

SimQuality - Validierung der Strahlungsberechnung auf eine ausgerichtete und geneigte Fläche

IBK, TU Dresden

6. Januar 2022

Zusammenfassung

Für die Berechnung der solaren Lasten in der thermischen Gebäudesimulation ist die korrekte Abbildung der Strahlungsintensität auf eine (ausgerichtete und geneigte) Fläche notwendig. Der nachfolgend beschriebene Testfall prüft die Funktionalität eines Modells bzw. die Modellimplementierung/Software hinsichtlich der Bestimmung der Strahlungsberechnung auf beliebig geneigte und ausgerichtete Flächen.

Inhaltsverzeichnis

1	Tools, Berechnungsvarianten und Bemerkungen	3
1.1	Tools	3
1.2	Varianten	3
1.3	Probleme bei der Durchführung	3
1.4	Anmerkungen zur Auswertung	3
1.4.1	Interpretation der Klimadaten	3
1.4.2	Berechnung von Wärmeeinträgen (Energien) aus Stundenwerten	4
2	Ergebnisse	6
2.1	Jährlich auftreffende Energiemengen	6
2.2	Minutliche Verläufe	9
2.2.1	Horizontalfläche	9
2.2.2	Nordseite, 90° Neigung	10
2.2.3	Nordseite, 30° Neigung	11
2.2.4	Ostseite, 90° Neigung	12
2.2.5	Ostseite, 30° Neigung	13
2.2.6	Südseite, 90° Neigung	14
2.2.7	Südseite, 30° Neigung	15
2.2.8	Westseite, 90° Neigung	16
2.2.9	Westseite, 30° Neigung	17
3	Auswertung	18
3.1	Direktstrahlungsberechnung	18
3.2	Diffusstrahlungsberechnung	18
4	Bewertung	18

Abbildungsverzeichnis

1.1	Berechnete minutliche Strahlungslasten für eine Dachfläche (30°, Ostausrichtung) unter Verwendung beider Interpretationsvarianten	4
1.2	Ausgabe von Momentanwerten (stündliche und minutliche Werte) und Stundenmittelwerten, wobei letztere einmal als Datenpunkte am Stundenende und einmal als Datenpunkte in Stundenmitte angezeigt werden, für eine Westwand am 27. Juli.	5
2.1	Energieeintrag (Globalstrahlung) auf alle senkrechten Flächen und die Horizontalfläche; Oben: nur isotrope Strahlungsmodelle, Mitte: nur Perez-Modellvarianten; Unten: alle Ergebnisse	6
2.2	Energieeintrag (direkte und diffuse Strahlungsenergie) auf alle senkrechten Flächen und die Horizontalfläche*	7

2.3	Energieeintrag aus Globalstrahlung auf alle Flächen mit 30° Neigung	8
2.4	Strahlungslasten auf Horizontalflächen	9
2.5	Strahlungslasten auf Flächen mit Nordausrichtung und 90° Neigung (senkrechte Wand)	10
2.6	Strahlungslasten auf Flächen mit Nordausrichtung und 30° Neigung	11
2.7	Strahlungslasten auf Flächen mit Ostausrichtung und 90° Neigung (senkrechte Wand)	12
2.8	Strahlungslasten auf Flächen mit Ostausrichtung und 30° Neigung	13
2.9	Strahlungslasten auf Flächen mit Südausrichtung und 90° Neigung (senkrechte Wand)	14
2.10	Strahlungslasten auf Flächen mit Südausrichtung und 30° Neigung	15
2.11	Strahlungslasten auf Flächen mit Westausrichtung und 90° Neigung (senkrechte Wand)	16
2.12	Strahlungslasten auf Flächen mit Westausrichtung und 30° Neigung	17

1 Tools, Berechnungsvarianten und Bemerkungen

1.1 Tools

Tabelle 1.1: Übersicht über die verwendeten Programme für die Berechnung der solaren Lasten

Programm	Version	Bearbeiter
NANDRAD	1.8	Dirk Weiß, IBK TU Dresden
Radiance	5.2.0	Stephan Hirth, IBK TU Dresden
IDA ICE	4.8.0.1	Caroline Seifert, INNIUS DÖ
TRNSYS	18	Julian Agudelo, Hochschule München
THERAKLES	3.4.0	Andreas Nicolai, IBK TU Dresden
ETU / HottCAD	5.1.x.19	Rainer Rolfs, ETU Hottgenroth
Modelica/AixLib	Dymola Version 4.1 AixLib Version 0.7.3	Amin Nouri, RWTH Aachen
TAS	9.5.0	Rainer Strobel, PGMM

Anmerkung: NANDRAD und THERAKLES verwenden die gleiche Bibliothek für die Solarstrahlungsrechnung und erzeugen daher identische Ergebnisse. In der Auswertung werden daher nur die Ergebnisse für THERAKLES gezeigt.

1.2 Varianten

Zwei Varianten des Testfalls werden unterschieden:

- Strahlungsmodelle mit isotropem Diffusstrahlungsmodell (Bezeichnung: *Isotrop*)
- Strahlungsmodelle mit anisotropem Diffusstrahlungsmodell, z.B. Perez-Modell (Bezeichnung: *Perez*)

1.3 Probleme bei der Durchführung

- Interpretation der Eingangsstrahlungsdaten
- Rekonstruktion der zeitlichen Verläufe der Strahlungsdaten bei den Minutenwerten
- Ausgabe von stündlichen Daten einmal als integrale Mittelwerte und einmal als Momentanwerte (siehe Diskussion im nächsten Abschnitt)

1.4 Anmerkungen zur Auswertung

1.4.1 Interpretation der Klimadaten

In diesem Testfall sind die Klimadaten für die direkte und diffuse Solarstrahlung relevant. Diese werden im Stundenraster gegeben, wobei zwei unterschiedliche Interpretationen möglich sind. Üblich ist die Annahme, dass es sich bei Lasten/Flussgrößen (hier Strahlungswärmeströmen) um integrale Mittelwerte des vorangegangenen Intervalls (Stunde) handelt. So ist die Aufgabenstellung bei TF02 auch definiert. Es gibt jedoch auch die Möglichkeit, Klimadaten als Momentanwerte zum jeweils gegebenen Zeitpunkt aufzufassen (d.h. Ende der Stunde). Setzt man für beide Sichtweisen einen linearen Verlauf zwischen den Stützstellen an, so ergeben sich um 30 min verschobene Strahlungslastkurven.

Diese wirken sich auf die berechneten Strahlungslasten aus, wie in Abbildung 1.1 am Beispiel von THERAKLES gezeigt ist. Dabei wird in beiden Varianten die gleiche Klimadatei verwendet. Da sich innerhalb der Stunde auch der Sonnenstand gleitend ändert, sind die Kurven nicht nur um 30 min verschoben, sondern auch geringfügig verformt.

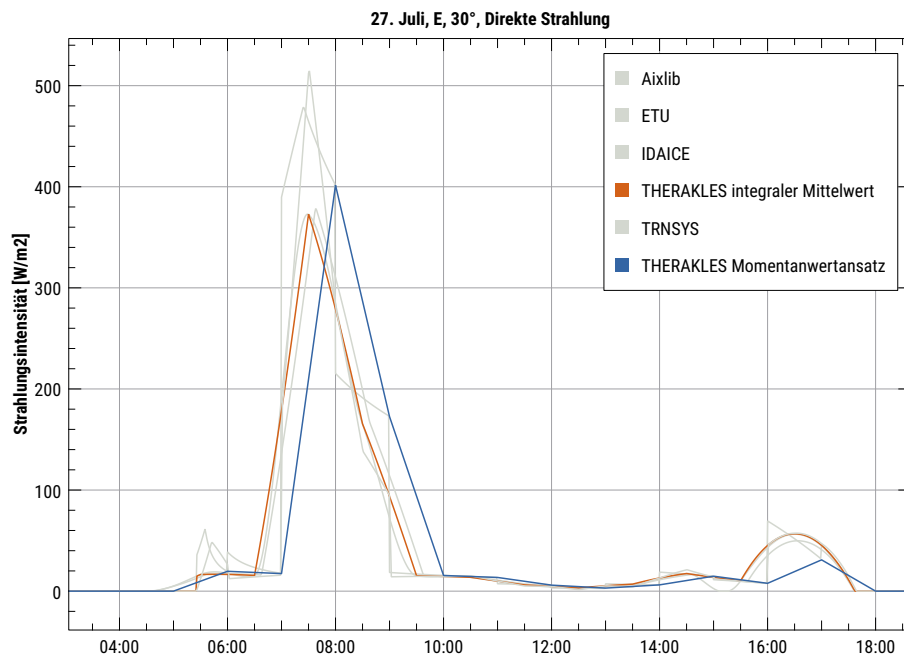


Abbildung 1.1: Berechnete minütliche Strahlungslasten für eine Dachfläche (30°, Ostausrichtung) unter Verwendung beider Interpretationsvarianten

Die Interpretation der Messwerte als Stützstellen zur Mitte der Stunde liefert dann in der Stunde zwar nicht immer den gleichen Gesamtwärmeeintrag wie durch den integralen Mittelwert beschrieben, aber die Abweichungen sind insgesamt deutlich kleiner, als bei Verwendung von Momentanwerten am Stundenende. Simulationsprogramme, welche zwischen Stützstellen linear interpolieren, sollten die Messdaten daher als gegeben zur halben Stunde interpretieren.

1.4.2 Berechnung von Wärmeeinträgen (Energienmengen) aus Stundenwerten

Wenn Simulationsprogramme Stundenmittelwerte ausgeben, dann führt die einfache *Summation* dieser Stundenmittelwerte zu korrekten Tages- bzw. Jahresintegralwerten. Werden jedoch Momentanwerte (z.B. Ende der Stunde) ausgegeben, so kann es bei der Integralberechnung (Rechteckregel, Trapezregel, etc.) an einzelnen Tagen zu größeren Unterschieden im Vergleich zu Berechnungsauswertungen aus integralen Mittelwerten kommen. Zudem hängt der entstehende Fehler davon ab, wie die Stundenwerte interpretiert werden.

Abbildung 1.2 zeigt verschiedene Zeitverläufe einer Simulation. Zum einen sind die minutengenauen Momentanwerte gezeigt, wobei diese nach Sonnenuntergang 20:02 abrupt zu Null werden. Desweiteren sind die stündlichen Momentanwerte dargestellt, welche natürlich zu jeder vollen Stunde mit den minutengenauen Werten zusammenreffen. Die beiden anderen Kurven sind jeweils die stündlichen integralen Mittelwerte, einmal zur vollen Stunde aufgetragen, und einmal zur Stundenmitte. Die integralen Mittelwerte wurden aus den Minutenwerten berechnet.

Die Datenpunkte sind durch Linien verbunden und verdeutlichen den (angenommenen) linearen Verlauf innerhalb der Stunde. In der letzten Sonnenstunde des Tages sieht man eine größere Abweichung der Kurve aus stündlichen Momentanwerten (grüne Kurve). Da der recht hohe Stundenwert um 20:00 linear mit 0 W/m² um 21:00 verbunden wird (obwohl die Sonne bereits 20:02 untergegangen ist), führt das zu der gut sichtbaren Überschätzung des Wärmeeintrags.

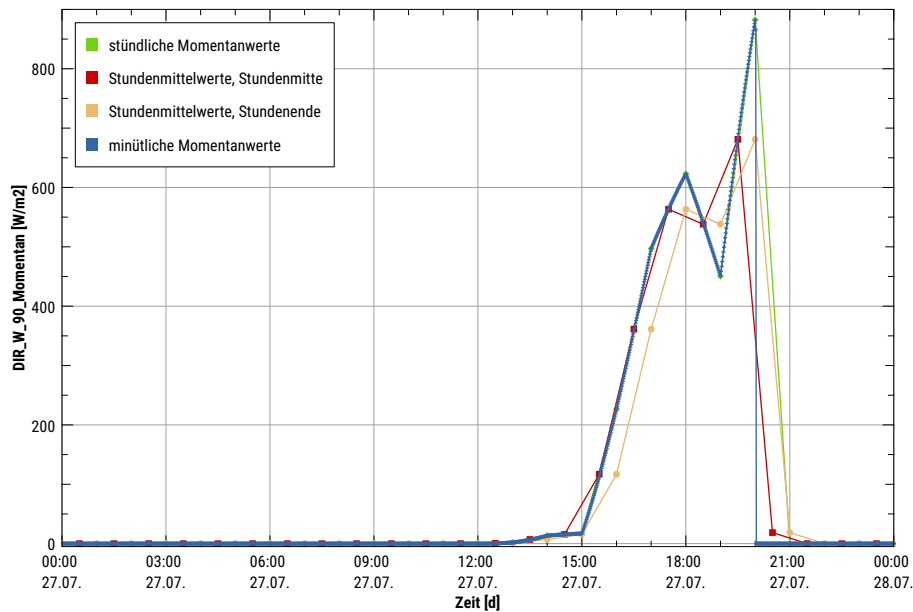


Abbildung 1.2: Ausgabe von Momentanwerten (stündliche und minütliche Werte) und Stundenmittelwerten, wobei letztere einmal als Datenpunkte am Stundenende und einmal als Datenpunkte in Stundenmitte angezeigt werden, für eine Westwand am 27. Juli.

Die zur Stundenmitte aufgetragenen integralen Mittelwerte approximieren die tatsächlichen Verläufe (minutengenaue Werte) deutlich besser. Stundemittelwerte werden zwar häufig zur vollen Stunde aufgetragen, dieses kann jedoch wie abgebildet zu unphysikalischen Verschiebungen führen. Hierbei ist zu beachten, dass die integralen Mittelwerte durch eine größere Anzahl von Einzelwerten pro Stunde erhalten werden, und nicht einfach aus stündlichen Momentanwerten bestimmt werden.

Die auftreffende Tagesenergiemenge kann durch Integration (Rechteckregel) erhalten werden, siehe Tabelle 1.2. Die Abweichung in der Berechnung aus stündlichen Momentanwerten und integralen Stundenmittelwerten bzw. minütlichen Werten, ist an diesem Tag mit ca. 18% recht hoch.

Tabelle 1.2: Auftreffende Energiemenge (Direktstrahlung) am 27. Juli auf eine Westwand, berechnet aus Momentanwerten und Mittelwerten

Datenquelle	Energiemenge [kWh/m²]
Minütliche Momentanwerte	2,299
Stündliche Momentanwerte	2,712
Integrale Stundenmittelwerte	2,302

Im Jahresintegral ist der Unterschied nicht mehr so groß: 354,4 kWh/(m²·a) bei Berechnung aus Stundenmittelwerten vergl. mit 363,0 kWh/(m²·a) bei Berechnung aus stündlichen Momentanwerten (Unterschied 3%). Für andere Ausrichtungen ist der Unterschied meist noch viel kleiner, weswegen für den Vergleich von Jahresintegralwerten die Verwendung von stündlichen Momentanwerten oder integralen Stundenmittelwerten gleichbedeutend ist.

Bei der Prüfung von Tageswerten, d.h. durch Vergleich der Energiemengen berechnet aus stündlichen und minutengenaue Werten sind größere Abweichungen zu erwarten, falls stündliche Momentanwerte verwendet werden.

2 Ergebnisse

2.1 Jährlich auftreffende Energiemengen

Für jede Oberfläche wird die jährlich auftreffenden Strahlungsenergie durch Summation der ausgegebenen stündlichen Mittelwerte berechnet.

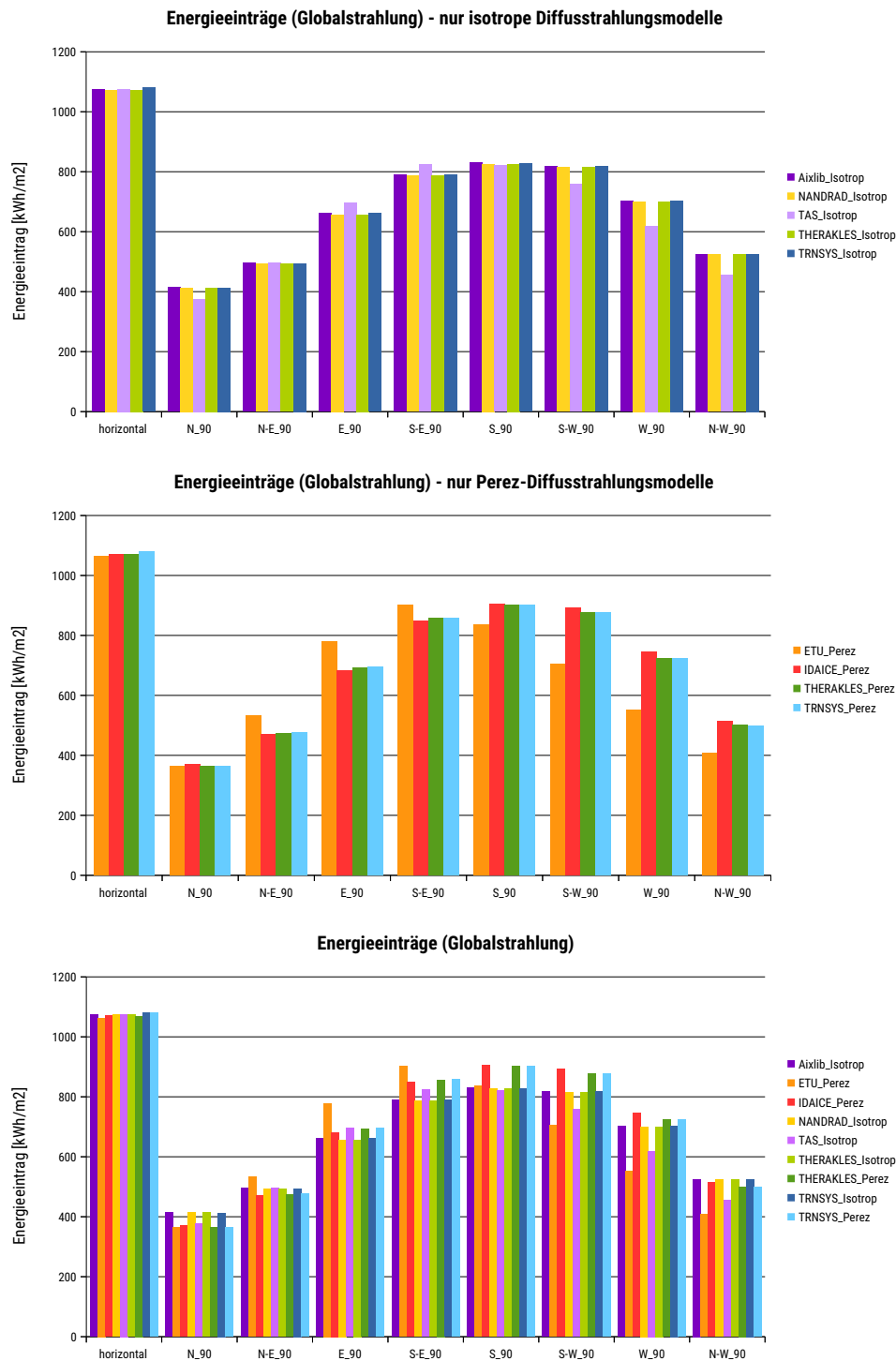


Abbildung 2.1: Energieeintrag (Globalstrahlung) auf alle senkrechten Flächen und die Horizontalfläche; Oben: nur isotrope Strahlungsmodelle, Mitte: nur Perez-Modellvarianten; Unten: alle Ergebnisse

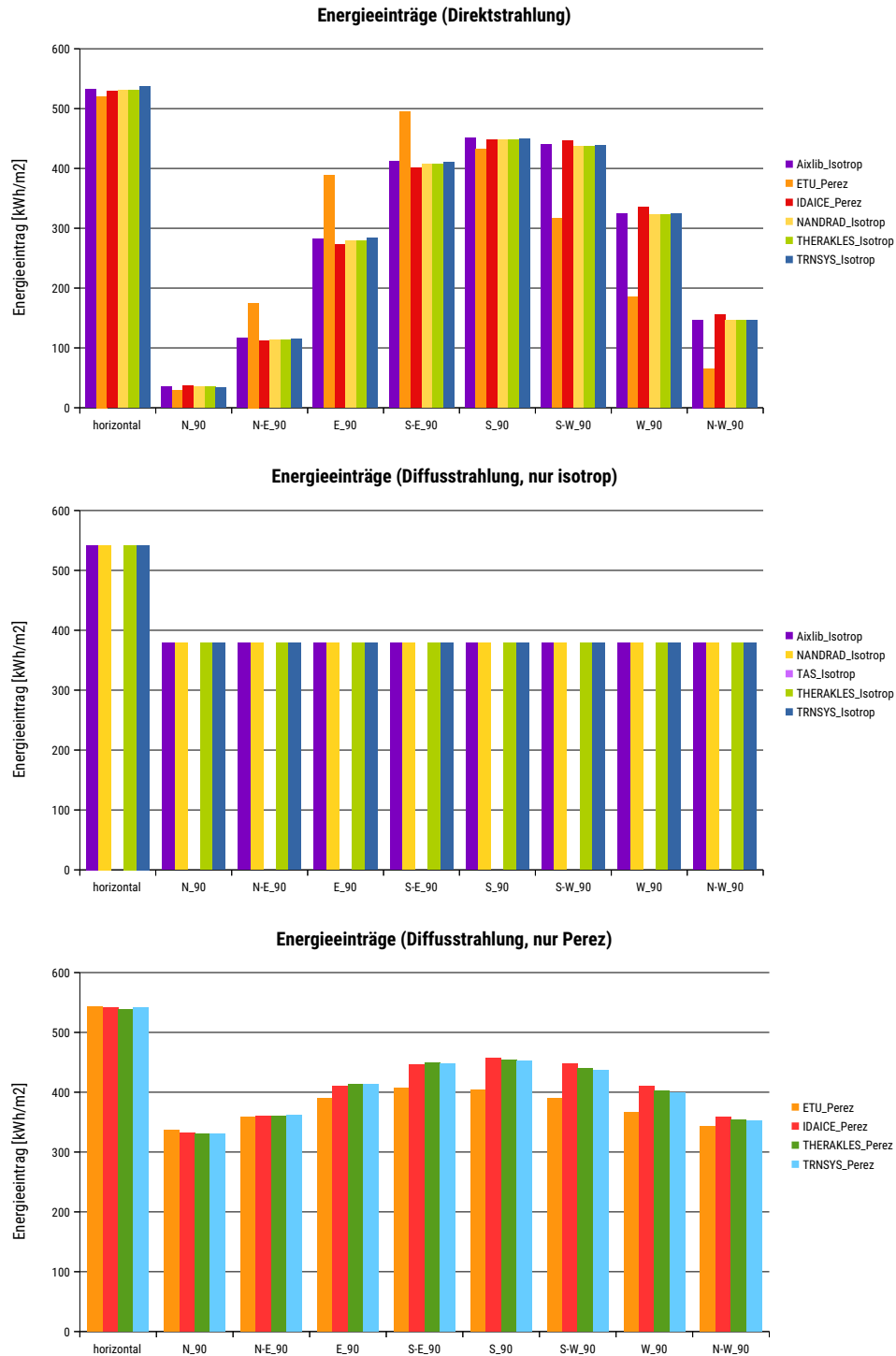


Abbildung 2.2: Energieeintrag (direkte und diffuse Strahlungsenergie) auf alle senkrechten Flächen und die Horizontalfläche*

*bei TAS werden nur Globalstrahlungswerte ausgegeben.

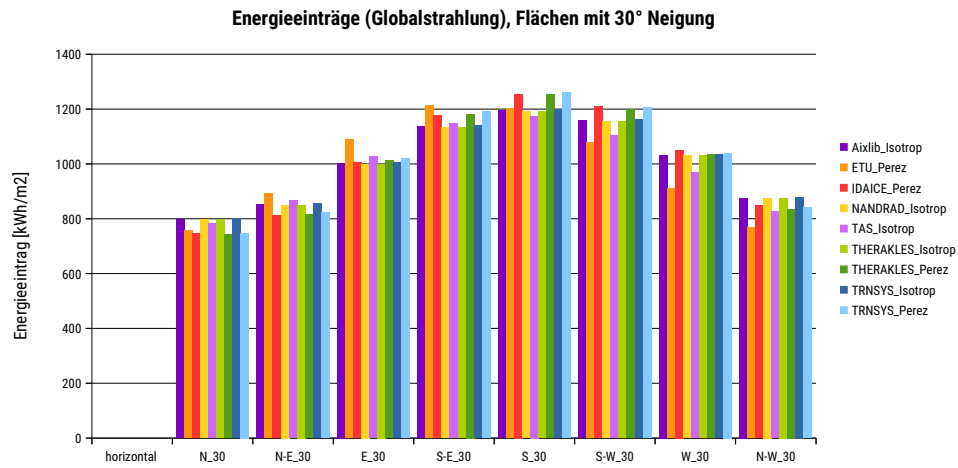


Abbildung 2.3: Energieeintrag aus Globalstrahlung auf alle Flächen mit 30° Neigung

2.2 Minutliche Verläufe

2.2.1 Horizontalfläche

Diagramme/Mar5_hor_0_DIR.pdf	Diagramme/Mar5_hor_0_DIFF_Isotrad.pdf	Diagramme/Mar5_hor_0_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Jul27_hor_0_DIR.pdf	Diagramme/Jul27_hor_0_DIFF_Isotrad.pdf	Diagramme/Jul27_hor_0_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Sep22_hor_0_DIR.pdf	Diagramme/Sep22_hor_0_DIFF_Isotrad.pdf	Diagramme/Sep22_hor_0_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Oct24_hor_0_DIR.pdf	Diagramme/Oct24_hor_0_DIFF_Isotrad.pdf	Diagramme/Oct24_hor_0_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Dec17_hor_0_DIR.pdf	Diagramme/Dec17_hor_0_DIFF_Isotrad.pdf	Diagramme/Dec17_hor_0_DIFF_Perez.pdf

■ Aixlib
■ ETU
■ IDAICE
■ NANDRAD
■ THERAKLES
■ TRNSYS

Abbildung 2.4: Strahlungslasten auf Horizontalflächen

2.2.2 Nordseite, 90° Neigung

Diagramme/Mar5_N_90_DIR.pdf	Diagramme/Mar5_N_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Mar5_N_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Jul27_N_90_DIR.pdf	Diagramme/Jul27_N_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Jul27_N_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Sep22_N_90_DIR.pdf	Diagramme/Sep22_N_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Sep22_N_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Oct24_N_90_DIR.pdf	Diagramme/Oct24_N_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Oct24_N_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Dec17_N_90_DIR.pdf	Diagramme/Dec17_N_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Dec17_N_90_DIFF_Perez.pdf

■ Aixlib
 ■ ETU
 ■ IDAICE
 ■ NANDRAD
 ■ THERAKLES
 ■ TRNSYS

Abbildung 2.5: Strahlungslasten auf Flächen mit Nordausrichtung und 90° Neigung (senkrechte Wand)

2.2.3 Nordseite, 30° Neigung

Diagramme/Mar5_N_30_DIR.pdf	Diagramme/Mar5_N_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Mar5_N_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Jul27_N_30_DIR.pdf	Diagramme/Jul27_N_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Jul27_N_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Sep22_N_30_DIR.pdf	Diagramme/Sep22_N_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Sep22_N_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Oct24_N_30_DIR.pdf	Diagramme/Oct24_N_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Oct24_N_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Dec17_N_30_DIR.pdf	Diagramme/Dec17_N_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Dec17_N_30_DIFF_Perez.pdf

■ Aixlib
 ■ ETU
 ■ IDAICE
 ■ NANDRAD
 ■ THERAKLES
 ■ TRNSYS

Abbildung 2.6: Strahlungslasten auf Flächen mit Nordausrichtung und 30° Neigung

2.2.4 Ostseite, 90° Neigung

Diagramme/Mar5_E_90_DIR.pdf	Diagramme/Mar5_E_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Mar5_E_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Jul27_E_90_DIR.pdf	Diagramme/Jul27_E_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Jul27_E_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Sep22_E_90_DIR.pdf	Diagramme/Sep22_E_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Sep22_E_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Oct24_E_90_DIR.pdf	Diagramme/Oct24_E_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Oct24_E_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Dec17_E_90_DIR.pdf	Diagramme/Dec17_E_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Dec17_E_90_DIFF_Perez.pdf

■ Aixlib
 ■ ETU
 ■ IDAICE
 ■ NANDRAD
 ■ THERAKLES
 ■ TRNSYS

Abbildung 2.7: Strahlungslasten auf Flächen mit Ostausrichtung und 90° Neigung (senkrechte Wand)

2.2.5 Ostseite, 30° Neigung

Diagramme/Mar5_E_30_DIR.pdf	Diagramme/Mar5_E_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Mar5_E_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Jul27_E_30_DIR.pdf	Diagramme/Jul27_E_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Jul27_E_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Sep22_E_30_DIR.pdf	Diagramme/Sep22_E_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Sep22_E_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Oct24_E_30_DIR.pdf	Diagramme/Oct24_E_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Oct24_E_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Dec17_E_30_DIR.pdf	Diagramme/Dec17_E_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Dec17_E_30_DIFF_Perez.pdf

■ Aixlib
 ■ ETU
 ■ IDAICE
 ■ NANDRAD
 ■ THERAKLES
 ■ TRNSYS

Abbildung 2.8: Strahlungslasten auf Flächen mit Ostausrichtung und 30° Neigung

2.2.6 Südseite, 90° Neigung

Diagramme/Mar5_S_90_DIR.pdf	Diagramme/Mar5_S_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Mar5_S_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Jul27_S_90_DIR.pdf	Diagramme/Jul27_S_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Jul27_S_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Sep22_S_90_DIR.pdf	Diagramme/Sep22_S_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Sep22_S_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Oct24_S_90_DIR.pdf	Diagramme/Oct24_S_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Oct24_S_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Dec17_S_90_DIR.pdf	Diagramme/Dec17_S_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Dec17_S_90_DIFF_Perez.pdf

■ Aixlib
 ■ ETU
 ■ IDAICE
 ■ NANDRAD
 ■ THERAKLES
 ■ TRNSYS

Abbildung 2.9: Strahlungslasten auf Flächen mit Südausrichtung und 90° Neigung (senkrechte Wand)

2.2.7 Südseite, 30° Neigung

Diagramme/Mar5_S_30_DIR.pdf	Diagramme/Mar5_S_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Mar5_S_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Jul27_S_30_DIR.pdf	Diagramme/Jul27_S_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Jul27_S_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Sep22_S_30_DIR.pdf	Diagramme/Sep22_S_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Sep22_S_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Oct24_S_30_DIR.pdf	Diagramme/Oct24_S_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Oct24_S_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Dec17_S_30_DIR.pdf	Diagramme/Dec17_S_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Dec17_S_30_DIFF_Perez.pdf

■ Aixlib
 ■ ETU
 ■ IDAICE
 ■ NANDRAD
 ■ THERAKLES
 ■ TRNSYS

Abbildung 2.10: Strahlungslasten auf Flächen mit Südausrichtung und 30° Neigung

2.2.8 Westseite, 90° Neigung

Diagramme/Mar5_W_90_DIR.pdf	Diagramme/Mar5_W_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Mar5_W_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Jul27_W_90_DIR.pdf	Diagramme/Jul27_W_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Jul27_W_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Sep22_W_90_DIR.pdf	Diagramme/Sep22_W_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Sep22_W_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Oct24_W_90_DIR.pdf	Diagramme/Oct24_W_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Oct24_W_90_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Dec17_W_90_DIR.pdf	Diagramme/Dec17_W_90_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Dec17_W_90_DIFF_Perez.pdf

■ Aixlib
 ■ ETU
 ■ IDAICE
 ■ NANDRAD
 ■ THERAKLES
 ■ TRNSYS

Abbildung 2.11: Strahlungslasten auf Flächen mit Westausrichtung und 90° Neigung (senkrechte Wand)

2.2.9 Westseite, 30° Neigung

Diagramme/Mar5_W_30_DIR.pdf	Diagramme/Mar5_W_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Mar5_W_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Jul27_W_30_DIR.pdf	Diagramme/Jul27_W_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Jul27_W_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Sep22_W_30_DIR.pdf	Diagramme/Sep22_W_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Sep22_W_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Oct24_W_30_DIR.pdf	Diagramme/Oct24_W_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Oct24_W_30_DIFF_Perez.pdf
Diagramme/Dec17_W_30_DIR.pdf	Diagramme/Dec17_W_30_DIFF_Isotropic.pdf	Diagramme/Dec17_W_30_DIFF_Perez.pdf

■ Aixlib
 ■ ETU
 ■ IDAICE
 ■ NANDRAD
 ■ THERAKLES
 ■ TRNSYS

Abbildung 2.12: Strahlungslasten auf Flächen mit Westausrichtung und 30° Neigung

3 Auswertung

Betrachtet man nur die Jahresbilanzen, so sind die Globalstrahlungseinträge auf verschieden ausgerichtete und geneigte Fläche bei allen Programmen in etwa gleich, lediglich TAS und ETU weichen etwas ab, wobei die VDI 6007 Implementierung in ETU zum Teil doch sehr große Abweichungen zeigt.

3.1 Direktstrahlungsberechnung

Während die Programme TRNSYS, AixLib, THERAKLES, NANDRAD und IDAICE sehr ähnliche Direktstrahlungslasten berechnen, weichen die mit ETU berechneten Direktstrahlungslasten auf Ost und Westwänden bis zu 40% ab (siehe Abb. 2.2 und Tab. 4.2), bei Westwänden bis knapp 50%. Eine solche Abweichung liegt weit außerhalb des Toleranzbereichs. IDA ICE hat für die Ausrichtungen W-90 und NW-90 größere Abweichungen der Direktstrahlung (siehe 4.2).

3.2 Diffusstrahlungsberechnung

Die von den Modellen mit isotropem Diffusstrahlungsmodell berechnete Diffusstrahlung ist sehr ähnlich, bis auf Abweichungen von bis zu 10% bei ETU (Abb. 2.2, Mitte). Der Unterschied zwischen isotropen und anisotropen Diffusstrahlungsmodellen (Perez) liegt bei südausgerichteten Flächen bei knapp 20%, wobei die Ergebnisse von TRNSYS und IDAICE vergleichbar sind.

4 Bewertung

Das primäre Validierungskriterium ist die korrekte Berechnung der Globalstrahlung auf die unterschiedlich geneigten und ausgerichteten Flächen. Da die Ergebnisse der isotropen und anisotropen Diffusstrahlungsmodelle zum Teil sehr unterschiedlich sind, werden die Programme je nach Modell bewertet. Tabellen 4.1 und 4.2 zeigen die berechneten Abweichungen zur Referenzlösung THERAKLES. Dieses Programm wurde als Referenz gewählt, da es sowohl das isotrope als auch anisotrope Diffusstrahlungsmodell enthält und sehr ähnliche Ergebnisse zu AixLib und TRNSYS ausgibt.

Tabelle 4.1: Abweichungen der Globalstrahlung auf die Horizontalflächen und die 90°-geneigten Wandflächen (Oben: isotrope Modelle, Unten: anisotrope/Perez-Modelle)

Variante	horizontal	N_90	N-E_90	E_90	S-E_90	S_90	S-W_90	W_90	N-W_90
Aixlib_Isotrop	0,15%	0,22%	0,63%	0,70%	0,57%	0,47%	0,42%	0,29%	0,11%
NANDRAD_Isotrop	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TAS_Isotrop	0,25%	9,04%	0,96%	5,95%	4,95%	0,47%	6,99%	11,64%	13,35%
THERAKLES_Isotrop	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Variante	horizontal	N_90	N-E_90	E_90	S-E_90	S_90	S-W_90	W_90	N-W_90
ETU_Perez	1,53%	0,15%	11,93%	11,83%	4,92%	7,27%	19,39%	23,78%	18,21%
IDAICE_Perez	0,78%	1,40%	1,21%	2,05%	1,32%	0,30%	2,01%	2,92%	3,08%
THERAKLES_Perez	0,95%	0,23%	0,44%	0,65%	0,31%	0,01%	0,08%	0,05%	0,30%
TRNSYS_Perez	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabelle 4.2: Abweichungen der Strahlungslasten auf die Horizontalflächen und die 90°-geneigten Wandflächen
(Oben: Direktstrahlung, Mitte: isotrope Modelle, Unten: anisotrope/Perez-Modelle)

Variante	horizontal	N_90	N-E_90	E_90	S-E_90	S_90	S-W_90	W_90	N-W_90
Aixlib_Isotrop	0,29%	2,01%	2,56%	1,58%	1,05%	0,82%	0,74%	0,58%	0,26%
ETU_Perez	1,88%	17,85%	54,15%	39,40%	21,40%	3,37%	27,40%	42,65%	55,43%
IDAICE_Perez	0,17%	7,43%	2,08%	2,18%	1,45%	0,12%	2,25%	4,09%	6,24%
NANDRAD_Isotrop	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TAS_Isotrop									
THERAKLES_Isotrop	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
THERAKLES_Perez	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TRNSYS_Isotrop	1,34%	3,51%	1,39%	1,66%	0,87%	0,38%	0,45%	0,71%	0,11%
TRNSYS_Perez	1,34%	3,51%	1,39%	1,66%	0,87%	0,38%	0,45%	0,71%	0,11%

Variante	horizontal	N_90	N-E_90	E_90	S-E_90	S_90	S-W_90	W_90	N-W_90
Aixlib_Isotrop	0,01%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
NANDRAD_Isotrop	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TAS_Isotrop									
THERAKLES_Isotrop	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TRNSYS_Isotrop	0,01%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%

Variante	horizontal	N_90	N-E_90	E_90	S-E_90	S_90	S-W_90	W_90	N-W_90
ETU_Perez	0,69%	1,79%	0,69%	5,53%	9,41%	11,10%	11,58%	8,73%	3,14%
IDAICE_Perez	0,50%	0,51%	0,36%	0,90%	0,63%	0,50%	1,61%	1,88%	1,34%
THERAKLES_Perez	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TRNSYS_Perez	0,58%	0,11%	0,15%	0,03%	0,21%	0,36%	0,60%	0,66%	0,37%

Basierend auf dem gewählten Grenzkriterium von 10% Abweichung (ingenieurmäßige Genauigkeitsanforderung definiert in SimQuality) erfüllt ETU die Anforderungen in 5/9 Fällen nicht, und TAS erfüllt die Anforderungen in 2/9 Fällen nicht. Alle anderen Programme erfüllen die Anforderungen sehr gut.