

SimQuality - Validierung von Modellen zum Sommerlichen Wärmeschutz

IBK, TU Dresden

28. April 2022

Zusammenfassung

Für diesen Testfall werden die vorhergehend definierten Testfälle eins bis zehn zusammengeführt. Der anschließend beschriebene Testfall prüft die Funktionalität eines Modells bzw. die Modellimplementierung/-Software hinsichtlich des Sommerlichen Wärmeschutzes.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlegende Gleichungen	2
2	Aufgabenstellung	2
2.1	Geometrie	2
2.1.1	Raum	2
2.2	Konstruktion	2
2.3	Wetter	3
2.4	Modellparameter	3
2.4.1	Opake Bauteile/Elemente	3
2.4.2	Transparente Bauteile	3
2.4.3	Anfangsbedingung	3
2.4.4	Übergangskoeffizienten	3
2.5	Strahlungsverteilung im Innenraum	4
2.6	Konditionierungssystem	4
2.6.1	Flächenkonditionierungssystem	4
2.7	Prüfvarianten	5
2.7.1	Prüfvariante 1 (11.1) - Berechnung mit Realklima	5
2.7.2	Prüfvariante 2 (11.2) - Integration eines idealen Konditionierungssystems	5
2.7.3	Prüfvariante 3 (11.3) - Integration einer Verschattung	5
2.7.4	Prüfvariante 4 (11.4) - Integration von internen Lasten	5
2.7.5	Prüfvariante 5 (11.5) - Integration einer Fensterlüftung	6
2.7.6	Prüfvariante 6 (11.6) - Integration einer passiven Kühlung	6
2.7.7	Prüfvariante 7 (11.7) - Detaillierte Modelle	7
3	Ergebnisse	8
3.1	Regeln für die Berechnung	8
3.2	Geforderte Ergebnisse	8
3.3	Ergebnisdatenablage	8
4	Auswertung	8

1 Grundlegende Gleichungen

Die Gleichungen für die Modellierung von Konditionierungssystemen sind in folgender Literatur zusammengestellt. Es wird darauf hingewiesen, dass zum Teil unterschiedliche Konventionen bzw. Definitionen für Begriffe und Größen verwendet werden.

2 Aufgabenstellung

Im nachfolgenden Testfall wird die Modellimplementierung/Software hinsichtlich des Sommerlichen Wärmeschutzes näher untersucht.

2.1 Geometrie

2.1.1 Raum

Für die Validierung der Fenstermodelle wird folgende Geometrie verwendet, die von ? entstammt:

- Innenmaße ($B \times L \times H$) des Raumes betragen somit $2\text{ m} \times 5\text{ m} \times 3\text{ m}$
- Luftvolumen beträgt $V = 30\text{ m}^3$

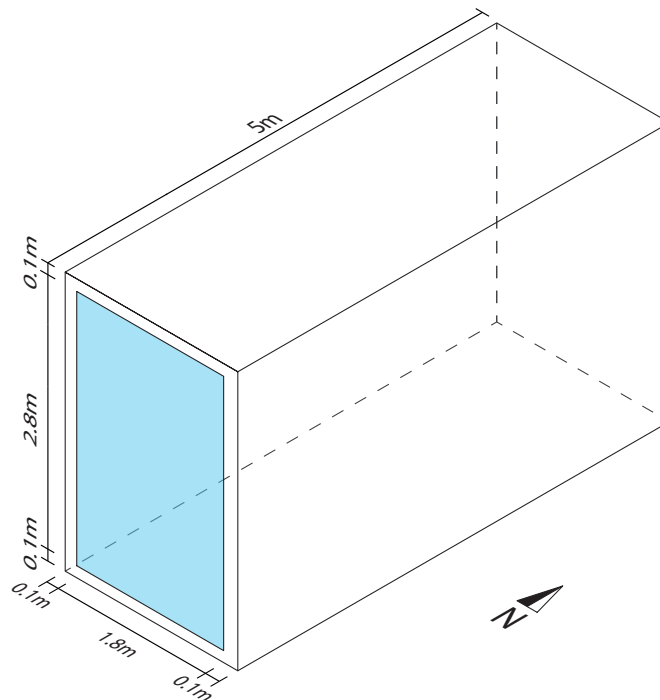


Abbildung 2.1: Abbildung des Testraumes mit Bemaßung

2.2 Konstruktion

Die in Tab. 2.1 dargelegte Konstruktion wird verwendet, die aus ? stammt.

Tabelle 2.1: Merkmale der Bauteile für die Prüfung der Konstruktion 4

Schicht	Material	Dicke	Wärmeleitfähigkeit	Dichte	Spezifische Wärmekapazität
Nr		d m	λ $\frac{W}{m \cdot K}$	ρ $\frac{kg}{m^3}$	c $\frac{J}{kg \cdot K}$
innen - $h_c = 2.5 \frac{W}{m^2 K}$					
1	SimQ_Beton	0.200	1.20	2000	1000
2	SimQ_Dämmung	0.100	0.04	50	1000
3	SimQ_Putz	0.005	0.14	800	1500
außen - $h_c = 8 \frac{W}{m^2 K}$					

2.3 Wetter

Für diesen Testfall wird folgender Klimadatensatz genutzt:

- Realklima mit Temperatur und Strahlung ohne Einschwingphase
Potsdam.epw

Weiterhin wird der Albedo des Bodens auf 0.2 gesetzt. Der Standort für die Berechnung der Sonnenstände ist Potsdam (Breitengrad: 52.383°, Längengrad: 13.067°).

2.4 Modellparameter

2.4.1 Opake Bauteile/Elemente

Alle Elemente, einschließlich Decke und Fußboden sind identisch (gleiche Materialparameter und Schichtenfolge) und weisen die gleichen Randbedingungen auf, siehe Tabelle 2.1.

2.4.2 Transparente Bauteile

Die Eigenschaften des transparenten Bauteils (Fenster) entsprechen dem des in ? Prüfvariante 03 definierten Fensters. Der Rahmenanteil wird für alle Prüfvarianten mit null angegeben. Das Fenstermodell wird ohne Wärmespeicherung betrachtet, d.h. es kann als masselos angenommen werden. Der U-Wert des Fensters beträgt $U_{win} = 1.1 W/m^2 K$. Der g-Wert wird mit einem winkelabhängigen SHGC-Wert (siehe 2.2) angegeben. Die langwellige Strahlung durch das Fenster wird nicht berücksichtigt ($T_{ir} = 0$).

Tabelle 2.2: Winkelabhängiger SHGC-Wert (g-Wert) des Fensters

Winkel θ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Hemis
SHGC	0.600	0.600	0.600	0.600	0.588	0.564	0.516	0.414	0.222	0.000	0.600

Anmerkung: Der U-Wert enthält lediglich die konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten der Wand ($h_{c,i} = 2.5 \frac{W}{m^2 K}$; $h_{c,e} = 8 \frac{W}{m^2 K}$) und keine radiativen Anteile.

2.4.3 Anfangsbedingung

Alle Elemente, einschließlich Decke und Fußboden sind identisch und weisen die gleichen Randbedingungen auf. Die Initialtemperatur aller Bauteile und der Raumluft beträgt $T_{initial} = 20^\circ C$ zum Zeitpunkt $t = 0 h$.

Anmerkung: Die Wetterdateien sind in diesem Fall nicht angepasst. Programme, die keine Starttemperaturen setzen können, werden zwangsläufig im Januar Abweichungen erzielen. Da in diesem Testfall jedoch reale Modellierungsbedingungen verwendet werden sollen, ist dies hinzunehmen.

2.4.4 Übergangskoeffizienten

Für die Wärmeübertragungsrandbedingungen sind folgende Modellparameter zu wählen:

- Der Absorptionskoeffizient der Außenflächen wird auf $a = 0$ gesetzt (die komplette kurzwellige Strahlung wird reflektiert).

- Der Absorptionskoeffizient der Innenflächen wird auf $a = 1$ gesetzt (die komplette kurzwellige Strahlung wird absorbiert).
- Die Emissionsgrade der Innen- und Außenflächen jedes Elementes, einschließlich Decke und Fußboden, werden mit null angesetzt (die Wärmeübertragung durch langwellige Strahlung an die Innen- und Außenflächen wird mit null angesetzt).
- Der innere Konvektionswärmeübergangskoeffizient jedes Elementes, einschließlich Decke und Fußboden beträgt: $h_{c,i} = 2.5 \frac{W}{m^2 K}$
- Der äußere Konvektionswärmeübergangskoeffizient jedes Elementes, einschließlich Decke und Fußboden beträgt: $h_{c,e} = 8 \frac{W}{m^2 K}$

Anmerkung: In Programmen, in denen der äußere Wärmeübergangskoeffizient nicht als fester Wert angegeben werden kann und z.B. aus der Windgeschwindigkeit berechnet wird, kann man den Übergangskoeffizienten über die Anpassung der Windgeschwindigkeit im Klimadatensatz einstellen.

2.5 Strahlungsverteilung im Innenraum

Die durch das Fenster eingetragene Solarstrahlung soll möglichst wie folgt verteilt werden:

- 80% der Strahlungslast soll auf den Fußboden wirken.
- 20% der Strahlungslast soll flächengewichtet auf alle Innenoberflächen wirken.

Andere Ansätze sind zu dokumentieren.

2.6 Konditionierungssystem

In der Prüfvarianten 1 wird kein Konditionierungssystem verwendet. Ab Prüfvariante 2 wird ein ideales Konditionierungssystem eingebaut. In Prüfvariante 6 folgt ein Flächenkonditionierungssystem.

2.6.1 Flächenkonditionierungssystem

In Prüfvariante 11.6 wird eine Flächenkonditionierung verwendet. Die Modelle dafür sind folgende Eigenschaften zu parametrieren:

Das Konditionierungssystem wird in die erste Materialschicht (SimQ_Beton) eingepflegt. Dazu wird diese Schicht in drei Schichten (Aufbau beginnend von innen (Innenraumkontakt) nach außen (Dämmschicht)) aufgeteilt. Schichtfolge:

- 5 cm SimQ_Beton mit Kontakt zur Innenraumluft
- 2 cm SimQ_Beton mit Integration des Konditionierungssystems
- 13 cm SimQ_Beton mit Kontakt zur Dämmschicht

Innerhalb der Schicht soll eine homogene Temperatur (annähernd der Vorlauftemperatur) herrschen. Folgende Parameter sind für die realen Konditionierungssysteme anzusetzen:

- Vorlauftemperatur entspricht der jeweiligen Angabe der Prüfvariante
- Massestrom 0.2 kg/s
- Rohrrinnendurchmesser 16 mm
- Rohrwanddicke 2 mm daraus ergibt sich ein Rohraußendurchmesser von 20 mm
- Rohrwandmaterial
 - Dichte 960 kg/m^3
 - spez. Wärmekapazität $1900 \frac{J}{\text{kg} \cdot K}$
 - Wärmeleitfähigkeit $0.42 \frac{W}{m \cdot K}$
- Rohrabstand 10 cm
- Rohrlänge 100 m
- Fluid ist Wasser mit folgenden Eigenschaften

- Dichte 1000 kg/m^3
- spez. Wärmekapazität $4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
- Wärmeleitfähigkeit $0.556 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$
- keine Berücksichtigung von Temperaturabhängigkeiten
- Druckverluste im Rohr werden nicht berücksichtigt

2.7 Prüfvarianten

Es werden fünf verschiedene Prüfvarianten angegeben.

2.7.1 Prüfvariante 1 (11.1) - Berechnung mit Realklima

In dieser Prüfvariante wird der Raum freischwingend untersucht. Auf den Raum wirkt das **Wetter Potsdams** (**Potsdam.epw**) mit Temperatur und Strahlung ein. Da nun reale Simulationsbedingungen abgeprüft werden, gibt es nun keine Einschwingphase mehr.

2.7.2 Prüfvariante 2 (11.2) - Integration eines idealen Konditionierungssystems

Diese Prüfvariante kombiniert Prüfvariante 11.1 und die ideale Konditionierung (ähnlich zum Testfall 10 Prüfvariante 1). Die Vorgaben für das ideale Konditionierungssystems sind folgendermaßen:

- Heizleistungsbegrenzung auf 700 W . Dies entspricht einer max. spez. Heizleistung von $70 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.
- Die Heizsolltemperatur der Raumluft wird durchgehend (01.01. - 31.12.) auf einen Wert von $T_{\text{Set}} = 21^\circ\text{C}$ eingestellt.
- Ein Kühlung ist nicht integriert.
- Die Konditionierung findet rein konvektiv statt.

2.7.3 Prüfvariante 3 (11.3) - Integration einer Verschattung

Zusätzlich zur Prüfvariante 11.2 wird eine Verschattung integriert. Als Verschattung wird eine dynamische Außenverschattung mit einem Verschattungsfaktor von 0.40 definiert (siehe ? Prüfvariante 07). Die Steuerung der Verschattung erfolgt durch einen Globalstrahlungssensor. Ab einer Intensität von $150 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ auf die Süd-Fassade wird die Verschattung aktiv. Es erfolgt keine zeitliche Verzögerung beim Aktivieren der Verschattung.

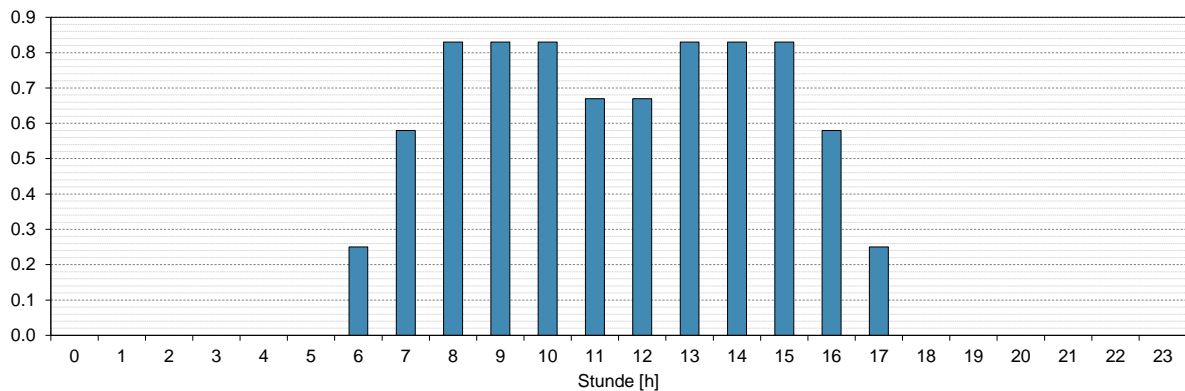
2.7.4 Prüfvariante 4 (11.4) - Integration von internen Lasten

Zusätzlich zur Prüfvariante 11.3 wird eine Verschattung integriert. Die internen Lasten werden zu 80 % konvektiv und zu 20 % radiativ eingetragen. Der Maximalwert der Last wird mit 20 W/m^2 bzw. 200 W für den gesamten Raum angegeben. Dieser Maximalwert wird durch den nachfolgenden Zeitplan, wie in Abbildung 2.2 grafisch dargestellt, modifiziert. Die interne Last ist ab dem 01.01. - 31.12. täglich aktiv.

Tabelle 2.3: Zeitplan für die internen Lasten (Zeitplan aus ?)

Tabelle 1: Zeitplan für die nächsten Stunden (Zeitraum 00:00 bis 23:00)											
Zeit [h]			Wert	Zeit [h]			Wert	Zeit [h]			Wert
00:00	-	01:00	0.00	08:00	-	09:00	0.83	16:00	-	17:00	0.58
01:00	-	02:00	0.00	09:00	-	10:00	0.83	17:00	-	18:00	0.25
02:00	-	03:00	0.00	10:00	-	11:00	0.83	18:00	-	19:00	0.00
03:00	-	04:00	0.00	11:00	-	12:00	0.67	19:00	-	20:00	0.00
04:00	-	05:00	0.00	12:00	-	13:00	0.67	20:00	-	21:00	0.00
05:00	-	06:00	0.00	13:00	-	14:00	0.83	21:00	-	22:00	0.00
06:00	-	07:00	0.25	14:00	-	15:00	0.83	22:00	-	23:00	0.00
07:00	-	08:00	0.58	15:00	-	16:00	0.83	23:00	-	00:00	0.00

Abbildung 2.2: grafische Abbildung der internen Lasten



2.7.5 Prüfvariante 5 (11.5) – Integration einer Fensterlüftung

Zusätzlich zur Prüfvariante 11.4 wird eine Verschattung integriert. Die Lüftung wird wie in ? Prüfvariante 3 angesetzt. In der Zeit vom 1. Juni bis einschließlich 30. September von 20:00 bis 06:00 Uhr ist ein erhöhter Nachtluftwechsel von $n = 2 h^{-1}$ (bezogen auf das Raumluftvolumen) anzusetzen, ansonsten beträgt der Luftwechsel vom 01.01 - 31.12. $n = 0.5 h^{-1}$. Abbildung 2.3 zeigt den Zeitplan für den Luftwechsel.

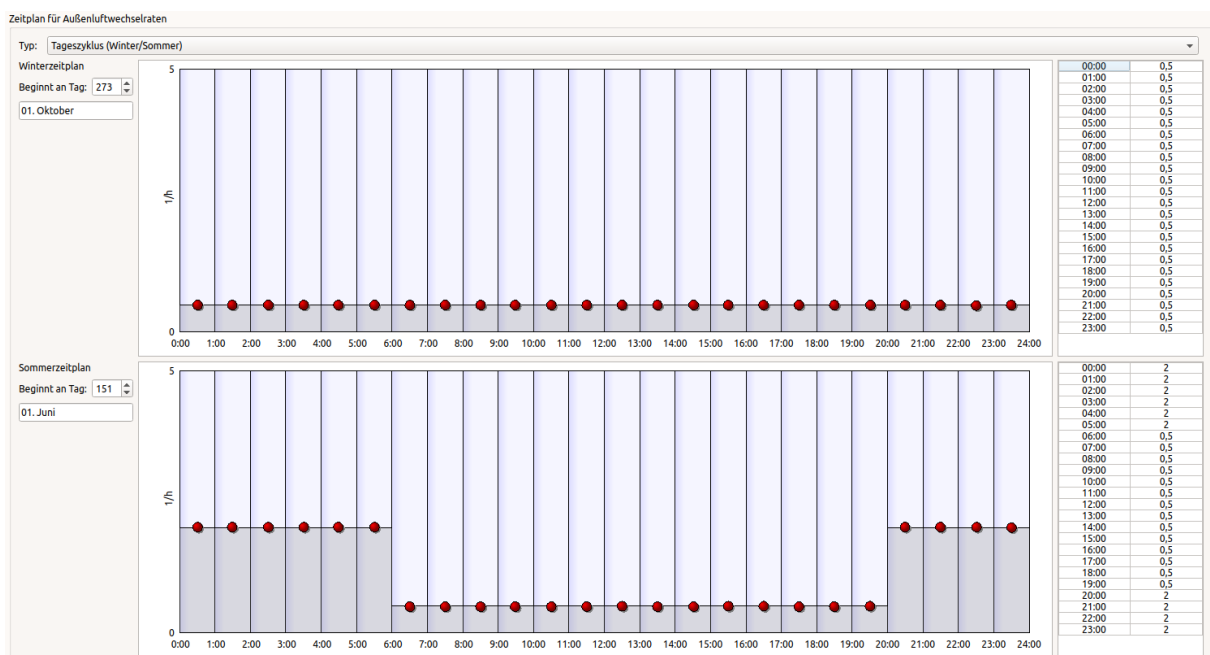


Abbildung 2.3: Zeitplan für die Luftwechselrate

2.7.6 Prüfvariante 6 (11.6) - Integration einer passiven Kühlung

Diese Variante basiert auf der Prüfvariante 11.5.

Im Fußboden wird eine Schicht mit einem detaillierten Modell zur Flächenkonditionierung integriert. Alle Parameter sind Abschnitt 2.6.1 zu entnehmen. Ein langwelliger Strahlungsaustausch durch Innenflächen soll berücksichtigt werden. Die Emissionsgrade der Innen- und Außenflächen jedes Elementes, einschließlich Decke und Fußboden, dazu auf $\epsilon = 1$ gesetzt. Die Vorlauftemperatur wird auf konstant 20°C gesetzt. Der Massestrom soll bei geöffnetem Ventil $\dot{m} = 0.2 \text{ kg/s}$ betragen. Das Ventil öffnet bei einer Raumlufthtemperatur von größer als $T > 24^\circ\text{C}$.

Zusätzlich wird der Übergangskoeffizient auf der Innenseite des Fußbodens auf $h_{c,i} = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ angepasst.

Anmerkung: Die Regelung des Thermostatventils soll durch einen Zweipunktregler mit einer Hysterese von $\Delta T = 1 \text{ K}$ stattfinden ($T_{RL} < 20^\circ\text{C}$: Ventil auf; $T_{RL} > 21^\circ\text{C}$: Ventil zu).

2.7.7 Prüfvariante 7 (11.7) - Detaillierte Modelle

Folgt noch.

3 Ergebnisse

3.1 Regeln für die Berechnung

Es bestehen folgende Berechnungsregeln:

- Es soll jeweils die Normalzeit (Winterzeit) verwendet werden.
- Es soll kein Schaltjahr verwendet werden.
- Die Berechnungsergebnisse sollen in Stundenschritten protokolliert werden.
 - Bei Berechnungsprogrammen mit kleineren Schrittweiten (bspw. Sekunden) sollen die Ausgabewerte zur vollen Stunde angegeben werden.
 - Bei Ausgaben in unregelmäßigen Intervallen sollen die Ausgabewerte zur vollen Stunde gegebenfalls durch lineare Interpolation (bei unregelmäßigen Ausgabeintervallen) bestimmt und angegeben werden. Eine entsprechende Information über die Berechnungsmethode ist zu dokumentieren.

3.2 Geforderte Ergebnisse

Für jeden Berechnungszeitpunkt ist anzugeben:

- Temperatur der Innenluft als Stundenmittelwert [°C]
- gemittelte Strahlungstemperatur aller Innenoberflächen als Stundenmittelwert [°C]
- Transmittierte kurzwellige Strahlung durch das Fensters als Stundenmittelwert [W/m²]
- Heizleistung als Stundenmittelwert [W]

Die Ergebnisdaten sind mit mind. zwei Nachkommastellen zu bestimmen.

3.3 Ergebnisdatenablage

Es kann die Ergebnisdatenvorlage `SimQuality_Test11_SommerlWaermeschutz_Ergebnisvorlage.ods` verwendet werden.

Bei Ablage in einer ASCII-Datei soll eine Kopfzeile und danach Datenzeilen wie in folgendem Beispiel (die Spalten sind mit Tabulator-Zeichen getrennt) verwendet werden¹:

Time [h]	Var11.1.Raumlufttemperatur [C]	Var11.1.Trans.Strahlung.Fenster [W]	Var11.2.Raumlufttemperatur [C]	Var11.2.Trans.Strahlung.Fenster [W]	...
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
...					

Es muss weiterhin bei der Ablage der Daten die verwendete Version des Programmes und der Name des Bearbeiters dokumentiert werden.

4 Auswertung

Bearbeitung dieses Punktes wird später durchgeführt und steht derzeit noch offen zur Diskussion.

¹Hinweis: Eine solche Datei erhält man automatisch, wenn man einen entsprechenden Inhalt einer Excel-Tabelle markiert und mittels Kopieren+Einfügen in einen Texteditor kopiert.