

SimQuality - Validierung von internen Lasten

IBK, TU Dresden

6. Januar 2022

Zusammenfassung

Für die Berechnung der korrekten Wärmebilanz des Raumlufknotens ist die richtige Abbildung von internen Lasten wie Personen, elektrische Geräte und Licht notwendig. Der nachfolgend beschriebene Testfall prüft die Funktionalität eines Modells bzw. die Modellimplementierung/Software hinsichtlich der Bestimmung der Internen Lasten.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlegende Gleichungen	2
2	Aufgabenstellung	3
2.1	Geometrie	3
2.2	Wetter	3
2.3	Modellparameter	3
2.3.1	Opake Bauteile/Elemente	3
2.3.2	Anfangsbedingung	3
2.3.3	Lüftung	4
2.3.4	Übergangskoeffizienten	4
2.4	Prüfvarianten	4
2.4.1	Prüfvarianten 01 - konstante konvektive Wärmelast	4
2.4.2	Prüfvarianten 02 - konstante radiative Wärmelast	4
2.4.3	Prüfvarianten 03 - konvektive Wärmelast gesteuert nach Zeitplan	4
2.4.4	Prüfvarianten 04 - radiative Wärmelast gesteuert nach Zeitplan	4
3	Ergebnisse	6
3.1	Regeln für die Berechnung	6
3.2	Geforderte Ergebnisse	6
3.3	Ergebnisdatenablage	6
4	Auswertung	6

1 Grundlegende Gleichungen

Die Gleichungen für die Berechnung von internen Lasten sind in folgender Literatur zusammengestellt. Es wird darauf hingewiesen, da zum Teil unterschiedliche Konventionen bzw. Definitionen für Begriffe und Größen verwendet werden.

- Feist, Wolfgang: „Thermische Gebäudesimulation“; Karlsruhe 1994
- Nicolai, Andreas: „Physikalische Grundlagen des thermischen Raummodells THERAKLES“; Dresden 2013

Referenzierte Testfälle

SimQuality (TF03). "Validierung der Wärmeleitung durch opake Elemente".

2 Aufgabenstellung

Im nachfolgenden Testfall wird die korrekte Abbildung der internen Lasten nach unterschiedlichen Kriterien untersucht.

2.1 Geometrie

Für die Berechnung der internen Lasten wird folgende Geometrie aus SimQuality (TF03) verwendet:

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

Abbildung 2.1: Abbildung des Testraumes mit Bemaßung

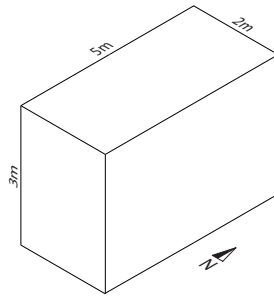


Tabelle 2.1: Merkmale der Bauteile für die Prüfung entsprechen dem Konstruktionstyp 4 von Testfall 03

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_Stein	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 - $h_c = 8 \frac{W}{m^2 K}$					

2.2 Wetter

Für die Untersuchung wird ein speziell erzeugtes Wetter verwendet (siehe Wetterdatei SIMQ_TF08_Klima.epw).

2.3 Modellparameter

2.3.1 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.

2.3.2 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 $t = 0\text{ h}$.

Anmerkung: Die Wetterdatei ist dahingehend angepasst, dass die Außenlufttemperatur bis zum 1. Februar konstant auf $T_{out} = 20^\circ C$ gesetzt ist und damit alle Programme im eingeschwungenen Zustand sein müssen. Die Auswertung beginnt dann ab dem 1. Juni bzw. dem 1. Dezember.

2.3.3 Lüftung

Der Luftvolumenstrom mit der Außenluft wird mit konstant null angesetzt (kein Luftwechsel).

Anmerkung: Für die Berechnung wird von einer konstanten Luftdichte von ca. $1,2 \text{ kg/m}^3$ bei trockener Luft (innen und außen) ausgegangen. Bei Simulationsprogrammen, welche mit feuchter Luft rechnen, sollte die Luftfeuchtigkeit im Klimadatensatz und im Gebäude auf sehr niedrige Werte eingestellt werden (ca. 1-2%), um Abweichungen aus unterschiedlichen Dichten und Wärmekapazitäten der Raumluft zu reduzieren. Dadurch können auch Kondensationseffekte an Bauteiloberflächen verhindert werden. Falls die Dichte des ausgetauschten Luftvolumens temperaturabhängig ist oder aus anderen Gründen variiert (luftdruckabhängig etc.), sollte dies notiert werden. Bei Dichteberechnungen aus Luftdruck (Klimadatensatz) sollte die Standorthöhe auf 0 m über Normalnull geändert werden.

2.3.4 Übergangskoeffizienten

Für die Wärmeübertragungsrandbedingungen sind folgende Modellparameter zu wählen:

- Der Absortionskoeffizient (Wärmeübertragung kurzwelliger Strahlung) wird für alle Außenflächen auf null gesetzt.
- Die Emissionsgrade der Innen- und Außenflächen jedes Elements, einschließlich Decke und Fußboden, werden mit null angesetzt (die Wärmeübertragung durch langwellige Strahlung an die Innen- und Außenflächen wird mit null angesetzt).
- Der innere konvektive Wärmeübergangskoeffizient jedes Elements, einschließlich Decke und Fußboden beträgt: $h_{c,i} = 2,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$
- Der äußere konvektive Wärmeübergangskoeffizient jedes Elements, einschließlich Decke und Fußboden beträgt: $h_{c,e} = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$

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 über eine Anpassung der Windgeschwindigkeit im Klimadatensatz den Übergangskoeffizienten einstellen.

2.4 Prüfvarianten

2.4.1 Prüfvarianten 01 - konstante konvektive Wärmelast

Die Wärmeleistung beträgt konstant $P_{IntLast,Kon} = 400 \text{ W}$ und wird konstant konvektiv eingetragen.

2.4.2 Prüfvarianten 02 - konstante radiative Wärmelast

Die Wärmeleistung beträgt konstant $P_{IntLast,Rad} = 400 \text{ W}$ und wird konstant radiativ eingetragen. Dafür wird der Emissionsgrad aller Innenflächen auf $\varepsilon = 1.0$ gesetzt.

Anmerkung: Für die Verteilung der langwelligen Strahlungslasten wird von einer flächengewichteten Verteilung auf alle Innenoberflächen ausgegangen.

2.4.3 Prüfvarianten 03 - konvektive Wärmelast gesteuert nach Zeitplan

Die Wärmeleistung wird nach Tab.2.2 gesteuert. Die Wärmeleistung beträgt je Zeitschritt $P_{IntLast,kon,i} = 1000 \text{ W} \cdot Wert_{Zeitplan,i}$ und wird komplett konvektiv eingetragen

2.4.4 Prüfvarianten 04 - radiative Wärmelast gesteuert nach Zeitplan

Die Wärmeleistung wird nach Tab.2.2 gesteuert. Die Wärmeleistung beträgt je Zeitschritt $P_{IntLast,Rnullad,i} = 1000 \text{ W} \cdot Wert_{Zeitplan,i}$ und wird komplett radiativ eingetragen. Dafür wird der Emissionsgrad aller Innenflächen auf $\varepsilon = 1.0$ gesetzt.

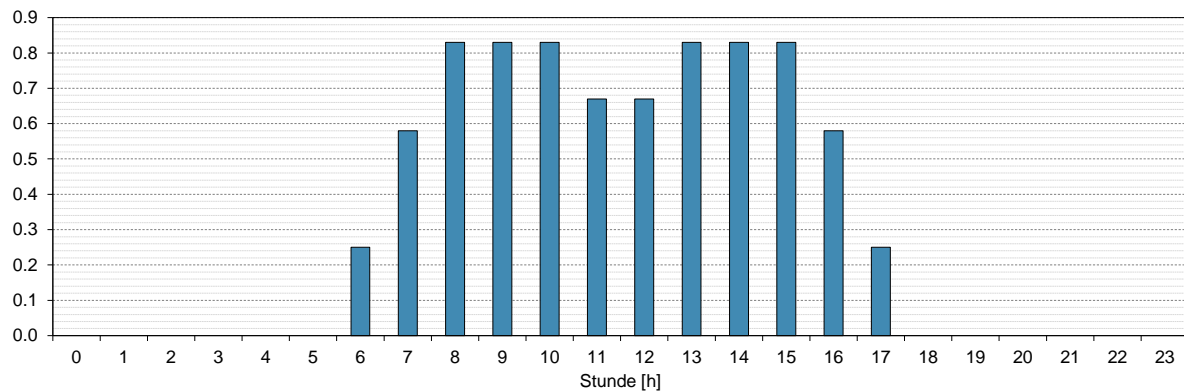
Die ZeitplanWerte zur Steuerung der internen Last sind als konstante Werte je Zeitschritt zu verstehen (Sprungfunktion, keine lineare Interpolation). Das Modell, das dafür verwendet wird (Elektrische Gräte, Licht, etc.), ist so zu wählen, dass die Art des Wärmeeintrages der Vorlage des jeweiligen Testfalls entspricht.

Anmerkung: Für die Verteilung der langwelligen Strahlungslasten wird von einer flächengewichteten Verteilung auf alle Innenoberflächen ausgegangen.

Tabelle 2.2: Zeitplan für die internen Lasten (insgesamt 8h pro Tag)

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



Anmerkung: Alle Wärmeeinträge werden erst ab dem 1. Februar 0:00 Uhr eingetragen. Davor findet aufgrund der Einschwingphase kein Wärmeeintrag statt. Der Verlauf entspricht der Anwesenheitsverteilung für einen typischen Bürotag.

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 Momentanwert [°C]
- konvektive Wärmeübertragung der Südwand aufgeschlüsselt zum Raumluftknoten als Stundenintegral [W/m²] (Der Wärmestrom wird aus dem Bauteil heraus über die Oberfläche hin zum angrenzenden Luftknoten als positiv definiert)
- Temperatur der Innenoberfläche der Südwand als Momentanwert [°C]

Die Ergebnisdaten sind mit mind. zwei Nachkommastellen zu bestimmen.

3.3 Ergebnisdatenablage

Es kann die Ergebnisdatenvorlage `SimQuality_Test08_InterneLasten_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]	Var08.1_AirTemp [C]	Var08.2_AirTemp [C]	Var08.3_AirTemp [C]	Var08.4_AirTemp [C]	...
0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
...					

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

4 Auswertung

In der Bewertung werden unterschiedliche Kriterien geprüft, die nachfolgend benannt werden:

1. Absolute Abweichungen der Raumlufttemperaturen für Variante 01 sowie Variante 02 (< 0.1 K Abweichung zulässig, da quasi-stationär)
2. Statistische Abweichungen der Raumlufttemperaturen für Variante 03 sowie Variante 04. Siehe Erklärung nachfolgend.

Um den dynamischen Verlauf der Programme qualitativ bewerten zu können, werden unterschiedliche statistische Methoden verwendet. Dafür dient einerseits der „Coefficient of Variation“ ($CV(RMSD)$) andererseits der *Coefficient of Determination for non-linear regression* (R^2). Für den $CV(RMSD)$ wird zuerst die *Root-mean-square-deviation* ($RMSD$) definiert, die auch als *Wurzel der mittleren Fehlerquadratsummen* bezeichnet wird. Je geringer dieser Wert ist, desto geringer ist die Abweichung einer Kurve von der Referenzkurve:

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

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (y_{Tool,t} - y_{Ref,t})^2}{T}}$$

Anschließend wird der $CV(RMSD)$ anhand des Mittelwertes der Prüfwerte des zu überprüfenden Programmes \bar{y}_{Tool} gebildet:

$$CV(RMSD) = \frac{RMSD}{\bar{y}_{Tool}}$$

Weiterhin wird der bereits genannte R^2 -Wert für die Auswertung verwendet, der anzeigt, wie gut die vom zu validierenden Programm errechneten Werte mit den Referenzwerten übereinstimmen. Ist der Wert nahe 1 bzw. 100% so ist die Übereinstimmung sehr gut. Wird der Wert geringer, so ist Übereinstimmung nicht hoch. Dieser bildet sich wie folgt und kann auch als *Bestimmtheitsmaß* bezeichnet werden. Normalerweise wird dieser nur für lineare Regressionen verwendet, kann aber auch abweichend dazu für die Analyse der Kurvenübereinstimmung verwendet werden:

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (y_{Tool,t} - \bar{y}_{Ref})^2}{\sum_{t=1}^T (y_{Ref,t} - \bar{y}_{Ref})^2}$$

Für die Prüfvarianten 01 bis 03 bilden sich folgende (noch zu diskutierende) Bewertungskriterien:

- $CV(RMSD) \leq 2\%$
- $R^2 \geq 80\%$