

SimQuality - Validierung von internen Lasten

IBK, TU Dresden

6. Juli 2021

Zusammenfassung

Für die Berechnung der korrekten Wärmebilanz des Raumluftknotens 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	Tools, Berechnungsvarianten und Bemerkungen	2
1.1	Tools	2
1.2	Bemerkungen und Probleme	2
2	Ergebnisse	3
2.1	Zeitliche Verläufe	3
2.1.1	Variante 01 - konstante konvektive interne Last	3
2.1.2	Variante 02 - konstante radiative Wärmelast	4
2.1.3	Variante 03 - konvektive Wärmelast gesteuert nach Zeitplan	5
2.1.4	Variante 04 - radiative Wärmelast gesteuert nach Zeitplan	6
3	Auswertung	7
4	Bewertung	7
4.1	absolute Abweichungskriterien	7
4.2	statistische Abweichungskriterien	7
4.3	Gesamtbewertung	9

1 Tools, Berechnungsvarianten und Bemerkungen

1.1 Tools

Die in Tab. 1.1 aufgeführten Programme haben an dem Testfall teilgenommen.

Tabelle 1.1: Übersicht über die Programme, die an dem Testfall „Lüftung“ teilgenommen haben

Programm	Version	Bearbeiter
NANDRAD	1.8	Stephan Hirth, IBK TU Dresden
Therakles	3.3.1	Andreas Nicolai, IBK TU Dresden
IDA ICE	4.8.0.1	Caroline Seifert, INNIUS DÖ
TRNSYS	18	Julian Agudelo, Hochschule München
ETU / Hottgenroth	4.1	Dr. Rainer Rolfs, ETU Hottgenroth
Modelica	Dymola Version 4.1 AixLib Version 0.7.3	Amin Nouri, RWTH Aachen
TAS	-	-

1.2 Bemerkungen und Probleme

Folgende Punkte müssen bei der Erstellung des Testfalles betrachtet werden:

- Einschwingphase zur Erzeugung einheitlicher Anfangsbedingungen
- korrekte Abbildung von Zeitplänen
- korrekte Berücksichtigung des Emissionsgrades von inneren Oberflächen beim langwelligen Strahlungsaustausch
- Berechnung von Oberflächentemperaturen

2 Ergebnisse

Um die vom jeweiligen Programm errechneten Energiebilanzen zu überprüfen, werden mehrere Ergebnisse geprüft. Dazu zählen die Raumlufthtemperatur aber auch die Oberflächentemperatur der südlichen Innenwand.

2.1 Zeitliche Verläufe

2.1.1 Variante 01 - konstante konvektive interne Last

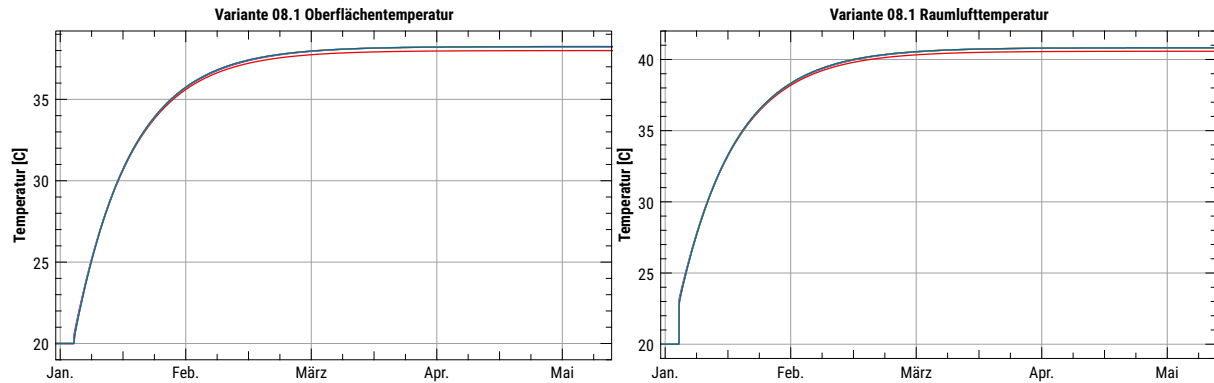


Abbildung 2.1: Oberflächentemperatur & Raumlufthtemperatur für Variante 01 für den gesamten Zeitraum

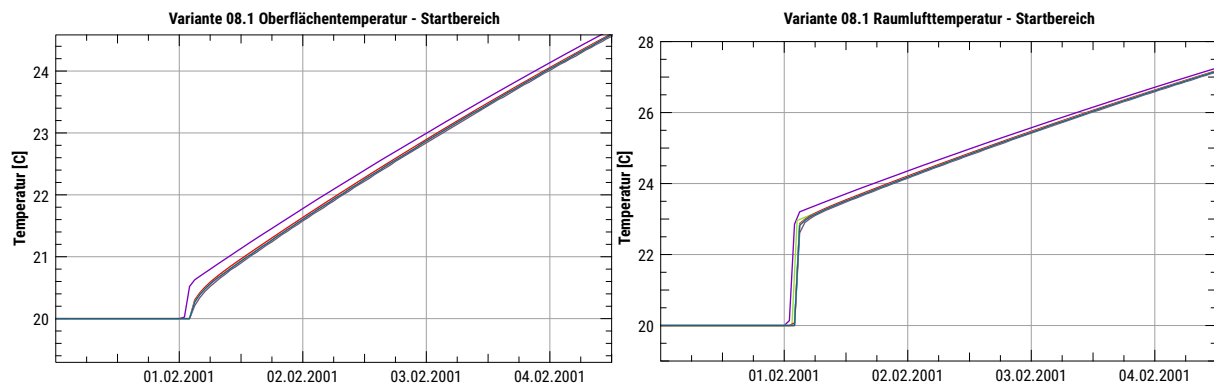
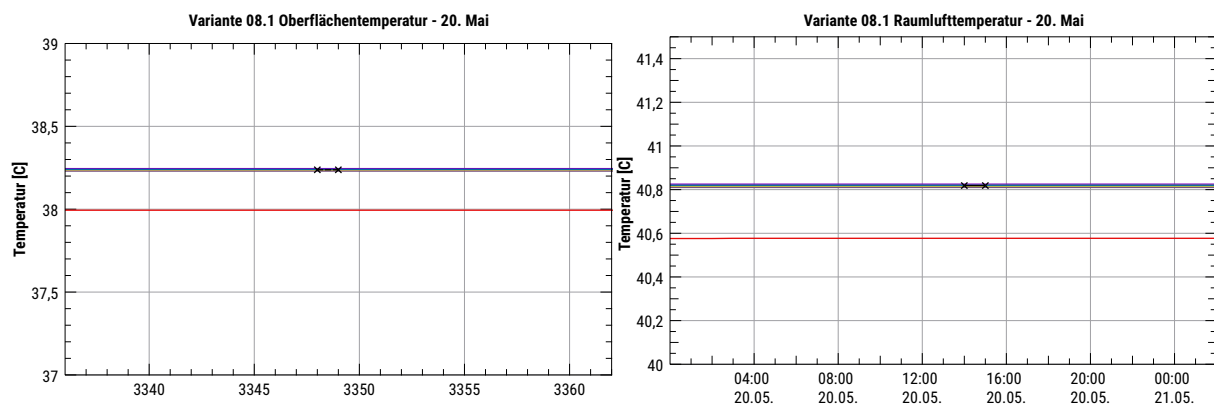


Abbildung 2.2: Oberflächentemperatur & Raumlufthtemperatur für Variante 01 für den Anfangsbereich



— Aixlib
 — ETU
 — IDAICE
 — NANDRAD
 — TAS
 — THERAKLES
 — TRNSYS
 ● Referenz

Abbildung 2.3: Oberflächentemperatur & Raumlufthtemperatur für Variante 01 für den Validierungsbereich am 20. Mai

2.1.2 Variante 02 - konstante radiative Wärmelast

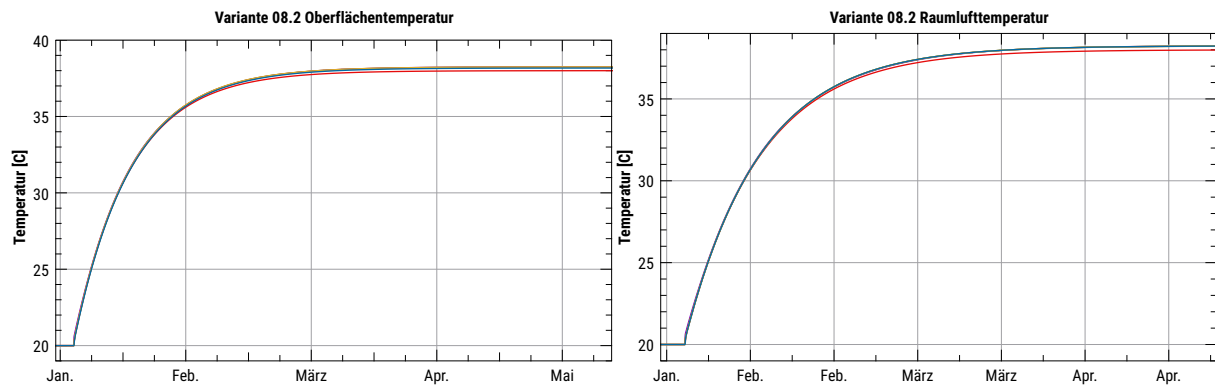


Abbildung 2.4: Oberflächentemperatur & Raumlufthtemperatur für Variante 01 für den gesamten Zeitraum

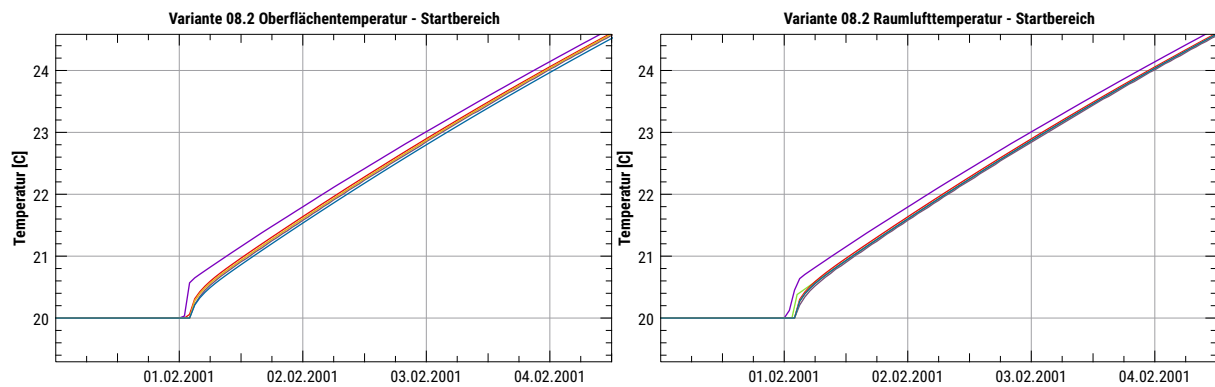


Abbildung 2.5: Oberflächentemperatur & Raumlufthtemperatur für Variante 01 für den Anfangsbereich

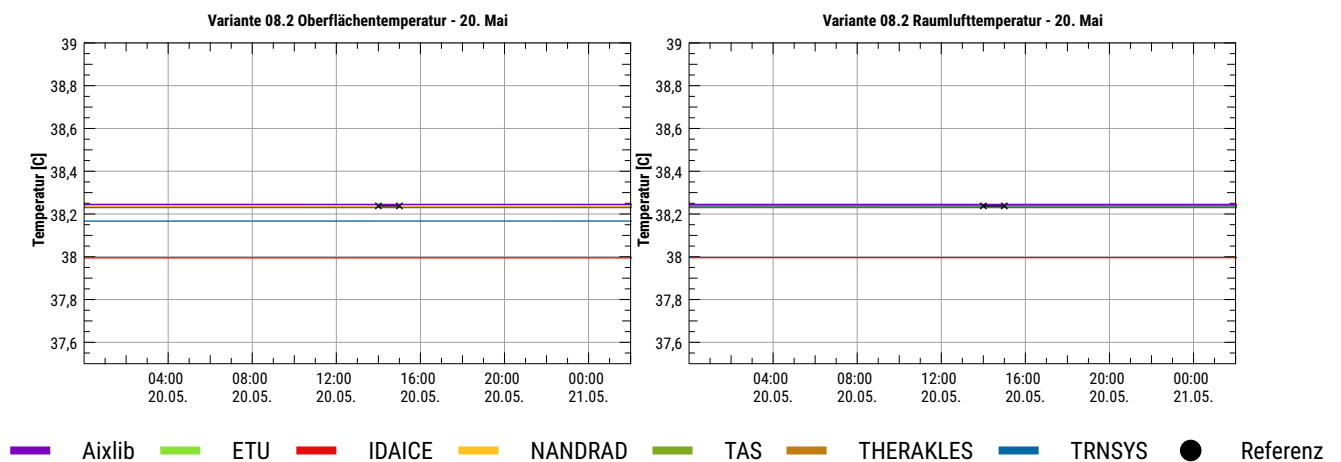


Abbildung 2.6: Oberflächentemperatur & Raumlufthtemperatur für Variante 01 für den Validierungsbereich am 20. Mai

2.1.3 Variante 03 - konvektive Wärmelast gesteuert nach Zeitplan

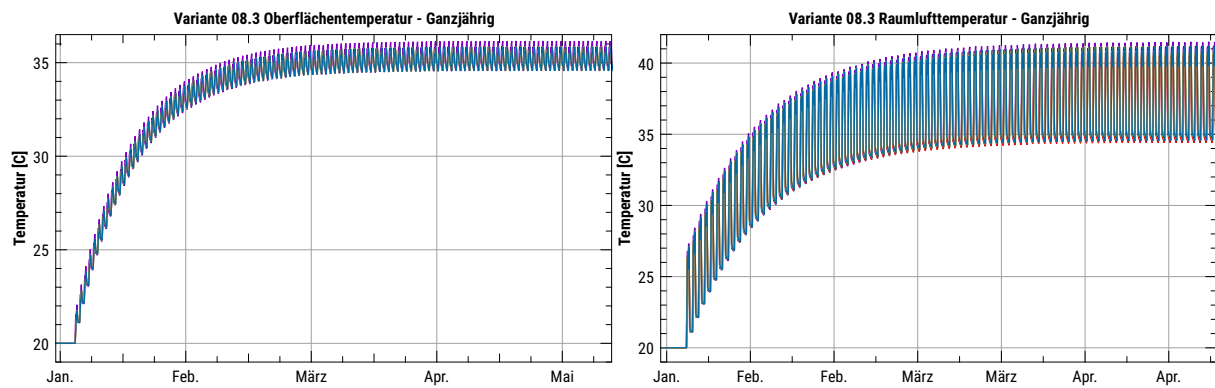


Abbildung 2.7: Oberflächentemperatur & Raumlufttemperatur für Variante 01 für den gesamten Zeitraum

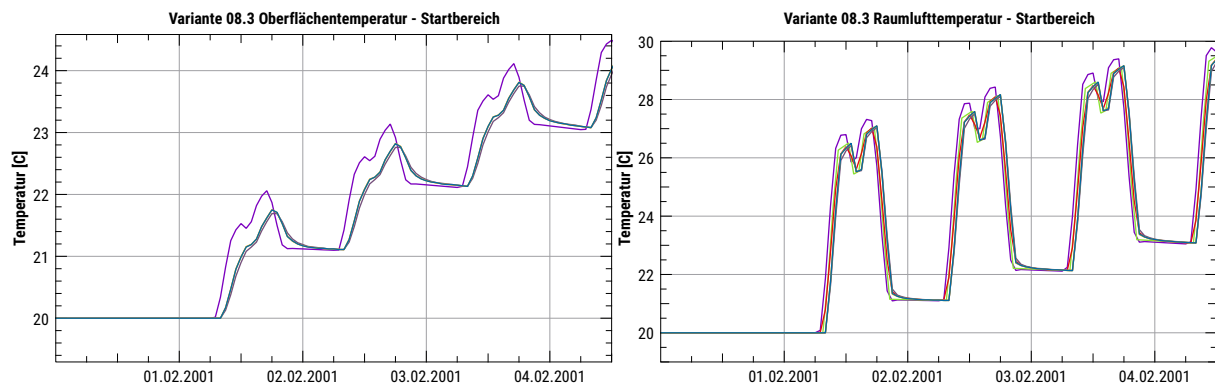


Abbildung 2.8: Oberflächentemperatur & Raumlufttemperatur für Variante 01 für den Anfangsbereich

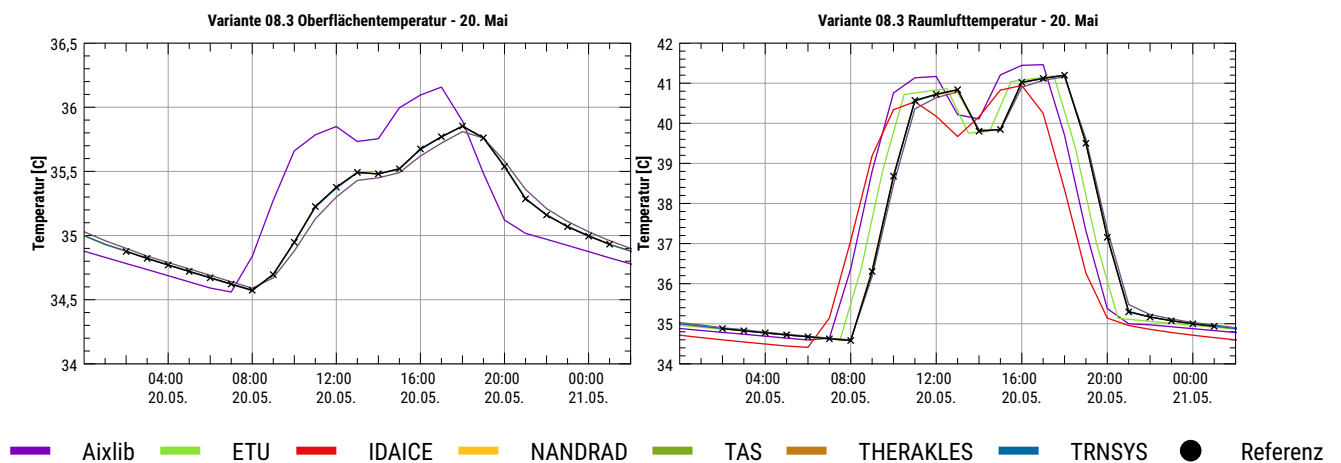


Abbildung 2.9: Oberflächentemperatur & Raumlufttemperatur für Variante 01 für den Validierungsbereich am 20. Mai

2.1.4 Variante 04 - radiative Wärmelast gesteuert nach Zeitplan

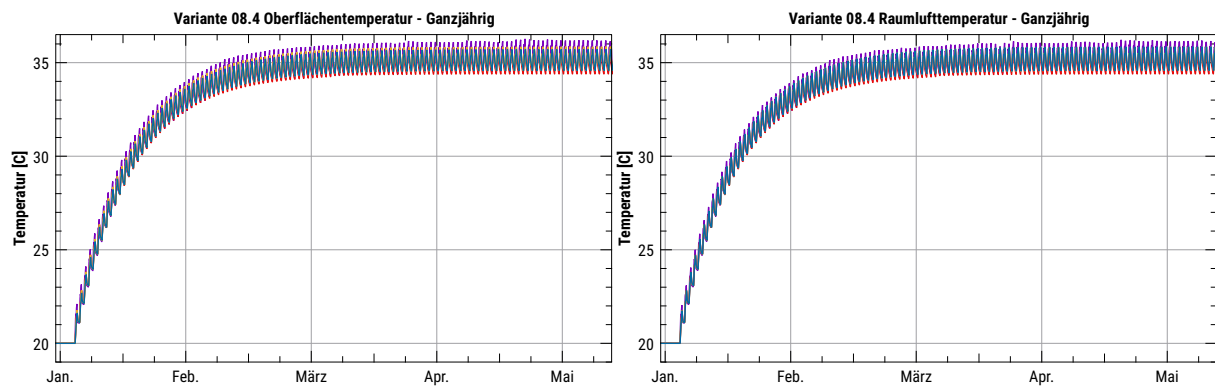


Abbildung 2.10: Oberflächentemperatur & Raumlufttemperatur für Variante 01 für den gesamten Zeitraum

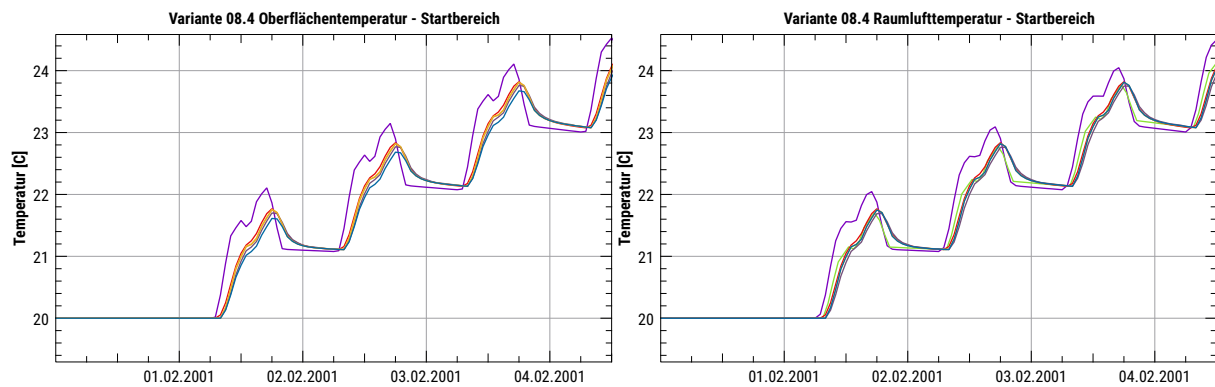


Abbildung 2.11: Oberflächentemperatur & Raumlufttemperatur für Variante 01 für den Anfangsbereich

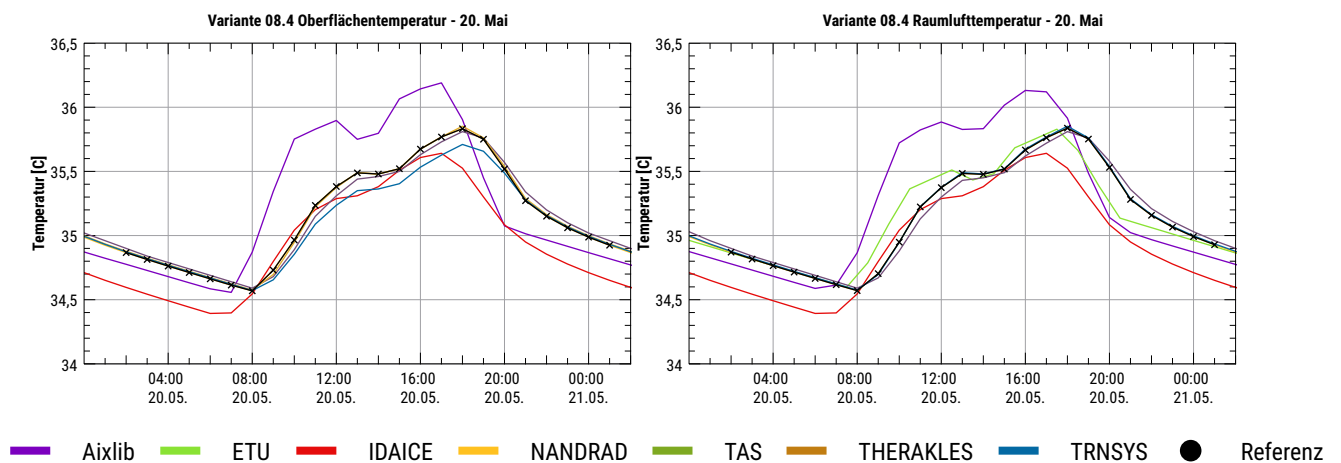


Abbildung 2.12: Oberflächentemperatur & Raumlufttemperatur für Variante 01 für den Validierungsbereich am 20. Mai

3 Auswertung

Bezüglich der Ergebnisse sind einige Differenzen festzustellen, die aber geringer sind als in den vorhergehenden Testfällen (ausgenommen der Lüftungstestfall), die stärker durch äußere Einflüsse geprägt sind. Das liegt daran, dass bei Randbedingungen, die durch innere Lasten geprägt sind, dynamische Speichereffekte in Wand-Ersatzmodellen einen deutlich geringeren Einfluss auf die Raumluft- aber auch Oberflächentemperatur angrenzender Bauteile aufweisen. Dennoch gibt es einige Programme insbesondere bei IDA ICE und AixLib, die erhöhte Abweichungen aufweisen. Weiterhin ist zu beachten, dass ETU Simulation alle angrenzenden Bauteile als eine Speichermasse zusammenfasst und damit keine oberflächenspezifischen Ausgaben erzeugen kann. Damit sind keine Wandoberflächentemperaturen der Südwand für ETU Simulation möglich, weshalb bei den Validierungskriterien ETU Simulation nur anhand der Raumlufttemperatur geprüft werden kann.

4 Bewertung

4.1 absolute Abweichungskriterien

Da bei den ersten beiden Testfällen die Außenluft als auch der Absolutwert der internen Lasten konstant sind, ergibt sich ein konstanter Zustand der Innenluft- und Oberflächentemperatur im eingeschwungenen Zustand. Damit lassen sich beide Varianten sehr gut durch eine maximale Abweichung zum Referenzprogramm zu einem spezifischen Zeit bestimmen und bewerten.

Im eingeschwungenen Zustand wird die absolute Differenz zwischen den erreichten Temperaturen der Innenluft ausgewertet. Dazu wird eine maximale Differenz von $\Delta T < 0.1$ wegen der kleinen Gebäudekubatur zugelassen.

Tabelle 4.1: Auswertung der Varianten 01 und 02 anhand absoluter Abweichungskriterien

Variante 01					
Raumlufttemperatur	3348.0 h	Difference	3348.0 h		
Aixlib	40.83	Aixlib	0.01	erfüllt	
ETU	40.82	ETU	0.00	erfüllt	
IDAICE	40.58	IDAICE	0.24	---	
NANDRAD	40.82	NANDRAD	0.00	erfüllt	
TAS	40.81	TAS	0.01	erfüllt	
THERAKLES	40.82	THERAKLES	0.00	erfüllt	
TRNSYS	40.82	TRNSYS	0.00	erfüllt	
Variante 01					
Oberflächentemperatur	3348.0 h	Difference	3348.0 h		
Aixlib	38.25	Aixlib	0.01	erfüllt	
ETU	-	ETU	-	---	
IDAICE	37.99	IDAICE	0.24	---	
NANDRAD	38.24	NANDRAD	0.00	erfüllt	
TAS	38.23	TAS	0.01	erfüllt	
THERAKLES	38.24	THERAKLES	0.00	erfüllt	
TRNSYS	38.24	TRNSYS	0.00	erfüllt	
Variante 02					
Raumlufttemperatur	3348.0 h	Difference	3348.0 h		
Aixlib	38.25	Aixlib	0.01	erfüllt	
ETU	38.24	ETU	0.00	erfüllt	
IDAICE	38.00	IDAICE	0.24	---	
NANDRAD	38.24	NANDRAD	0.00	erfüllt	
TAS	38.23	TAS	0.01	erfüllt	
THERAKLES	38.24	THERAKLES	0.00	erfüllt	
TRNSYS	38.24	TRNSYS	0.00	erfüllt	
Variante 02					
Oberflächentemperatur	3348.0 h	Difference	3348.0 h		
Aixlib	38.25	Aixlib	0.01	erfüllt	
ETU	-	ETU	-	---	
IDAICE	38.00	IDAICE	0.24	---	
NANDRAD	38.24	NANDRAD	0.00	erfüllt	
TAS	38.23	TAS	0.01	erfüllt	
THERAKLES	38.24	THERAKLES	0.00	erfüllt	
TRNSYS	38.17	TRNSYS	0.07	erfüllt	

4.2 statistische Abweichungskriterien

In der Variante 03 und 04 erfolgt durch die zeitliche Abhängigkeit der internen Lasten eine spezifische Schwingung der Innenluft- sowie Oberflächentemperatur. Um diese durch die Programme errechneten Ergebnisdaten

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:

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

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 03 bis 04 bilden sich folgende (noch zu diskutierende) Bewertungskriterien:

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

In Tab. 4.2, 4.3, 4.4 und 4.5 sind die Abweichungen dargelegt.

Tabelle 4.2: Auswertung der Raumlufttemperatur der Variante 03 anhand statistischer Prüfkriterien

Variante 03 Raumlufttemperatur	RMSE	nRMSE	CV(RMSE)	R	
Aixlib	1.070	0.160	2.9%	85.6%	---
ETU	0.580	0.090	1.6%	95.1%	erfüllt
IDAICE	-	-	-	-	---
NANDRAD	0.000	0.000	0.0%	100.0%	erfüllt
TAS	0.100	0.010	0.3%	99.9%	erfüllt
THERAKLES	0.020	0.000	0.1%	100.0%	erfüllt
TRNSYS	0.010	0.000	0.0%	100.0%	erfüllt

Tabelle 4.3: Auswertung der Oberflächentemperatur der Variante 03 anhand statistischer Prüfkriterien

Variante 03 Oberflächentemperatur	RMSE	nRMSE	CV(RMSE)	R	
Aixlib	0.330	0.210	0.9%	61.4%	---
ETU	-	-	-	-	---
IDAICE	-	-	-	-	---
NANDRAD	0.000	0.000	0.0%	100.0%	erfüllt
TAS	0.050	0.040	0.1%	98.6%	erfüllt
THERAKLES	0.000	0.000	0.0%	100.0%	erfüllt
TRNSYS	0.000	0.000	0.0%	100.0%	erfüllt

Tabelle 4.4: Auswertung der Raumlufthtemperatur der Variante 04 anhand statistischer Prüfkriterien

Variante 04					
Raumlufthtemperatur	RMSE	nRMSE	CV(RMSE)	R	
Aixlib	0.350	0.230	1.0%	58.1%	---
ETU	0.120	0.110	0.4%	88.4%	erfüllt
IDAICE	0.250	0.200	0.7%	63.3%	---
NANDRAD	0.000	0.000	0.0%	100.0%	erfüllt
TAS	0.050	0.040	0.1%	98.6%	erfüllt
THERAKLES	3.170	0.480	8.5%	-43.1%	---
TRNSYS	0.010	0.000	0.0%	100.0%	erfüllt

Tabelle 4.5: Auswertung der Raumlufthtemperatur der Varianten 04 anhand statistischer Prüfkriterien

Variante 04					
Oberflächentemperatur	RMSE	nRMSE	CV(RMSE)	R	
Aixlib	0.360	0.220	1.0%	57.9%	---
ETU	-	-	-	-	---
IDAICE	0.240	0.190	0.7%	64.4%	---
NANDRAD	0.000	0.000	0.0%	100.0%	erfüllt
TAS	0.040	0.040	0.1%	98.7%	erfüllt
THERAKLES	0.010	0.010	0.0%	99.9%	erfüllt
TRNSYS	0.080	0.070	0.2%	94.2%	erfüllt

4.3 Gesamtbewertung

In Tab. 4.6 ist die gesamte Auswertung dargestellt. Für die Programme NANDRAD, TRNSYS und TAS werden für Prüfvariante 01, 02, 03 sowie 04 2 von 2 Prüfkriterien eingehalten. Für das Programm AixLib ergibt sich für Prüfvariante 01 sowie 02 die Einhaltung von 2 von 2 Prüfkriterien. Bei Prüfvariante 03 sowie 04 werden jeweils 0 von 2 Prüfkriterien eingehalten. Bei ETU Simulation werden bei Variante 01 sowie 02 1 von 2 Prüfkriterien eingehalten. Bei Variante 03 werden 1 von 2 Prüfkriterien sowie bei Variante 04 0 von 2 Prüfkriterien eingehalten. Durch die fehlende Oberflächentemperatur kann jedoch bei Übereinstimmung der Raumlufthtemperatur angenommen werden, dass diese ebenso korrekt ist. Damit ergibt sich für Prüfvariante 01 bis 03 die Einhaltung von 1 von 1 Prüfkriterien. Bei IDA ICE ergibt sich durch die hohen Abweichungen in Variante 01 und 02 sowie das Fehlen der Variante 03 ein leicht anderes Bild: Für Variante 01 und 02 ergeben sich dabei das Erreichen von 0 von 2 Prüfkriterien. Für Variante 03 das Erreichen von 1 von 2 Prüfkriterien und für Variante 04 das Erreichen von 0 von 2 Prüfkriterien. Die Eingaben für AixLib und IDA ICE sollten dahingehend noch einmal tiefergehend auf Richtigkeit geprüft werden.

Tabelle 4.6: Gesamte Auswertung des Testfalles

Variante 01	Raumlufttempertur	Oberflächentemperatur	
Aixlib	erfüllt	erfüllt	2 / 2
ETU	erfüllt	---	1 / 2
IDAICE	---	---	0 / 2
NANDRAD	erfüllt	erfüllt	2 / 2
TAS	erfüllt	erfüllt	2 / 2
THERAKLES	erfüllt	erfüllt	2 / 2
TRNSYS	erfüllt	erfüllt	2 / 2

Variante 02	Raumlufttempertur	Oberflächentemperatur	
Aixlib	erfüllt	erfüllt	2 / 2
ETU	erfüllt	---	1 / 2
IDAICE	---	---	0 / 2
NANDRAD	erfüllt	erfüllt	2 / 2
TAS	erfüllt	erfüllt	2 / 2
THERAKLES	erfüllt	erfüllt	2 / 2
TRNSYS	erfüllt	erfüllt	2 / 2

Variante 03	Raumlufttempertur	Oberflächentemperatur	
Aixlib	---	---	0 / 2
ETU	erfüllt	---	1 / 2
IDAICE	---	---	0 / 2
NANDRAD	erfüllt	erfüllt	2 / 2
TAS	erfüllt	erfüllt	2 / 2
THERAKLES	erfüllt	erfüllt	2 / 2
TRNSYS	erfüllt	erfüllt	2 / 2

Variante 04	Raumlufttempertur	Oberflächentemperatur	
Aixlib	---	---	0 / 2
ETU	erfüllt	---	1 / 2
IDAICE	---	---	0 / 2
NANDRAD	erfüllt	erfüllt	2 / 2
TAS	erfüllt	erfüllt	2 / 2
THERAKLES	---	erfüllt	1 / 2
TRNSYS	erfüllt	erfüllt	2 / 2