklicken des verschattenden Objekts wird ein Menü aufgerufen, das sowohl die Abmessung des Quaders einzustellen und die Position mittels Angabe von Koordinaten zu justieren gestattet. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die in Abb. 5. 1 dargestellte Verschattungssituation für den Fall, dass ein im Osten des Raums anschließender Gebäudeflügel für eine zusätzliche Verschattung sorgt.

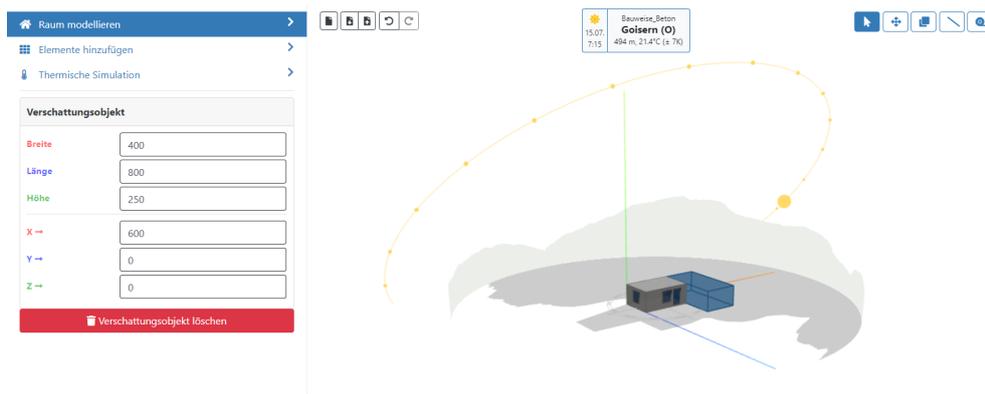


Abb. 5. 3: zusätzliche Verschattung durch einen Gebäudeflügel

Da mittels mehrfachen Anwählens des Felds „Verschattendes Objekt“ die Anzahl der verschattenden Quader beliebig vergrößert werden kann, ist auch die Modellierung komplexerer Verschattungssituationen einfach möglich. Auch auskragende Platten können mittels Eingabe der Plattendicke in der Zeile für die Quaderhöhe einfach modelliert und z. B. oberhalb der Fenster positioniert werden. Auf diese Weise kann der Planer unmittelbar die Auswirkung der Fassadengestaltung auf die zu erwartenden sommerlichen Raumtemperaturen rasch und einfach studieren.

### 5.3 Berechnung von Verschattungsfaktoren

Die Berechnung der Verschattungsfaktoren erfordert zum einen die Konstruktion der vom Gebäudestandort und dem gewählten Datum abhängigen Sonnenbahn. Zum anderen ist der Schattenwurf auf die jeweilig interessierende transparente Fläche zu jedem Zeitpunkt des Tages genügend genau abzubilden. Die an das Simulationsprogramm zu übergebenden Verschattungsfaktoren zu den vollen Stunden des Tages werden mittels Unterteilung der jeweiligen verglasten Fläche in Teilflächen ermittelt. Da die Richtung zur Position der Sonne – von jeder Teilfläche aus gesehen – bekannt ist, kann mittels geometrischer Überlegungen entschieden werden, ob ein verschattendes Objekt die Sicht zur Sonne verstellt, die Teilfläche also verschattet ist, oder ob die Teilfläche voll besonnt ist.

Mittels Parameterstudien wurde ermittelt, in wie viele Teilflächen die interessierende Empfangsfläche zu unterteilen ist, um ein den Anforderungen in Hinblick auf die zu fordernde Genauigkeit zu entsprechen. Nahe liegend war es, die für eine Validierung der Verschattungsberechnungen existierenden Fallbeispiele in der ÖNorm EN ISO 13791:2012 (3) als Referenz heranzuziehen. Ergebnis dieser Parameterstudien ist die Erkenntnis, dass mit einer Unterteilung der Empfangsflächen in 512 Teilflächen die in der Norm vorgegebenen Besonnungsfaktoren für sämtliche Prüffälle in der vorgegebenen Genauigkeit berechnet werden können.

Der von Thesim3D verwendete Algorithmus zur Berechnung von Verschattungsfaktoren sorgt somit dafür, dass Thesim3D in Bezug auf die Verschattungsberechnungen nach ÖNorm EN ISO 13791:2012 (3) validiert ist. Eine kurze Dokumentation des Validierungsvorgangs ist in Anhang 8.3 angefügt.

## 6. Zusammenfassung

Im Rahmen dieses vom Fachverband der Stein- und keramischen Industrie und der Bundesinnung Bau der WKO beauftragten Projekts wurde das Programm Thesim3D verbessert und erweitert. Das Programm Thesim3D bildet die Eingabeoberfläche des Programmpakets GEBA, welches das thermische Verhalten von Räumen im periodisch eingeschwungenen Zustand zu prognostizieren gestattet. Aufgrund der normativen Situation wurde und wird dieses Simulationsprogramm vor allem im Rahmen von Untersuchungen des sommerlichen Raumverhaltens verwendet. Das Programm



Thesim3D entstand als Teil der Dissertation von J. N. Nackler an der Fakultät für Architektur und Raumplanung der Technischen Universität Wien (6) und steht seither unter [www.thesim.at](http://www.thesim.at) für eine allgemeine, kostenfreie Benutzung zur Verfügung. Der Entwicklung von Thesim3D liegt u. a. die These zugrunde, wonach es kein Widerspruch sein sollte, eine einfache, möglichst selbsterklärende Eingabeoberfläche mit einem hochgenau arbeitenden Simulationsprogramm zu verknüpfen. Sowohl die im Rahmen der Dissertation durchgeführte Umfrage unter BauplanerInnen zur Handhabbarkeit des neu entwickelten Programms als auch sämtliche Kommentare von bisherigen Thesim-BenutzerInnen haben gezeigt, dass diese These eindrucksvoll bestätigt wurde.

Natürlich war es aus Aufwandsgründen nicht möglich, im Zuge einer Dissertation sämtliche Potentiale des im Hintergrund ablaufenden Simulationsprogramm auszuschöpfen. Ziel des hier beschriebenen Projekts war es daher zum einen, die Möglichkeiten von Thesim3D gezielt zu erweitern und dabei die Beibehaltung der Einfachheit der Eingabe stets im Auge zu behalten. Zum anderen war es notwendig, die Eingabedokumentation und die Ergebnisdarstellung des Simulationsprogramms GEBA neu zu programmieren und an Thesim3D zu übergeben. Grund dafür war, dass die bisher von GEBA gelieferten Dokumentationen dem ursprünglichen Charakter von GEBA als rein wissenschaftliches Werkzeug entsprachen und damit mit dem Anspruch auf Einfachheit und selbsterklärende Aussagen nicht vereinbar waren. Da zudem die Dokumentationen nur am Bildschirm angesehen, aber nicht ausgegeben werden konnten, war Thesim3D bisher nur für das rasche, interaktive Gewinnen von Einsichten über die zu erwartenden sommerlichen innenklimatischen Bedingungen und der Bedeutung einzelner Einflussfaktoren geeignet.

Die im Zuge dieses Projekts durchgeführten Programmierarbeiten haben zum einen die Leistungsfähigkeit von Thesim3D deutlich erweitert. Die Neugestaltung der Dokumentationen und das Schaffen der Möglichkeit, die Dokumentationen auch als PDF-Datei abzurufen, bereiten zudem den Weg, Thesim3D zu einem Werkzeug in Hinblick auf den Nachweis eines zulässigen sommerlichen Raumverhaltens zu machen.

Diese Entwicklung ist insofern für das Bauwesen wesentlich als mit dem derzeit ablaufenden Klimawandel dem sommerlichen Raumverhalten eine sehr rasch ansteigende Bedeutung zukommt. Das sommerliche Raumverhalten ist hierbei insofern schwierig zu prognostizieren als zu einem neben dem komplexen Zusammenspiel verschiedenster Einflussfaktoren auch noch die Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile – und damit die Bauweise - eine wesentliche Rolle spielt. Die Einsicht, dass für die Gewährleistung der erforderlichen Planungssicherheit im Fall des sommerlichen Raumverhaltens nur eine thermische Simulation in Frage kommt, hat sich mittlerweile auch im Bereich der Normung durchgesetzt (4), (3), (7).

In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass die heute gebräuchlichen Simulationsprogramme – und auch die von Normen vorgeschlagenen Programme – sämtlich die Problematik der Beschreibung eines periodisch eingeschwungenen Zustands mittels der Anwendung von Zeitschrittverfahren behandeln. In diesem Fall muss bei täglich gleich gehaltenen Randbedingungen die Simulation so lange durchgeführt werden, bis die von einem Tag zu anderen registrierten Unterschiede vernachlässigbar sind. Grundsätzlich können diese Verfahren in Hinblick auf die Erfassung der Wärmespeicherungseffekte nur als Näherungsverfahren klassifiziert werden.

Wie bereits Mitte der 1960er-Jahre gezeigt, kann im Fall periodisch eingeschwungener Zustände die Wärmeleitungsgleichung für plattenförmige Bauteile analytisch gelöst werden. Dies bewirkt zum einen, dass sowohl Wärmedurchgang als auch Wärmespeicherung für jede Harmonische exakt beschrieben werden. Zum anderen ist die Rechenzeit für das Bestimmen des Simulationsergebnisses im



Vergleich zu Zeitschrittverfahren unerreichbar kurz – ein Umstand, der für die Anwendung von Thesim3D als interaktives Tool Voraussetzung war.

Als heute offenkundig nicht mehr selbstverständliches Qualitätskriterium ist zudem zu nennen, dass die theoretische Grundlage des Programms GEBA dokumentiert ist (8). Zudem liegt in einer Reihe an Publikationen die Theorie zur Berechnung des thermischen Verhaltens von plattenförmigen Bauteilen im periodisch eingeschwungenen Zustand physikalisch fundiert vor (9).

Das Programmpaket GEBA (10) steht seit Jahrzehnten im Einsatz zur Entwicklung von Planungsempfehlungen im Rahmen meist größerer Projekte und diente auch als Werkzeug bei der Erstellung von Forschungsprojekten – siehe z. B. (11) und (12). Zudem wurde GEBA über 2 Jahrzehnte lang erfolgreich im Studienbetrieb an der TU Wien im Rahmen von Entwurfsübungen von ArchitekturstudentInnen als Planungshilfsmittel eingesetzt. Das Programmpaket ist daher bestens ausgetestet und gemäß ÖNorm EN ISO 13792 (7) als Klasse-1-Verfahren validiert.

Die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Arbeiten haben zu einer bedeutsamen und unmittelbar registrierbaren Verbesserung der Einsatzfähigkeit von Thesim3D geführt. Wichtig in diesem Zusammenhang ist die Tatsache, dass nun sowohl Eingabedokumentationen als auch Ergebnisdarstellungen vom jeweiligen Benutzer gesteuert als PDF-Datei abgerufen werden können.

Thesim3D bleibt auch weiterhin für die Allgemeinheit unter [www.thesim.at](http://www.thesim.at) zugreifbar. Natürlich muss angemerkt werden, dass eine intensive Nutzung dieses besonderen Werkzeugs nur dann zu erwarten ist, wenn durch konsequente, regelmäßig durchgeführte Werbung in Form von Artikeln, Interviews, Vorträgen und Publikationen auf die Existenz des Tools Thesim3D immer wieder aufmerksam gemacht wird. Es ist zu erwarten, dass aufgrund des Klimawandels Anlassfälle für die Diskussion der Überwärmung von Räumen in zunehmender Häufigkeit gegeben sein werden.

## 7. Literatur

1. ÖNorm B8110-5: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile. 2011.
2. ÖNorm B8110-3, Wärmeschutz im Hochbau, Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung, Ausgabe 2012-03-15. 2012.
3. ÖNorm EN ISO 13791. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren. 2012.
4. ÖNorm B8110-3, Wärmeschutz im Hochbau, Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall, Ausgabe 2020-06-01.
5. Kreč, K. & Nackler, J. N. *OEKLIM* - Klimadaten für das Bauwesen. im Auftrag der MA39 der Stadt Wien, 2012.
6. Nackler, J. N. Sommerlicher Wärmeschutz - Vergleich von Berechnungsansätzen und Entwicklung eines Planungsinstrumentes für Entwurfsfindung und Nachweis. Dissertation, Technische Universität Wien, Fakultät für Architektur und Raumplanung. 2017.
7. ÖNorm EN ISO 13792. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung von sommerlichen Raumtemperaturen ohne Anlagentechnik - Vereinfachtes Berechnungsverfahren, Ausgabe 2012-06-01. 2012.



8. Haferland, Fr., Heindl, W. & Fuchs, H. Ein Verfahren zur Ermittlung des wärmetechnischen Verhaltens ganzer Gebäude unter periodisch wechselnder Wärmeeinwirkung. Beiträge zur Beurteilung sommerlichen Wärmeschutzes. Wilhelm Ernst & Sohn Berlin-München-Düsseldorf, Heft 99, 1975.
9. Heindl, W. Der Wärmeschutz einer ebenen Wand bei periodischen Wärmebelastungen — Neue Methoden zur Beurteilung des Wärmeschutzes im Hochbau. Die Ziegelindustrie. Bd. 18/66+1+4+5+6+18, 1967.
10. Programmpaket GEBA V11.0. Programmpaket zur Simulation des thermischen Verhaltens von Räumen, Raumgruppen und Gebäuden im periodisch eingeschwungenen Zustand. © 2019-2021, Kreč, K. (2021).
11. Kreč, K. Bewertung der Sommertauglichkeit von Gebäuden. Forschungsbericht im Auftrag der Initiative Ziegel im Fachverband der Stein- und keramischen Industrie. Wien, 2006.
12. Krec, K. & Holzer, P. Vorbereitung der Nachweisführung mit dynamischer Gebäudesimulation in den baubehördlichen Wärmeschutznachweisen bzw. Energieausweisberechnungen. Forschungsbericht im Auftrag der WKO, Fachverband Steine-Keramik. 2015.

## 8. Anhang

### 8.1 Liste der Bauteilaufbauten in Abhängigkeit von den Bauweisen

Die beim Programmaufruf von Thesim3D zur Auswahl stehenden Bauweisen betreffen die Aufbauten der raumbegrenzenden, opaken Bauteile. In den folgenden Abschnitten sind die angesetzten Bauteillisten für die vier angebotenen Bauweisen aufgelistet.

## 8.1.1 Bauweise Beton

<b>Außenwand:</b>	20 cm Stahlbeton + 20 cm WDVS	$U = 0,17 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
-------------------	-------------------------------	---

Schichtaufbau von außen nach innen

	<b>d</b> [m]	$\lambda$ [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	<b>c</b> [kJ/kgK]
außen				
Dünnputz	0,007	1,050	1800	1,000
WDVS (EPS)	0,200	0,035	30	1,450
Stahlbetonwand	0,200	2,300	2400	1,000
Innenputz	0,015	0,670	1500	1,000
innen				

<b>Innenwand:</b>	12 cm Stahlbetonwand verputzt	$U = 2,80 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
-------------------	-------------------------------	---

Schichtaufbau

	<b>d</b> [m]	$\lambda$ [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	<b>c</b> [kJ/kgK]
Innenputz	0,015	0,670	1500	1,000
Stahlbetonwand	0,120	2,300	2400	1,000
Innenputz	0,015	0,670	1500	1,000

<b>Flachdach:</b>	25 cm Stahlbeton, 22 cm gedämmt	$U = 0,15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
-------------------	---------------------------------	---

Schichtaufbau von oben nach unten

	<b>d</b> [m]	$\lambda$ [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	<b>c</b> [kJkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
oben				
Mineralwolle	0,220	0,035	50	1,030
Stahlbeton	0,250	2,500	2400	1,000
Innenputz	0,015	0,670	1500	1,000
unten				

<b>Fußboden:</b>	20 cm Stahlbeton, 10 cm Zementestrich	$U = 0,66 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
------------------	---------------------------------------	---

Schichtaufbau von oben nach unten

	<b>d</b> [m]	$\lambda$ [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	<b>c</b> [kJkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
oben				
Bodenbelag (Fliesen)	0,010	1,000	2000	0,920
Zementestrich	0,100	1,400	2000	1,130
Trittschalldämmung	0,030	0,038	32	1,450
Dämmschüttung gebunden	0,080	0,050	200	1,560
Stahlbetondecke	0,200	2,500	2400	1,000
Innenputz	0,015	0,670	1500	1,000
unten				

## 8.1.2 Bauweise Ziegel

<b>Außenwand:</b>	25 cm Hochlochziegel + 16 cm WDVS	$U = 0,17 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
-------------------	-----------------------------------	---

Schichtaufbau von außen nach innen

	<b>d</b> [m]	$\lambda$ [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	$c_p$ [ $\text{kJ/kgK}$ ]
außen				
Dünnputz	0,007	1,050	1800	1,000
WDVS (EPS)	0,160	0,035	30	1,450
Hochlochziegelwand	0,250	0,238	797	1,033
Innenputz	0,015	0,670	1500	1,000
innen				

<b>Innenwand:</b>	20 cm Hochlochziegel verputzt	$U = 1,09 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
-------------------	-------------------------------	---

Schichtaufbau

	<b>d</b> [m]	$\lambda$ [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	$c$ [ $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]
Innenputz	0,015	0,670	1500	1,000
Zwischenwandziegel	0,200	0,330	1100	0,920
Innenputz	0,015	0,670	1500	1,000

<b>Flachdach:</b>	17 cm Ziegeldecke, 22 cm gedämmt	$U = 0,15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
-------------------	----------------------------------	---

Schichtaufbau von oben nach unten

	<b>d</b> [m]	$\lambda$ [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	$c$ [ $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]
oben				
Mineralwolle	0,220	0,035	50	1,030
Aufbeton	0,050	1,500	2200	1,130
Decke / Einlageziegel	0,170	0,785	900	0,920
Innenputz	0,015	0,670	1500	1,000
unten				

<b>Fußboden:</b>	17 cm Ziegeldecke / 6 cm Zementestrich	$U = 0,66 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
------------------	--	---

Schichtaufbau von oben nach unten

	<b>d</b> [m]	$\lambda$ [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	$c$ [ $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]
<b>oben</b>				
Parkett	0,015	0,150	600	1,600
Zementestrich	0,060	1,400	2000	1,130
Trittschalldämmplatte	0,030	0,038	32	1,030
Sandausgleich	0,030	0,700	1800	1,000
Aufbeton	0,050	1,500	2200	1,130
Decke / Einlageziegel	0,170	0,785	900	0,920
Innenputz	0,015	0,600	1200	1,000
<b>unten</b>				



## 8.1.3 Bauweise Holz massiv

<b>Außenwand:</b>	Holz massiv gedämmt	$U = 0,17 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
-------------------	---------------------	---

Schichtaufbau von außen nach innen

Bezeichnung	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kJ/kgK]
außen				
Dünnputz	0,007	1,000	2000	1,130
Holzfaserdämmplatte	0,060	0,046	200	2,100
85% Mineralwolle / 15% Holz	0,160	0,040/0,120	11/450	1,030/1,600
Brettsper Holz	0,100	0,130	500	1,600
Gipsplatte	0,015	0,250	800	1,050
innen				

<b>Innenwand:</b>	Holz massiv verkleidet	$U = 1,09 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
-------------------	------------------------	---

Schichtaufbau

	d [m]	$\lambda$ [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	$\rho$ [kgm <sup>-3</sup> ]	c [kJkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
Gipsplatte	0,025	0,250	800	1,050
Brettsper Holz	0,078	0,130	500	1,600
Gipsplatte	0,025	0,250	800	1,050

<b>Flachdach:</b>	Holz massiv gedämmt	$U = 0,15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
-------------------	---------------------	---

Schichtaufbau von oben nach unten

	d [m]	$\lambda$ [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	$\rho$ [kgm <sup>-3</sup> ]	c [kJkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
oben				
Mineralwolle	0,200	0,035	130	1,030
Brettsper Holz	0,125	0,130	500	1,600
unten				

<b>Fußboden:</b>	Geschoßdecke Holz massiv	$U = 0,66 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
------------------	--------------------------	---

Schichtaufbau von oben nach unten

	d [m]	$\lambda$ [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	$\rho$ [kgm <sup>-3</sup> ]	c [kJkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
oben				
Parkett	0,015	0,150	600	1,600
Zementestrich	0,050	1,330	2000	1,080
Trittschalldämmplatte	0,040	0,035	80	1,030
Splittschüttung	0,120	0,700	1500	1,000
Brettsper Holz	0,130	0,13	470	1,600
unten				



## 7.1.4 Bauweise Holz leicht

<b>Außenwand:</b>	Holzriegelbauweise gedämmt	$U = 0,17 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
-------------------	----------------------------	---

Schichtaufbau von außen nach innen

	<b>d</b> [m]	<b>λ</b> [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	<b>ρ</b> [ $\text{kg/m}^3$ ]	<b>c</b> [ $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]
außen				
Dünnputz	0,007	1,000	2000	1,130
Holzfaserdämmplatte	0,060	0,055	200	2,100
Gipsfaserplatte	0,010	0,320	1000	1,100
80% Mineralwolle / 20% Holz	0,160	0,040/0,120	16/450	1,030/1,600
Gipsfaserplatte	0,0125	0,320	1000	1,100
Installationsebene (Mineralwolle)	0,040	0,040	16	1,030
Gipsfaserplatte	0,0125	0,320	1000	1,100
innen				

<b>Innenwand:</b>	Leichtbauwand	$U = 0,39 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
-------------------	---------------	---

Schichtaufbau

	<b>d</b> [m]	<b>λ</b> [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	<b>ρ</b> [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	<b>c</b> [ $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]
Gipsfaserplatte	0,015	0,320	1000	1,100
90% Mineralwolle / 10% Holz	0,100	0,035/0,120	50/450	1,030/1,600
Gipsfaserplatte	0,015	0,320	1000	1,100

<b>Flachdach</b>	30 cm Dämmung	$U = 0,15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
------------------	---------------	---

Schichtaufbau von oben nach unten

	<b>d</b> [m]	<b>λ</b> [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	<b>ρ</b> [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	<b>c</b> [ $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]
oben				
OSB-Platte	0,025	0,130	600	1,700
75% Mineralwolle / 25% Holz	0,300	0,040/0,130	33/500	1,030/1,600
OSB-Platte	0,018	0,130	600	1,700
unten				

<b>Fußboden:</b>	Holzbalkendecke / 5 cm Anhydridestrich	$U = 0,23 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
------------------	--	---

Schichtaufbau von oben nach unten

oben	d [m]	$\lambda$ [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	c [ $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]
Parkett	0,0150	0,150	600	1,600
Anhydridestrich	0,0500	0,700	2200	1,300
Trittschalldämmplatte	0,0300	0,035	68	1,030
OSB-Platte	0,0180	0,130	600	1,700
80% Mineralwolle / 20% Holz	0,2200	0,038/0,12 0	33/450	1,030/1,600
OSB-Platte	0,0120	0,130	600	1,700
Gipsfaserplatte	0,0125	0,320	1000	1,100
unten				

## 8.2 Eingabedokumentation und Ergebnisdarstellung für das Standard-Beispiel „Bauweise Beton“

In der Folge wird der neu entwickelte Ausdruck am Beispiel des nach dem Programmstart zur Verfügung gestellten Raums vorgestellt. Als Bauweise wird „Beton“ angenommen und damit eine sehr massive Bauweise angesetzt.

Die letzte Seite der nachfolgend gezeigten Dokumentation enthält das Ergebnis einer Variantenrechnung mit dem Abschattungsfaktor  $F_c$  als Parameter. Dieses Blatt stimmt mit Abb. 2. 12 überein, wird hier aber bewusst nochmals ausgedruckt, um Umfang und Inhalte einer vollen Dokumentation zu zeigen.

Die gezeigten Seiten werden nach Anforderung der jeweiligen BenutzerInnen als PDF-Datei ausgegeben.

## 8.2.1 Tagesgang der operativen Temperatur

### Thesim 3D

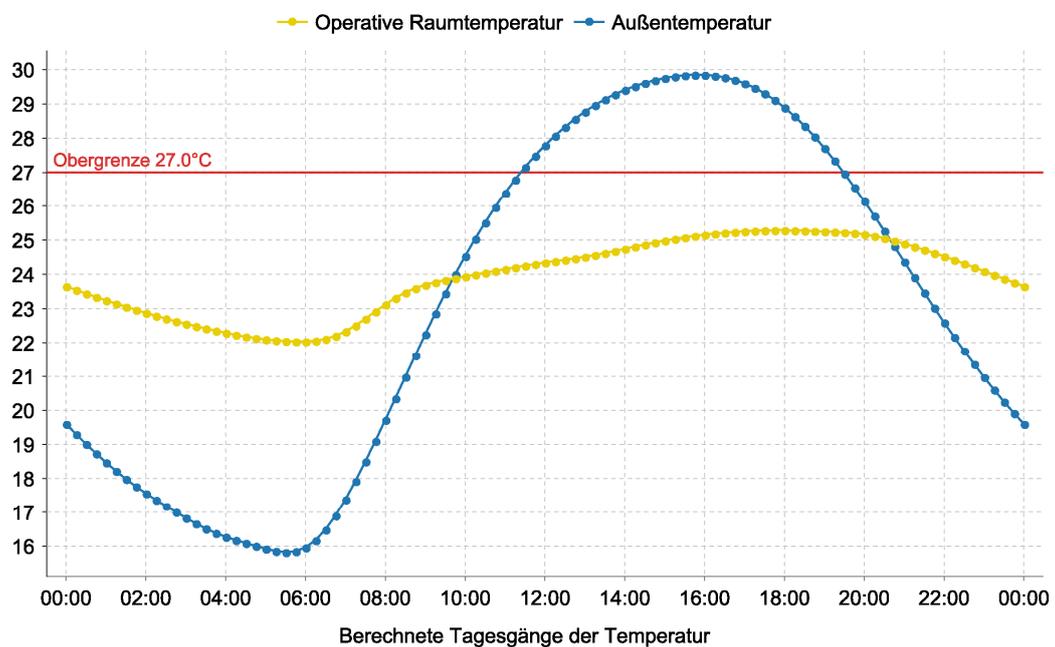
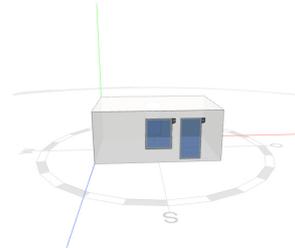
Ergebnis Ausdruck

Bauweise\_Beton

**Projekt:** Bauweise\_Beton

Thermische, dynamische Raumsimulation zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung

Fragestellung: operative Temperatur  
Zeitzone: mitteleuropäische Sommerzeit (UTC+2)



	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
•• Operative Raumtemperatur	23,7	23,2	22,9	22,6	22,3	22,1	22,0	22,3	23,1	23,7	23,9	24,2	24,3
•• Außentemperatur	19,6	18,5	17,6	16,8	16,3	15,9	16,0	17,4	19,7	22,3	24,5	26,4	27,8

	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	Max
•• Operative Raumtemperatur	24,5	24,8	25,0	25,2	25,3	25,3	25,3	25,2	24,9	24,5	24,1	23,7	25,3
•• Außentemperatur	28,8	29,4	29,8	29,8	29,6	28,9	27,7	26,1	24,4	22,6	21,0	19,6	29,8

Validierung: Der Rechenkern von Thesim 3D, das thermisch dynamische Gebäudesimulationsprogramm GEBA V10.0 ist nach ÖNORM EN ISO 13792:2012 Klasse 1 validiert. Die Verschattungsberechnung von Thesim 3D ist nach ÖNORM EN ISO 13791:2012 validiert. Disclaimer: Thesim 3D ist das Ergebnis akademischer Forschung und wird zur Nutzung "as is" zur Verfügung gestellt. Es wird keine Gewährleistung übernommen, insbesondere nicht dafür, dass Thesim 3D für bestimmte Zwecke geeignet ist oder dass die durch die Nutzung von Thesim 3D erzielten Ergebnisse fehlerfrei sind. Schadenersatzansprüche sind ausgeschlossen. Thesim 3D ist urheberrechtlich geschützt, © 2017-2020, Thesim 3D, DDI Dr.techn. J.N.Nackler und Univ.Prof.i.R. DI Dr.techn. K.Krec, Architektur- und Bauforschung GesbR.



## 8.2.2 Standortdaten

## Thesim 3D

Eingabedokumentation

Bauweise\_Beton

## Standortdaten

<b>Standort:</b>	<b>Aspern (W)</b>	48° 12' N, 16° 29' O
	Seehöhe:	155,0 m
<b>Außenklima:</b>	Lufttemperatur:	Tagesmittelwert: 23,2°C
		Tagesschwankung: 14,0 K
	Bodentemperatur:	Tagesmittelwert: 20,0°C
	Sonnenstrahlung:	Trübungsfaktor nach Linke: 4,500
		Diffusstrahlungsfaktor nach Reitz: 0,333
		Reflexionszahl der Umgebung (Albedo): 0,200
		Datum: 15.7.
		Sonnenaufgang (berechnet): 5:10
		Sonnenuntergang (berechnet): 20:49

## Liste opaker Bauteile

Bauteil Nr. 1 Bezeichnung: AW Beton (Standard)

Schichtaufbau:		Schicht- dicke [cm]	Wärmeleit- fähigkeit [W/(m·K)]	Massen- dichte [kg/m³]	Spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg·K)]	Durchlass- widerstand [m²·K/W]
	außen					0,040
1	Dünnputz	0,7	1,050	1800,0	1,000	0,007
2	WDVS (EPS)	20,0	0,035	30,0	1,450	5,714
3	Stahlbetonwand	20,0	2,300	2400,0	1,000	0,087
4	Innenputz	1,5	0,670	1500,0	1,000	0,022
	innen					0,130

Kenngrößen:

Dicke des Bauteils:	42,2 [cm]
Flächenbezogene Masse:	521,1 [kg·m <sup>-2</sup> ]
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert):	0,17 [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität außen:	16,539 [kJ·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen:	240,433 [kJ·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]



## 8.2.3 Bauteile opak

## Thesim 3D

## Eingabedokumentation

Bauweise\_Beton

**Liste opaker Bauteile**
**Bauteil Nr. 2      Bezeichnung:    IW Beton (Standard)**

Schichtaufbau:		Schicht- dicke [cm]	Wärmeleit- fähigkeit [W/(m·K)]	Massen- dichte [kg/m³]	Spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg·K)]	Durchlass- widerstand [m²·K/W]
	außen					0,130
1	Innenputz	1,5	0,670	1500,0	1,000	0,022
2	Stahlbetonwand	12,0	2,300	2400,0	1,000	0,052
3	Innenputz	1,5	0,670	1500,0	1,000	0,022
	innen					0,130

**Kenngößen:**

Dicke des Bauteils:	15,0 [cm]
Flächenbezogene Masse:	333,0 [kg·m <sup>-2</sup> ]
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert):	2,80 [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität außen:	157,747 [kJ·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen:	157,747 [kJ·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]

**Bauteil Nr. 3      Bezeichnung:    FB Beton (Standard)**

Schichtaufbau:		Schicht- dicke [cm]	Wärmeleit- fähigkeit [W/(m·K)]	Massen- dichte [kg/m³]	Spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg·K)]	Durchlass- widerstand [m²·K/W]
	außen					0,130
1	Innenputz	1,5	0,670	1500,0	1,000	0,022
2	Stahlbetondecke	20,0	2,500	2400,0	1,000	0,080
3	Dämmschüttung gebunden	8,0	0,050	200,0	1,560	1,600
4	Trittschalldämmplatte	3,0	0,038	32,0	1,450	0,789
5	Zementestrich	10,0	1,400	2000,0	1,130	0,071
6	Bodenbelag (Fliesen)	1,0	1,000	2000,0	0,920	0,010
	innen					0,130

**Kenngößen:**

Dicke des Bauteils:	43,5 [cm]
Flächenbezogene Masse:	739,5 [kg·m <sup>-2</sup> ]
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert):	0,35 [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität außen:	247,533 [kJ·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen:	208,290 [kJ·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]

## Thesim 3D

### Eingabedokumentation

Bauweise\_Beton

#### Liste opaker Bauteile

##### Bauteil Nr. 4 Bezeichnung: DA Beton (Standard)

Schichtaufbau:		Schicht- dicke [cm]	Wärmeleit- fähigkeit [W/(m·K)]	Massen- dichte [kg/m³]	Spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg·K)]	Durchlass- widerstand [m²·K/W]
	außen					0,040
1	Mineralwolle	22,0	0,035	50,0	1,030	6,286
2	Stahlbetondecke	25,0	2,500	2400,0	1,000	0,100
3	Innenputz	1,5	0,670	1500,0	1,000	0,022
	innen					0,130

##### Kenngößen:

Dicke des Bauteils:	48,5 [cm]
Flächenbezogene Masse:	633,5 [kg·m <sup>-2</sup> ]
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert):	0,15 [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität außen:	5,238 [kJ·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen:	237,258 [kJ·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]

##### Bauteil Nr. 5 Bezeichnung: Holztüre

Schichtaufbau:		Schicht- dicke [cm]	Wärmeleit- fähigkeit [W/(m·K)]	Massen- dichte [kg/m³]	Spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg·K)]	Durchlass- widerstand [m²·K/W]
	außen					0,040
1	Sperrholz und Furnierschichtholz	1,4	0,120	475,0	1,600	0,117
2	PUR-DO	2,0	0,030	32,0	1,400	0,667
3	Sperrholz und Furnierschichtholz	1,4	0,120	475,0	1,600	0,117
	innen					0,130

##### Kenngößen:

Dicke des Bauteils:	4,8 [cm]
Flächenbezogene Masse:	13,9 [kg·m <sup>-2</sup> ]
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert):	0,93 [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität außen:	11,080 [kJ·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen:	11,080 [kJ·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]

## Thesim 3D

### Eingabedokumentation

Bauweise\_Beton

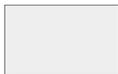
### Liste opaker Bauteile

**Flächenliste**      Winkelangaben beziehen sich auf die nach außen orientierten Flächennormalen



**Bezeichnung: AW 1**

Bauteil Nr.: 1  
Ausrichtung (Azimut): 180,0 ° von Norden  
Neigung: 0,0 ° von Horizontale  
Fläche: 11,18 m<sup>2</sup>  
Fläche inkl. Öffnungen: 15,00 m<sup>2</sup>



**Bezeichnung: IW 2**

Bauteil Nr.: 2  
Ausrichtung (Azimut): 90,0 ° von Norden  
Neigung: 0,0 ° von Horizontale  
Fläche: 10,00 m<sup>2</sup>  
Fläche inkl. Öffnungen: 10,00 m<sup>2</sup>



**Bezeichnung: IW 1**

Bauteil Nr.: 2  
Ausrichtung (Azimut): 0,0 ° von Norden  
Neigung: 0,0 ° von Horizontale  
Fläche: 13,20 m<sup>2</sup>  
Fläche inkl. Öffnungen: 15,00 m<sup>2</sup>



**Bezeichnung: AW 2**

Bauteil Nr.: 1  
Ausrichtung (Azimut): 270,0 ° von Norden  
Neigung: 0,0 ° von Horizontale  
Fläche: 8,18 m<sup>2</sup>  
Fläche inkl. Öffnungen: 10,00 m<sup>2</sup>



## Thesim 3D

Eingabedokumentation

Bauweise\_Beton

### Liste opaker Bauteile

**Flächenliste**      Winkelangaben beziehen sich auf die nach außen orientierten Flächennormalen



**Bezeichnung: FB 1**

Bauteil Nr.: 3  
Ausrichtung (Azimut): 0,0 ° von Norden  
Neigung: -90,0 ° von Horizontale  
Fläche: 24,00 m<sup>2</sup>  
Fläche inkl. Öffnungen: 24,00 m<sup>2</sup>



**Bezeichnung: DA 1**

Bauteil Nr.: 4  
Ausrichtung (Azimut): 0,0 ° von Norden  
Neigung: 90,0 ° von Horizontale  
Fläche: 24,00 m<sup>2</sup>  
Fläche inkl. Öffnungen: 24,00 m<sup>2</sup>



**Bezeichnung: T 1 (Türe)**

Bauteil Nr.: 5  
Ausrichtung (Azimut): 0,0 ° von Norden  
Neigung: 0,0 ° von Horizontale  
Fläche: 1,80 m<sup>2</sup>

### Liste transparenter Bauteile



## 8.2.4 Bauteile transparent

## Thesim 3D

Eingabedokumentation

Bauweise\_Beton

## Liste transparenter Bauteile

Anzahl Glas-Typen: 1

Glastyp Nr. 1 Bezeichnung: 3S-Wärmeschutzglas beschichtet 4-8-4-8-4 (Kr)

Schichtaufbau:		Schicht- dicke [cm]	Wärmeleit- fähigkeit [W/(m·K)]	Massen- dichte [kg/m³]	Spezifische Wärmekapazität [kJ/(kg·K)]	Durchlass- widerstand [m²·K/W]
	außen					0,040
1	Scheibe	0,4	0,814	2500,0	0,921	0,005
2	SZR	0,8				0,625
3	Scheibe	0,4	0,814	2500,0	0,921	0,005
4	SZR	0,8				0,625
5	Scheibe	0,4	0,814	2500,0	0,921	0,005
	innen					0,130

Anmerkung: SZR ... Scheibenzwischenraum

Wärmetechnische Kenngrößen:

Dicke des Bauteils:	2,8 [cm]
Flächenbezogene Masse:	30,0 [kg·m <sup>-2</sup> ]
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert):	0,7 [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]

Strahlungstechnische Kenngrößen:

Gesamtenergiedurchlassgrad:	0,45
Strahlungstransmissionsgrad:	0,29
Strahlungsreflexionsgrad:	0,35
Exponent:	1,50

Anzahl Rahmen-Typen: 2

<b>Rahmentyp 1</b>	<b>Bezeichnung:</b>	<b>Holzrahmen</b>		
	U-Wert:	1,36 [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Rahmenanteil:	25 %
<b>Rahmentyp 2</b>	<b>Bezeichnung:</b>	<b>Holzrahmen</b>		
	U-Wert:	1,36 [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Rahmenanteil:	20 %

Anzahl Fenster: 3





## Thesim 3D

Eingabedokumentation

Bauweise\_Beton

## Liste transparenter Bauteile

**Fenster Nr. 1**      **Bezeichnung: F 1**

Glas-Typ Nr.: 1  
 Rahmen-Typ Nr.: 1  
 Orientierung: Azimut: 180.0° von Norden      Neigung: 0.0° von Horizontale

**Jalousiebenutzung:**

keine

**Tagesgang der Verschattungsfaktoren (berechnet):**

05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00

**Tagesgang des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases (berechnet):**

05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
0,45	0,38	0,38	0,38	0,31	0,31	0,32	0,34	0,34	0,34	0,32	0,31	0,31	0,38	0,38	0,38	0,45

**Lüftung durch Fensteröffnung:** Volle Fensteröffnung

Öffnung

20:00-08:00

**Fenster Nr. 2**      **Bezeichnung: F 2**

Glas-Typ Nr.: 1  
 Rahmen-Typ Nr.: 2  
 Orientierung: Azimut: 180.0° von Norden      Neigung: 0.0° von Horizontale

**Jalousiebenutzung:**

keine

**Tagesgang der Verschattungsfaktoren (berechnet):**

05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00

**Tagesgang des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases (berechnet):**

05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
0,45	0,38	0,38	0,38	0,31	0,31	0,32	0,34	0,34	0,34	0,32	0,31	0,31	0,38	0,38	0,38	0,45

**Lüftung durch Fensteröffnung:** Fenster gekippt mit Öffnungswinkel 6°

Öffnung

20:00-08:00

## Thesim 3D

Eingabedokumentation

Bauweise\_Beton

### Liste transparenter Bauteile

**Fenster Nr. 3**      **Bezeichnung: F 3**

Glas-Typ Nr.: 1  
 Rahmen-Typ Nr.: 2  
 Orientierung:      Azimut:      270.0° von Norden      Neigung:      0.0° von Horizontale

**Jalousiebenutzung:**

keine

**Tagesgang der Verschattungsfaktoren (berechnet):**

05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

**Tagesgang des Gesamtenergiedurchlassgrads des Glases (berechnet):**

05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
0,45	0,38	0,38	0,38	0,31	0,31	0,32	0,34	0,34	0,34	0,32	0,31	0,31	0,38	0,38	0,38	0,45

**Lüftung durch Fensteröffnung:** Volle Fensteröffnung

Öffnung

20:00-08:00

**Flächenliste**      Winkelangaben beziehen sich auf die nach außen orientierten Flächennormalen



**Bezeichnung: F 1 (Rahmen)**

Rahmen-Typ Nr.: 1  
 Ausrichtung (Azimut): 180,0 ° von Norden  
 Neigung: 0,0 ° von Horizontale  
 Fläche: 0,46 m<sup>2</sup>



**Bezeichnung: F 1 (Glas)**

Glas-Typ Nr.: 1  
 Ausrichtung (Azimut): 180,0 ° von Norden  
 Neigung: 0,0 ° von Horizontale  
 Fläche: 1,37 m<sup>2</sup>

## Thesim 3D

### Eingabedokumentation

Bauweise\_Beton

#### Liste transparenter Bauteile

##### Flächenliste

Winkelangaben beziehen sich auf die nach außen orientierten Flächennormalen

**Bezeichnung: F 2 (Rahmen)**

Rahmen-Typ Nr.: 2  
Ausrichtung (Azimut): 180,0 ° von Norden  
Neigung: 0,0 ° von Horizontale  
Fläche: 0,40 m<sup>2</sup>

**Bezeichnung: F 2 (Glas)**

Glas-Typ Nr.: 1  
Ausrichtung (Azimut): 180,0 ° von Norden  
Neigung: 0,0 ° von Horizontale  
Fläche: 1,60 m<sup>2</sup>

**Bezeichnung: F 3 (Rahmen)**

Rahmen-Typ Nr.: 1  
Ausrichtung (Azimut): 270,0 ° von Norden  
Neigung: 0,0 ° von Horizontale  
Fläche: 0,46 m<sup>2</sup>

**Bezeichnung: F 3 (Glas)**

Glas-Typ Nr.: 1  
Ausrichtung (Azimut): 270,0 ° von Norden  
Neigung: 0,0 ° von Horizontale  
Fläche: 1,37 m<sup>2</sup>



## 8.2.5 Nutzungsdaten

## Thesim 3D

Eingabedokumentation

Bauweise\_Beton

## Daten zur Raumnutzung

## Tagesgang der Personenbelegung [Personen]

01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,63	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
0,50	0,75	0,75	0,75	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Wärmeabgabeleistung pro Person: 90 W

## Tagesgang der Wärmeabgabeleistung von Beleuchtung und Geräten [W]

01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
41,20	41,60	43,20	52,90	100,40	130,20	157,80	178,80	157,70	143,60	117,20	90,80
13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
81,60	104,30	139,90	168,00	172,90	155,60	139,40	116,20	89,20	69,70	56,20	56,20

## Angaben zur Raumlüftung

Luftwechselzahl bautechnischer Luftwechsel: 0,05 1/h

## Tagesgang des hygienisch erforderlichen Luftwechsels [1/h]

01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,35	0,14	0,14	0,14	0,14
13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
0,14	0,28	0,42	0,42	0,42	0,49	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56

## Fensterlüftung:

Öffnung

20:00-08:00



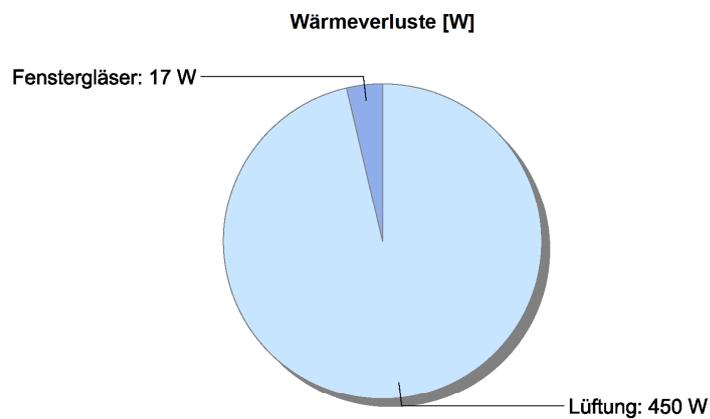
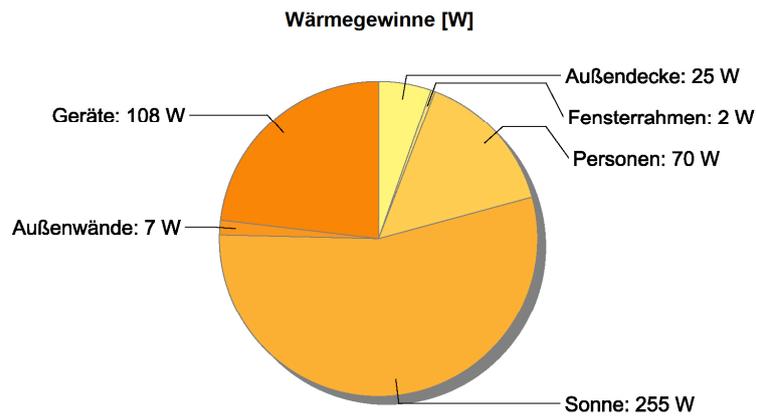
## 8.2.6 Wärmebilanz des Raums

## Thesim 3D

Ergebnis Ausdruck

Bauweise\_Beton

## Wärmebilanz – Tagesmittelwerte



Anmerkung: Die Summe der Tagesmittelwerte der Wärmegewinne (467 W) entspricht der Summe der Tagesmittelwerte der Wärmeverluste (467 W)

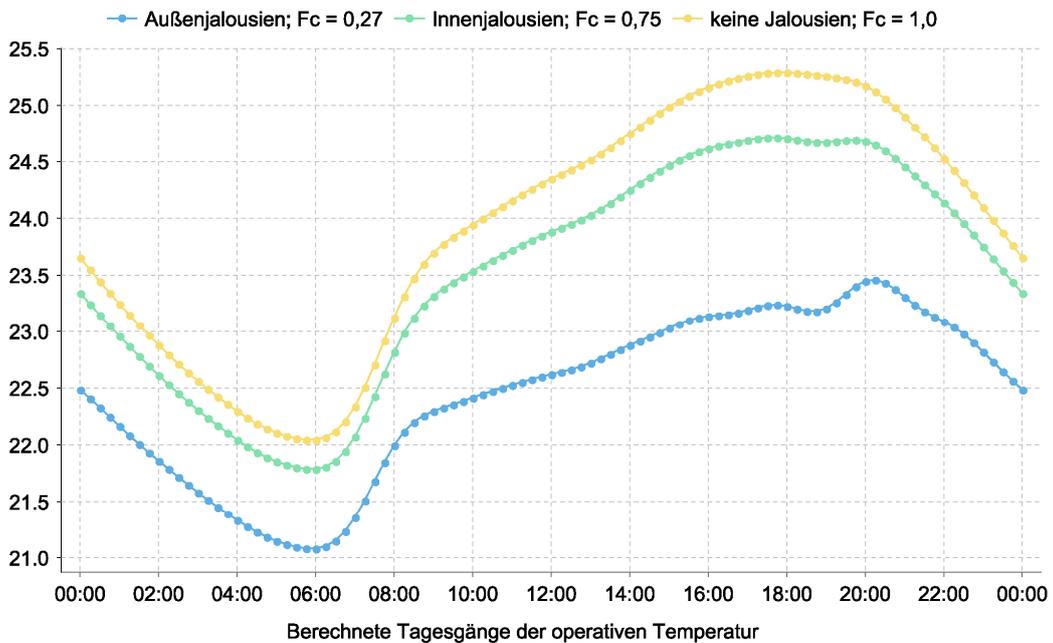
8.2.7 Diagramm zum Variantenvergleich

### Thesim 3D

Ergebnis Ausdruck

Bauweise\_Beton

**Variantenvergleich / Parameterstudien:**



	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
● Außenjalousien; Fc = 0,27	22,5	22,2	21,9	21,6	21,3	21,1	21,1	21,4	22,0	22,3	22,4	22,5	22,6
● Innenjalousien; Fc = 0,75	23,3	23,0	22,6	22,3	22,0	21,9	21,8	22,1	22,8	23,3	23,5	23,7	23,9
● keine Jalousien; Fc = 1,0	23,7	23,2	22,9	22,6	22,3	22,1	22,0	22,3	23,1	23,7	23,9	24,2	24,3

	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	Max
● Außenjalousien; Fc = 0,27	22,7	22,9	23,0	23,1	23,2	23,2	23,2	23,5	23,3	23,1	22,8	22,5	23,5
● Innenjalousien; Fc = 0,75	24,0	24,3	24,5	24,6	24,7	24,7	24,7	24,7	24,5	24,1	23,8	23,3	24,7
● keine Jalousien; Fc = 1,0	24,5	24,8	25,0	25,2	25,3	25,3	25,3	25,2	24,9	24,5	24,1	23,7	25,3

### 8.3 Validierung der Verschattungsberechnungen nach EN ISO 13791:2012

In der EN ISO 13791:2012 (3) sind in Kapitel 8 Validierungsverfahren angegeben. Abschnitt 8.2.4 befasst sich dabei mit Verschattungseffekten durch die Fassadengestaltung und Nachbarverbauung. Als Ergebnisse werden zeitliche Verläufe von Sonnenlichtfaktoren  $f_s$  angegeben. Die Werte von  $f_s$  sind zu den vollen Stunden ausgewiesen und müssen vom zu validierenden Verfahren eingehalten werden, wobei eine maximale Abweichung von 0,05 toleriert wird.

Verschattungsberechnungen erfordern neben geometrischen Angaben die Festlegung des Standorts auf der Erde und die Bezugnahme auf ein Datum. Für die Validierungsfälle der EN ISO 13791:2012 (3) fehlt sowohl die Standortangabe als auch die Definition des Datums. Anstelle dieser Angaben wird in der Tabelle 11 die Sonnenbahn mittel Angabe von Azimut und Sonnenhöhe festgelegt. Da dies nur für die Zeit von 4<sup>30</sup> bis 12<sup>00</sup> erfolgt und der Azimut der Sonnenbahn um 12<sup>00</sup> genau im Süden liegt, kann geschlossen werden, dass diesen Angaben die Annahme wahrer Ortszeit zugrunde liegt.

Da in Thesim3D die Sonnenbahn natürlich keine Eingabegröße ist, sondern aus den Angaben zum Gebäudestandort, dem Datum und der zugrunde zulegenden Zonenzeit berechnet wird, besteht in einem ersten Schritt die Notwendigkeit, Standort, Datum und Zonenzeit derart festzulegen, dass die in Tabelle 11 der EN ISO 13791:2012 (3) definierte Sonnenbahn bestmöglich approximiert wird. Die Suche nach einem solchen Standort und dem Datum wäre extrem aufwändig und wenig Erfolg versprechend. Im Entwurf der Norm EN ISO 13791 (3) aus dem Jahr 1995 findet sich aber die (später offenkundig eliminierte) Festlegung des Standorts mit einer geografischen Breite von 50° N und einer geografischen Länge von 15° O. Das Datum ist demnach mit dem 15. Juli festzulegen.

Um den Unterschied zwischen wahrer Ortszeit und Zonenzeit auszugleichen ist zusätzlich noch die Notwendigkeit einer Feinjustierung gegeben. Als Ergebnis einer solchen Anpassung werden die geografischen Koordinaten für den in Thesim3D einzugebenden Gebäudestandort gemäß folgender Tabelle erhalten.

	<b>Geogr. Breite</b>	<b>Geogr. Länge</b>	<b>Zeit</b>
EN ISO 13791	50° 0′	15° 0′	wahre Ortszeit
THESIM3D	49° 54,84′	16° 30,62′	Zonenzeit (MEZ)

Tab 8. 1: Für die Angleichung der Sonnenbahnen ermittelte Gebäudestandorte

Die Sonnenbahn wird üblicherweise mittels zweier Winkel zu den vollen Stunden des Tags fixiert. Der Azimut gibt hierbei die Himmelsrichtung des jeweiligen Sonnenstands an, wobei in Österreich dieser Winkel von Norden aus rechtsweisend gemessen wird (nord: 0°, ost: 90°, süd: 180°, west: 270°, etc.). Der zweite Winkel ist die Sonnenhöhe. Dieser ist als Winkel zwischen der horizontalen Ebene und der Richtung zur Sonne definiert.

In der folgenden Tabelle ist die in der EN ISO 13791:2012 (3) vorgegebene Sonnenbahn jener Sonnenbahn gegenübergestellt, die Thesim3D für einen gemäß Tab 8. 1 gewählten Gebäudestandort ausgibt.

Uhr	EN ISO 13791:2012		Thesim3D	
	Azimut	Höhe	Azimut	Höhe
1	---	---	---	---
2	---	---	---	---
3	---	---	---	---
4	---	---	---	---
5	64,94	7,25	64,97	7,29
6	75,78	16,31	75,81	16,30
7	86,74	25,83	86,75	25,81
8	98,51	35,44	98,52	35,42
9	112,18	44,73	112,18	44,71
10	129,36	53,02	129,35	53,00
11	151,99	59,15	151,99	59,14
12	180,00	61,51	180,00	61,50
13	208,01	59,15	208,00	59,13
14	230,64	53,02	230,62	52,98
15	247,82	44,73	247,78	44,68
16	261,49	35,44	261,43	35,38
17	273,26	25,83	273,20	25,76
18	284,22	16,31	284,14	16,24
19	295,06	7,25	294,97	7,21
20	---	---	---	---
21	---	---	---	---
22	---	---	---	---
23	---	---	---	---
24	---	---	---	---

Tab 8. 2: Gegenüberstellung der nach Norm vorgegebenen Sonnenbahn mit der von Thesim3D berechneten Sonnenbahn

Ersichtlich ist die Approximation der Sonnenbahn gut genug, um einen sinnvollen Vergleich mit den Validierungsbeispielen der EN ISO 13791 (3) vornehmen zu können. Die Abweichungen zwischen den in der Norm vorgegebenen Sonnenpositionen und den von Thesim3D berechneten bleiben für alle Winkelangaben unterhalb von 6 Winkelminuten.

Die in der EN ISO 13791 (3) festgelegte Validierungsprozedur fußt auf 6 verschiedenen Prüffällen. Die für die Validierung anzunehmenden Geometrien in Hinblick auf die verschattenden Flächen und Glasflächen sind in den Abbildungen 10a bis 10f der Norm festgehalten. Im Folgenden werden die Prüffälle chronologisch aufgelistet und die Ergebnisse der Vergleichsrechnungen ausgewiesen und diskutiert.

### 8.3.1 Prüfung Nr. 1

Im Fall der Prüfung 1 ist die Verschattung durch eine über dem Fenster auskragende Platte zu untersuchen. Der Abstand von der horizontal verlaufenden Oberkante des rahmenlosen Fensters (Maße 2,0 x 2,0 m) beträgt 0,50 m. Die Platte krägt 1,0 m vor die Fensterebene aus und ragt mit einer Gesamtbreite von 4,0 m jeweils 1,0 m links und rechts über die Fensterfläche. Die folgende Abbildung zeigt die Skizze aus der EN ISO 13791 und die zugehörige Modellierung mit Thesim3D.

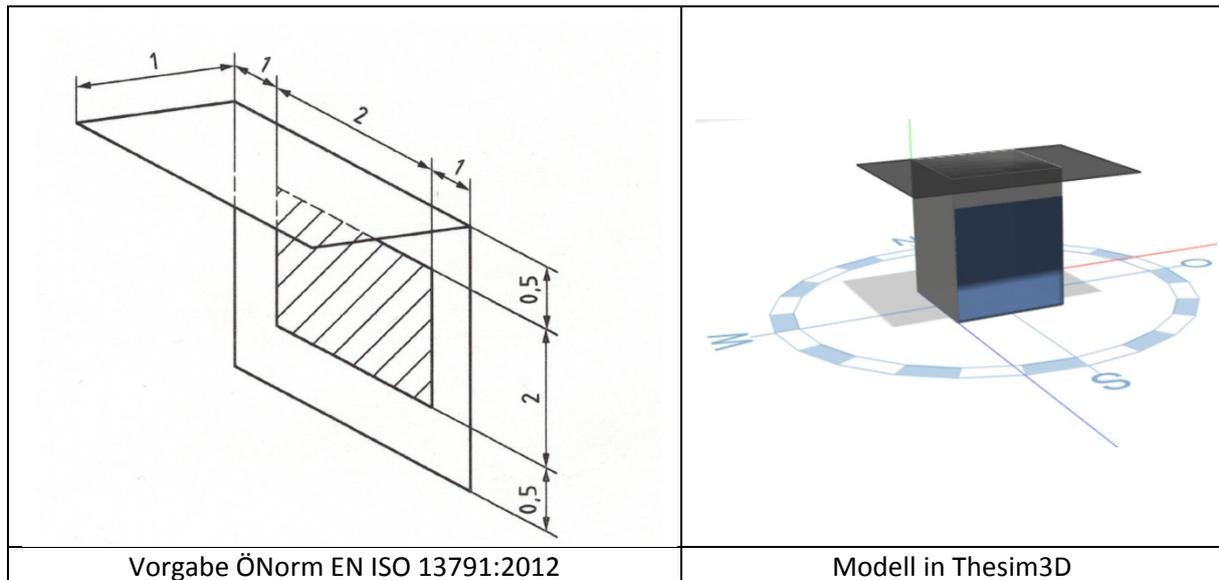


Abb. 8. 1: Prüfung Nr. 1: Verschattung durch auskragende Platte über dem Fenster; Südorientierung

In folgender Tabelle sind die von Thesim3D berechneten Verschattungsfaktoren den in der EN ISO 13791:2012 vorgegebenen Sonnenlichtfaktoren und den daraus rückgerechneten Verschattungsfaktoren gegenübergestellt.

Uhr	EN ISO 13791:2012		Thesim3D
	$f_s$	$F_c$	$F_c$
6	---	---	---
7	0.00	1.00	1.00
8	0.53	0.47	0.47
9	0.24	0.76	0.76
10	0.21	0.79	0.77
11	0.30	0.70	0.69
12	0.33	0.67	0.66
13	0.30	0.70	0.69
14	0.21	0.79	0.77
15	0.24	0.76	0.76
16	0.53	0.47	0.47
17	0.00	1.00	1.00
18	---	---	---

Tab 8. 3: Validierungsergebnis für Prüfung Nr. 1

Der Vergleich der Verschattungsfaktoren zeigt, dass die Übereinstimmung der von Thesim3D berechneten Werte mit den von der ÖNorm EN ISO 13791:2012 (3) vorgegebenen Werte sehr gut ist. Die maximale Abweichung beträgt 0,02 und liegt damit im von der Norm akzeptierten Bereich.

**Anmerkung:** Der Zusammenhang zwischen dem Sonnenlichtfaktor  $f_s$  und dem Verschattungsfaktor  $F_c$  ist mit  $F_c = 1 - f_s$  gegeben.

## 8.3.2 Prüfung Nr. 2

Im Fall der Prüfung 2 wird die Verschattung durch zwei jeweils neben dem Fenster situierten, vertikal verlaufenden Platten bewirkt. Die Maße der Empfangsfläche sowie deren Süd-Orientierung bleiben ungeändert. Die vermasste Skizze und das mit Thesim3D verwendete Modell sind in folgender Abbildung dargestellt.

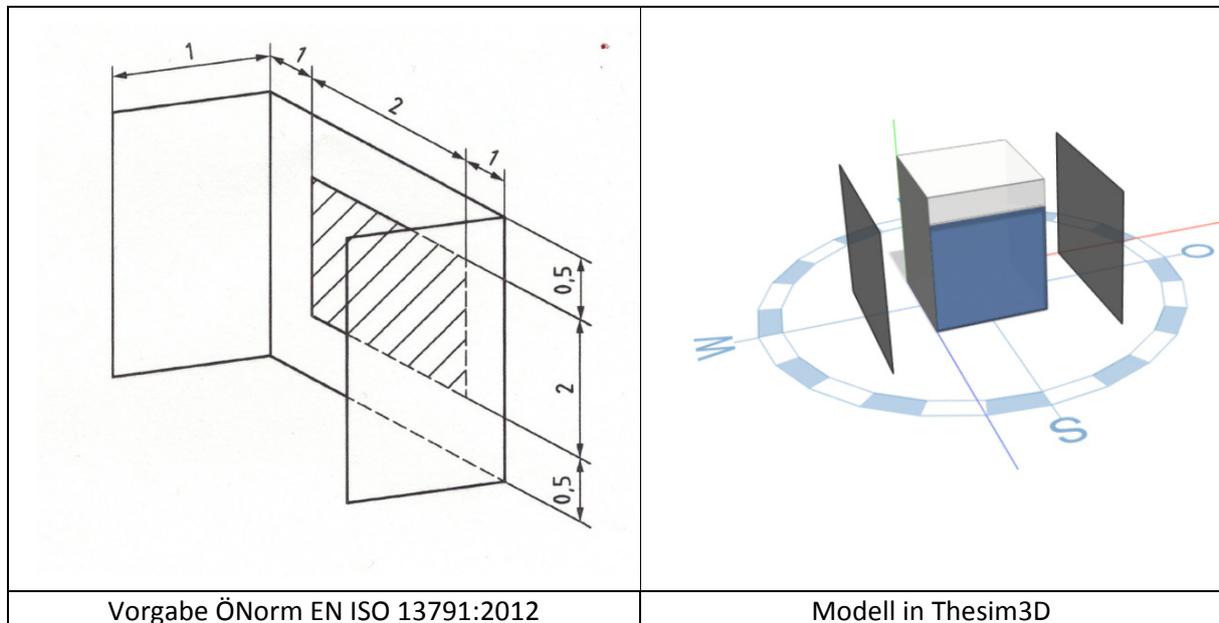


Abb. 8. 2: Prüfung Nr. 2: Verschattung durch seitlich situierte Platten; Südorientierung

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Validierung für Prüfung Nr. 2.

Uhr	EN ISO 13791:2012		Thesim3D
	$f_s$	$F_c$	$F_c$
6	---	---	---
7	0.00	1.00	1.00
8	0.47	0.53	0.53
9	0.76	0.24	0.24
10	0.97	0.03	0.04
11	1.00	0.00	0.00
12	1.00	0.00	0.00
13	1.00	0.00	0.00
14	0.97	0.03	0.04
15	0.76	0.24	0.24
16	0.47	0.53	0.53
17	0.00	1.00	1.00
18	---	---	---

Tab 8. 4: Validierungsergebnis für Prüfung Nr. 2

Die maximale Abweichung tritt bei Prüfung Nr. 2 um 10<sup>00</sup> bzw. 14<sup>00</sup> mit 0,01 auf. Die Validierungsvorgabe der EN ISO 13791 (3) ist damit auch für Prüfung 2 erfüllt.

### 8.3.3 Prüfung Nr. 3

Die Prüfung Nr. 3 stellt eine Kombination aus Prüfung Nr. 1 und Prüfung Nr. 2 dar. Das Fenster mit den Maßen 2,0x2,0 m ist nun sowohl durch eine horizontale als auch durch 2 vertikale Leisten verschattet. Die Süd-Orientierung bleibt ungeändert bestehen. Die folgende Abbildung zeigt die Skizze aus der EN ISO 13791 und das Thesim3D Modell.

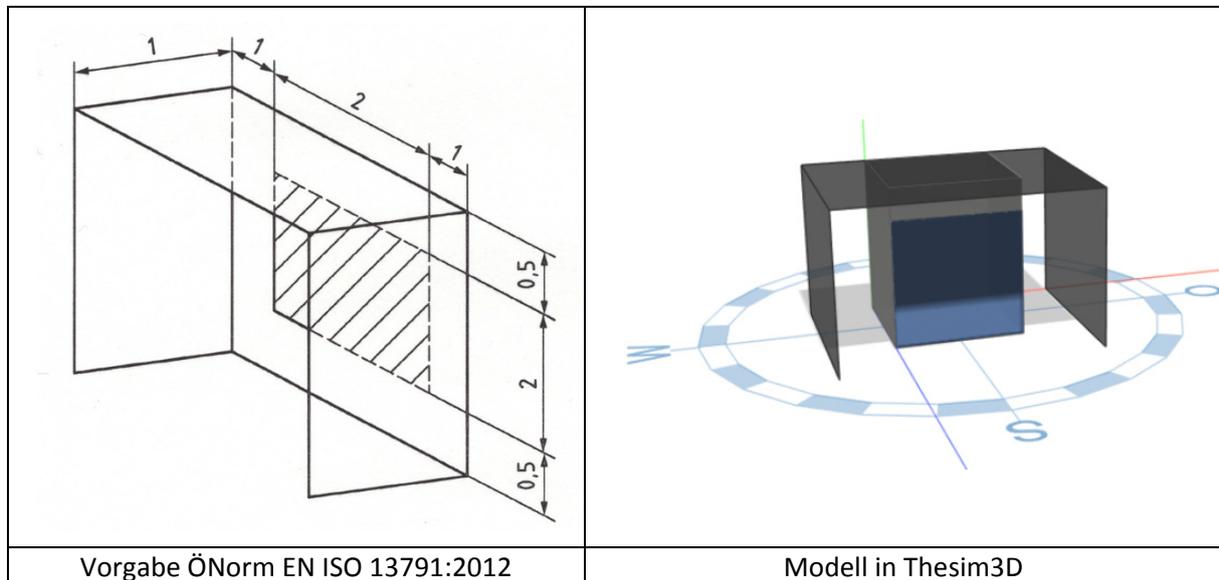


Abb. 8. 3: Prüfung Nr. 3: Verschattung durch horizontale und vertikale Platten; Südorientierung

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Validierung für Prüfung Nr. 3.

Uhr	EN ISO 13791:2012		Thesim3D
	$f_s$	$F_c$	$F_c$
6	---	---	---
7	0.00	1.00	1.00
8	0.00	1.00	1.00
9	0.00	1.00	1.00
10	0.18	0.82	0.81
11	0.30	0.70	0.69
12	0.33	0.67	0.66
13	0.30	0.70	0.69
14	0.18	0.82	0.81
15	0.00	1.00	1.00
16	0.00	1.00	1.00
17	0.00	1.00	1.00
18	---	---	---

Tab 8. 5: Validierungsergebnis für Prüfung Nr. 3

Bei Prüfung Nr. 3 beträgt die maximale Abweichung 0,01. Die Validierungsvorgabe der EN ISO 13791 (3) ist damit auch für diese Prüfung gut erfüllt.

## 8.3.4 Prüfung Nr. 4

Bei Prüfung Nr. 4 handelt es sich offenkundig um die Modellierung einer Verschattung durch ein benachbartes Gebäude. Das Fenster hat nun eine Abmessung von 5,0 x 5,0 m und ist nach wie vor rahmenlos. Im Abstand von 5,0 m ist parallel zur Fensterebene eine verschattende Fläche von 10,0 m Höhe und 15,0 m Breite angesetzt. Diese Fläche ragt links und rechts jeweils 5,0 m über das Fenster als Empfangsfläche hinaus. Die folgende Abbildung zeigt die Skizze aus der EN ISO 13791 (3) und das von Thesim3D generierte Modell.

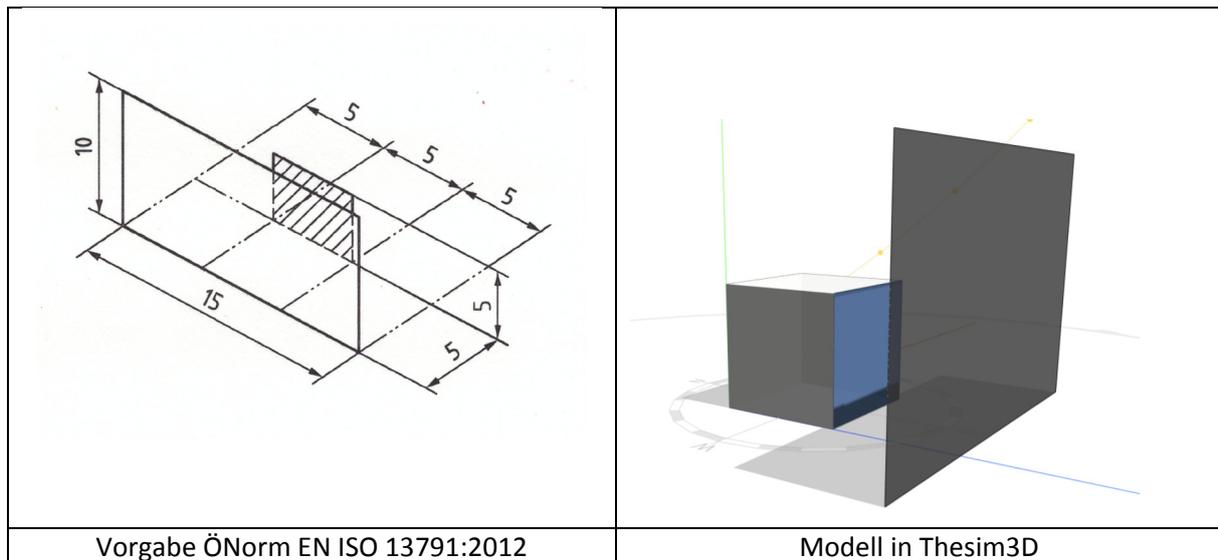


Abb. 8. 4: Prüfung Nr.4: Verschattung durch Nachbarverbauung; Südorientierung

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Validierung für Prüfung Nr. 4.

Uhr	EN ISO 13791:2012		Thesim3D
	$f_s$	$F_c$	$F_c$
6	---	---	---
7	0.00	1.00	1.00
8	1.00	0.00	0.00
9	1.00	0.00	0.00
10	1.00	0.00	0.00
11	0.90	0.10	0.09
12	0.84	0.16	0.16
13	0.90	0.10	0.09
14	1.00	0.00	0.00
15	1.00	0.00	0.00
16	1.00	0.00	0.00
17	0.00	1.00	1.00
18	---	---	---

Tab 8. 6: Validierungsergebnis für Prüfung Nr. 4

Auch für Prüfung Nr. 3 beträgt die maximale Abweichung 0,01. Die Validierungsvorgabe der EN ISO 13791 (3) ist damit gut erfüllt.

### 8.3.5 Prüfung Nr. 5

Vom Modell her ist Prüfung Nr. 5 identisch mit Prüfung Nr. 3 – siehe Abb. 8. 3. Lediglich die Orientierung des Fensters ist von Süd auf Ost zu ändern. In Thesim3D erfolgt diese Änderung mittels Verdrehung des Kompasses um 90°.

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Validierung für Prüfung Nr. 5.

Uhr	EN ISO 13791:2012		Thesim3D
	$f_s$	Fc	Fc
6	---	---	---
7	1.00	0.00	0.00
8	0.89	0.11	0.13
9	0.71	0.29	0.28
10	0.39	0.61	0.59
11	0.00	1.00	1.00
12	0.00	1.00	1.00
13	---	---	---
14	---	---	---
15	---	---	---
16	---	---	---
17	---	---	---
18	---	---	---

Tab 8. 7: Validierungsergebnis für Prüfung Nr. 5

Die Verschattungsfaktoren  $\sin$  in Tab 8. 7 nur bis 12<sup>00</sup> (wahrer Ortszeit) angegeben, da ab diesem Zeitpunkt die Empfangsfläche im Eigenschatten liegt.

Die maximale Abweichung beträgt 0,02, womit die Validierungsvorgabe der EN ISO 13791 (3) auch für Prüfung Nr. 5 gut erfüllt ist.

### 8.3.6 Prüfung Nr. 6

Vom Modell her ist Prüfung Nr. 6 identisch mit Prüfung Nr. 4 – siehe Abb. 8. 4. Lediglich die Orientierung des Fensters ist von Süd auf Ost zu ändern. In Thesim3D erfolgt diese Änderung mittels Verdrehung des Kompasses um 90°.

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Validierung für Prüfung Nr. 6.

Uhr	EN ISO 13791:2012		Thesim3D
	$f_s$	Fc	Fc
6	---	---	---
7	0.00	1.00	1.00
8	0.00	1.00	1.00
9	0.07	0.93	0.94
10	0.72	0.28	0.28
11	1.00	0.00	0.00
12	1.00	0.00	1.00
13	---	---	---
14	---	---	---
15	---	---	---
16	---	---	---
17	---	---	---
18	---	---	---

Tab 8. 8: Validierungsergebnis für Prüfung Nr. 6

Mit Ausnahme des Werts für 12<sup>00</sup> stimmen die von Thesim3D errechneten Verschattungsfaktoren mit den von der Norm vorgegebenen sehr gut überein (maximale Abweichung 0,01). Die Diskrepanz um 12<sup>00</sup> zwischen der Aussage „voll besonnt“ (EN ISO 13791) und „voll verschattet“ (Thesim3D) spielt insofern keine Rolle, als die solare Bestrahlungsstärke durch Direktstrahlung zu diesem Zeitpunkt null sein muss.

**Anmerkung:** Da in wahrer Ortszeit die Sonne um 12<sup>00</sup> genau im Süden steht, verschwindet diese genau zu diesem Zeitpunkt im Eigenschatten der ostorientierten Empfangsfläche. Die solare Bestrahlungsstärke ist somit null (Streiflicht); der Verschattungsfaktor hat um 12<sup>00</sup> eine Sprungstelle von „voll besonnt“ auf „voll verschattet“. Eine plausible Erklärung für die (bedeutungslose) Abweichung des Verschattungsfaktors ergibt sich durch die Tatsache, dass die Approximation der in der Norm vorgegebenen Sonnenbahn nie ganz genau gelingen kann (siehe Tab 8. 2).

### 8.3.7 Validierungsergebnis

Bei allen im Zuge der Validierung durchgerechneten Prüfungen weichen die von Programm Thesim3D errechneten Stundenwerte der Verschattungsfaktoren um nicht mehr als 0,02 vom vorgegebenen Norm-Wert ab. Da in der ÖNorm EN ISO 13791:2012 (3) eine zulässige Abweichung von bis zu 0,05 erlaubt ist, ist damit Thesim3D in Hinblick auf die Verschattungsberechnung validiert.