



Technische Universität München
Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen
Lehrstuhl für Geoinformatik
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Thomas H. Kolbe

Bachelorarbeit

Validierung von geschätzten Sonneneinstrahlungswerten anhand von Messdaten des Deutschen Wetterdienstes für die Standorte Potsdam und Weihenstephan

Benjamin Tim Eberle

Studiengang Umweltingenieurwesen (B.Sc.)

Bearbeitungszeitraum: 01.07.2015 – 30.12.2015

Betreuer: Wolfgang Zahn (M.Sc.), Thomas Machl (M.Sc.)

Selbstständigkeitserklärung

Erklärung gemäß §18 Absatz 9 APSO der Technischen Universität München:

„Ich versichere, dass ich diese Bachelor's Thesis selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.“

Benjamin Tim Eberle
München, den 30.12.2015

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Problemstellung und Zielsetzung	2
3	Theoretische Grundlagen	3
3.1	Extraterrestrische Strahlung	3
3.2	Extinktion der Atmosphäre	3
3.3	Arten der in den Modellen berücksichtigten Sonnenstrahlungen	5
3.3.1	Direktstrahlung.....	5
3.3.2	Diffusstrahlung.....	5
3.3.3	Globalstrahlung.....	5
3.4	Sonnenstand	6
4	Material und Methoden	7
4.1	Datengrundlage.....	7
4.1.1	DWD	7
4.1.1.1	Strahlungsmessung durch Bodenmesstechnik	7
4.1.1.1.1	Grundlegende Messprinzipien und –Geräte in der Bodenmesstechnik	7
4.1.1.1.1.1	Messung der Globalstrahlung	7
4.1.1.1.1.2	Messung der Diffusstrahlung.....	9
4.1.1.1.1.3	Messung der Direktstrahlung	9
4.1.1.1.2	Verwendete Gerätetypen und deren Genauigkeiten der Standorte Potsdam und Weihenstephan	10
4.1.1.2	Datenaufbau	11
4.1.2	Transitionsmodell.....	12
4.1.2.1	Funktionsweise des Transitionsmodells	12
4.1.2.2	Datenaufbau	12
4.1.3	NASA	13
4.1.3.1	Strahlungsmessung durch Satellitenmesstechnik.....	13
4.1.3.1.1	Methodik.....	13
4.1.3.1.2	Genauigkeit.....	14
4.1.3.2	Datenaufbau	15
4.2	Datenaufbereitung in PostgreSQL-Datenbank	16
4.2.1	DWD	16
4.2.2	Transitionsmodell.....	17
4.2.3	NASA	18
4.3	Datenvergleich	19
4.3.1	Aggregation der Daten	19
4.3.1.1	DWD	19
4.3.1.2	Transitionsmodell.....	20

4.3.2	Quantifizierung der Abweichungen in unterschiedlichen Zeitintervallen	22
4.3.2.1	Stündliche Zeitauflösung	22
4.3.2.1.1	Einheitenumrechnung	23
4.3.2.1.2	Berechnung der absoluten und relativen Abweichung	23
4.3.2.2	Monatliche Zeitauflösung.....	26
4.3.2.3	Stündliche Tagesverläufe	28
5	Ergebnisse und Visualisierung	31
5.1	Vergleich der DWD-Messwerte mit NASA-Werten	31
5.1.1	Globalstrahlung.....	32
5.1.2	Direktstrahlung.....	36
5.1.3	Diffusstrahlung.....	39
5.2	Vergleich der DWD-Messwerte mit simulierten Werten des Transitionsmodells nach Zahn .	42
5.2.1	Monatliche Zeitauflösung.....	42
5.2.1.1	Globalstrahlung.....	43
5.2.1.2	Direktstrahlung.....	46
5.2.1.3	Diffusstrahlung.....	49
5.2.2	Stündliche Zeitauflösung	52
5.2.2.1	Sonnenzenitwinkel.....	52
5.2.2.2	Globalstrahlung.....	53
5.2.2.3	Direktstrahlung.....	58
5.2.2.4	Diffusstrahlung.....	63
6	Diskussion.....	69
6.1	Monatliche Zeitauflösung	69
6.1.1	Globalstrahlung.....	69
6.1.2	Direktstrahlung.....	70
6.1.3	Diffusstrahlung.....	70
6.2	Stündliche Zeitauflösung.....	71
6.2.1	Sonnenzenitwinkel.....	71
6.2.2	Globalstrahlung.....	71
6.2.3	Direktstrahlung.....	72
6.2.4	Diffusstrahlung.....	72
7	Zusammenfassung und Ausblick	73
8	Literaturverzeichnis	76
9	Abbildungsverzeichnis	78
10	Anhänge	85
10.1	FME-Workspaces	85
10.2	SQL-Skripte in PostgreSQL	88

10.2.1	Potsdam.....	88
10.2.1.1	AUFRUF_Sonnenstände_Potsdam.....	88
10.2.1.2	copy_position_of_sun_potsdam.....	88
10.2.1.3	potsdam_nasa.....	88
10.2.1.4	mean_mess_potsdam.....	89
10.2.1.5	mean_sim_potsdam.....	89
10.2.1.6	difference_mess_sim_potsdam.....	89
10.2.1.7	difference_mess_sim_potsdam_monatssumme.....	91
10.2.1.8	difference_mess_sim_potsdam_tagesverlauf.....	92
10.2.2	Weihenstephan.....	93
10.2.2.1	AUFRUF_Sonnenstände_Weihenstephan.....	93
10.2.2.2	copy_position_of_sun_weihenstephan.....	94
10.2.2.3	weihenstephan_nasa.....	94
10.2.2.4	mean_mess_weihenstephan.....	94
10.2.2.5	mean_sim_weihenstephan.....	94
10.2.2.6	difference_mess_sim_weihenstephan.....	95
10.2.2.7	difference_mess_sim_weihenstephan_monatssumme.....	96
10.2.2.8	difference_mess_sim_weihenstephan_tagesverlauf.....	98
10.3	Skripte zur statistischen Auswertung in R.....	100
10.3.1	Monatliche Zeitauflösung.....	100
10.3.2	Stündliche Zeitauflösung.....	103
10.4	Visualisierungen.....	108
10.4.1	Visualisierung der Verteilungen der relativen Abweichungen der Stundensummen in Abhängigkeit der Woche mit R.....	108
10.4.1.1	Globalstrahlung.....	108
10.4.1.2	Direktstrahlung.....	110
10.4.1.3	Diffusstrahlung.....	112
10.4.2	Stündliche Tagesverläufe.....	114
10.4.2.1	Globalstrahlung.....	114
10.4.2.2	Direktstrahlung.....	126
10.4.2.3	Diffusstrahlung.....	138

1 Einleitung

Die Sonnenstrahlung ist der primäre Motor vieler elementarer Vorgänge auf der Erde (Schönwiese 2013, S. 109). Zahlreiche Prozesse, die durch Erneuerbare Energien genutzt werden, wie beispielsweise der Wasserkreislauf oder Wind, leiten sich aus der auf der Erde auftreffenden solaren Strahlung ab. Welches Potential in der Kraft der Sonne steckt, wird dadurch deutlich, dass die gesamte die Erde erreichende Sonnenstrahlung theoretisch genug Energie beinhalten würde, um den aktuellen Weltenergiebedarf zu decken (Deutscher Wetterdienst 2005, S.5).

Nach der atomaren Katastrophe in Fukushima im Jahr 2011 wurde in Deutschland im Rahmen der Energiewende der Ausstieg aus den atomaren Energien bis zum Jahr 2022 beschlossen. Infolgedessen sollen regenerative Energien weiter ausgebaut werden, wobei die Nutzung von Sonnenenergie eine tragende Rolle hat. Um die Solarenergie effektiv nutzen zu können, werden immer mehr Investitionen in die Forschung und Entwicklung von Solaranlagen getätigt. Jährliche Wachstumsraten von 25 % bestätigen diesen Trend in der Branche (Deutscher Wetterdienst 2005, S. 5). Zu den Profiteuren intensiver Forschung und Optimierung in diesem Bereich gehören dabei nicht nur Energiekonzerne und Privatinvestoren - letztendlich können hierdurch auch politische Umweltziele im Hinblick auf Nachhaltigkeit und Verantwortung für nachfolgende Generationen erreicht werden.

Bei der Installation einer Solaranlage ist, neben dem Wirkungsgrad, der durch viele Faktoren beeinflusste Aufstellungsort der Anlage mit dessen Einstrahlungsgegebenheiten für den Ertrag und so den energetischen und wirtschaftlichen Nutzen maßgebend.

Für eine präzise Vorabplanung der Anlagen ist die exakte und verlässliche Vorhersage von Sonneneinstrahlungswerten durch Sonneneinstrahlungsanalysen von zentraler Bedeutung. Bei der Durchführung einer Solarpotentialanalyse wird meist auf historisch gemittelte Strahlungswerte zusammen mit diversen beeinflussenden Faktoren der Atmosphäre zurückgegriffen.

Im Rahmen einer Masterarbeit am Lehrstuhl für Geoinformatik wurde ein Tool zur Sonneneinstrahlungsanalyse entwickelt, welches durch ein vereinfachtes Transitionsmodell Sonneneinstrahlungswerte schätzt. In dieser Arbeit soll die Präzision und Verlässlichkeit des Modells untersucht werden. Hierzu werden simulierte Strahlungsdaten mit Werten, die durch präzise Bodenmessung ermittelt wurden, verglichen.

2 Problemstellung und Zielsetzung

Das von (Zahn 2015) innerhalb einer Masterarbeit am Lehrstuhl für Geoinformatik der Technischen Universität München entwickelte Tool zur Sonneneinstrahlungsanalyse für beliebig große 3D-Stadtmodelle im CityGML-Format verwendet ein vereinfachtes Transitionsmodell zur Schätzung der an der Erdoberfläche ankommenden diffusen und direkten Sonnenenergie. Dabei wird zunächst der Sonnenstand über Berechnung des Sonnenzenit- sowie Azimutwinkels in verschiedenen Zeitintervallen von beispielsweise einer Stunde bestimmt. Das Modell berücksichtigt zudem die Transmissivität der Atmosphäre zusammen mit dem diffusen Anteil der Sonnenstrahlung. Aus den genannten Parametern werden so geschätzte Sonneneinstrahlungswerte auf eine nicht verschattete Horizontalfläche von 1 m² errechnet. Zur Kalibrierung des Transitionsmodells werden die Parameter der Transmissivität und des diffusen Anteils der Sonnenstrahlung an die vorherrschenden klimatischen Bedingungen des Berechnungsgebietes angepasst. Hierzu werden Messwerte der NASA zur Global- und Diffusstrahlung verwendet, welche über 22 Jahre monatlich gemittelt und frei zugänglich bereitgestellt werden. Somit wird eine Anpassung an die geographisch spezifischen Globalstrahlungswerte aus diffusem und direktem Anteil erreicht.

Trotz eben genannter Parameter ist bei der Simulation mittels des Transitionsmodells eine Berücksichtigung von sich kurzfristig ändernden, klimatischen Einflussfaktoren, wie etwa Wolken und Nebel, nicht möglich. Die dadurch nicht beachteten Effekte, wie beispielsweise Reflexion der Sonnenstrahlung bei wolkenbedecktem Himmel, können zu fehlerhaften Vorhersagen für einen Standort führen, was eine Berechnung von Strahlungswerten in geringen Zeitauflösungen möglicherweise problematisch gestaltet.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sollen Strahlungsmesswerte des Deutschen Wetterdienstes (DWD) simulierten Werten des Transitionsmodells für die Standorte der Messstationen Potsdam und Weihenstephan gegenübergestellt werden, um das Transitionsmodell zu evaluieren. Dabei sind verschiedene Zeitauflösungen zu untersuchen, um Aussagen über die erreichbaren Genauigkeiten des Modells fällen zu können.

Für die Validierung des Modells ist es notwendig eine Datenbank aufzusetzen, die Messreihen des DWD in geeigneter Weise zu integrieren, sowie Strahlungsdaten für die Messstationen Potsdam und Weihenstephan mittels des zu evaluierenden Transitionsmodells für die Gegenüberstellung zu simulieren. Die oben genannten Strahlungsdaten der NASA sollen bei der Validierung ebenfalls berücksichtigt werden, um etwaige Abweichungen dieser von den Messwerten des DWD identifizieren zu können. Eventuelle Abweichungen dieser sind im Vergleich der simulierten Werte und Messreihen zu berücksichtigen. Durch Aggregation der DWD-Messreihen und der simulierten Werte über einen Zeitraum von 22 Jahren werden beide Datenreihen in gleicher Weise aufbereitet und können so in verschiedenen Zeitauflösungen von einem Monat, einer Woche, einem Tag sowie einer Stunde einander gegenübergestellt und verglichen werden.

Die Ergebnisse sollen in passender Weise visualisiert und diskutiert werden. Zentrale Aspekte sollen dabei das Identifizieren von Trends in den Abweichungen von simulierten Daten zu Messwerten sein, sowie auch die Darlegung und Diskussion möglicher Ursachen. Auf Basis dieser soll ein Anstoß für zukünftige Optimierungen des Modells gegeben werden.

3 Theoretische Grundlagen

Im Folgenden werden zunächst diverse Grundbegriffe der solaren Einstrahlung erläutert, die für den Vergleich zentral sind.

3.1 Extraterrestrische Strahlung

Die Sonne ist eine große Gaskugel in deren Innerem kontinuierlich Kernfusionsprozesse ablaufen, welche große Energiemengen freisetzen. Dies führt zu Temperaturen an der Sonnenoberfläche, der sogenannten Photosphäre, von ca. 6000 K (Schönwiese 2013, S. 109-110). Da jeder Körper mit einer Temperatur über 0 K thermische Energie in Form von Strahlung temperaturabhängig nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz emittiert (Roedel und Wagner 2011, S. 42), strahlt die Sonne mit einem Intensitätsmaximum von $0,5 \mu\text{m}$ (Roedel und Wagner 2011, S. 25) in alle Richtungen in den interplanetarischen Raum (Schönwiese 2013, S. 110). Strahlung ist dabei als Energieform definiert, welche einen Materie unabhängigen Energietransport beinhaltet (Liljequist und Cehak 1974, S. 8). Die nach dem Durchdringen des Weltalls auf den „fiktiven äußeren Rand der Erdatmosphäre“ (Schönwiese 2013, S. 109) auftreffende Sonnenstrahlung wird als extraterrestrische Strahlung bezeichnet. Letztere hat dabei einen Wert von 1368 W/m^2 und ist als „Solarkonstante“ bekannt (Roedel und Wagner 2011, S. 19).

Dabei trifft Sonnenstrahlung innerhalb einer Kreisfläche von $R^2\pi$ mit R gleich dem Erdradius auf die Erde. Da die gesamte Erdoberfläche mit der Formel für die Oberfläche einer Kugel mit $4R^2\pi$ angenähert werden kann, wird ersichtlich, dass durch die Erdrotation ein Viertel der Solarkonstante und somit durchschnittlich 342 W/m^2 auf die Erdoberfläche einstrahlen (Roedel und Wagner 2011, S. 20).

3.2 Extinktion der Atmosphäre

Die extraterrestrische Strahlung wird bei ihrem Durchgang durch die Atmosphäre in verschiedenen Weisen beeinflusst und dadurch geschwächt (Liljequist und Cehak 1974, S. 13). Diese Extinktion setzt sich einerseits aus der Absorption sowie andererseits aus der Streuung von Strahlung zusammen (Liljequist und Cehak 1974, S. 13). Strahlung, die einen längeren Weg durch die Atmosphäre zurücklegt wird dabei stärker von der Extinktion beeinflusst als bei einem vergleichsweise kürzeren Weg (Liljequist und Cehak 1974, S. 9).

Die Absorption ist auf die in der Atmosphäre enthaltenen Gase und dabei zum größten Teil auf den in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampf zurückzuführen (Liljequist und Cehak 1974, S. 9-14). Eine entscheidende Rolle spielt dabei auch das Ozon, welches sämtliche Strahlung unter $0,29 \mu\text{m}$ aus dem Spektrum der Sonne absorbiert (Liljequist und Cehak 1974, S. 14). Die absorbierte Strahlung wird in thermische Energie umgewandelt und trägt somit zur Erwärmung der Atmosphäre bei (Liljequist und Cehak 1974, S. 9). Infolge der Absorptionen in verschiedenen Wellenlängenbereichen durch die Gase der Erdatmosphäre wird die spektrale Verteilung der Sonnenstrahlung beim Durchdringen der Atmosphäre abgeändert. Hierdurch ergibt sich für die auf der Erde auftreffende Strahlung ein Wellenlängenbereich von $0,29$ bis $4 \mu\text{m}$ mit einem, wie vorher genannten, Intensitätsmaximum bei etwa $0,5 \mu\text{m}$ (Liljequist und Cehak 1974, S. 13) (vgl. Abb. 1).

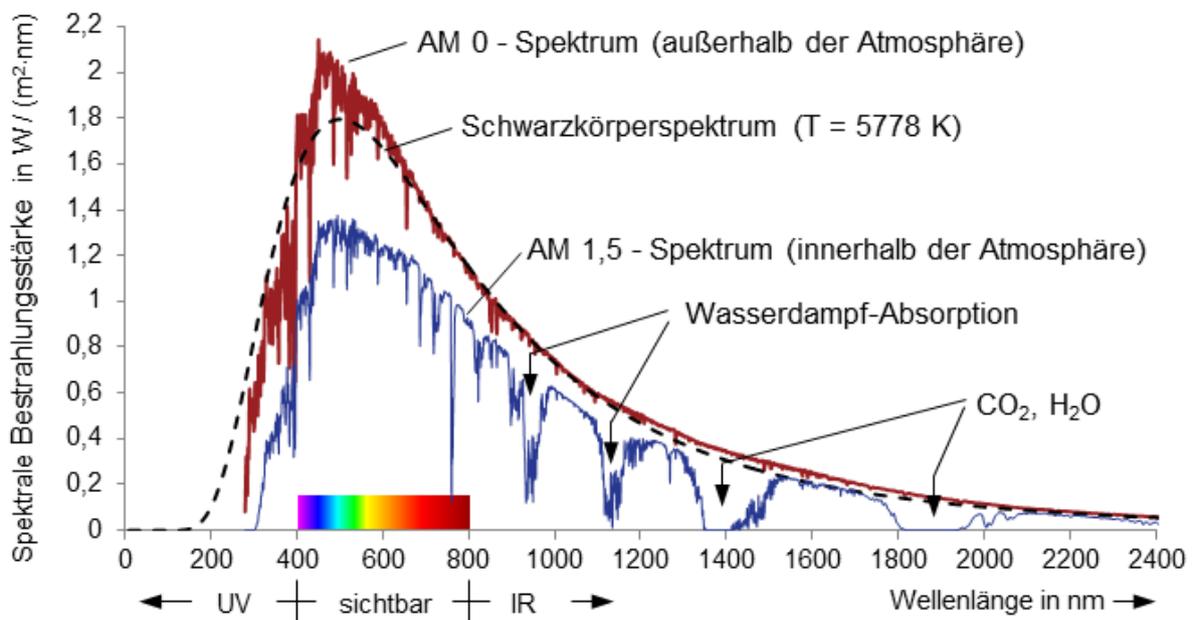


Abbildung 1 Spektrum der Sonne als Annäherung durch einen idealen Schwarzen Körper mit 5778 K (schwarz gestrichelte Linie), tatsächliches Spektrum der extraterrestrischen Strahlung (rote Linie) und nach Extinktion eintreffende terrestrische Strahlung (blaue Linie) (Mertens 2011)

Des Weiteren wird ein Anteil der Sonnenstrahlung beim Durchlaufen der Erdatmosphäre an Streuzentren wie Gasen und Aerosolpartikeln wie beispielsweise in Wolken gestreut. Die gestreute Strahlung wird dabei von der ursprünglichen Laufbahn abgelenkt. Sie erreicht entweder die Erdoberfläche, wird ins Weltall reflektiert oder ein weiteres Mal von Absorption oder Streuung beeinflusst (Schönwiese 2013, S. 116).

3.3 Arten der in den Modellen berücksichtigten Sonnenstrahlungen

Durch die genannten Vorgänge in der Atmosphäre durch die Extinktion können letztendlich drei Strahlungsarten der Sonne, welche auf die Erdoberfläche treffen, abgeleitet werden (vgl. Abb. 2).

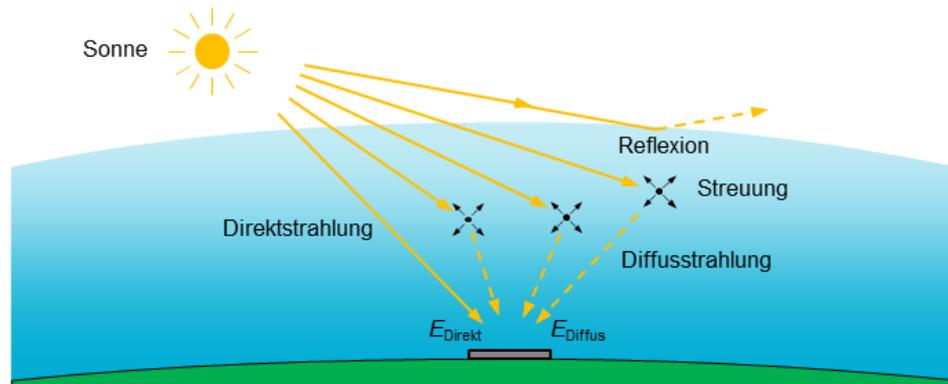


Abbildung 2 Strahlungsarten nach Extinktion in der Erdatmosphäre (Mertens 2011)

3.3.1 Direktstrahlung

Strahlung, die von der Extinktion unbeeinflusst die Erdoberfläche auf einer horizontalen Fläche erreicht ist als direkte Sonneneinstrahlung oder auch Direktstrahlung definiert. Nach dem Kosinusetz von Lambert hat sie ihr Intensitätsmaximum bei einem Einstrahlungswinkel von 90° und nimmt wegen Verteilung der Strahlung auf zunehmend größere Flächen im Verhältnis des Kosinus zum Horizont hin ab (Löffler 2012, S. 142). Bei durch Wolken verdeckter Sonne ist die Direktstrahlung gleich 0 (Liljequist und Cehak 1974, S. 16).

3.3.2 Diffusstrahlung

Die durch Ein- oder Mehrfachstreuung abgelenkte, jedoch dennoch die Erdoberfläche auf einer horizontalen Fläche erreichende Strahlung, heißt Diffusstrahlung, diffuse Sonneneinstrahlung, diffuse Himmelsstrahlung oder Streustrahlung. Sie trifft auf die Erdoberfläche aus allen Himmelsrichtungen (Löffler 2012, S. 142). Der Anteil der diffusen Strahlung an der gesamten kurzwelligen Strahlung nimmt bei steigendem Bewölkungsgrad zu (Roedel und Wagner 2011, S. 23).

3.3.3 Globalstrahlung

Die gesamte, auf eine Horizontalfläche treffende, kurzwellige Strahlung an der Erdoberfläche wird als Globalstrahlung bezeichnet und besteht hauptsächlich aus den oben genannten Komponenten der Direkt- und Diffusstrahlung (Löffler 2012, S. 142). Die Zusammensetzung der Globalstrahlung ist dabei neben der Trübung der Luft von der Zenitdistanz bzw. dem Einstrahlungswinkel der Sonne und somit dem Weg durch die Atmosphäre abhängig (Roedel und Wagner 2011, S. 23). Großen Einfluss haben dabei die lokalen Bewölkungsverhältnisse. Durch Reflexion von Strahlung in den Weltraum an der Wolkendecke sowie Absorption an dieser erreicht bei wolkenbedecktem Himmel nur etwa 20-25% der bei wolkenfreiem Himmel auftreffenden Strahlung die Erdoberfläche (Liljequist und Cehak 1974, S.16). Neben direktem und diffusem Anteil umfasst Globalstrahlung auch die von der umgebenden Topographie reflektierte Strahlung. Diese ist einerseits gegenüber der direkten und diffusen Einstrahlung von verschwindend geringem Einfluss sowie andererseits zwecks der großen Variabilität aufgrund der Abhängigkeit der vorherrschenden Albedo der Oberfläche schwer modellierbar (Zahn 2015). Im Transitionsmodell von (Zahn 2015) bleibt deshalb die reflektierte Strahlung unberücksichtigt. Die Globalstrahlung ergibt sich im Modell somit aus der Summe von Direkt- und Diffusstrahlung. Für die Validierung des Transitionsmodells wird diese vorgenommene Definition im Rahmen dieser Arbeit übernommen, sodass sich die Direktstrahlung aus der Differenz von Global- und Diffusstrahlung errechnet.

3.4 Sonnenstand

Die folgenden, in Abbildung 3 dargestellten, für diese Arbeit zentralen Winkel, dienen zur Beschreibung des Sonnenstandes. Die Zenitdistanz α , auch Sonnenzenitwinkel genannt, ist als der Winkel definiert, der durch den Stand der Sonne und den Zenit aufgespannt wird (Roedel und Wagner 2011, S. 23). Der dazu gegenteilige Winkel zwischen Horizontalfläche und Sonne ist der Einstrahlungswinkel β der Sonne (Schönwiese 2013, S. 115-116). Der Azimut A reicht von Norden im Uhrzeigersinn bis hin zum horizontalen Stand der Sonne.

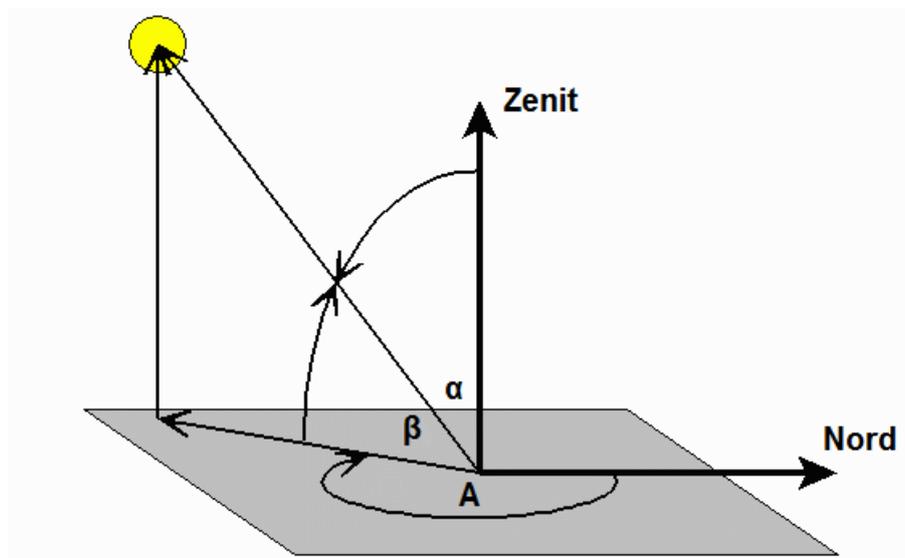


Abbildung 3 Winkel zur Beschreibung des Sonnenstandes: Zenitdistanz α , Einstrahlungswinkel β und Azimut A (modifiziert nach (U.S. Department of Commerce 2015))

4 Material und Methoden

In diesem Kapitel soll auf die für den Vergleich herangezogenen Eingangsdatensätze, deren Herkunft und Genauigkeiten sowie die verwendete Methodik zur Aufbereitung dieser eingegangen werden. Die hierbei relevanten Messreihen und Datensätze werden dabei in eine Datenbank integriert und gespeichert. Mithilfe eines innerhalb dieser Arbeit erstellten SQL-Skriptes werden die Daten einander gegenübergestellt, um so die Abweichungen in verschiedenen Zeitintervallen zu quantifizieren.

4.1 Datengrundlage

Im ersten Abschnitt wird auf die jeweilige Datengrundlage der für den Vergleich herangezogenen Werte eingegangen. Dabei wird neben der Herkunft der Daten auch deren Aufbau erläutert.

4.1.1 DWD

Der Deutsche Wetterdienst verfügt über etwa 400 aktive Klimastationen (Deutscher Wetterdienst 2015) mit umfangreichen Klimadatenbeständen sowie historische Messreihen zur Global- und Diffusstrahlung in Deutschland. Diese Messreihen werden auf der Website des DWD im Rahmen des Climate Data Centers mittels eines FTP-Servers zum Download frei zur Verfügung gestellt. Für die Validierung des Transitionsmodells werden Messreihen des DWD für die Standorte Potsdam und Weihenstephan verwendet, welche sich aufgrund hoher Messpräzision für den Vergleich eignen. Die Messungen des DWD wurden mittels Bodenmesstechnik erfasst.

4.1.1.1 Strahlungsmessung durch Bodenmesstechnik

4.1.1.1.1 Grundlegende Messprinzipien und –Geräte in der Bodenmesstechnik

Zunächst soll erläutert werden mit Hilfe welcher Messprinzipien und –geräte in der Bodenmesstechnik Strahlungsdaten erfasst werden, um einen Überblick der Methodik und so Aussagen über die Messungenauigkeiten der vorliegenden Daten zu erlangen.

4.1.1.1.1.1 Messung der Globalstrahlung

Grundsätzlich existieren in der Bodenmesstechnik zwei verschiedene Messprinzipien um die Globalstrahlung zu erfassen. Dabei kann zwischen photoelektrischem und thermoelektrischem Messprinzip unterschieden werden (Löffler 2012, S. 147).

Ersteres wird bei der Messung der Globalstrahlung mittels Photodiode, in Form einer Siliziumzelle, ausgenutzt (vgl. Abb. 4). Problematisch dabei ist jedoch, dass diese nur in einem geringen Bereich des solaren Spektrums empfindlich sind und nicht das komplette Spektrum bei der Messung beachten (vgl. Abb. 5). Des Weiteren ist die Berücksichtigung des Kosinus-Gesetzes nach Lambert nicht gegeben. Aus diesen Gründen weist die Messung mittels Strahlungssensoren aus Siliziumzellen eine geringe Genauigkeit auf und wird meist nur aus Gründen der Kostenersparnis für die Überprüfung der Performance von, im selben Spektralbereich wirksamen, Photovoltaikanlagen, verwendet. (Löffler 2012, S. 147), (Mertens 2011, S. 217-218)



Abbildung 4 Siliziumzellensensoren (Mertens 2011)

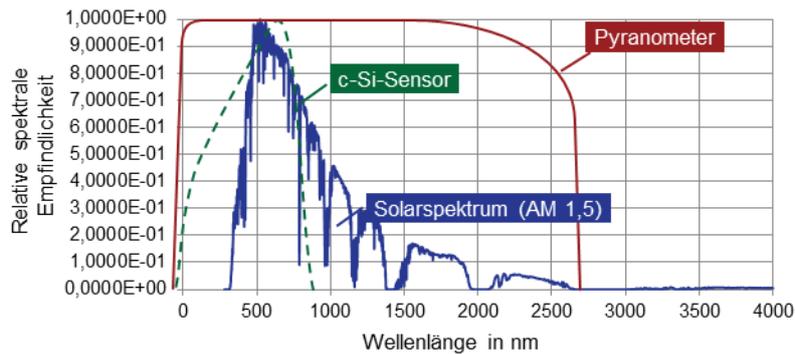


Abbildung 5 Vergleich der Abdeckung des solaren Spektrums (blau) – Pyranometer (rot) und c-Si-Sensor (grün) (Mertens 2011)

Für Messungen höherer Präzision werden sogenannte Pyranometer verwendet, die mittels des thermoelektrischen Prinzips die Globalstrahlung bestimmen. Sie berücksichtigen einen umfassenderen Teil des solaren Spektrums (vgl. Abb. 5).

Zentrales Element ist dabei der Strahlungsempfänger, in Form einer schwarzen Metallplatte, welche als physikalisch schwarzer Körper fungiert, somit die auftreffende Strahlungsenergie absorbiert und in thermische Energie umwandelt. Zum Schutz der Absorberfläche befindet sich diese unter zwei konzentrisch angebrachten Glashalbkugeln mit unterschiedlichen Funktionen. Der äußere Glasdom dient zum Schutz vor Witterungseinflüssen wie beispielsweise durch Niederschlag und Wind sowie auch vor Verschmutzung, während die innere Kalotte den Wärmeaustausch zwischen äußerer Kalotte und Thermosäule unterbinden soll. Ferner filtern die Glaskalotten jegliche Strahlung, welche sich außerhalb des Wellenlängenbereichs von 0,3 μm bis 3 μm befindet, sodass nur die zu messende, kurzwellige Globalstrahlung ins Innere und somit zum Strahlungsempfänger gelangt. Durch die Kugelform der Glashauben wird außerdem erreicht, dass Pyranometer im Gegensatz zu oben genannten Siliziumzellensensoren das Kosinusetz nach Lambert und somit die Richtungsabhängigkeit der Strahlung mit geringen Abweichungen erfüllen. Man spricht von einer sogenannten „cosine response“ nach dem Schema keiner Ansprache bei 0° , halbe Ansprache bei 60° und maximaler Ansprache bei 90° Einstrahlungswinkel. Infolge der Erwärmung der Sensorfläche durch die Strahlung bildet sich eine Temperaturdifferenz zwischen Sensor und Pyranometergehäuse aus (vgl. Abb. 6). Diese Temperaturdifferenz kann mittels der an der Sensorfläche angebrachten Thermosäule, welche eine Reihenschaltung einzelner Thermoelemente darstellt, mit großer Genauigkeit gemessen werden. Da die gemessene Differenz der beiden Temperaturen direkt proportional zu der Bestrahlungsstärke der auf das Sensorelement auftreffenden Strahlung ist, kann so auf diese geschlossen werden. (Löffler 2012, S. 147-152), (Mertens 2011, S. 215-217)

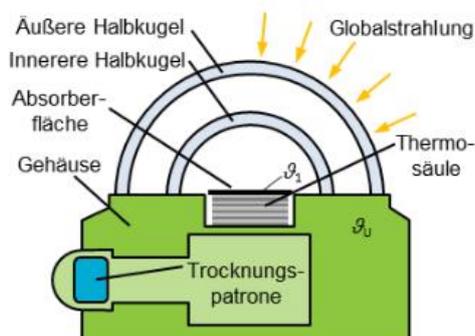


Abbildung 6 Aufbau eines Pyranometers zur Messung der Globalstrahlung (Mertens 2011)

Um Kondensation an den Innenseiten der Glasdome zu verhindern, wird ein Trocknungsmittel verwendet, welches in Form einer Patrone in das Pyranometer eingesetzt wird. Der mit einer nach außen gerichteten Neigung versehene Strahlungsschutzschirm lässt Regenwasser ablaufen und verhindert das Erwärmen des Pyranometergehäuses durch Solarstrahlung und somit eine Verfälschung

der zu messenden Temperaturdifferenz. Zur exakten horizontalen Ausrichtung des Pyranometers ist es mit verstellbaren Füßen und einer Dosenlibelle ausgestattet. (Löffler 2012, S.151)

Grundlage für eine präzise Messung stellt die Pflege und Wartung des Pyranometers dar. Um die Funktionstüchtigkeit des Pyranometers zu garantieren, muss die äußere Glaskuppel von Schmutz, Schnee, Reif oder Ähnlichem frei gehalten werden, um jegliche Störungen, welche die Strahlung am Eintreten in das Innere des Pyranometers möglicherweise hindern könnten, ausschließen zu können. Wichtig ist dabei auch die Funktionsfähigkeit des Trocknungsmittels, die anhand der Indikatorfärbung des sogenannten Blaugels von blau zu rosa, falls eine Kondensation und somit Feuchtigkeit im Inneren der Kalotten nicht mehr auszuschließen ist, überprüft werden kann. Des Weiteren sind die horizontale Ausrichtung des Pyranometers mittels der Libelle, sowie der freie Horizont um das Gerät sicherzustellen. (Löffler 2012, S. 152-153)

In der Norm ISO 9060 werden Pyranometer entsprechend ihrer Genauigkeit in drei Klassen eingeteilt. Es wird zwischen Sekundärstandard, erster Klasse und zweiter Klasse unterschieden. Die entsprechenden Spezifikationen der Klassen sind in Tabelle 1 dargestellt. Die präziseste Klasse stellt dabei der „Secondary Standard“ dar. (Löffler 2012, S. 150-151), (Mertens 2011, S. 216-217)

Eigenschaft	Second Class	First Class	Secondary Standard
Qualität	Mäßig	Gut	Exzellent
Genauigkeit (Tagessumme)	±10 %	±5 %	±2 %
Auflösung	±10 W/m ²	±5 W/m ²	±1 W/m ²
Langzeitstabilität	± 3 %	± 1,5 %	±0,8 %
Ansprechzeit	< 60 s	< 30 s	< 15 s

Tabelle 1 Präzisionsklassen von Pyranometern der ISO 9060 nach (Mertens 2011, S. 217)

4.1.1.1.2 Messung der Diffusstrahlung

Um ausschließlich die Diffusstrahlung mittels des Pyranometers messen zu können, wird ein Schattenring (Vgl. Abb. 7) angebracht, welcher die direkte Einstrahlung der Sonne auf den Sensor verhindert. Bei der Montage des Ringes ist dabei auf eine Ost-West-Ausrichtung, sowie eine Neigung entsprechend dem Betrag des Breitengrades des Messstandortes der seitlichen Streben zu achten. Ferner sollte der Strahlungsempfänger exakt im Mittelpunkt des durch den Ring dargestellten Kreises lokalisiert sein. Bei korrektem Anbringen des Schattenringes wird sichergestellt, dass der Sensor über den gesamten Tagesverlauf hinweg beschattet ist. Um die Veränderung der Sonnenhöhe innerhalb eines Jahres zu berücksichtigen, muss der Schattenring in seiner Ausrichtung konstant angepasst werden. Da die diffuse Strahlung aus allen Himmelsrichtungen auf eine Horizontalfläche trifft, wird infolge des Schattenrings ein gewisser Anteil dieser bei der Messung vernachlässigt. Mittels Korrekturfaktoren des Herstellers kann dies berücksichtigt werden. (Löffler 2012, S.152)



Abbildung 7 Pyranometer CM21 der Firma Kipp & Zonen mit Schattenring zur Messung der Diffusstrahlung (Gengenbach Messtechnik e.K 2015)

Eine andere Variante um die Direktstrahlung bei der Messung auszublenden, stellt die Messung mit Hilfe eines entsprechend des Sonnenstandes nachgeführten Schattenballes dar. (Mertens 2011, S. 219)

4.1.1.1.3 Messung der Direktstrahlung

Die Direktstrahlung kann einerseits wie im Fall der im Folgenden angeführten Messreihen des DWD aus der Differenz von gemessener Global- und Diffusstrahlung errechnet und andererseits mittels eines sogenannten Phylometers gemessen werden. Bei Letzterem befindet sich eine Blende am Anfang eines Rohres. Der Sensor des Gerätes ist am Ende des Rohres lokalisiert, sodass nur der Anteil der Globalstrahlung gemessen wird, welcher direkt frontal auf die Blende trifft. Um die Direktstrahlung

messen zu können, muss das Pyreliometer zu jedem Zeitpunkt exakt nach dem Stand der Sonne ausgerichtet werden. (Mertens 2011, S. 218-219)

4.1.1.1.2 Verwendete Gerätetypen und deren Genauigkeiten der Standorte Potsdam und Weihenstephan

Für den Fall der für die Evaluation im Zeitraum 1. Juli 1983 bis zum 30. Juni 2005 verwendeten Messreihen Potsdams und Weihenstephans wurden die Werte mit Hilfe der in Tabelle 2 und 3 dargestellten Pyranometer ermittelt. Die Messunsicherheiten der Instrumente liegen dabei für Potsdam bei maximal 5 %, für Weihenstephan bei ca. 5 %. Es kann also im Allgemeinen von hoher Präzision der Strahlungswerte ausgegangen werden. Bei den Werten handelt es sich um aufaddierte Stundensummen der Global- und Diffusstrahlung. Sie beziehen sich auf eine Horizontfläche von 1 cm² und werden in J/cm² angegeben.

Potsdam		
Zeitraum	Gerätetyp	Messunsicherheit
01.07.1983-31.08.1992	Pyranometer nach Sonntag	≤ 5 %
01.09.1992-25.03.2005	Kipp & Zonen CM11	≤ 3 %
26.03.2005-30.06.2005	Kipp & Zonen CM21	≤ 3 %

Tabelle 2 Vom DWD in Potsdam zur Strahlungsmessung verwendete Gerätetypen und deren Messunsicherheit vom 01.07.1983 bis zum 30.06.2005 nach (Dr. Harald Maier, DWD 2015)

Weihenstephan		
Zeitraum	Gerätetyp	Messunsicherheit
01.07.1983-30.11.1983	Kipp & Zonen CM5	≤ ca. 5 %
01.12.1983-29.08.1984	Kipp & Zonen CM10	≤ 3 %
30.08.1984-30.06.2005	Kipp & Zonen CM11	≤ 3 %

Tabelle 3 Vom DWD in Weihenstephan zur Strahlungsmessung verwendete Gerätetypen und deren Messunsicherheit vom 01.07.1983 bis zum 30.06.2005 nach (Dr. Harald Maier, DWD 2015)

4.1.1.2 Datenaufbau

Die im Rahmen des Climate Data Centers mittels eines FTP-Servers bereitgestellten Messreihen des DWD können als komprimierter zip-Ordner freizugänglich bezogen werden. Die gemessenen Strahlungswerte sind dabei in einem ASCII-File in Form von Comma Separated Values hinterlegt (vgl. Abb. 8).

```
STATIONS_ID; MESS_DATUM; QUALITAETS_NIVEAU;  
SONNENSCHINDAUER; DIFFUS_HIMMEL_KW_J; GLOBAL_KW_J; ATMOSPHAERE_LW_J; SONNENZENIT; MESS_DATUM_WOZ; eor  
5404;1961010100:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 153.95;1961010101:00; eor  
5404;1961010101:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 148.99;1961010102:00; eor  
5404;1961010102:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 141.02;1961010103:00; eor  
5404;1961010103:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 131.64;1961010104:00; eor  
5404;1961010104:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 121.76;1961010105:00; eor  
5404;1961010105:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 111.85;1961010106:00; eor  
5404;1961010106:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 102.28;1961010107:00; eor  
5404;1961010107:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 93.36;1961010108:00; eor  
5404;1961010108:16; 1; 0; -999; 9.0; -999; 85.43;1961010109:00; eor  
5404;1961010109:16; 1; 0; -999; 30.0; -999; 78.90;1961010110:00; eor  
5404;1961010110:16; 1; 0; -999; 50.0; -999; 74.19;1961010111:00; eor  
5404;1961010111:16; 1; 0; -999; 56.0; -999; 71.72;1961010112:00; eor  
5404;1961010112:16; 1; 0; -999; 56.0; -999; 71.71;1961010113:00; eor  
5404;1961010113:16; 1; 0; -999; 48.0; -999; 74.18;1961010114:00; eor  
5404;1961010114:16; 1; 0; -999; 25.0; -999; 78.88;1961010115:00; eor  
5404;1961010115:16; 1; 0; -999; 8.0; -999; 85.41;1961010116:00; eor  
5404;1961010116:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 93.33;1961010117:00; eor  
5404;1961010117:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 102.25;1961010118:00; eor  
5404;1961010118:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 111.82;1961010119:00; eor  
5404;1961010119:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 121.72;1961010120:00; eor  
5404;1961010120:16; 1; 0; 0.0; 0.0; -999; 131.60;1961010121:00; eor
```

Abbildung 8 Auszug aus ASCII-Datei der Messreihe des DWD für Weihenstephan

Die Daten des DWD beinhalten dabei folgende für die Validierung relevante Parameter. Das Messdatum der Strahlungsmessung wird im Attribut MESS_DATUM in koordinierte Weltzeit UTC und MESS_DATUM_WOZ in wahrer Ortszeit, auch Sonnenzeit genannt, angegeben. Für diese Arbeit relevant ist die koordinierte Weltzeit. Zu beachten ist aber, dass die Messungen des DWD stündlich nach wahrer Ortszeit ausgeführt worden sind, sodass bei der Umrechnung in UTC ein gewisser Minutenversatz (vgl. Abb. 8) vorhanden ist.

Von Bedeutung sind ferner die Parameter DIFFUS_HIMMEL_KW_J sowie GLOBAL_KW_J. Sie beinhalten die diffuse und globale Strahlungsenergie in J/cm^2 aufaddiert für eine Stunde. Fehlende Messwerte werden dabei mit dem Platzhalter -999 versehen. Die Angabe des Sonnenzenits erfolgt in Grad.

4.1.2 Transitionsmodell

4.1.2.1 Funktionsweise des Transitionsmodells

Die innerhalb der Masterarbeit von (Zahn 2015) entwickelte Methode zur Sonneneinstrahlungsanalyse nutzt ein vereinfachtes Transitionsmodell zur Schätzung der solaren Einstrahlung auf eine horizontale Fläche von 1 m² in verschiedenen Zeitintervallen. Das zugrundeliegende Funktionsprinzip beruht auf der extraterrestrischen Einstrahlung in Form der Solarkonstanten verbunden mit den Einflüssen der Extinktion durch die Atmosphäre (vgl. 3 Theoretische Grundlagen).

Basis für die Schätzung der direkten und diffusen Einstrahlung des Transitionsmodells ist die Berechnung der Sonnenstände zu diskreten Zeitpunkten. Hierfür wurde ein vorhandener Algorithmus zur Berechnung von Azimut- und Sonnenzenitwinkel implementiert. Anschließend wird aus dem Sonnenzenitwinkel die relative optische Pfadlänge (auch Air mass m) abgeleitet, welche den zurückzulegenden Weg der Strahlung durch die Atmosphäre beinhaltet. Aus der relativen optischen Pfadlänge verbunden mit der Transmissivität der Atmosphäre wird die direkte Einstrahlung geschätzt. Bei der Schätzung der Diffusstrahlung wird außerdem der Anteil der diffusen an der globalen Strahlung berücksichtigt. Die beiden Parameter der Transmissivität und der Anteil der Diffus- an der Globalstrahlung werden dabei anhand von über 22 Jahren gemittelten Tageswerten der NASA für jeden Monat zur Global- und Diffusstrahlung kalibriert. So kann die Schätzung an die klimatischen Bedingungen des Berechnungsgebiets angepasst werden. Alle berechneten Strahlungswerte beziehen sich dabei auf eine Horizontalfläche von 1 m². (Zahn 2015)

Eine ausführliche Erklärung der Funktionsweise sowie die für die Umsetzung verwendeten Formeln des Transitionsmodells würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen, weshalb an dieser Stelle auf die Arbeit von (Zahn 2015) verwiesen wird.

4.1.2.2 Datenaufbau

Für die nachfolgende Evaluierung werden bereits vorhandene Funktionen des Transitionsmodells verwendet, um für die Testgebiete Potsdam (mit geographischer Breite 52,38° und Länge 13,06°) sowie Weihenstephan (mit geographischer Breite 48,40° und Länge 11,69°) stündliche Sonnenstände sowie Strahlungsstundenwerte zu Direkt- und Diffusstrahlung für die Jahre von 1983 bis 2005 zu simulieren. Die simulierten Strahlungsstundenwerte werden mittels des Datenbankmanagementsystems PostgreSQL in der Tabelle „position_of_sun“ gespeichert (vgl. Abb. 9). Diese beinhaltet folgende für die Validierung relevante Parameter: „year“, „month“, „day“, „hour“, welche Datum und Uhrzeit beinhalten, der Sonnenzenitwinkel „zenith“ sowie die Direktstrahlung auf eine Horizontalfläche „direct_rad_horiz“ und die Diffusstrahlung „diffuse_rad“.

	year integer	month integer	day integer	hour real	x dot	y do	z do	azimuth real	zenith real	point geometry	m double precision	direct_rad double precision	diffuse_rad double precision	direct_rad_horiz double precision
1	1983	1	1	0	37	92	-8	0.3883	2.6723	01010000	0			
2	1983	1	1	1	74	67	-8	0.8340	2.57177	01010000	0			
3	1983	1	1	2	91	40	-7	1.1566	2.42584	01010000	0			
4	1983	1	1	3	98	16	-6	1.4014	2.25965	01010000	0			
5	1983	1	1	4	99	-3	-4	1.6056	2.08666	01010000	0			
6	1983	1	1	5	97	-2	-3	1.7916	1.91481	01010000	0			
7	1983	1	1	6	91	-3	-1	1.9735	1.75016	01010000	0			
8	1983	1	1	7	83	-5	-1	2.1612	1.58391	01010000	0			
9	1983	1	1	8	70	-7	11	2.3620	1.45992	01010000	8.9314485505	0.0111388203	0.0019719935	0.0012324959
10	1983	1	1	9	53	-8	21	2.5805	1.35298	01010000	4.5732090645	0.1164567880	0.0402653933	0.0251658708
11	1983	1	1	10	31	-9	28	2.8174	1.27877	01010000	3.4327049242	0.2152342075	0.0991432192	0.0619645120
12	1983	1	1	11	73	-9	32	3.0679	1.24444	01010000	3.0825338243	0.2599028034	0.1333187728	0.0833242330
13	1983	1	1	12	-1	-9	31	3.3219	1.25362	01010000	3.1686310525	0.2481270648	0.1238199596	0.0773874748
14	1983	1	1	13	-4	-9	26	3.5677	1.30531	01010000	3.7665675348	0.1798150066	0.0754863399	0.0471789624
15	1983	1	1	14	-6	-7	17	3.7972	1.39425	01010000	5.6268789197	0.0660279071	0.0185544530	0.0115965331
16	1983	1	1	15	-7	-6	59	4.0080	1.51176	01010000	16.749604659	0.0001653072	1.5605425182	9.7533907392
17	1983	1	1	16	-8	-4	-8	4.2026	1.65809	01010000	0			
18	1983	1	1	17	-9	-3	-2	4.3870	1.81775	01010000	0			
19	1983	1	1	18	-9	-1	-4	4.5695	1.98606	01010000	0			
20	1983	1	1	19	-9	48	-5	4.7612	2.15909	01010000	0			
21	1983	1	1	20	-9	26	-6	4.9793	2.33026	01010000	0			
22	1983	1	1	21	-8	51	-7	5.2516	2.48988	01010000	0			
23	1983	1	1	22	-6	78	-8	5.6214	2.62035	01010000	0			
24	1983	1	1	23	-1	98	-9	6.1204	2.69072	01010000	0			

Abbildung 9 Auszug aus der Tabelle "position_of_sun" zur Simulation der Strahlungsdaten Weihenstephans mit Hilfe des Transitionsmodells

4.1.3 NASA

4.1.3.1 Strahlungsmessung durch Satellitenmesstechnik

4.1.3.1.1 Methodik

Im Rahmen des „Surface meteorology and Solar Energy Release 6.0“ (SSE) des „Prediction of Worldwide Energy Resource Project“ (POWER) der NASA werden über 200 Parameter zu Meteorologie und Solarenergie, darunter Strahlungswerte zur Global- und Diffusstrahlung, im Internet frei zugänglich bereitgestellt. Diese umfassen einen Zeitraum vom 1. Juli 1983 bis 31. Juni 2005. Dabei werden aus vorhandenen Datenbanken verschiedener Programme per Satellitenmessung erhobene Parameter verwendet, um daraus Strahlungsdaten zur Global- und Diffusstrahlung abzuleiten. Ein Überblick hierbei beteiligter Programme sowie deren Eingangsgrößen für SSE ist in Abbildung 10 gegeben. (NASA 2014, S. 5), (Surface meteorology and Solar Energy 2015)

Die Strahlungswerte zur globalen sowie diffusen Sonneneinstrahlung leiten sich nach folgender Methodik ab.

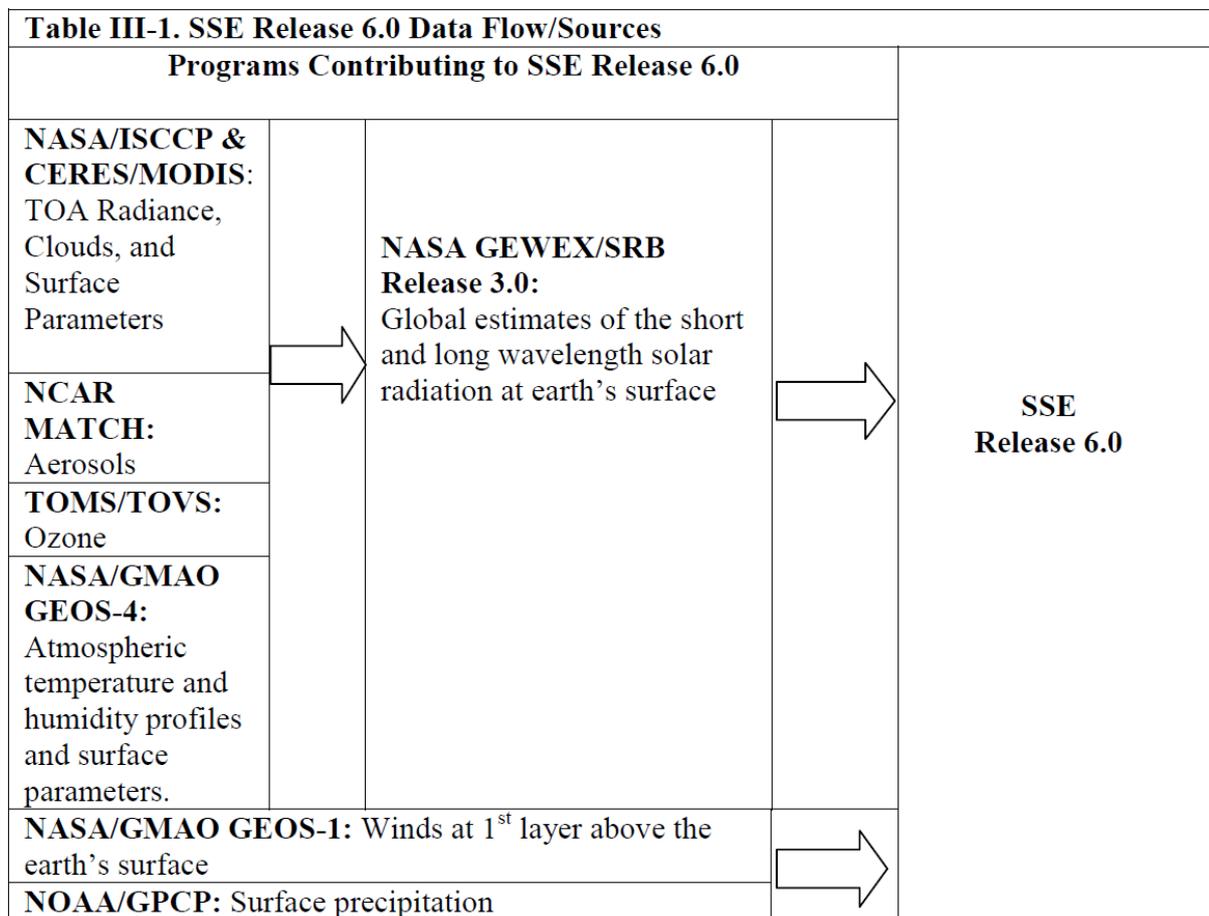


Abbildung 10 Beteiligte NASA-Programme als Bezugsquellen für SSE 6.0 (modifiziert nach (NASA 2014, S. 5))

Im ersten Schritt wird mit einer modifizierten Version des Algorithmus nach (Pinker und Laszlo 1992) mittels eines Wärmeübertragungsmodelles und Messdaten zu Wasserdampf- und Ozongehalt die Strahlungsflüsse an der Erdoberfläche sowie am oberen Rand der Atmosphäre berechnet. Dabei werden Eingangsgrößen, wie einerseits per Satellit messbare, sichtbare und infrarote Strahlung sowie Wolken- und Oberflächeneigenschaften vom „International Satellite Cloud Climatology Project“ (ISCCP) und andererseits Temperatur- und Feuchtigkeitsprofile verwendet (vgl. Abb. 10). Die resultierenden Parameter liefern Schätzungen zur kurz- und langwelligen Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche und werden im Rahmen des „NASA/Global Energy and Water Cycle Experiment – Surface Radiation Budget Release 3.0“ (SRB) bereitgestellt. Durch SRB kann so die Globalstrahlung eines Ortes innerhalb eines

globalen Netzes von 1° x 1° abgefragt werden, wobei zu diesem Zeitpunkt eine Aufteilung in direkten und diffusen Anteil dieser nicht möglich ist. (NASA 2014, S. 9-11)

Innerhalb SSE wird der Parameter der Globalstrahlung, zusammen mit anderen Strahlungsparametern aus dem Datensatz von SRB bezogen und über den angegebenen Zeitraum vom 1. Juli 1983 bis zum 30. Juni 2005 (NASA 2014, S. 2) monatlich gemittelt. Zur Berechnung der Diffusstrahlung wurden mittels Bodenmessungen des „Baseline Surface Radiation Network“ (BSRN), einem globalen Netz von Bodenmessstationen mit hohem Qualitätsstandard, Beziehungen in Form von Polynomfunktionen erstellt. Dabei wird vom sog. „clearness index“, welcher durch den Anteil der Globalstrahlung an der aus Satellitenmessungen bestimmten, auftreffenden Sonnenstrahlung am oberen Rand der Atmosphäre definiert ist, auf den Anteil der diffusen Sonneneinstrahlung an der Globalstrahlung geschlossen. Grundsätzlich wird hierbei zwischen den Breitengradbereichen von 0 bis 45° Nord und Süd sowie 45 bis 90° Nord und Süd unterschieden. Ferner berücksichtigen die aufgestellten Funktionen den Stundenwinkel der Sonne bei Sonnenuntergang sowie den Einstrahlungswinkel zur Mittagszeit in Grad. (NASA 2014, S. 18-21)

4.1.3.1.2 Genauigkeit

Durch die Kontinuität und Globalität der aus Satellitenmessungen abgeleiteten Parameter ist es der NASA möglich, verlässliche Werte in Gebieten unvollständiger oder fehlender Bodenmesswerte zur Verfügung zu stellen. Die so erhaltenen Strahlungsparameter sind im Allgemeinen jedoch von geringerer Präzision als die Strahlungsmessungen einer Bodenmessstation. Zur Validierung der Strahlungsparameter der NASA wurden diese in einer Regressionsanalyse Strahlungswerten gegenübergestellt, welche innerhalb des BSRN mit hohem Qualitätsstandard gemessenen wurden (vgl. Tabelle 4). (Surface meteorology and Solar Energy 2015)

Zur Quantifizierung der Präzision hierbei werden die Maßzahlen „Bias“, sowie „root mean square“ in Prozent angegeben. Das Bias betrachtet dabei die Differenz zwischen den jeweiligen Mittelwerten der SSE- und BSRN-Strahlungswerte. Er quantifiziert inwieweit sich ein Schätzer (in diesem Fall SSE) erwartungstreu verhält. Ein Bias von 0 entspricht Erwartungstreue und ist somit wünschenswert. (NASA 2014, S. 17), (Roach 2014, S. 92-93)

RMS steht für „root mean square“ und wird als quadratisches Mittel der Differenz der einzelnen SSE- und BSRN-Werte gebildet (NASA 2014, S. 17). Es quantifiziert somit die mittlere Streuung der Differenz der Werte. Im Idealfall ist RMS ebenfalls gleich 0.

Parameter	Region	Bias (%)	RMS (%)
Horizontal Insolation	Global	-0,01	10,25
	60° Poleward	-1,18	34,37
	60° Equatorward	0,29	8,71
Horizontal Diffuse Radiation	Global	7,49	29,34
	60° Poleward	11,29	54,14
	60° Equatorward	6,86	22,78

Tabelle 4 Regressionsanalyse monatlich gemittelter Werte von SSE gegen BSRN für den Zeitraum von Juli 1983 bis Juni 2006 nach (Surface meteorology and Solar Energy 2015)

Dabei zeigt sich für die in dieser Arbeit relevanten Regionen (60° Equatorward) für die Globalstrahlung ein relativ geringes Bias von 0,29 % mit einem RMS-Wert von 8,71 %. Die Maße für die diffuse Einstrahlung fallen jedoch mit einem Bias von 6,86 % und einem quadratischen Mittel der Abweichungen von 22,78 % wesentlich größer aus.

Die innerhalb des SSE bereitgestellten Parameter finden Verwendung in bedeutenden Institutionen wie beispielsweise U.S. Air Force, U.S. State Department Headquarters, U.S Department of Energy und vielen Weiteren. Auch Vertreter der Energiewirtschaft haben in der Vergangenheit ein reges Interesse an den Parametern gezeigt. Aus diesem Grund arbeitet das 2003 ins Leben gerufene Projekt der NASA des Applied Sciences Program POWER an einer stetigen Verbesserung der Parameter, weshalb auf geringere Abweichungen in der Zukunft zu hoffen ist. (Prediction of Worldwide Energy Resource 2015), (Surface meteorology and Solar Energy 2015)

Da die Kalibrierung des Transitionsmodells auf SSE-Daten beruht, müssen die oben genannten Abweichungen bei dessen Validerung berücksichtigt werden. Zu beachten ist auch, dass die tatsächliche Abweichung an einem einzelnen Standort von größerem Umfang sein kann. Aus diesem Grund sollen die Werte der NASA im späteren Verlauf der Arbeit denen des DWD für die Standorte Potsdam und Weihenstephan gegenübergestellt werden.

4.1.3.2 Datenaufbau

Die online bereitgestellten Strahlungsparameter der NASA werden innerhalb der Simulation mit Hilfe des Transitionsmodells bereits von der Website entnommen und in der PostgreSQL-Tabelle „radiation_values“ gespeichert (vgl. Abb. 11). Deshalb ist das Integrieren der Daten in die Datenbank für diese Arbeit nicht notwendig, da bereits per SQL-Abfrage auf die notwendigen Werte zugegriffen werden kann.

	month integer	transm double precision	diff_amount double precision	diff_radiation_soll double precision	global_radiation_soll double precision	direct_radiation_soll double precision
1	1	0.6005	0.658227848101266	0.52	0.79	0.27
2	2	0.5331	0.587837837837838	0.87	1.48	0.61
3	3	0.4126	0.601659751037344	1.45	2.41	0.96
4	4	0.3764	0.557333333333333	2.09	3.75	1.66
5	5	0.3502	0.53781512605042	2.56	4.76	2.2
6	6	0.2965	0.577083333333333	2.77	4.8	2.03
7	7	0.322	0.558823529411765	2.66	4.76	2.1
8	8	0.3773	0.538277511961723	2.25	4.18	1.93
9	9	0.4052	0.561594202898551	1.55	2.76	1.21
10	10	0.4793	0.583850931677019	0.94	1.61	0.67
11	11	0.5506	0.670588235294118	0.57	0.85	0.28
12	12	0.632	0.688524590163934	0.42	0.61	0.19

Abbildung 11 Tabelle "radiation_values" mit NASA-Parametern für die Simulation der Strahlungsdaten Potsdams mittels Transitionsmodell

Relevante Parameter der Tabelle für diese Arbeit sind dabei die monatlich gemittelten Strahlungswerte zu Global-, Direkt und Diffusstrahlung („global_radiation_soll“, „direct_radiation_soll“ und „diff_radiation_soll“) zusammen mit dem jeweiligen Monat („month“).

4.2 Datenaufbereitung in PostgreSQL-Datenbank

Die in Abschnitt 4.1 vorgestellten Datengrundlagen des DWD, des Transitionsmodells und der NASA sollen im Folgenden in einer Datenbank zum Vergleich aufbereitet werden. Als Datenbankmanagementsystem wird dabei das Open-Source-System PostgreSQL verwendet, da wie bereits in Abschnitt 4.1.2 und 4.1.3 gezeigt wurde, PostgreSQL zur Implementierung des Transitionsmodells genutzt wurde und so die simulierten Strahlungswerte bereits in PostgreSQL-Tabellen vorliegen.

4.2.1 DWD

Die in Abschnitt 4.1.1 angeführten Messreihen des DWD, die in Form von ASCII-Dateien vorliegen, sollen für die Evaluierung aufbereitet und in passender Form in die Datenbank integriert und gespeichert werden.

Dabei ist zu beachten, dass es sich um einen relativ großen Datensatz handelt. Nicht nur deshalb ist ein automatisierter Import von Vorteil. Auch kann so die Methode auf Messreihen verschiedener Standorte des DWD angewandt werden, da diese stets nach demselben Schema vorliegen. Des Weiteren müssen in den Daten vor dem Import Anpassungen vorgenommen werden. Einerseits ist die Struktur des Datums zu beachten um dieses als „Timestamp without Timezone“ zu importieren, andererseits ist aufgrund der ausschließlichen Messung der Global- und Diffusstrahlung (vgl. 4.1.1.1), kein Wert für die Direktstrahlung gegeben. Da sich für diese Arbeit Globalstrahlung modellhaft aus direkter und diffuser Sonneneinstrahlung zusammensetzt, kann die Direktstrahlung durch Subtrahieren der Global- und der Diffusstrahlung errechnet werden (vgl. 3.3 Arten der in den Modellen berücksichtigten Sonnenstrahlungen).

Für die Umsetzung der oben genannten Punkte bietet sich das ETL (Extract Transform Load) – Tool FME (Feature Manipulation Engine) von Safe Software an, da hierbei sowohl die Manipulation der Daten mittels Transformern, als auch der direkte Import in die Datenbank mittels eines formatspezifischen PostgreSQL-Writers in automatisierter Weise möglich ist. So kann der Messzeitpunkt in UTC als „Timestamp without Timezone“ importiert, sowie die Direktstrahlung als zusätzliche Variable berechnet werden. (con terra GmbH 2015, S. 19)

Durch den in dieser Arbeit erstellten Workspace (vgl. 10.1) können die Messreihen in die Datenbank importiert werden. Dabei wird das ASCII-File einer Messreihe (z.B. für Potsdam) zunächst über einen Text-File Reader extrahiert. Durch den „UIDGenerator“ wird jeder Zeile der ausgelesenen Datei eine ID zugewiesen. Dies ist notwendig, um die Werte einer Messung später wieder zusammenzuführen. Die in Form von Comma Separated Values (CSV) getrennten Attribute werden mittels „Attribute Splitter“ und „ListExploder“ getrennt. Die so aufgeteilten Attribute können über Abfrage des zuvor im „ListExploder“ zugewiesenen „_element_index“ über einen „TestFilter“ ihrem Attribut zugeordnet werden. So sind die als CSV getrennten Attribute jeweils einem Output Port des Testfilters zugeordnet und können per „AttributeRenamer“ benannt werden. Durch Extrahieren des Jahres, Monats, Tages und der Uhrzeit aus dem Messdatum in UTC und WOZ mittels „SubstringExtractor“ und neuer Verknüpfung durch „StringConcatenator“ werden die Attribute „Mess_Datum“ und „Mess_Datum_WOZ“ in die für PostgreSQL notwendige Formatierung eines „Timestamps“ überführt. Im „FeatureMerger“ werden die getrennten Attribute über deren UUID zusammengeführt. Die in Abschnitt 4.1.1.2 angesprochenen, vom DWD mit -999 gekennzeichneten, fehlenden Messungen werden durch „NullAttributeMapper“ mit dem Platzhalter „Null“ ersetzt. Zur Berechnung der Direktstrahlungswerte wird zunächst per „Tester“ abgefragt, ob für die Stunde Messwerte für Global- und Diffusstrahlung vorliegen. Ist dies der Fall, wird die Direktstrahlung als Differenz aus Global- und Diffusstrahlung gebildet. Andernfalls werden Global-, Direkt- und Diffusstrahlung gleich dem Platzhalter „Null“ gesetzt, sodass nur vollständige Strahlungsmessungen berücksichtigt werden. Schlussendlich wird der Header des ASCII-Files mittels „AttributeFilter“ entfernt und die Messwerte über einen PostgreSQL-Writer in die Datenbank integriert und in der Tabelle „Potsdam_Strahlungsdaten_Stundenwerte“ (vgl. Abb. 12) bzw. „Weihenstephan_Strahlungsdaten_Stundenwerte“ gespeichert. Die Bezeichnungen der Attribute entsprechen dabei denen des ASCII-Files. Die aus der Differenz von Global- und Diffusstrahlung errechnete Direktstrahlung wird mit „direkt_kw_j“ benannt.

stations_id bigint	mess_datum timestamp without time zone	qualitaet bigint	sonnenscheindauer double precision	global_kw_j double precision	direkt_kw_j double precision	diffus_himmel_kw_j double precision	atmosphaere_lw_j double precision	sonnenzenit double precision	mess_datum_woz timestamp without time zone
3987	2015-06-27 00:10:00	1	0	0	0	0	137	104	2015-06-27 01:10:00
3987	2015-06-27 01:10:00	1	0	0	0	0	137	101.77	2015-06-27 02:10:00
3987	2015-06-27 02:10:00	1	0	0	0	0	135	97.52	2015-06-27 03:10:00
3987	2015-06-27 03:10:00	1	0	1	0	1	134	91.57	2015-06-27 04:10:00
3987	2015-06-27 04:10:00	1	0	10	0	10	134	84.31	2015-06-27 05:10:00
3987	2015-06-27 05:10:00	1	0	23	0	23	134	76.08	2015-06-27 06:10:00
3987	2015-06-27 06:10:00	1	0	23	0	23	137	67.24	2015-06-27 07:10:00
3987	2015-06-27 07:10:00	1	0	26	0	26	136	58.12	2015-06-27 08:10:00
3987	2015-06-27 08:10:00	1	0	48	0	48	136	49.09	2015-06-27 09:10:00
3987	2015-06-27 09:10:00	1	0	46	0	46	136	40.68	2015-06-27 10:10:00
3987	2015-06-27 10:10:00	1	0	63	1	62	138	33.75	2015-06-27 11:10:00
3987	2015-06-27 11:10:00	1	0	90	3	87	141	29.62	2015-06-27 12:10:00
3987	2015-06-27 12:10:00	1	3	144	7	137	141	29.62	2015-06-27 13:10:00
3987	2015-06-27 13:10:00	1	31	206	63	143	135	33.76	2015-06-27 14:10:00
3987	2015-06-27 14:10:00	1	0	90	1	89	141	40.69	2015-06-27 15:10:00
3987	2015-06-27 15:10:00	1	12	123	17	106	138	49.1	2015-06-27 16:10:00
3987	2015-06-27 16:10:00	1	13	86	16	70	140	58.13	2015-06-27 17:10:00
3987	2015-06-27 17:10:00	1	0	18	0	18	143	67.26	2015-06-27 18:10:00
3987	2015-06-27 18:10:00	1	4	44	2	42	135	76.1	2015-06-27 19:10:00
3987	2015-06-27 19:10:00	1	0	8	0	8	134	84.33	2015-06-27 20:10:00
3987	2015-06-27 20:10:00	1	0	1	0	1	138	91.6	2015-06-27 21:10:00
3987	2015-06-27 21:10:00	1	0	0	0	0	136	97.55	2015-06-27 22:10:00
3987	2015-06-27 22:10:00	1	0	0	0	0	131	101.81	2015-06-27 23:10:00
3987	2015-06-27 23:10:00	1	0	0	0	0	137	104.04	2015-06-28 00:10:00

Abbildung 12 Auszug aus der Tabelle "Potsdam_Strahlungsdaten_Stundenwerte"

4.2.2 Transitionsmodell

Die durch Simulation mittels Transitionsmodell erhaltenen Stundenwerte sind bereits in der Tabelle „position_of_sun“ gespeichert (vgl. 4.1.2.2). Da diese bei erneuter Simulation überschrieben werden würden, werden die Daten mittels der SQL-Abfrage „copy_positon_of_sun_potsdam“ bzw. „copy_position_of_sun_weihenstephan“ in die Tabellen „Potsdam_position_of_sun“ bzw. „Weihenstephan_position_of_sun“ kopiert und gespeichert. Die so erhaltenen Tabellen weisen einen identischen Aufbau wie die Tabelle „position_of_sun“ auf (vgl. Abb. 13). Weitere Anpassungen der Daten sind zu diesem Zeitpunkt nicht notwendig.

year integer	month integer	day integer	hour real	x double precision	y double precision	z double precision	azimuth real	zenith real	point geometry	m double precision	direct_rad double precision	diffuse_rad double precision	direct_rad_horiz double precision
1983	1	1	0	375.926	-85.0	0.3849	2.602	0.101000	(0,0)	0			
1983	1	1	1	713.701	-80.0	0.7938	2.512	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	2	896.442	-72.0	1.1128	2.382	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	3	979.201	-61.0	1.3675	2.231	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	4	999.14	-48.0	1.5851	2.073	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	5	977.21	-33.0	1.7846	1.914	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	6	917.35	-19.0	1.9789	1.763	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	7	821.56	-42.0	2.1771	1.613	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	8	685.72	-72.0	2.3857	1.498	0.101000	(13.659198158,0.0012895371)	0.0001796869	9.32989719457		
1983	1	1	9	508.86	-166.0	2.6084	1.404	0.101000	(5.9531928721,0.0656468292)	0.0209880259	0.01089762885		
1983	1	1	10	291.95	-228.0	2.8454	1.340	0.101000	(4.3205434958,0.1509469520)	0.0664957298	0.03452662896		
1983	1	1	11	493.95	-255.0	3.0922	1.312	0.101000	(3.8704271326,0.1898975080)	0.0933830729	0.04848736476		
1983	1	1	12	-19.96	-243.0	3.3408	1.324	0.101000	(4.0525805543,0.1730512150)	0.0812738414	0.04219987923		
1983	1	1	13	-42.90	-195.0	3.5825	1.374	0.101000	(5.0643936047,0.1032930800)	0.0388196456	0.02015635447		
1983	1	1	14	-62.76	-112.0	3.8112	1.457	0.101000	(8.7525966776,0.0157464347)	0.0034241526	0.00177792536		
1983	1	1	15	-77.63	-74.0	4.0252	1.563	0.101000	(132.76059870,0)	0	0	0	
1983	1	1	16	-88.46	-13.0	4.2271	1.706	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	17	-95.28	-27.0	4.4221	1.853	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	18	-99.93	-42.0	4.6184	2.009	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	19	-99.114	-56.0	4.8272	2.168	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	20	-93.344	-68.0	5.0646	2.323	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	21	-80.596	-77.0	5.3545	2.463	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	22	-52.846	-84.0	5.7260	2.572	0.101000	(0,0)				
1983	1	1	23	-98.995	-86.0	6.1847	2.623	0.101000	(0,0)				

Abbildung 13 Auszug aus der Tabelle „Potsdam_position_of_sun“

4.2.3 NASA

Die bei der Simulation in der Tabelle „raditation_values“ gespeicherten, gemittelten NASA-Tagesstrahlungswerte für einen Monat (vgl. 4.1.3.2) werden mittels der SQL-Abfrage „potsdam_nasa“ bzw. „weihenstephan_nasa“ extrahiert und in der Tabelle „Potsdam_NASA“ (vgl. Abb. 14) bzw. „Weihenstephan_NASA“ gespeichert. Um einen Vergleich der Werte mit den angeführten Messreihen des DWD auf Basis eines Monats durchzuführen, werden die gemittelten Tageswerte mit der Tagesanzahl eines Monats multipliziert und somit die Monatssummen der NASA für die drei Strahlungsarten errechnet. Problematisch ist dabei, wie auch bei den simulierten Daten des Modells, das Überschreiben der in der Tabelle „radiation_values“ gespeicherten Daten bei erneuter Simulation. Aus diesem Grund muss das Extrahieren der Werte vor einer weiteren Simulation durchgeführt werden.

month integer	global_radiation double precision	global_radiation_monat double precision	direct_radiation double precision	direct_radiation_monat double precision	diff_radiation double precision	diff_radiation_monat double precision
1	0.79	24.49	0.27	8.37	0.52	16.12
2	1.48	41.44	0.61	17.08	0.87	24.36
3	2.41	74.71	0.96	29.76	1.45	44.95
4	3.75	112.5	1.66	49.8	2.09	62.7
5	4.76	147.56	2.2	68.2	2.56	79.36
6	4.8	144	2.03	60.9	2.77	83.1
7	4.76	147.56	2.1	65.1	2.66	82.46
8	4.18	129.58	1.93	59.83	2.25	69.75
9	2.76	82.8	1.21	36.3	1.55	46.5
10	1.61	49.91	0.67	20.77	0.94	29.14
11	0.85	25.5	0.28	8.4	0.57	17.1
12	0.61	18.91	0.19	5.89	0.42	13.02

Abbildung 14 Tabelle "Potsdam_NASA"

4.3 Datenvergleich

4.3.1 Aggregation der Daten

Die nun integrierten Wertereihen des DWDs und des Transitionsmodells sollen über einen gewissen Zeitraum betrachtet und miteinander verglichen werden. Aus diesem Grund bietet sich eine Aggregation der Werte über einen langjährigen Zeitraum an, um einen unmittelbaren Vergleich der Werte und so ein leichteres Identifizieren von Trends zu ermöglichen.

Da zur Kalibrierung des Transitionmodells auf die gemittelten NASA-Werte zurückgegriffen wird und sich letztere auf den Zeitraum von 1. Juli 1983 bis 30. Juni 2005 beziehen, ist die Simulation auf die Einstrahlungsverhältnisse eines Standortes innerhalb dieses Zeitraums abgestimmt. Wenn Daten außerhalb dieses Zeitfensters simuliert werden, ist es möglich, dass leicht veränderte Global- und Diffusstrahlungsverhältnisse am Standort herrschen, welche nicht berücksichtigt würden. Aus diesem Grund werden im Weiteren die Wertereihen von DWD und Transitionsmodell über den Zeitraum von 1. Juli 1983 bis 30. Juni 2005 aggregiert. Die aus der Aggregation resultierenden Werte liegen in Form von Stundenwerten für ein Jahr vor. Diese stellen die Basis für einen Vergleich in verschiedenen Zeitauflösungen (z.B. Monat, Stunde) dar.

Zu beachten ist dabei, dass im Zeitraum der Aggregation von 1983 bis 2005 sechs Schaltjahre liegen. So ist die Stichprobe für den Schalttag, sowohl der simulierten also auch der gemessenen Werte bei sechs Schaltjahren $n = 6$, für die restlichen Werte jedoch $n = 22$. Die Genauigkeit des Vergleichs ist also am Schalttag (29. Februar) aufgrund der geringeren Stichprobe abweichend der regulären Berechnungen.

Da die Werte der NASA bereits über 22 Jahre gemittelte Tageswerte für einen Monat bzw. Monatssummen darstellen (vgl. 4.2.3), müssen diese, im Gegenteil zu den Werten des DWDs und des Transitionsmodells, nicht ein weiteres Mal aggregiert werden. Sie stehen nur in monatlicher Zeitauflösung zur Verfügung, weshalb ein Vergleich mit Werten des DWD auf beispielsweise Stundenbasis nicht möglich ist.

4.3.1.1 DWD

Die Aggregation der Messwerte wird im Folgenden durch die SQL-Abfragen „mean_mess_potsdam“ (vgl. Abb. 15) bzw. „mean_mess_weihenstephan“ umgesetzt.

Dabei werden für die Darstellung der Daten anstatt Tabellen Sichten verwendet. Diese haben den Vorteil, die selektierten Variablen und Berechnungen in Echtzeit an den angegebenen Eingangsdatensatz anzupassen. Des Weiteren ist eine Verkettung der Sichten möglich, wodurch die SQL-Abfragen nur bei Erstellen der Sicht ausgeführt werden müssen und daraufhin in Echtzeit angepasst werden. (The PostgreSQL Global Development Group 2015)

```
CREATE OR REPLACE VIEW "Potsdam_Aggregation_Messwerte" AS
SELECT  date_part('month', mess_datum) month_mess, date_part('day', mess_datum) day_mess,
        date_part('hour', mess_datum) hour_mess, avg(global_kw_j) global_mess_avg,
        avg(direkt_kw_j) direkt_mess_avg, avg(diffus_himmel_kw_j) diffus_mess_avg,
        avg(sonnenzenit) zenit_mess_avg
FROM    "Potsdam_Strahlungsdaten_Stundenwerte"
WHERE   (date_part('year', mess_datum)=1983 AND date_part('month', mess_datum)>6)
        OR (date_part('year', mess_datum)>1983 AND date_part('year', mess_datum)<2005)
        OR (date_part('year', mess_datum)=2005 AND date_part('month', mess_datum)<7)
GROUP BY month_mess, day_mess, hour_mess
ORDER BY month_mess, day_mess, hour_mess;
```

Abbildung 15 SQL-Statement "mean_mess_potsdam"

Da der Messzeitpunkt im Datensatz des DWD in Form des Datentyps „Timestamp without Timezone“ in die Datenbank importiert wurde, ermöglicht die Funktion „date_part()“ an dieser Stelle einen direkten Zugriff auf Jahr, Monat, Tag und Stunde des jeweiligen Messzeitpunktes. Somit kann mittels der WHERE-Klausel des SELECT-Befehls die Werte für den Zeitraum von 1. Juli 1983 bis 30. Juni 2005 selektiert und daraufhin durch die Funktion „avg()“ gemittelt werden. So werden die Werte zu Global- („global_kw_j“), Direkt- („direkt_kw_j“) und Diffusstrahlung („diffus_himmel_kw_j“) sowie der Sonnenzenitwinkel („sonnenzenit“) über die angegebenen 22 Jahre aggregiert. In der GROUP BY-Klausel des SELECT-Befehls wird spezifiziert, nach welchen Variablen die Aggregation gruppiert werden soll. Durch Angabe der aus dem „Timestamp“ extrahierten Variablen „month_mess“,

„day_mess“ und „hour_mess“ wird erreicht, dass für jeden stündlichen Messwert zu einem bestimmten Tag und Monat ein über 22 Jahre gemittelter Durchschnittswert berechnet wird. Die aggregierten Werte werden in der Sicht „Potsdam_Aggregation_Messwerte“ (vgl. Abb. 16) sowie „Weihenstephan_Aggregation_Messwerte“ angezeigt.

	month_mess double precision	day_mess double precision	hour_mess double precision	global_mess_avg double precision	direkt_mess_avg double precision	diffus_mess_avg double precision	zenit_mess_avg double precision
1	1	1	0	0	0	0	150.107272727273
2	1	1	1	0	0	0	145.995
3	1	1	2	0	0	0	139.081363636364
4	1	1	3	0	0	0	130.687727272727
5	1	1	4	0	0	0	121.661363636364
6	1	1	5	0	0	0	112.534090909091
7	1	1	6	0	0	0	103.680909090909
8	1	1	7	0	0	0	95.4413636363637
9	1	1	8	4.86363636363636	0.636363636363636	4.22727272727273	88.1540909090909
10	1	1	9	15.9545454545455	2.31818181818182	13.6363636363636	82.185
11	1	1	10	31.8636363636364	8.86363636363636	23	77.915
12	1	1	11	37.5909090909091	10.9090909090909	26.6818181818182	75.6781818181818
13	1	1	12	34.4545454545455	9.72727272727273	24.7272727272727	75.6745454545455
14	1	1	13	27.5909090909091	5.81818181818182	21.7727272727273	77.905
15	1	1	14	15.2272727272727	2.72727272727273	12.5	82.1704545454546
16	1	1	15	3.95454545454545	0.590909090909091	3.36363636363636	88.1336363636364
17	1	1	16	0	0	0	95.4172727272728
18	1	1	17	0	0	0	103.652272727273
19	1	1	18	0	0	0	112.5
20	1	1	19	0	0	0	121.623636363636
21	1	1	20	0	0	0	130.643181818182
22	1	1	21	0	0	0	139.03
23	1	1	22	0	0	0	145.931818181818
24	1	1	23	0	0	0	150.032727272727

Abbildung 16 Auszug aus der Sicht "Potsdam_Aggregation_Simulation"

4.3.1.2 Transitionsmodell

Durch die SQL-Abfragen „mean_sim_potsdam“ (vgl. Abb. 17) bzw. „mean_sim_weihenstephan“ kann die Aggregation der simulierten Daten nach ähnlichem Schema durchgeführt werden, wodurch die Sichten „Potsdam_Aggregation_Simulation“ (vgl. Abb. 18) bzw. „Weihenstephan_Aggregation_Simulation“ erstellt werden können. Zu beachten ist, dass das Transitionsmodell die Direktstrahlung für optimal (d.h. senkrecht zur Einstrahlungsrichtung) geneigte Flächen, sowie für horizontale Flächen simuliert. Aufgrund der in dieser Arbeit vorgenommenen Definition der Direktstrahlung wird für den Vergleich die simulierte Direktstrahlung auf horizontale Flächen verwendet. Ferner wird die simulierte Globalstrahlung aus der Summe der Direkt- und Diffusstrahlung auf eine Horizontalfläche berechnet.

```
CREATE OR REPLACE VIEW "Potsdam_Aggregation_Simulation" AS

SELECT month, day, hour, avg(direct_rad_horiz + diffuse_rad) global_avg,
       avg(direct_rad_horiz) direkt_avg, avg(diffuse_rad) diffus_avg,
       avg(zenith) zenit_avg
FROM "Potsdam_position_of_sun"
WHERE ("Potsdam_position_of_sun".year=1983 AND "Potsdam_position_of_sun".month>6)
      OR ("Potsdam_position_of_sun".year>1983 AND "Potsdam_position_of_sun".year<2005)
      OR ("Potsdam_position_of_sun".year=2005 AND "Potsdam_position_of_sun".month<7)
GROUP BY month, day, hour
ORDER BY month, day, hour;
```

Abbildung 17 SQL-Statement "mean_sim_potsdam"

	month integer	day integer	hour real	global_avg double precision	direkt_avg double precision	diffus_avg double precision	zenit_avg double precision
1	1	1	0				2.60247540473938
2	1	1	1				2.51309018785303
3	1	1	2				2.38269154591994
4	1	1	3				2.23178368264979
5	1	1	4				2.0731072100726
6	1	1	5				1.91488981788809
7	1	1	6				1.76351738517935
8	1	1	7				1.61374544555491
9	1	1	8	0.000269309701013094	9.20425560424498e-05	0.000177267144970644	1.49850798736919
10	1	1	9	0.0317319986854852	0.0108451134747861	0.0208868852106992	1.40422260761261
11	1	1	10	0.100632522632476	0.0343933938110994	0.0662391288213767	1.34030397371812
12	1	1	11	0.141288867888839	0.0482886004177045	0.0930002674711346	1.31296818906611
13	1	1	12	0.122818166531929	0.0419758290678745	0.0808423374640547	1.32489215243946
14	1	1	13	0.0584567274919587	0.0199788815478846	0.0384778459440741	1.37489252198826
15	1	1	14	0.00507459429105058	0.00173435501086539	0.00334023928018519	1.45817439664494
16	1	1	15	0	0	0	1.56383319876411
17	1	1	16				1.70663559436798
18	1	1	17				1.85380614345724
19	1	1	18				2.00997048074549
20	1	1	19				2.16919853470542
21	1	1	20				2.32420728423379
22	1	1	21				2.46441163799979
23	1	1	22				2.57261057333513
24	1	1	23				2.62425956942818

Abbildung 18 Auszug aus der Sicht "Potsdam_Aggregation_Simulation"

Zusammenfassend liegen nun also Sichten für die Standorte Potsdam und Weihenstephan vor, die die gemessenen sowie simulierten Daten in der Form Monat, Tag, Stunde sowie über 22 Jahre gemittelte Global-, Direkt-, und Diffusstrahlung und Zenitwinkel beinhalten. Im Folgenden werden diese aggregierten Wertereihen für die Evaluierung in verschiedenen Zeitauflösungen einander gegenübergestellt.

4.3.2 Quantifizierung der Abweichungen in unterschiedlichen Zeitintervallen

Im Folgenden werden die aggregierten Wertereihen von DWD und Transitionsmodell durch ein in dieser Arbeit erstelltes SQL-Skript in verschiedenen Zeitaufösungen gegenübergestellt und deren Abweichungen voneinander berechnet. Auf Basis der gewonnenen Daten wird in Kapitel 5 mittels der erstellten Sichten eine Visualisierung der Ergebnisse umgesetzt.

4.3.2.1 Stündliche Zeitauflösung

Die Sichten „Potsdam_Aggregation_Messwerte“ bzw. „Weihenstephan_Aggregation_Messwerte“ und „Potsdam_Aggregation_Simulation“ bzw. „Weihenstephan_Aggregation_Simulation“ können nun mittels der SQL-Abfrage „difference_mess_sim_Potsdam“ bzw. „difference_mess_sim_Weihenstephan“ hinsichtlich ihrer Global-, Direkt- und Diffusstrahlungswerte sowie dem Sonnenzenitwinkel verglichen werden.

Um die Strahlungswerte der jeweiligen Datenreihen einander gegenüberzustellen, müssen Wertepaare für die entsprechenden Zeitpunkte selektiert werden. Mittels Spezifizierung der WHERE-Klausel (vgl. Abb. 19) im SELECT-Befehl werden nur Werte einander gegenübergestellt, deren Attribute Monat, Tag und Stunde identisch sind.

```
WHERE "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess = "Potsdam_Aggregation_Simulation".month
AND "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess = "Potsdam_Aggregation_Simulation".day
AND "Potsdam_Aggregation_Messwerte".hour_mess = "Potsdam_Aggregation_Simulation".hour
```

Abbildung 19 Auszug aus "difference_mess_sim_potsdam" - WHERE-Klausel

Die aus der Aggregation entnommenen Zeitvariablen „month“, „day“ sowie „hour“ sollen für den Vergleich durch die Variable „week“ ergänzt werden, um bei der späteren Visualisierung eine Analyse der Stundenwerte auf Wochenbasis berücksichtigen zu können. Da sich die Variable „day“ auf die Tage eines Monats bezieht und so für jeden Monat die Zählung von Neuem beginnt, wird in der SQL-Abfrage „difference_mess_sim_Potsdam“ bzw. „difference_mess_sim_Weihenstephan“ mittels des CASE-Ausdrucks eine Fallunterscheidung nach Monat erstellt, die die fortlaufende Anzahl der Tage eines Jahres liefert. Letztere wird daraufhin durch sieben dividiert und mittels der „CEIL()“-Funktion aufgerundet, wodurch zu jedem Zeitpunkt die Variable „week“ zugeordnet werden kann. (Vgl. Abb. 20)

```
CEIL((CASE WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=1
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=2
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+31
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=3
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+60
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=4
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+91
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=5
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+121
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=6
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+152
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=7
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+182
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=8
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+213
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=9
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+244
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=10
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+274
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=11
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+305
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=12
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+335
END)/7) week,
```

Abbildung 20 Auszug aus SQL-Statement "difference_mess_sim_potsdam" zur Berechnung von week

4.3.2.1.1 Einheitenumrechnung

Da die Strahlungswerte des DWD dabei in $\left[\frac{J}{cm^2}\right]$, die der Simulation jedoch in $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$ vorliegen, ist zur Vergleichbarkeit der Daten an dieser Stelle eine Einheitenumrechnung notwendig, welche sich wie folgt herleitet:

$$1 \frac{kWh}{m^2} = \frac{1000 \cdot \frac{J}{s} \cdot 1h \cdot 60 \frac{min}{h} \cdot 60 \frac{s}{min}}{100cm \cdot 100cm} = 360 \frac{J}{cm^2}$$
$$\leftrightarrow 1 \frac{J}{cm^2} = \frac{1}{360} \frac{kWh}{m^2} = 0,002\bar{7} \frac{kWh}{m^2}$$

In dieser Arbeit wird der Vergleich in der Einheit $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$ durchgeführt, um direkte Rückschlüsse auf das Simulationstool zu ermöglichen. Aus diesem Grund werden in der SQL-Abfrage „difference_mess_sim_Potsdam“ bzw. „difference_mess_sim_Weihenstephan“ die Messwerte des DWD in $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$ überführt, also durch 360 dividiert.

Ferner ist der Winkel des Zenitabstand in den simulierten Werten im Bogenmaß, in den Messreihen des DWD jedoch in Grad vermerkt. Aus diesem Grund wird der Zenitabstand der Simulation mit $\frac{360}{2\pi}$ multipliziert und so in Grad umgerechnet.

4.3.2.1.2 Berechnung der absoluten und relativen Abweichung

Mit der Umrechnung der Wertepaare in identische Einheiten ist nun die Vergleichbarkeit der Daten gegeben. Somit kann eine absolute Abweichung der Strahlungswerte sowie des Zenitabstandes folgendermaßen errechnet werden.

$$\text{absolute Abweichung} = \text{Messwert} - \text{Simulierter Wert}$$

Für den anschaulichen Vergleich der aggregierten Werte ist das Berechnen einer relativen Abweichung in Prozent sinnvoll. Diese ermöglicht ein schnelles Identifizieren von Trends in Unterschieden der Daten, sowie eine übersichtliche Visualisierung der Abweichungen. Für die Berechnung der relativen Abweichungen ist hierbei eine Fallunterscheidung notwendig, um eine, mathematisch nicht definierte, Division durch 0, welche bei einem Messwert des DWD gleich 0 entstehen würde, ausschließen zu können. Ist der Messwert des DWD ungleich 0, so kann die relative Abweichung über nachfolgende Formel errechnet werden (vgl. Fall 1).

$$\text{Fall 1: Messwert} \neq 0, \text{relative Abweichung} [\%] = \frac{\text{Messwert} - \text{Simulierter Wert}}{\text{Messwert}} \cdot 100$$

Für Fälle, in denen der Messwert des DWD gleich 0, der simulierte Wert jedoch ungleich 0 ist, wird für diese Arbeit eine relative Abweichung gleich -100 % definiert (vgl. Fall 2). Dies ist bei der Betrachtung und Auswertung der Daten zu berücksichtigen. Auch bei der Bildung von Lage- und Streuungsmaßen der relativen Abweichungen müssen die Auswirkungen dieser Festlegung beachtet werden.

$$\text{Fall 2: Messwert} = 0, \text{Simulierter Wert} \neq 0, \text{relative Abweichung} [\%] = -100$$

Für Fälle in denen der Messwert des DWD sowie auch der simulierte Wert des Transitionsmodells gleich 0 ist, wird für diese Arbeit eine relative Abweichung von 0 % definiert (vgl. Fall 3).

$$\text{Fall 3: Messwert} = 0, \text{Simulierter Wert} = 0, \text{relative Abweichung} [\%] = 0$$

In der SQL-Abfrage „difference_mess_sim_potsdam“ bzw. „difference_mess_sim_weihenstephan“ kann dies mittels des CASE-Ausdrucks umgesetzt werden.

```
CASE WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg<>0
THEN    (((("Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360)
          -"Potsdam_Aggregation_Simulation".global_avg)
          /("Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360))*100

WHEN    "Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg=0 AND
        ( ("Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360)
          -"Potsdam_Aggregation_Simulation".global_avg) <>0
THEN    1*(-100)

WHEN    "Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg=0 AND
        ( ("Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360)
          -"Potsdam_Aggregation_Simulation".global_avg)=0
THEN    0*100

END      global_rel,
```

Abbildung 21 Auszug aus SQL-Statement "difference_mess_sim_potsdam" – CASE-Klausel zur Berechnung der relativen Abweichung der Globalstrahlung

Die somit erstellten Sichten „Potsdam_Vergleich“ (vgl. Abb. 22) bzw. „Weihenstephan_Vergleich“ in Stundenauflösung vergleichen die Werte der Global-, Direkt-, und Diffusstrahlung sowie des Sonnenzenitwinkels. Dabei wird der Messwert des DWD (z.B. „global_mess“), der geschätzte Wert des Transitionsmodell (z.B. „global_sim“) sowie die absolute (z.B. „global_diff“) und relative Abweichung (z.B. „global_rel“) aufgelistet. Auf Basis dieser werden in den nächsten Abschnitten die Daten in weiteren Zeitaufösungen einander gegenübergestellt und evaluiert.

4.3.2.2 Monatliche Zeitauflösung

Für die Validierung des Transitionsmodells soll es möglich sein, die Monatssummen der Wertereihen von DWD, NASA und Simulation miteinander zu vergleichen. Daher bietet es sich an, die Werte aller drei Datensätze in einer Sicht „Potsdam_Vergleich_Monatssumme“ (vgl. Abb. 24) bzw. „Weihenstephan_Vergleich_Monatssumme“ zusammenzuführen.

Diese greifen dabei einerseits auf die Sicht „Potsdam_Vergleich“ bzw. „Weihenstephan_Vergleich“ und andererseits auf die Tabelle „Potsdam_NASA“ bzw. „Weihenstephan_NASA“ zurück. Aus Ersterer wird dabei die monatliche Summe der aggregierten Strahlungsstundenwerte des DWD und der Simulation für jeden Monat aufaddiert. Zu berücksichtigen ist, dass die NASA-Daten sich wegen der in Abschnitt 4.2.3 vorgenommenen Multiplikation der Tagessummen der Strahlung mit der Anzahl der Tage pro Monat auf 28 Tage im Monat Februar beziehen und somit den Schalttag (29. Februar) nicht beinhalten. Aus diesem Grund wird für die Monatssummen der Strahlungswerte des DWD und des Simulationstools der 29. Februar mittels WHERE-Klausel ausgeschlossen. Die in der Sicht „Potsdam_NASA“ bzw. „Weihenstephan_NASA“ errechneten Monatssummen können für den Vergleich übernommen werden. Durch Gleichsetzen der Monatsvariablen in der WHERE-Klausel werden Werte von DWD, NASA und Simulation für die Global-, Direkt- und Diffusstrahlung sowie für den Sonnenzenit für jeden Monat gegenübergestellt.

```
WHERE "Potsdam_Vergleich".month="Potsdam_NASA".month  
AND (("Potsdam_Vergleich".month=2 AND "Potsdam_Vergleich".day=29) is FALSE)
```

Abbildung 23 Auszug aus SQL-Statement "difference_mess_sim_potsdam_monatssumme" - WHERE-Klausel

Die absolute und relative Abweichung wird nach selben Schema wie in Abschnitt 4.3.2.1.2 berechnet und der Sicht hinzugefügt.

Es wird somit eine Sicht erstellt, welche die Monatssummen des DWD, der NASA und der Simulation gegenübergestellt, sowie deren absolute und relative Abweichungen untereinander enthält. Auf Basis dieser können in Kapitel 5 die monatlichen Abweichungen zwischen DWD, NASA und Transitionsmodell aufgezeigt werden.

month	global_mess_monat	global_nasa_monat	global_sim_monat	global_diff_mess_nasa	global_rel_mess_nasa	global_diff_mess_sim	global_rel_mess_sim	global_diff_nasa_sim	global_rel_nasa_sim
integer	double precision	double precision	double precision	double precision	double precision	double precision	double precision	double precision	double precision
1	19.702158489658	24.49	24.96871024449	-4.78784151034151	-24.3011013887367	-5.28347094675183	-26.816711222402	-0.47871024449114	-1.9547172090287
2	35.291245791245	41.44	42.28224966256	-6.14875420875421	-17.4228879454276	-7.00969074000443	-19.862406619103	-0.84224966256330	-2.0324557494288
3	71.097602212602	74.71	76.36140651217	-3.61239778739778	-5.08089960136163	-5.31039520866816	-7.4691621706011	-1.65140651217942	-2.2104223158605
4	113.30081168831	112.5	113.9413582874	0.800811688311612	0.7068013691858	-0.74576545431402	0.65882172212195	-1.44135828740694	-1.2812073665839
5	154.79320767195	147.56	148.5140916622	7.23320767195784	4.67281980956597	6.13149696207167	3.96108915519453	-0.95409166226704	0.6465787898258
6	154.23823953823	144	144.0928967880	10.2382395382394	6.6379385351459	10.0997198546132	6.54812962391812	-0.09289678800342	0.0645116583357
7	159.46431577681	147.56	146.8931963043	11.9043157768156	7.46519101707791	12.5504124017514	7.87035791713856	0.66680369564255	0.45188648389980
8	138.58434343434	129.58	128.2127762352	9.0043434343435	6.49737424242981	10.2223224774831	7.37624793790219	1.36722376472994	1.055119433566132
9	87.778622338812	82.8	81.25741702793	4.97862233881251	5.67179366246575	6.29708914925898	7.17383000721195	1.54258297206252	1.86302291311898
10	54.536544011544	49.91	48.56032345242	4.62654401154398	8.483383319818113	5.81589107379036	10.6642090715526	1.34967654757585	2.704222069239801
11	22.948484848484	25.5	24.69403473298	-2.55151515151515	-11.1184471147498	-1.83911049056516	-8.0140824229037	0.8059652670105863	1.6064810592388
12	14.548112020370	18.91	18.80035014296	-4.36188797962921	-29.9825020148424	-4.53082037367953	-31.143700071427	0.1096498570319160	0.57985117415081

Abbildung 24 Auszug aus der Sicht "Potsdam_Vergleich_Monatssumme": Attribute zum Vergleich der Monatssummen der Globalstrahlung

4.3.2.3 Stündliche Tagesverläufe

Um den stündlichen Tagesverlauf von Messwerten und Simulation miteinander vergleichen zu können, wird im Folgenden eine weitere Aggregation durchgeführt. Ziel dabei ist, für jeden Monat der über 22 Jahre gemittelten Datenreihen den gemittelten Tagesverlauf von 0 bis 23 Uhr zu errechnen und so eine weitere Zeitauflösung in der Evaluierung des Simulationsprogramms einzubinden.

Mithilfe der SQL-Abfragen „difference_mess_sim_potsdam_tagesverlauf“ bzw. „difference_mess_sim_weihenstephan_tagesverlauf“ wird das stündliche Mittel für gemessene und simulierte Werte, sowie deren absolute und relative Abweichung für die Global-, Direkt-, und Diffusstrahlung und ebenso den Zenitabstand, nach in Abschnitt 4.3.2.1.2 definierter Konvention, berechnet. Die errechneten Variablen werden in der Sicht „Potsdam_Vergleich_Tagesverlauf“ (vgl. Abb. 25) bzw. „Weihenstephan_Vergleich_Tagesverlauf“ dargestellt. In Kapitel 5 erfolgt eine Visualisierung der Ergebnisse der monatlich gemittelten Tagesverläufe.

5 Ergebnisse und Visualisierung

5.1 Vergleich der DWD-Messwerte mit NASA-Werten

Die über 22 Jahre gemittelten Strahlungswerte der NASA dienen der Kalibrierung des Transitionsmodells. Daraus ergibt sich, dass Abweichungen dieser von den DWD-Werten (anhand welcher das Transitionsmodell evaluiert wird) bereits Abweichungen zwischen Strahlungswerten des DWD und des Transitionsmodells determinieren. Da diese eventuellen Abweichungen nicht auf die Funktionsweise der Simulation zurückzuführen sind, sondern in der unpräzisen Kalibrierung fußen, müssen diese bei der Validierung berücksichtigt werden. Im Folgenden soll deshalb auf Basis der Sichten „Potsdam_Vergleich_Monatssumme“ bzw. „Weihenstephan_Vergleich_Monatssumme“ untersucht werden, inwieweit Abweichungen von NASA- zu DWD-Monatssummen vorliegen.

5.1.1 Globalstrahlung

Um einen ersten Einblick über die Abweichungen zwischen den monatlichen Globstrahlungssummen des DWD und der NASA zu erhalten, werden mithilfe der Statistik Software R die Daten ausgewertet und Boxplots der relativen Abweichung der beiden Standorte Potsdam und Weihenstephan betrachtet. Der Boxplot stellt mehrere Lageparameter in graphischer Form dar. Bei diesem werden Quantile verwendet, welche auf einer Unterteilung des Datensatzes basieren. Diese sind wie folgt definiert: „In einem geordneten Datensatz ist das p -Prozent-Quantil der Wert, bei dem mindestens p Prozent der Beobachtungen kleinere oder gleiche und mindestens $(1-p)$ Prozent der Beobachtungen größere oder gleiche Werte annehmen.“ (Cleff 2015, S. 50) Die 25 und 75 Prozent Quantile, die sogenannten unteren und oberen Quartile werden im Boxplot als untere bzw. obere Begrenzung der Box dargestellt, während das 50 Prozent Quartil, der Median, durch einen Strich innerhalb der Box gekennzeichnet ist. Durch die Definition des oberen und unteren Quartils befinden sich somit die 50 Prozent der Werte, die um den Median streuen, innerhalb der Box. Der Median teilt so den Datensatz in zwei gleich große Teile. Zudem ist dieser nicht anfällig gegenüber Ausreißerwerten wie das arithmetische Mittel. Der Streuparameter des Interquartilabstandes ist als Differenz von erstem und drittem Quartil definiert und wird durch die Kantenlänge der Box graphisch veranschaulicht. Werte, welche über oder unter den Boxgrenzen liegen, werden durch die sogenannten „Whisker“ dargestellt und reichen vom unteren bzw. oberem Quartil bis hin zum Minimum bzw. Maximum der Werte, jedoch nicht weiter als das 1,5-fache der Kantenlänge der Box und somit des Interquartilabstandes. Eventuell über diesen Bereich hinausgehende Werte werden als Ausreißer bezeichnet und dementsprechend markiert. (Cleff 2015, S. 50-62)

Die in der Statistik am häufigsten Verwendung findende Streuungsmaße der Varianz und der Standardabweichung sind nach (Cleff 2015, S. 55-57) wie folgt definiert:

$$Var(x)_{theor} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Die Standardabweichung leitet sich aus der Quadratwurzel der Varianz ab und ist als durchschnittliche Abweichung der Werte vom Durchschnitts- bzw. Mittelwert zu interpretieren.

$$S_{theor} = \sqrt{Var(x)_{theor}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Dabei sei erwähnt, dass in Berechnungen mit R die Varianz und Standardabweichung verwendet wird, welche sich auf den Nenner $n-1$ bezieht (Gross 2010, S. 60-61).

Um die Verteilungsform der Visualisierung der Abweichungen nicht nur graphisch beschreiben zu können, sondern diese mittels einer Kennzahl zu quantifizieren, werden im Folgenden die Parameter der Schiefe und Kurtosis eingeführt. Dabei stellt Schiefe das Ausmaß der Abweichung der Verteilung von der Symmetrie dar. Negative Werte der Schiefe weisen auf eine linksschiefe (bzw. rechtssteile), positive auf eine rechtsschiefe (bzw. linkssteile) Verteilungsform hin. Ist die Schiefe gleich 0, so liegt eine symmetrische Verteilung vor. Der Parameter der Kurtosis dient der Erfassung der Wölbung einer Verteilung und unterscheidet beispielsweise zwischen spitzen und breitgipfligen Verteilungen. Eingipflige Normalverteilungen haben einen Kurtosiswert von drei und werden als mesokurtische Verteilung bezeichnet. Leptokurtische Verteilungsformen weisen einen Wert größer 3 auf und sind vergleichsweise spitzgipfliger. Werte kleiner 3 sind breitgipfliger als die Normalverteilung und werden als platykurtisch bezeichnet. (Cleff 2015, S. 59-62)

Der Boxplot für Potsdam (vgl. Abb. 26 links) gibt folgende Rückschlüsse auf die Verteilung der Abweichungen der Globalstrahlungssummen von NASA und DWD. Zu erkennen ist dabei die Spannweite der Abweichungen: Der minimale Wert liegt mit -29,98 % bei, wobei der maximale Wert 8,48 % erreicht. Zudem ist ein Median von 2,69 % zu erkennen. Da sich der Mittelwert bei -3,98 % befindet, kann daraus geschlossen werden, dass die Verteilung eine linksschiefe Form annimmt. Der Wert der Schiefe beträgt dabei -0,81, was diese Annahme bekräftigt. Ein Hinweis darauf ist auch, dass das erste Quartil bei -12,69 % und das Dritte bei einem Wert von 6,53 % liegt. Der Wert der Kurtosis von 2,19 impliziert eine breite Verteilung, was auf eine höhere Streuung hinweist. Dies zeigt sich auch an der Boxlänge (Interquartilabstand) von 19,23 % und der Standardabweichung der Verteilung von 13,55 %.

Das Minimum und Maximum der Verteilung Weihenstephans (vgl. Abb. 26 rechts) weist eine geringere Spannweite von -20,15 % bis 4,80 % als die Potsdams auf. Dabei kann ein erstes und drittes Quartil von -9,74 % und 4,06 % festgehalten werden. Der Median liegt bei 1,07 %, während sich der Mittelwert bei -3,26 % befindet. Die Verteilung ist linksschief mit einem Schiefewert von -0,75 und breitgipflig mit einer Kurtosis von 2,09. Die Streuung der Verteilung ist von geringerem Umfang als die Potsdams, was sich einerseits an der kürzeren Boxlänge von 13,80 % und andererseits der Standardabweichung von 9,14 % zeigt.

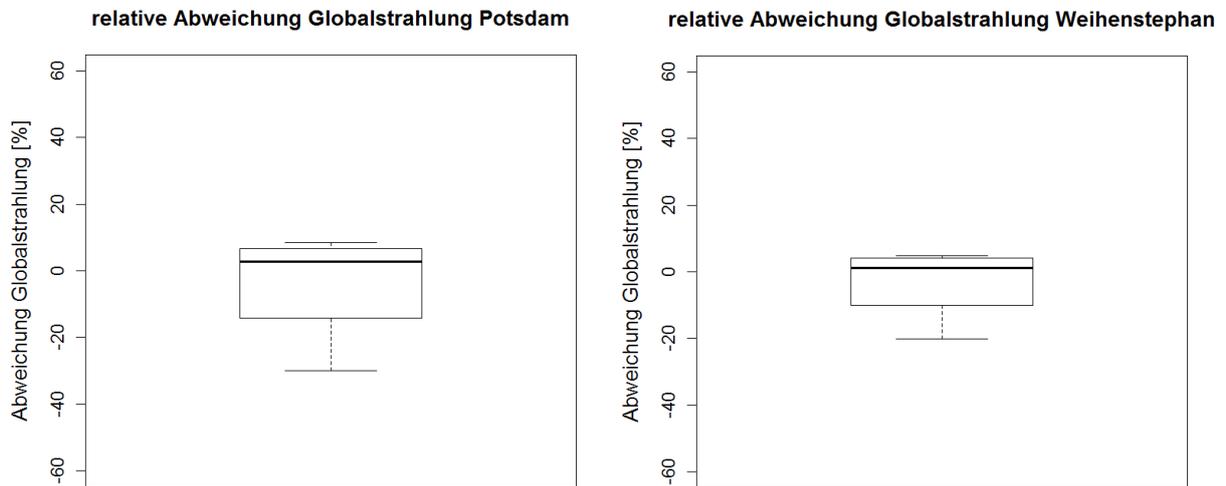


Abbildung 26 Boxplots der relativen Abweichung der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und NASA in monatlicher Zeitauflösung

Es kann somit festgehalten werden, dass für beide Standorte ein positiver Median zu finden ist und somit mehr als die Hälfte der Werte größer 0 sind. Die linksschiefe Verteilung impliziert größere Abweichungen in den negativen Werten. Für einen detaillierteren Überblick und zur Aufdeckung evtl. Trends, werden mit Hilfe von FME nun die Sichten aus der Datenbank in Microsoft Excel überführt, um die Ergebnisse für Potsdam und Weihenstephan hinsichtlich der absoluten und relativen Abweichungen zu visualisieren. Dabei können nachfolgende Beobachtungen abgeleitet werden.

Die absolute Abweichung (vgl. Abb. 27 (1) & (3) hellblaue Linie) wird aus der Differenz zwischen DWD- und NASA-Werten gebildet. Somit ergeben sich positive Werte, falls die Monatssumme des DWD die der NASA überwiegt, und negative, wenn die der NASA die Summe des DWD übersteigt.

Betrachtet man im Vergleich die Globalstrahlungswerte von DWD und NASA für Potsdam (vgl. Abb. 27 (1) & (2)), so zeigt sich in den Wintermonaten Januar bis März sowie November bis Dezember eine größere Monatssumme der NASA (vgl. Abb. 27 (1) blaue Linie) als des DWD (vgl. Abb. 27 (1) gelbe Linie). Im Sommer hingegen übersteigen die Summen des DWD die der NASA. Die absolute Abweichung liegt in einem betragsmäßigen Wertebereich von bis zu maximal $11,90 \frac{kWh}{m^2}$ im Juli (vgl. Abb. 27 (1) hellblaue Linie). Die betragsmäßig kleinste absolute Abweichung findet sich im April mit $0,80 \frac{kWh}{m^2}$. Die relative Abweichung nimmt dabei die betragsmäßig größten Werte im Winter mit einem Maximalwert von -29,98 % im Dezember an. Im Sommer sind die relativen Abweichungen von kleinerem Umfang und reichen von 0,71 % im April bis zu 8,48 % im Oktober (vgl. Abb. 27 (2)). Insgesamt ist die Jahressumme der Globalstrahlung für Potsdam in den Messwerten des DWD um $27,32 \frac{kWh}{m^2}$ größer als die der NASA. Dies entspricht einer prozentualen Abweichung von 2,66 %.

Ein ähnlicher Verlauf ist bei der Auswertung der Werte für Weihenstephan zu finden. Auch hier zeigt sich in den Wintermonaten Januar bis April und November bis Dezember eine geringere Summe der DWD-Werte, wohingegen in den Sommermonaten Mai bis Oktober die abgeleiteten Monatssummen der NASA geringer ausfallen (vgl. Abb. 27 (3) & (4)). Die absolute Abweichung nimmt Werte von bis zu $7,94 \frac{kWh}{m^2}$ im Mai an und fällt dabei vergleichsweise kleiner als die Potsdams aus. Die geringste absolute Abweichung findet sich mit $-1,07 \frac{kWh}{m^2}$ im April (vgl. Abb. 27 (3) hellblaue Linie). Auch für Weihenstephan sind die größten relativen Abweichungen im Winter zu finden. Der betragsmäßige Maximalwert liegt dabei mit -20,15 % im Dezember. In den Sommermonaten liegen die Abweichungen von 3,01 % bis 4,80 % in einem geringeren Wertefenster. Die betragsmäßig geringste relative Abweichung liegt mit -0,87 % wie auch für Potsdam im April (vgl. Abb. 27 (4)). Die absolute Abweichung der Jahressummen für Weihenstephan zwischen DWD und NASA beträgt $11,20 \frac{kWh}{m^2}$. Dies entspricht 0,96 %.

Aus den obigen Auswertungen der beiden Standorte lassen sich folgende Trends für die Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und NASA ableiten. Generell unterschreiten die Werte der NASA die des DWD im Sommer, wobei sich größere NASA- als DWD-Werte in den Wintermonaten von November bis März (Potsdam) bzw. April (Weihenstephan) finden. Die absoluten Abweichungen sind im Winter tendenziell kleiner als im Sommer, die relativen Abweichungen hingegen im Winter von größerem Umfang als im Sommer. Dieser Unterschied beruht darauf, dass durch höhere monatliche Globalstrahlungssummen im Sommer die absoluten Abweichungen geringer gewichtet werden und so in geringeren relativen Abweichungen resultieren (vgl. 4.3.2.1.2 Formel Fall 1). Allgemein sind im April die geringsten absoluten und relativen Abweichungen aufzufinden. Betrachtet man die Jahressummen beider Standorte, zeigt sich, dass die Differenzen der Monatssummen durch einander Aufhebung größtenteils kompensiert werden. Die Abweichungen der Jahressumme fallen aus diesem Grund geringer aus. Es ist festzuhalten, dass die Jahressumme der NASA durchwegs geringer als die des DWD ausfällt.

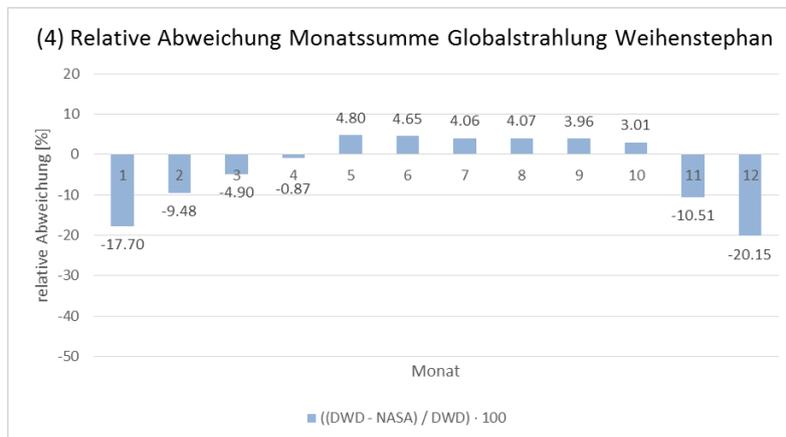
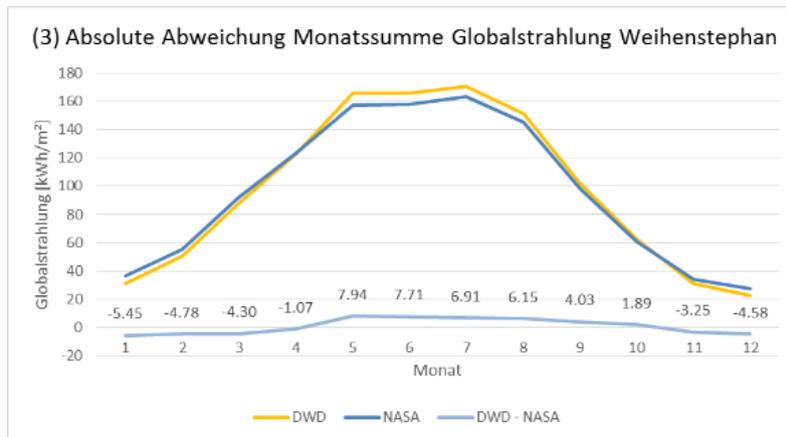
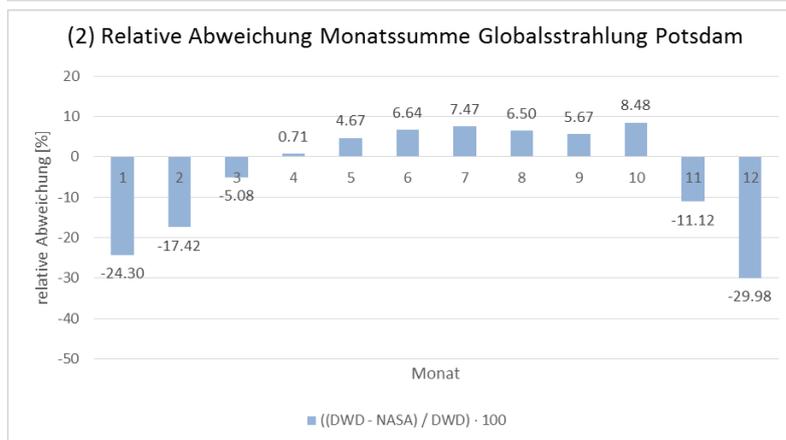
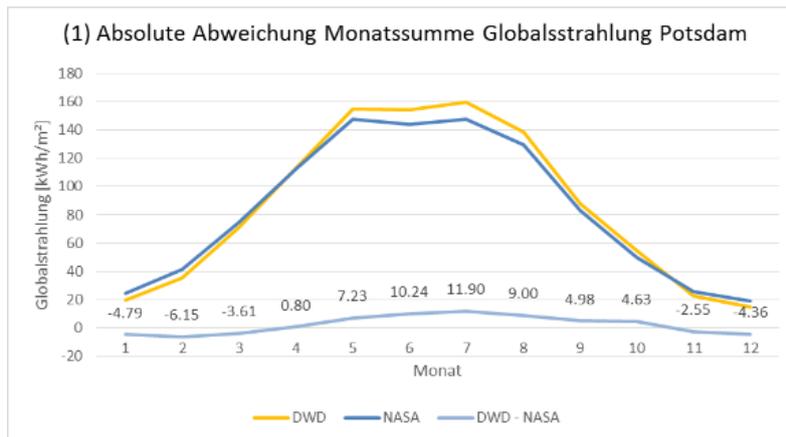


Abbildung 27 Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und NASA: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

5.1.2 Direktstrahlung

In den Abweichungen der monatlichen Direktstrahlungssummen, die für DWD und NASA nicht direkt gemessen sondern aus Global- und Diffusstrahlung modellhaft errechnet werden, sind folgende Beobachtungen festzuhalten.

Die relativen Abweichungen von DWD und NASA sind in Abbildung 28 durch Boxplots visualisiert. Dabei zeigt sich für Potsdam eine Spannweite zwischen -46,82 % und 17,19 %. Das erste Quartil liegt bei -21,20 %, das Dritte bei 13,66 %. Der Median befindet sich bei 7,21 %, der Mittelwert hingegen bei -4,13 %. Dies lässt auf eine linksschiefe Verteilung schließen und kann mit einem Schiefewert von -0,78 bestätigt werden. Die Verteilung weist eine Streuung mit einem Interquartilabstand von 34,86 % und einer Standardabweichung von 23,12 % auf. Es ergibt sich eine breitgipflige Verteilung mit einer Kurtosis von 2,04.

Die Spannweite der Werte Weihenstephans ist von geringerem Ausmaß, wobei das Minimum bei -48,52 % und das Maximum bei 5,20 % liegt. Unteres und oberes Quartil liegen bei -26,10 % und 2,88 %. Median und Mittelwert befinden sich bei -4,62 % und -13,05 %, woraus sich eine linksschiefe Verteilung mit einer Schiefe von -0,72 ergibt. Die Streuungsmaße des Interquartilabstandes von 28,88 % und der Standardabweichung von 19,68 % implizieren eine breitgipflige Verteilungsform, was sich an einem Kurtosiswert von 2,02 zeigen lässt.

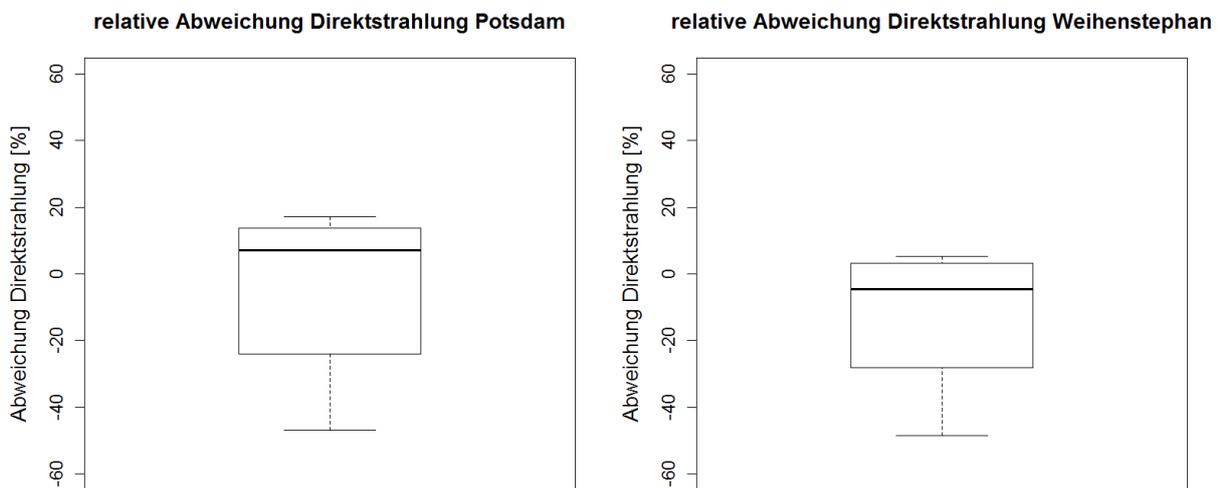


Abbildung 28 Boxplots der relativen Abweichung der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und NASA in monatlicher Zeitauflösung

Die linksschiefen Verteilungen beider Standorte zeigen, wie für die Globalstrahlung, größere Abweichungen im negativen Bereich an. Der positive Median Potsdams weist auf eine größere Anzahl positiver Werte als negativer Werte hin, während für Weihenstephan Gegenteiliges festgestellt werden kann. Für eine genauere Analyse werden die Abweichungen der Direktstrahlungssummen nun in einzelnen Monaten visualisiert, um auf eventuelle Trends rückschließen zu können.

Für das Testgebiet Potsdam (vgl. Abb. 29 (1) und (2)) sind die Monatssummen der NASA (vgl. Abb. 29 (1) blaue Linie), ähnlich der Globalstrahlung, in den Wintermonaten Januar bis März und November bis Dezember größer als die des DWD (vgl. Abb. 29 (1) gelbe Kurve). In den Sommermonaten überwiegen die Werte des DWD. Die absoluten Abweichungen nehmen Werte bis zu $13,52 \frac{kWh}{m^2}$ im Juli an (vgl. Abb. 29 (1) hellblaue Linie). Sie sind im Sommer betragsmäßig größer als im Winter. Die betragsmäßig geringste absolute Abweichung liegt mit $-1,06 \frac{kWh}{m^2}$ im März. Die betragsmäßig größten Werte der relativen Abweichung (vgl. Abb. 29 (2)) liegen im Winter mit einem Maximum im Dezember von $-46,82 \%$. Geringere Werte mit bis zu $17,19 \%$ sind im Sommer zu finden. Die kleinste relative Abweichung ist mit $-3,68 \%$ im März zu finden. In den Jahressummen äußert sich die Abweichung mit Werten von $44,43 \frac{kWh}{m^2}$ für die absolute Abweichung, welche einer relativen Abweichung von $9,36 \%$ entspricht.

Die Ergebnisse des Vergleichs der Direktstrahlungswerte Weihenstephans zeigen ebenfalls eine größere Monatssumme der NASA gegenüber dem DWD in den Wintermonaten Januar bis April und Oktober bis Dezember. In den Sommermonaten sind die Monatssummen des DWD größer. Die absoluten Abweichungen liegen in einem betragsmäßigen Wertefenster zwischen $-0,54 \frac{kWh}{m^2}$ im Oktober und $-6,21 \frac{kWh}{m^2}$ im Februar. Für die relative Abweichung zeigen sich im Winter betragsmäßig wesentlich größere Werte als im Sommer, wobei dies vor allem auf die größeren monatlichen Summen der direkten Einstrahlungen im Sommer zurückzuführen ist. So liegt der betragsmäßig größte Wert der relativen Abweichungen mit $-48,52 \%$ im Januar. Im Sommer ist der Höchstwert mit $5,20 \%$ vergleichsweise gering. Die Jahressumme der aufsummierten Monatssummen ist für die Werte der NASA größer. Dabei liegt die absolute Abweichung bei $-13,35 \frac{kWh}{m^2}$ und die relative Abweichung bei $-2,46 \%$.

Durch die Visualisierung der Ergebnisse der direkten Einstrahlungswerte werden folgende Trends identifiziert. Ähnlich der Auswertung der Globalstrahlung kann festgehalten werden, dass im Winter die NASA-Daten geringere Werte als die des DWD aufweisen. Im Sommer hingegen übersteigen die Werte der NASA die des DWD. Die größten relativen Abweichungen finden sich im Winter mit Maxima in Januar (Potsdam) bzw. Dezember (Weihenstephan). Die absoluten Abweichungen der Standorte unterscheiden sich in ihrem monatlichen Verlauf, weshalb keine generellen Aussagen getroffen werden können. Die Jahressumme der NASA unterschreitet die des DWD für den Standort Potsdam, überschreitet jedoch für den Standort Weihenstephan. Aus diesem Grund können auch hier keine eindeutigen Trends festgehalten werden.

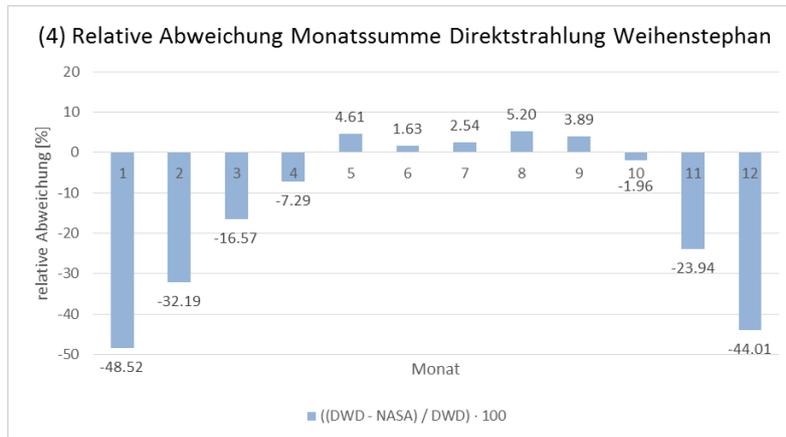
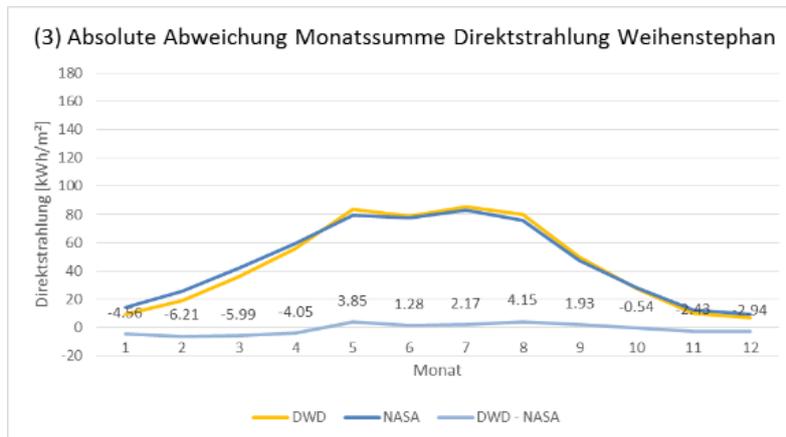
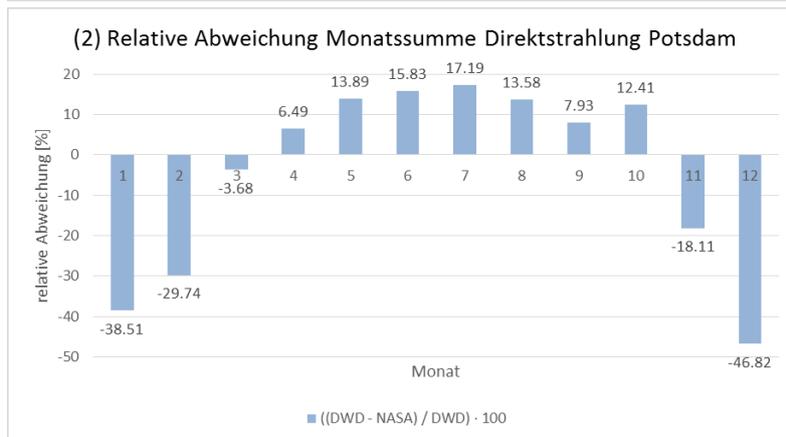
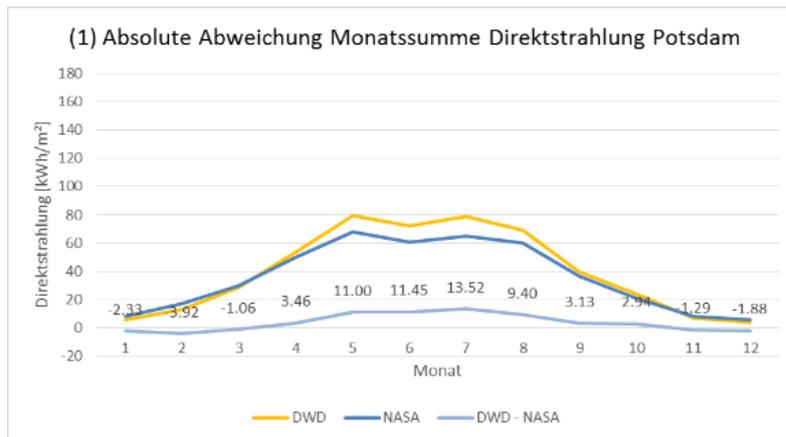


Abbildung 29 Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und NASA: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

5.1.3 Diffusstrahlung

Letztendlich können für die Visualisierung der diffusen Einstrahlung folgende Ergebnisse festgehalten werden.

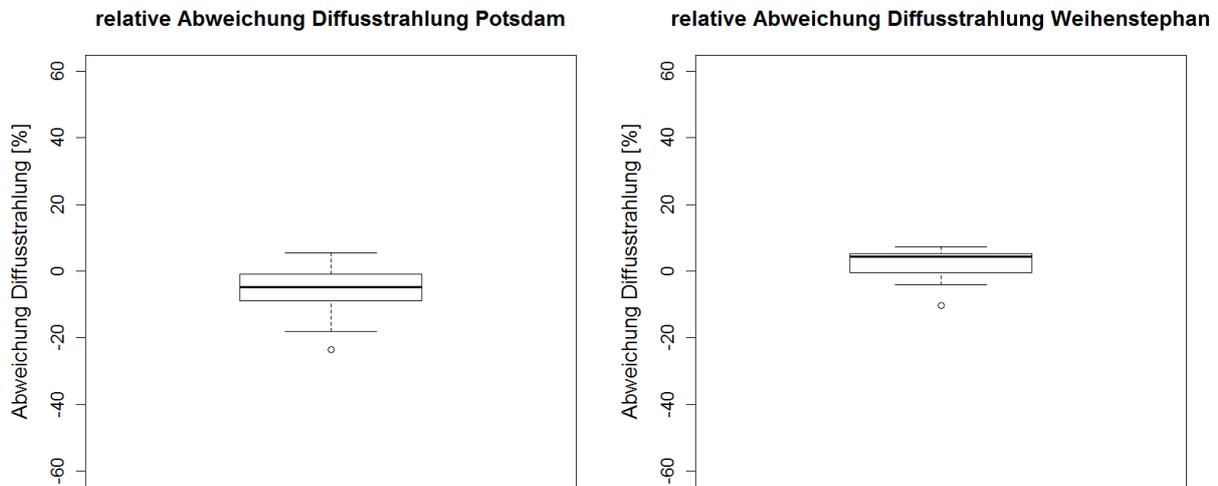


Abbildung 30 Boxplots der relativen Abweichung der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und NASA in monatlicher Zeitauflösung

Der Boxplot der relativen Abweichung der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und NASA für Potsdam (vgl. Abb. 30 links) liefert eine Spannweite von einem Minimum bei -23,57 % (welches im Plot als Ausreißerwert gekennzeichnet ist) bis 5,46 %. Das erste und dritte Quartil befinden sich bei -8,51 % und -1,25 %. Die Verteilung der relativen Abweichungen hat einen Median von -4,70 % und einen Mittelwert von -5,82 %. Es zeigt sich eine linksschiefe Tendenz, welche am Schiefewert von -0,79 belegt werden kann. Die Verteilungsform ist leicht breitipflig, weist jedoch nahezu Normalverteilungsform auf, mit einem Kurtosiswert von 2,99. Die Streuung kann durch die Boxlänge von 7,25 % und die Standardabweichung von 8,37 % beschrieben werden.

Der Plot Weihenstephans weist eine geringere Spannweite auf (vgl. Abb. 30 rechts). Es zeigt sich ein Minimum von -10,22 % (welches im Plot ebenfalls als Ausreißer dargestellt ist) und ein Maximum von 7,38 %. Das untere Quartil befindet sich bei 1,12 %, das Obere bei 5,14 %. Der Median liegt 4,24 % über dem arithmetischen Mittel von 2,14 %. Auch hier zeigt sich eine linksschiefe Verteilung mit einem Schiefewert von -1,24. Die Kurtosis hat einen Wert von 3,33. Die Verteilung ist somit spitzipflig. Es zeigt sich ein Interquartilabstand von 4,02 % und eine Standardabweichung von 5,37 %.

Für beide Standorte kann eine linksschiefe Verteilung festgehalten werden. Es sind somit größere negative Abweichungen vorhanden. Für Potsdam liegen aufgrund des negativen Medians mehr als die Hälfte der monatlichen relativen Abweichungen unter 0, für Weihenstephan liegen infolge des positiven Medians mehr als die Hälfte der Werte über 0. Um Tendenzen im Verlauf der Monate über ein Jahr aufzudecken, werden die Abweichungen im Folgenden einzeln in monatlicher Auflösung betrachtet.

Bei der Betrachtung der Monatssummen der diffusen Einstrahlung für Potsdam (vgl. Abb. 31 (1) und (2)) fällt auf, dass die Werte der NASA zur meisten Zeit größer als die des DWD sind. Lediglich in den Monaten September und Oktober übersteigen die Werte des DWD die der NASA. Die absoluten Abweichungen liegen dabei in einem vergleichsweise geringen, betragsmäßigem Wertefenster von $-0,40 \frac{kWh}{m^2}$ bis $-3,77 \frac{kWh}{m^2}$. Die relative Abweichung nimmt das betragsmäßige Maximum im Dezember mit $-23,57 \%$ an. Das betragsmäßige Minimum ist im August mit $-0,57 \%$ zu finden. Die Jahressummen von DWD und NASA unterscheiden sich um eine absolute Abweichung von $-17,11 \frac{kWh}{m^2}$ und einer dementsprechenden relativen Abweichung von $-3,10 \%$. Die Jahressumme der aufaddierten Monatssumme der diffusen Einstrahlung ist also für die Werte der NASA größer.

Die visuelle Auswertung der Ergebnisse für Weihenstephan (vgl. Abb. 31 (3) und (4)) zeigt bezüglich der diffusen Einstrahlung ein anderes Bild als für Potsdam. Zum größten Teil des Jahres überwiegen hier die Werte des DWD die der NASA. Nur im Januar, November und Dezember sind die Werte der NASA größer als die des DWD. Die Werte der absoluten Abweichung liegen dabei im Bereich zwischen betragsmäßigem Minimum von $-0,82 \frac{kWh}{m^2}$ und betragsmäßigem Maximum von $6,43 \frac{kWh}{m^2}$. Die relativen Abweichungen liegen in einem betragsmäßigen Wertebereich von $2,80 \%$ bis zu $-10,22 \%$. In der Jahressumme übersteigen die Werte des DWD die der NASA. Auch hier ergibt sich ein gegensätzliches Bild gegenüber den Ergebnissen der Auswertung Potsdams. Die Abweichung lässt sich absolut mit $24,55 \frac{kWh}{m^2}$ und relativ $3,96 \%$ quantifizieren.

Geht es darum, allgemeingültige Trends zu identifizieren, so kann festgehalten werden, dass für beide Standorte in den Monaten September bis Oktober die NASA-Werte größer und in den Monaten November bis Januar geringer als die des DWD sind. Wie jedoch durch die Darlegung der Ergebnisse deutlich wurde, unterscheiden sich die Auswertungen der beiden Standorte in den anderen Monaten derart, dass keine generellen Trends abgeleitet werden können. Die Jahressumme der diffusen Einstrahlung der NASA ist für Potsdam größer und Weihenstephan geringer als die des DWD. Dennoch kann festgehalten werden, dass die monatlichen Abweichungen von vergleichsweise geringem Umfang sind.

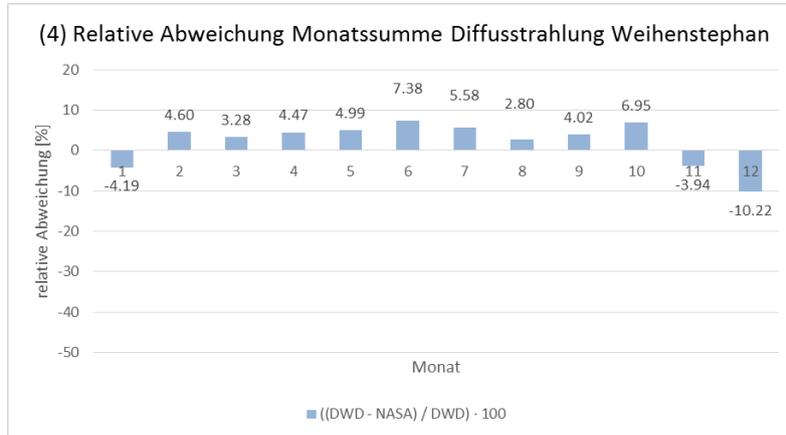
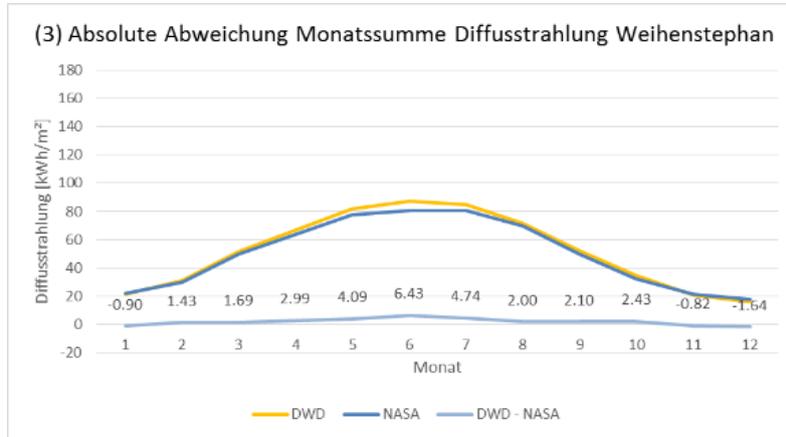
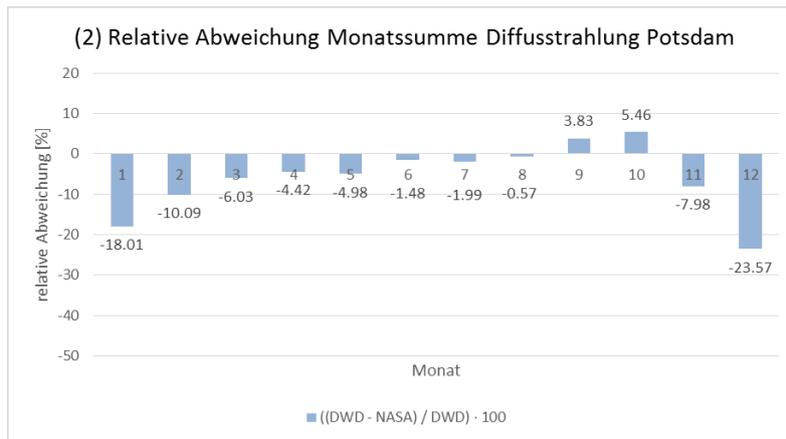
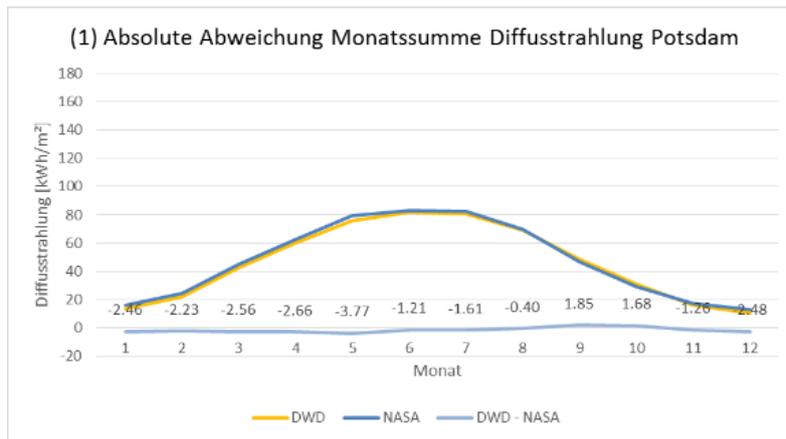


Abbildung 31 Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und NASA: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

5.2 Vergleich der DWD-Messwerte mit simulierten Werten des Transitionsmodells nach Zahn

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Validierung des Transitionsmodells anhand der DWD-Werte präsentiert. Dabei wird zunächst auf eine monatliche Auflösung wie vorher im Vergleich der DWD mit den NASA-Werten eingegangen. Daraufhin soll der Vergleich in einer genaueren Zeitauflösung auf Stundenbasis durchgeführt werden.

5.2.1 Monatliche Zeitauflösung

Auf Basis der Sichten „Potsdam_Vergleich_Monatssumme“ und „Weihenstephan_Vergleich_Monatssumme“ soll in diesem Abschnitt die Genauigkeit des Modells in der monatlichen Zeitauflösung durch Visualisierung der Ergebnisse untersucht werden.

Wie bereits in Abschnitt 5.1 festgehalten werden konnte, sind in mehreren Monaten im Jahr teils große Abweichungen in den Messwerten von DWD und NASA vorhanden. Es ist zu vermuten, dass diese Abweichungen einen relevanten Einfluss auf die monatlichen Abweichungen von DWD und Transitionsmodell haben. Da gezeigt werden soll, inwieweit die Abweichungen des Transitionsmodells auf einer unpräzisen Kalibrierung anhand von NASA-Daten beruhen, werden die im letztem Abschnitt erfassten Abweichungen der DWD- und NASA-Werte berücksichtigt und sind der Visualisierung der relativen Abweichung zwischen DWD und Transitionsmodell beigefügt. Zunächst jedoch soll wie im vorhergegangenen Abschnitt mit Hilfe von Boxplots ein erster Überblick über die relativen Abweichungen der Daten vermittelt werden.

5.2.1.1 Globalstrahlung

Für die Abweichung der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in monatlicher Auflösung können folgende Ergebnisse festgehalten werden.

Für den Boxplot Potsdams (vgl. Abb. 32 links) werden dabei folgende Resultate festgehalten. Die Verteilung hat eine Spannweite von -31,14 % bis 10,66 %. Das erste Quartil liegt bei -10,98 %, das Dritte bei 7,22 %. Das arithmetische Mittel liegt mit -4,20 % unter dem Median von 1,65 %. Daraus lässt sich eine linksschiefe Verteilungsform mit einem Schiefewert von -0,77 ableiten. Der Kurtosiswert liegt bei 2,14. Es liegt also eine breitgipflige Verteilung vor. Die Streuung kann mit einem Interquartilabstand von 18,20 % und einer Standardabweichung von 14,56 % beschrieben werden.

Der Boxplot Weihenstephans (vgl. Abb. 32 rechts) weist für die relative Abweichung der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell eine geringere Spannweite auf. Dabei befindet sich das Minimum bei -19,62 %, das Maximum bei 5,25 %. Das erste Quartil ist bei -9,28 %, das dritte Quartil bei 4,65 % lokalisiert. Die Verteilung hat einen Median von 1,09 % sowie einen Mittelwert von -3,30 %. Somit sind linksschiefe Tendenzen der Verteilung zu identifizieren, welche sich ferner an dem Schiefewert von -0,66 zeigen. Die Kurtosis von 1,96 lässt auf eine breitgipflige Verteilung schließen. Die Streuung kann durch den Interquartilabstand von 13,92 % sowie die Standardabweichung von 9,36 % beschrieben werden.

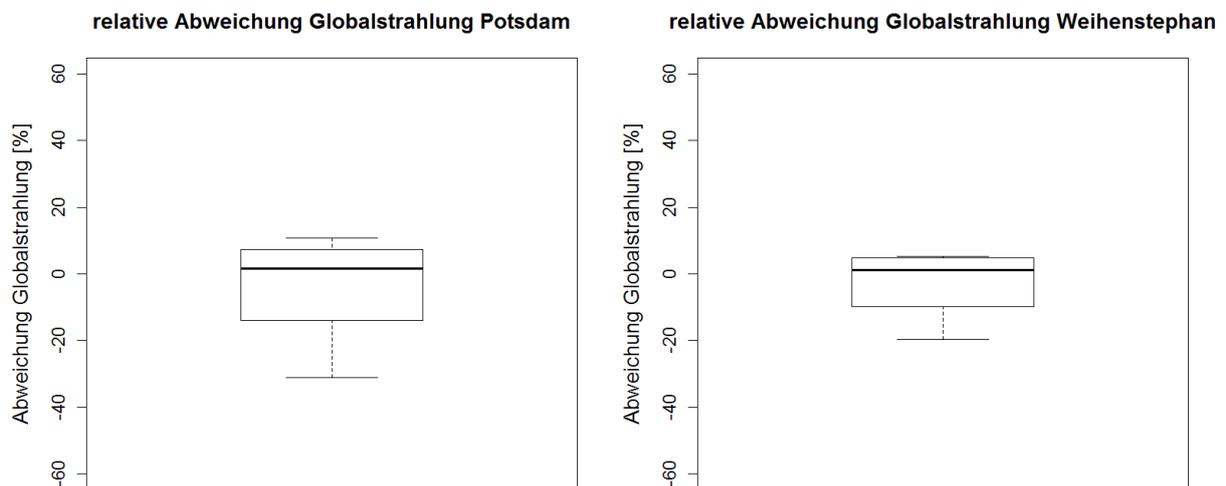


Abbildung 32 Boxplots der relativen Abweichung der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in monatlicher Zeitauflösung

Die beiden Verteilungen weisen einen positiven Median auf. Mehr als die Hälfte der Abweichungen sind somit für beide Standorte größer 0. Dennoch sind beide Verteilungen linksschief, daraus kann geschlossen werden, dass für beide Standorte größere negative als positive Abweichungen zu finden sind. Zur Untersuchung von Trends werden die monatlichen Abweichungen im Folgenden einzeln betrachtet.

Bei der Betrachtung der Globalstrahlungssummen von DWD und Transitionsmodell für Potsdam fällt auf, dass die Werte des Transitionsmodells im Winter von November bis April überwiegen, während im Sommer gegenüber des DWDs geringere Werte zu finden sind. Die absolute Abweichung reicht dabei von einem betragsmäßigen Wertebereich von $-0,75 \frac{kWh}{m^2}$ im April bis $12,55 \frac{kWh}{m^2}$ im Juli (vgl. Abb. 33 (1) hellrote Linie). Die relative Abweichung (vgl. Abb. 33 (2) rote Balken) ist mit Werten bis zu $-31,14 \%$ im Dezember im Winter betragsmäßig größer als die Abweichungen von maximal $10,66 \%$ im Oktober im Sommer. Die geringsten relativen Abweichungen finden sich mit $-0,66 \%$ im April. Die monatlich aufaddierte Jahressumme des Transitionsmodells ist geringer als die des DWD. Dies zeigt sich an einer gesamten absoluten Abweichung von $26,40 \frac{kWh}{m^2}$ und einer relativen Abweichung von $2,57 \%$.

Für die Auswertung Weihenstephans zeigen sich ähnliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell. In den Wintermonaten Januar bis April und November bis Dezember überschreiten die Monatssummen des Transitionsmodells die des DWD. Im Sommer zeigen sich, wie auch für die Auswertung Potsdams, geringe Globalstrahlungswerte des Transitionsmodells von Mai bis Oktober. Die betragsmäßig größte absolute Abweichung zeigt sich im Sommer mit $7,58 \frac{kWh}{m^2}$ im Juni und im Winter mit $-6,03 \frac{kWh}{m^2}$ im Januar. Die relativen Abweichungen sind im Winter in einem betragsmäßig größeren Wertebereich als im Sommer und erreichen Höchstwerte von bis zu $-19,62 \%$ im Dezember. Die betragsmäßig geringste absolute und relative Abweichung ist im April mit $-2,48 \frac{kWh}{m^2}$ und $-2,02 \%$ zu finden. Die jährliche Einstrahlungssumme des Transitionsmodells ist um $10,57 \frac{kWh}{m^2}$ kleiner als die des DWD. Dies entspricht einer relativen Abweichung von $0,91 \%$.

Zusammenfassend können in den Ergebnissen beider Standorte folgende Trends identifiziert werden. Zum einen ist eindeutig zu entnehmen, dass die Monatssummen des Transitionsmodells im Winter von November bis April größere Werte als die Summen des DWD annehmen. Zum anderen zeigt sich, dass die Werte des Transitionsmodells in den Sommermonaten von Mai bis Oktober geringer sind als die des DWD. Die größten absoluten Abweichungen sind im Sommer lokalisiert. Dagegen sind die größten prozentualen Abweichungen im Winter zu finden und erreichen ihren betragsmäßigen Maximalwert im Dezember. Zur Erklärung dieses Unterschieds kann, wie in Abschnitt 5.1, die unterschiedliche Gewichtung der Werte, welche auf den gegenüber den Wintermonaten größeren Strahlungssummen in den Sommermonaten beruht, angeführt werden. Generell weisen die Monatssummen des Aprils die geringsten Abweichungen auf. Die aufaddierten Monatssummen für das gesamte Jahr des Transitionsmodells sind geringer als die des DWD. Dabei ist die relative Abweichung durch Aufhebung positiver und negativer Abweichungen kleiner 3% .

Es ist festzuhalten, dass die relativen Abweichungen von DWD und NASA (vgl. Abb. 33 (2) und (4) blaue Balken) zum größten Teil mit den Abweichungen zwischen DWD und Transitionsmodell einhergehen. Dabei kann eindeutig beobachtet werden, dass ein Zusammenhang zwischen den Abweichungen existiert. Die relative Abweichung zwischen DWD und Transitionsmodell folgt den Trends derer zwischen DWD und NASA. Es zeigen sich lediglich Unterschiede von äußerst geringem Umfang. Es ist davon auszugehen, dass diese Unterschiede auf Phänomene in der stündlichen Zeitauflösung zurückzuführen sind, welche im weiteren Verlauf der Arbeit untersucht werden.

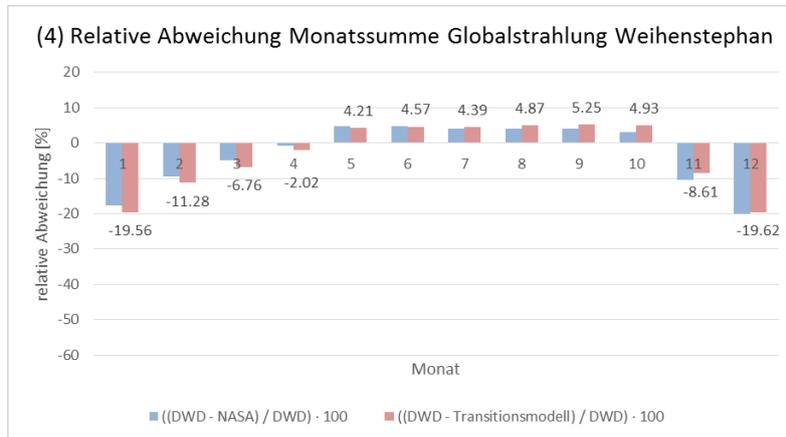
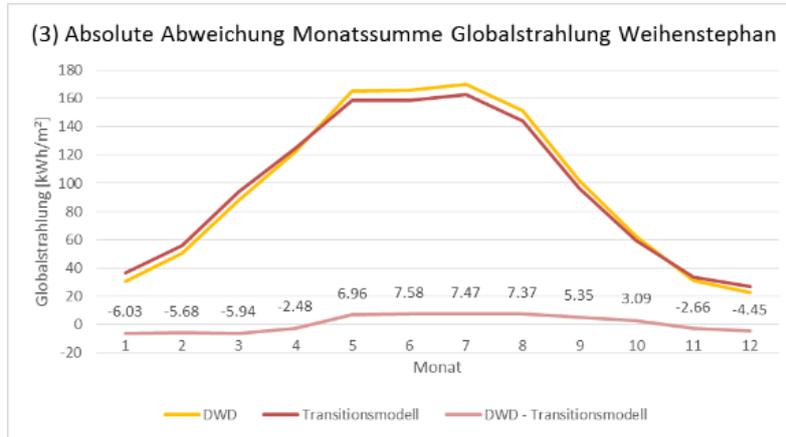
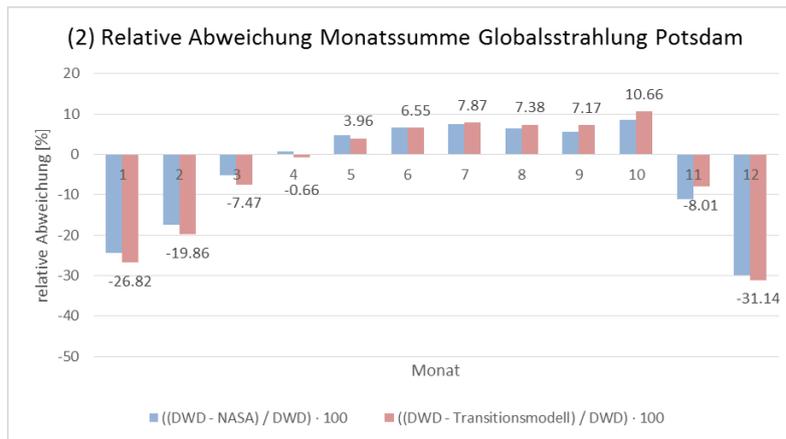
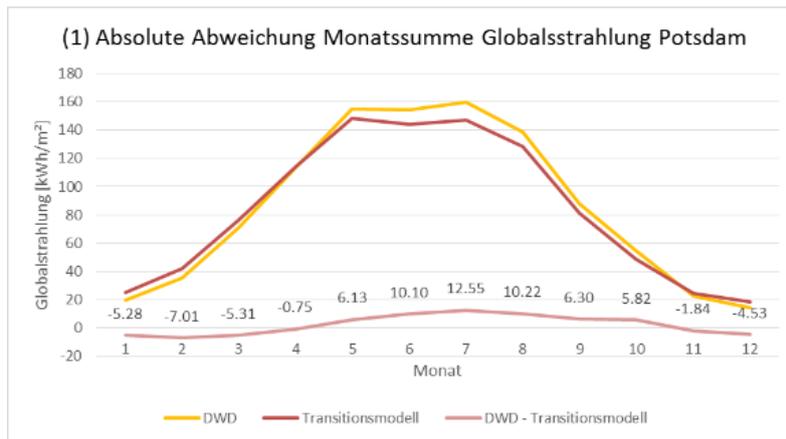


Abbildung 33 Monatliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

5.2.1.2 Direktstrahlung

Für die Auswertung der Direktstrahlungswerte auf monatlicher Basis zeigt sich nachfolgendes Bild.

Für die relativen Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell (vgl. Abb. 34 links) kann eine vergleichsweise hohe Spannweite von -46,82 % bis 17,57 % für den Boxplot Potsdams festgehalten werden. Dabei reicht die Box vom unteren Quartil bei -18,95 % bis zum oberen Quartil bei 14,53 %. Der Median von 7,41 % liegt über dem arithmetischen Mittel von -4,19 %. Der Schiefewert ist -0,78 – die Verteilung ist linksschief. Die Kurtosis von 2,02 spricht für eine breitgipflige Verteilungsform. Die Streuung kann dabei durch die Länge der Box (Interquartilabstand) von 33,47 % sowie auch die Standardabweichung von 23,85 % beschrieben werden.

Der Boxplot Weihenstephans (vgl. Abb. 34 rechts) weist eine geringere Spannweite auf. Das Minimum von -50,74 % liegt unter dem Potsdams. Das Maximum befindet sich bei 6,03 %. Das untere Quartil ist bei -24,55 %, das obere Quartil bei 3,20 % angesiedelt. Der Median von -4,13 % liegt, wie auch für Potsdam, über dem Mittelwert von -13,07 %. Die Verteilung ist somit linksschief und hat einen Schiefewert von -0,72. Die Kurtosis von 2,05 weist auf eine breitgipflige Verteilung hin. Das Streuungsmaß des Interquartilabstandes ist 27,75 %. Die Standardabweichung kann mit 20,34 % quantifiziert werden.

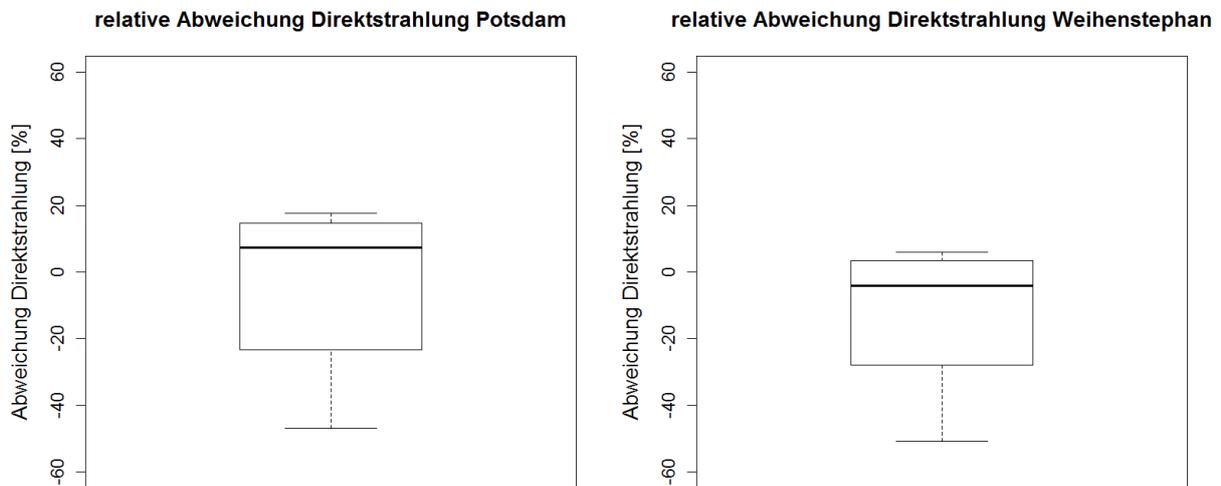


Abbildung 34 Boxplots der relativen Abweichung der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in monatlicher Zeitauflösung

Durch Betrachtung des Medians kann festgestellt werden, dass für Potsdam ein größerer Anteil der Abweichungen positiv, für Weihenstephan negativ ist. Für beide Messstationen ergeben sich linksschiefe Verteilungen. Die negativen Abweichungen sind folglich von größerem Ausmaß als die positiven. Auch für die Abweichungen der Direktstrahlungssummen zwischen DWD und Transitionsmodell soll im Folgenden detaillierter herausgearbeitet werden, in welchen Monaten größere bzw. kleinere Abweichungen vorliegen. Zu diesem Zweck werden die absoluten und relativen Abweichungen der einzelnen Monate visualisiert.

Für die Abweichungen in den Monatssummen der Direktstrahlung von Potsdam (vgl. Abb. 35) zeigt sich, dass auch hier die Monatssummen des Modells im Winter in den Monaten von November bis März, mit bis zu $-4,26 \frac{kWh}{m^2}$ im Februar, höher als die des DWD sind. Im Sommer hingegen sind die Monatssummen der Simulation geringer als die Messwerte des DWD. Der betragsmäßige Höhepunkt der absoluten Abweichung liegt mit $13,81 \frac{kWh}{m^2}$ im Juli. Die betragsmäßig geringste absolute Abweichung ist mit $-1,03 \frac{kWh}{m^2}$ im November zu finden. Im Winter sind die betragsmäßig größten relativen Abweichungen mit bis zu $-46,82 \%$ im Dezember zu finden. Im Sommer belaufen sich die Abweichungen auf ein geringeres Maß und nehmen dabei Werte von bis zu $17,57 \%$ im Juli an. Die minimale relative Abweichung ist mit $-5,27 \%$ im April zu finden. Die Gegenüberstellung aller Monatssummen beider Wertereihen ergibt eine um $44,43 \frac{kWh}{m^2}$ kleinere Jahressumme des Transitionsmodells und so eine prozentuale Abweichung von $9,36 \%$.

Für Weihenstephan übersteigt die Simulation die Monatssummen der Direktstrahlung des DWD im Winter von November bis April mit absoluten Abweichungen bis zu $-6,74 \frac{kWh}{m^2}$ im März. Von Mai bis Oktober sind die Monatssummen des Transitionsmodell, um bis zu $4,81 \frac{kWh}{m^2}$ im August, kleiner. Die relativen Abweichungen nehmen hohe Werte von bis $-50,74 \%$ im Winter und geringere Werte von maximal $6,02 \%$ im Sommer an. Die geringste absolute sowie relative Abweichung ist mit $0,06 \frac{kWh}{m^2}$ und mit $0,21 \%$ im Oktober zu finden. In der Jahressumme übersteigt das Transitionsmodell den Wert des DWD um $13,35 \frac{kWh}{m^2}$. Dies entspricht einer relativen Abweichung von $-2,46 \%$.

Aus den beschriebenen Ergebnissen können folgende allgemeine Trends für die monatliche Abweichung des Transitionsmodell geschlossen werden. In den Wintermonaten von November bis März (Potsdam) bzw. April (Weihenstephan) überwiegen die Werte des Transitionsmodells. In den Sommermonaten hingegen liegen die Summen des Transitionsmodells unter denen des DWD. Dabei unterscheiden sich die Jahreszeiten der größten absoluten Abweichungen für die beiden Standorte. Die größten relativen Abweichungen liegen im Winter und können Werte bis über 50% annehmen. Auch hier ist der Zeitpunkt der geringsten relativen Abweichungen unterschiedlich. Die Auswertung der Jahressummen sind für die beiden Standorte verschieden, weshalb sich keine allgemeingültige Aussage fällen lässt. Es zeigen sich relative Abweichungen der Summen von kleiner 10% .

Wie auch schon bei der Visualisierung der Abweichungen der Globalstrahlungssummen im letzten Abschnitt festgestellt werden konnte, zeigt sich, wie Abbildung 35 (2) und (4) zu entnehmen, auch für die Auswertung der Direktstrahlung ein eindeutiger Zusammenhang von den Abweichungen der Werte von DWD und NASA zu den Abweichungen zwischen den Werten von DWD und Transitionsmodell. Hierbei sind nur sehr geringe Unterschiede zwischen den Abweichungen auszumachen, welchen im späteren Verlauf in stündlicher Zeitaufösung nachgegangen werden kann.

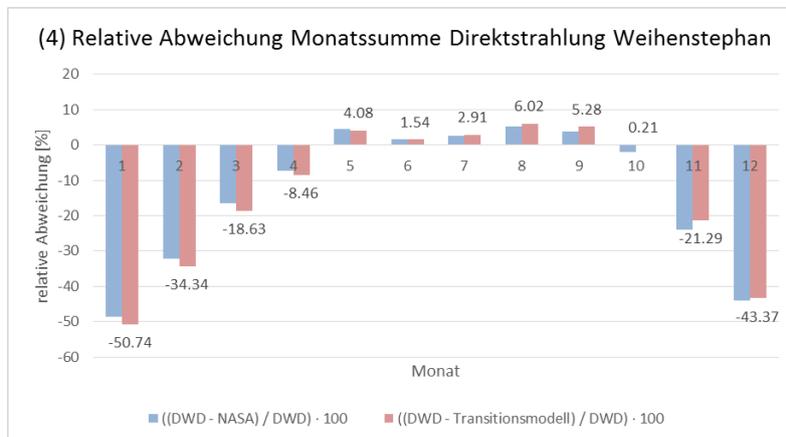
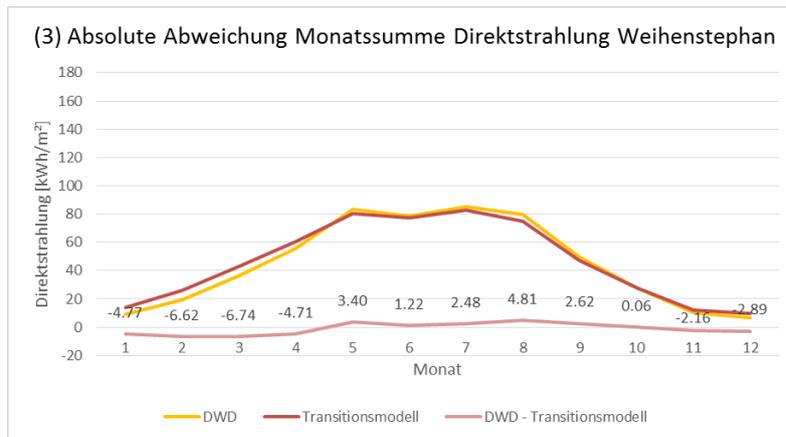
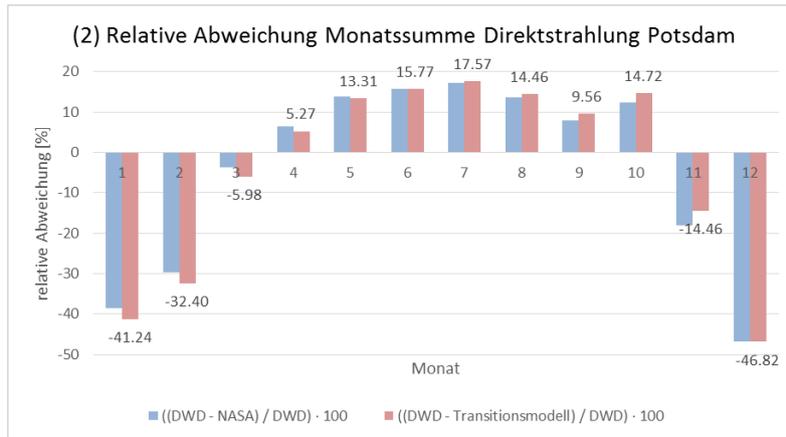
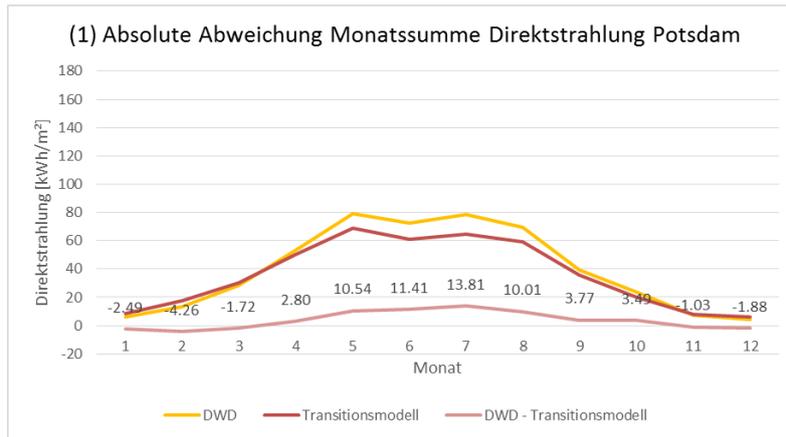


Abbildung 35 Monatliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

5.2.1.3 Diffusstrahlung

Für die Abweichungen zwischen DWD und Transitionsmodell in monatlicher Auflösung werden folgende Beobachtungen für die diffuse Sonneneinstrahlung festgehalten.

Gegenüber den vorher angeführten Verteilungen der relativen Abweichungen der Direktstrahlung, weisen die Ergebnisse der diffusen Einstrahlung geringere Spannweiten auf (vgl. Abb. 36). Dabei reichen die Werte von Potsdam von -25,18 % (vgl. Ausreißerwert) bis 7,55 %. Das erste Quartil ist bei -9,46 %, das Dritte bei -1,09 % zu finden. Durch die Lage des Medians von -5,47 % über dem Mittelwert von -6,12 % kann eine leicht linksschiefe Ausrichtung der Verteilung abgeleitet werden. Dies bestätigt der Schiefewert von -0,61. Die Kurtosis beträgt 2,69. Es handelt sich somit um eine breitgipflige Verteilung. Es ergibt sich ein Streumaß des Interquartilabstandes von 8,37 % und eine Standardabweichung von 9,59 %.

Der minimale Wert für Weihenstephan beträgt -9,73 % (vgl. Ausreißerwert), der Maximale 8,66 %. Das erste Quartil befindet sich bei 0,57 %. Das dritte Quartil ist bei 5,39 % zu finden. Der Median mit 3,46 % und das arithmetische Mittel 2,07 % mit liegen vergleichsweise zu Potsdam näher 0. Die Verteilung ist linksschief mit einem Schiefewert von -0,99. Außerdem liegt eine leicht breitgipflige Verteilungsform mit einer Kurtosis von 2,99 vor. Die Boxlänge ist vergleichsweise kurz mit einem Interquartilabstand von 4,82 %. Die Standardabweichung beläuft sich auf 5,46 %.

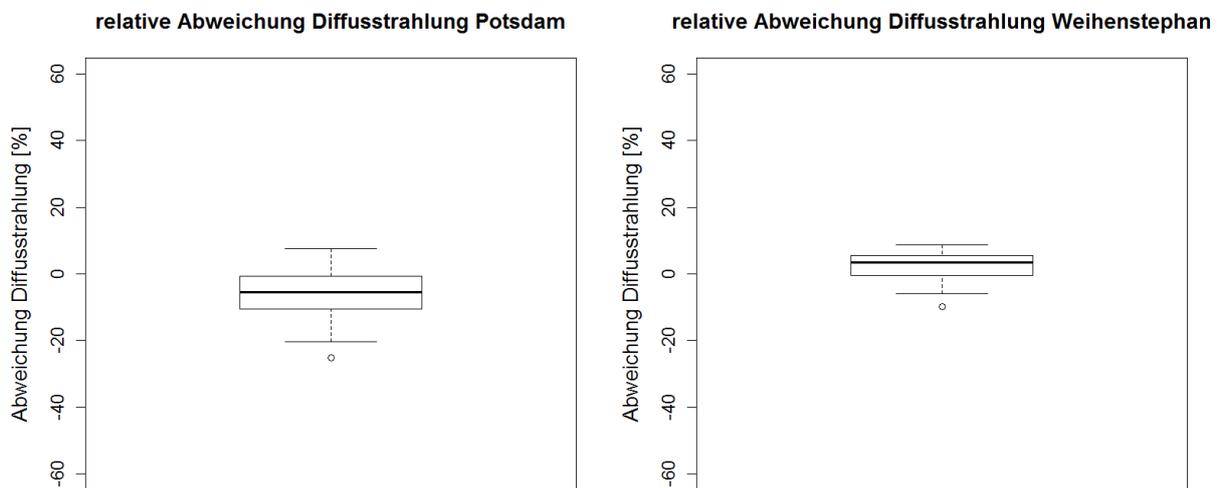


Abbildung 36 Boxplots der relativen Abweichung der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in monatlicher Zeitauflösung

Aus den Medianen ist zu entnehmen, dass für Potsdam mehr als die Hälfte der Werte negativ sind, für Weihenstephan positiv. Die Linksschiefe der Verteilungen spricht für größere negative als positive Abweichungen. Für die Verteilungen der Diffusstrahlung ist die bisher geringste Streuung zu finden. Damit gezeigt werden kann, in welchen Monaten die Abweichungen zwischen den Werten von DWD und Transitionsmodell von größerem oder kleinerem Umfang sind, sollen im Folgenden die monatlichen Abweichungen einzeln untersucht werden.

Für den Standort Potsdam überwiegen die Monatssummen des Transitionsmodells die des DWD über den größten Teil des Jahres. Nur in den Monaten August bis Oktober sind die Werte des DWD von größerem Umfang. Die absoluten Abweichungen belaufen sich auf ein betragsmäßiges Wertefenster von minimal $0,21 \frac{kWh}{m^2}$ im August bis zu $-4,41 \frac{kWh}{m^2}$ im Mai. Die relative Abweichung steigt im Winter mit Werten bis zu $-25,18 \%$ im Dezember an. Die maximale positive relative Abweichung befindet sich mit $7,55 \%$ im Oktober. Die betragsmäßig geringste relative Abweichung ist im August. Die Jahressumme des Transitionsmodells übersteigt die des DWD. Die Abweichung der jährlich aufaddierten Monatssummen beläuft sich auf $-18,06 \frac{kWh}{m^2}$ und entspricht einer relativen Abweichung von $-3,27 \%$.

Im Gegensatz zur Auswertung für Potsdam übersteigt für Weihenstephan die Simulation die Monatssummen des DWD in den Wintermonaten von November bis Januar, wobei absolute Abweichung bis zu $-1,56 \frac{kWh}{m^2}$ auftreten. Über den Rest des Jahres in den Monaten von Februar bis Oktober sind die Monatssummen der Simulation mit einer absoluten Abweichung von bis zu $6,37 \frac{kWh}{m^2}$ kleiner als die des DWD. Die betragsmäßig geringsten absoluten Abweichungen finden sich mit $-0,50 \frac{kWh}{m^2}$ im November. Für Weihenstephan sind die prozentualen Abweichungen mit betragsmäßig maximal $-9,73 \%$ im Dezember vergleichsweise gering. Die betragsmäßig kleinste relative Abweichung ist mit $1,56 \%$ im März lokalisiert. Die Strahlungssumme für die monatliche diffuse Einstrahlung des Transitionsmodells ist um $23,88 \frac{kWh}{m^2}$ geringer als die des DWD. Dies entspricht einer relativen Abweichung von $3,85 \%$.

Den oben gezeigten Ergebnissen der Standorte ist gemein, dass von August bis Oktober kleinere Werte des Transitionsmodells und in den Monaten November bis Januar größere Werte des Transitionsmodells gegenüber den Werten des DWD auftreten. Jedoch sind die Ergebnisse der beiden Standorte abseits dieser Gemeinsamkeiten unterschiedlich, weshalb keine generellen Trends für die Abweichungen des Transitionsmodells zu identifizieren sind. Die Jahressumme der diffusen Einstrahlung der NASA ist für Potsdam größer und Weihenstephan geringer als die des DWD. Allerdings kann festgestellt werden, dass die monatlichen relativen Abweichungen verglichen mit den Abweichungen der Direktstrahlungssummen von geringerem Umfang sind.

Auch für die Diffusstrahlung ist festzuhalten, dass bei der Gegenüberstellung der relativen Abweichungen von DWD zu NASA (vgl. Abb. 37 (2) und (4) blaue Balken) und DWD zu Simulation eindeutige Abhängigkeiten zu beobachten sind. Die geringen Unterschiede zwischen den monatlichen Abweichungen von DWD und NASA sowie DWD und Transitionsmodell sind vermutlich auf Abweichungen der stündlichen Auflösung zurückzuführen.

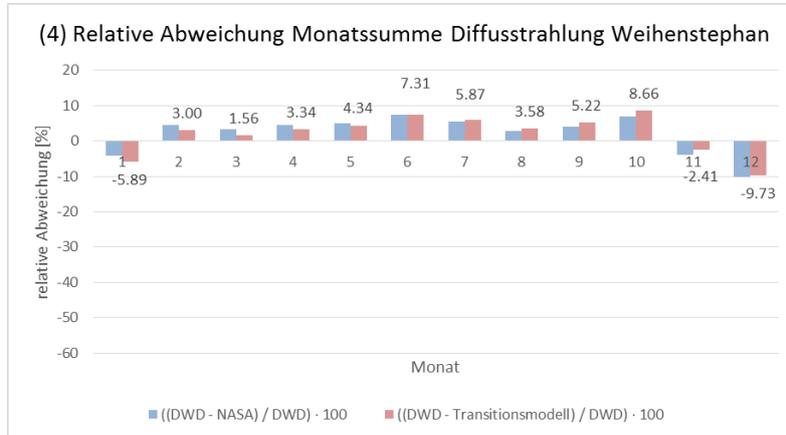
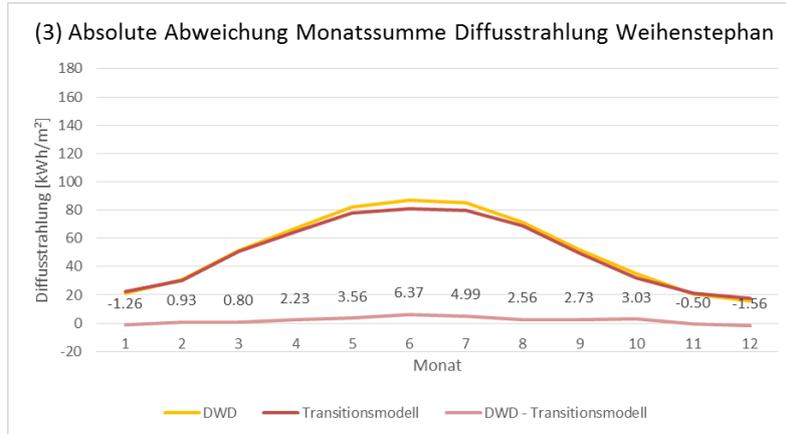
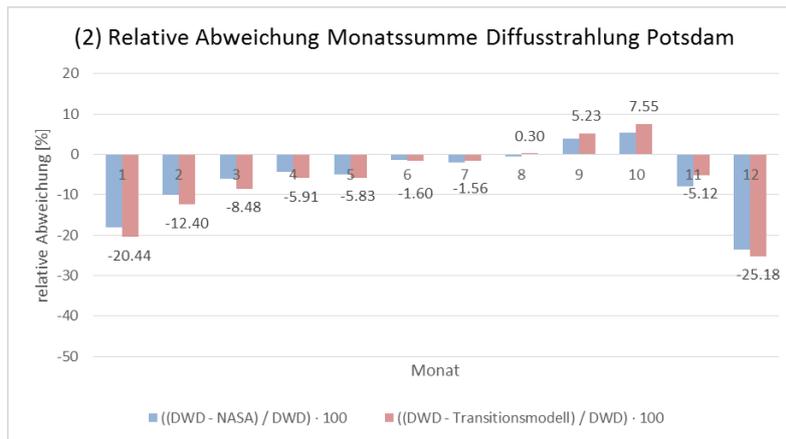
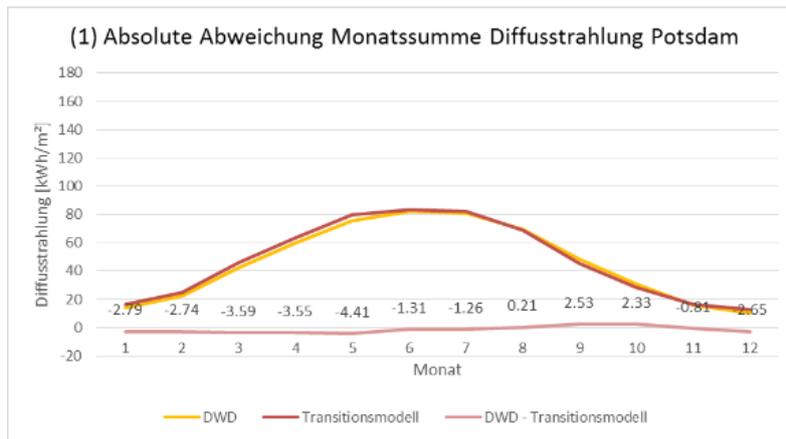


Abbildung 37 Monatliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

5.2.2 Stündliche Zeitauflösung

Nachdem nun die Ergebnisse in grober Zeitauflösung auf Basis eines Monats untersucht wurden, soll im Folgenden die Abweichung zwischen den Strahlungssummen des DWD und des Transitionsmodells in einer höheren Zeitauflösung von einer Stunde analysiert werden. Hierfür werden die Sichten „Potsdam_Vergleich“ und „Weihenstephan_Vergleich“ mithilfe statistischer Methoden numerisch und graphisch ausgewertet.

5.2.2.1 Sonnenzenitwinkel

Bevor, wie in monatlicher Zeitauflösung geschehen, die Stundensummen globaler, direkter und diffuser Einstrahlung des DWD und des Transitionsmodells verglichen werden, soll ein Vergleich der Sonnenzenitwinkel auf Stundenbasis stattfinden. Da diese diskret für jede Stunde berechnet und mit großer zeitlicher Variabilität sind, wäre eine monatliche Aggregation nicht sinnvoll.

Den angeführten Boxplots der relativen Abweichungen der Sonnenzenitwinkel der beiden Standorte (vgl. Abb. 38) sind nachfolgende Feststellungen zu entnehmen.

Der Boxplot Potsdams weist einen maximalen Wert bei 7,78 % und einen minimalen Wert bei -7,32 % auf. Erstes und drittes Quartil liegen bei -2,45 % und 2,42 %. Der Median ist bei 0,07 % zu finden. Auch der Mittelwert befindet sich mit 0,01 % nahe 0. Die Verteilung hat eine leichte Linksschiefe mit einem Schiefewert von -0,05. Die Kurtosis beträgt 2,34. Die Verteilung ist somit breitgipflig. Die Streuung ist von geringem Umfang, was an einem Interquartilabstand von 4,87 % und einer Standardabweichung von 3,15 % auszumachen ist.

Für Weihenstephan liegen die Werte zwischen -6,65 % und 7,41 %. Das erste Quartil befindet sich bei -2,16 %, das Dritte bei 2,13 %. Mittelwert und Median liegen mit 0,00 % und 0,23 % bei 0. Die Verteilung hat einen Schiefewert von -0,11, weist also eine linksschiefe Tendenz auf. Die Kurtosis von 2,41 spricht für eine breitgipflige Verteilungsform der Werte. Die Verteilung Weihenstephans streut mit einem Interquartilabstand von 4,29 % und einer Standardabweichung von 2,95 % um ein geringeres Maß als die Verteilung Potsdams.

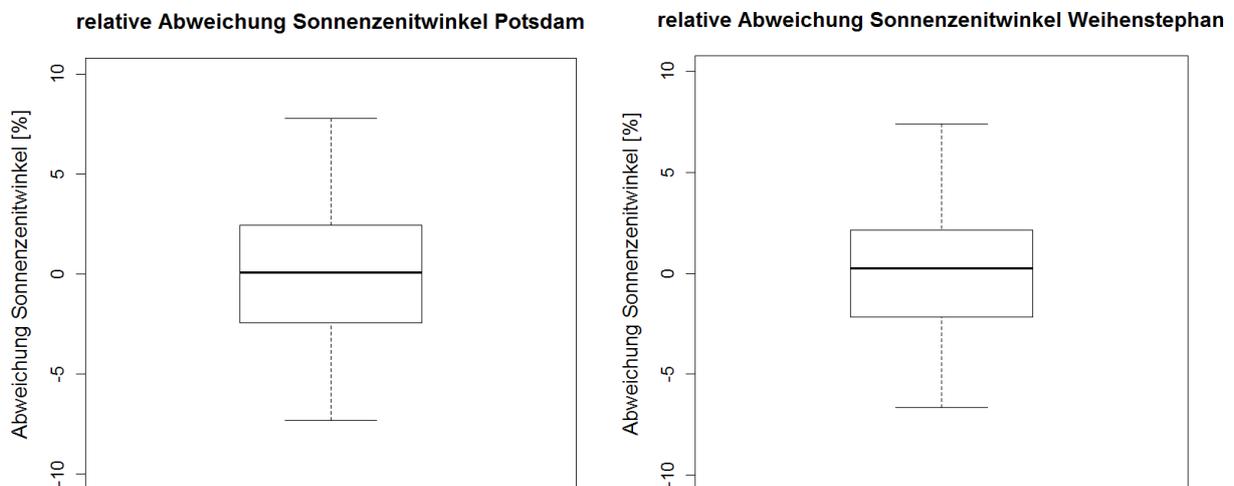


Abbildung 38 Boxplots der relativen Abweichungen des Sonnenzenitwinkels zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung

Die Auswertungen beider Standorte ähneln einander. Den Verteilungen ist dabei gemein, dass die Spannweite der Werte von etwa -7 % bis 7 % reicht. Die Mediane und Mittelwerte liegen nahe an 0 zentriert. Zudem weisen beide Verteilungen ein geringes Maß an Streuung auf.

5.2.2.2 Globalstrahlung

Zur Visualisierung der Verteilungen der stündlichen Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell wird zunächst, analog zur monatlichen Auflösung, ein Boxplot der relativen Abweichungen angeführt.

Dabei ist festzuhalten, dass die stündlichen Abweichungen eine wesentlich größere Spannweite als die monatlichen Abweichungen aufweisen. Dem Boxplot Potsdams (vgl. Abb. 39 links) ist dabei ein Minimum von -167,50 % und ein Maximum von 100 % zu entnehmen. Das erste Quartil liegt dabei bei -16,99 %, das Dritte befindet sich bei 83,73 %. Der Median liegt mit 18,64 % unter dem Mittelwert von 25,92 %. Der Schiefewert von -0,12 zeigt, dass auf leichte Linksschiefe geschlossen werden kann. Die Kurtosis von 2,07 spricht für eine breitgipflige Verteilung. Die Streuung kann durch einen Interquartilabstand von 100,72 % und eine Standardabweichung von 54,53 % berechnet werden.

Der Boxplot Weihenstephans (vgl. Abb. 39 rechts) zeigt ein ähnliches Bild. Hier liegen Minimum bei -115,40 % und Maximum bei 100 %. Das erste Quartil ist bei -17,70 %, das Dritte bei 78,56 % lokalisiert. Der Median der Verteilung befindet sich bei 15,94 % und liegt somit unter dem Mittelwert von 25,15 %. Die Verteilung ist dennoch minimal rechtsschief mit einem Schiefewert von 0,06. Die Kurtosis beträgt 1,81. Es handelt sich folglich um eine breitgipflige Verteilung. Die Box ist 96,26 % lang und die Standardabweichung beträgt 52,19 %.

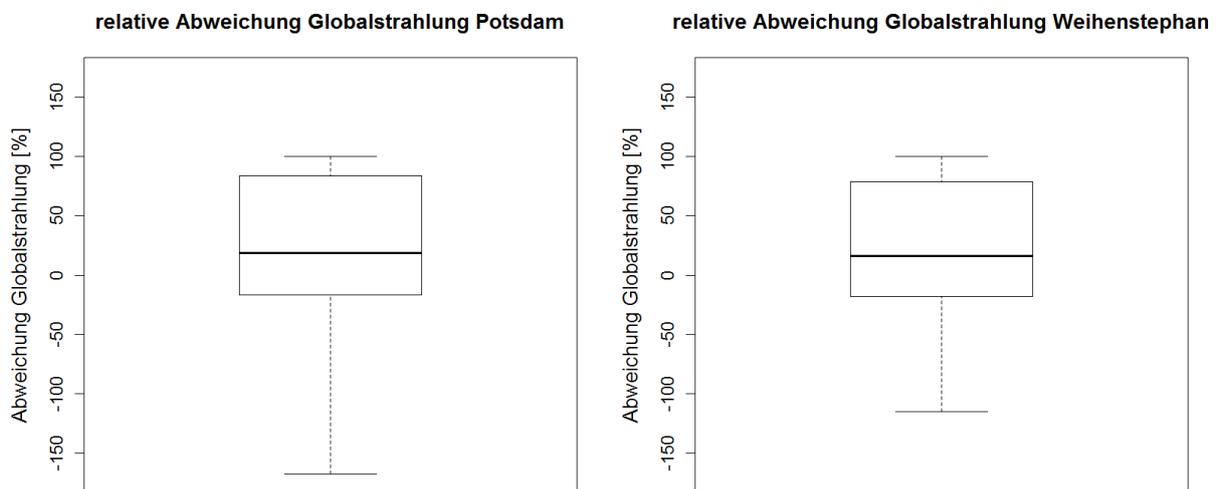


Abbildung 39 Boxplots der relativen Abweichung der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung

Die Verteilungsformen der relativen Abweichungen für die Standorte Potsdam und Weihenstephan zeigen beide einen Median größer 0. Demzufolge enthalten beide Verteilungen der Abweichungen mehr positive als negative Werte. Über das Maß der Schiefe lassen sich jedoch keine gemeinsamen Tendenzen ableiten. Festzuhalten ist ein großes Maß an Streuung mit Standardabweichung von über 50 %.

Durch genauere Betrachtung der Abweichungen zeigt sich, dass die Verteilungen zwei Modalwerte besitzen. Dies kann anhand der in Abbildung 40 gezeigten Densityplots veranschaulicht werden. Der Lageparameter Modus bzw. Modalwert ist dabei als der Wert festgelegt, welcher innerhalb der Verteilung am häufigsten enthalten ist. Im Densityplot ist dieser durch den Gipfel der Verteilung gekennzeichnet. Dabei kann zwischen einer uni- (eingipfligen), bi- (zweigipfligen), und mulitmodalen (mehrgipfligen) Verteilung unterschieden werden. (Cleff 2015, S.37)

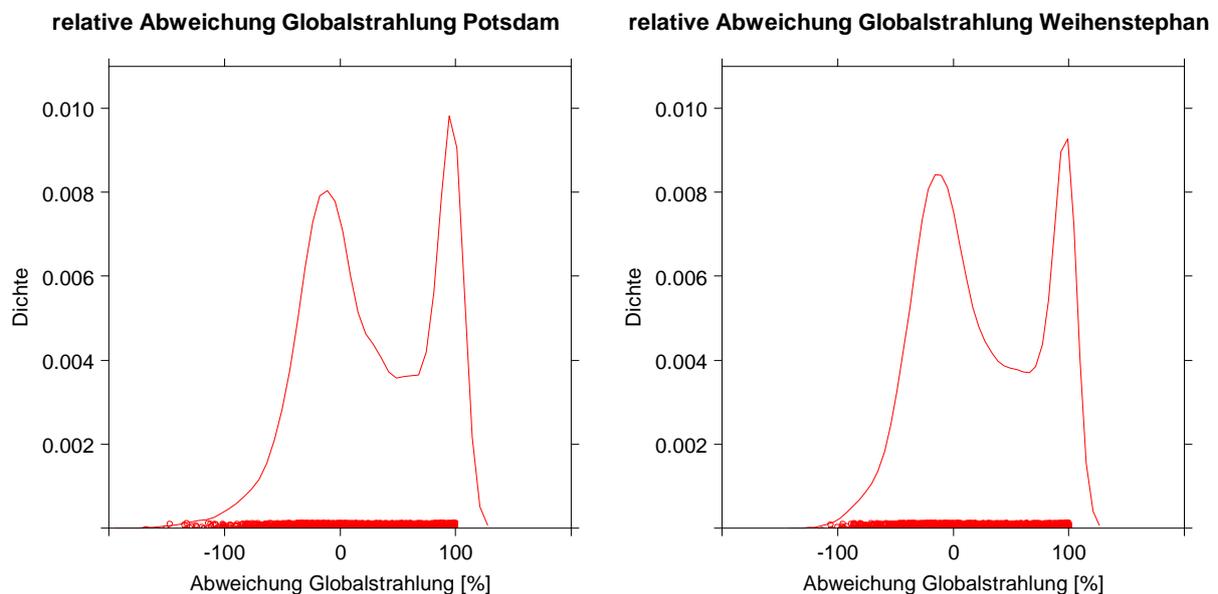


Abbildung 40 Densityplots der relativen Abweichung der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung

Aus der Betrachtung der Verteilungen der relativen Abweichungen der Globalstrahlungswerte ergeben sich für die Standorte Potsdam und Weihenstephan bimodale Verteilungen mit Gipfeln bei 0 % und 100 %. Diese graphische Annahme kann durch Berechnung in R numerisch bestätigt werden. Die Modalwerte gehen dabei wie folgt aus der Definition der relativen Abweichungen in Abschnitt 4.3.2.1.2 hervor. Ein Wert von 0 % relativer Abweichung liegt vor, wenn der Wert des Transitionsmodells dem des DWD entspricht (vgl. Fall 1). Dies gilt auch, wenn beide Werte 0 sind (vgl. Fall 3). Eine relative Abweichung von 100 % geht aus der Definition in Fall 1 hervor, wenn der Wert des DWD größer 0 und der des Transitionsmodells gleich 0 ist. Der Wert von -100 %, welcher aus der Definition von Fall 2 hervorgeht, ist in der Verteilung von geringer Bedeutung. Negative Abweichungen über -100 % sind mit der Formel der Definition zur Berechnung der relativen Abweichungen (vgl. Fall 1) zu erklären. Hierbei sind Abweichungen negativ, falls der Wert des Transitionsmodells den Wert des DWD übersteigt. Ist der Wert des Transitionsmodells um mehr als das Doppelte des DWD größer, so sind Abweichungen von kleiner -100 % möglich. Relative Abweichungen von größer +100 % sind hingegen nicht möglich. Aufgrund der Ergebnisse der Auswertung der Monatssummen ist zu vermuten, dass sich bei der Simulation der Stundensummen im Winter größere relative Abweichungen als im Sommer ergeben. Im Folgenden werden deshalb Verteilungen der relativen Abweichungen der Stundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit eines Monats visualisiert. Ziel dabei ist, den in Abschnitt 5.2.1.1 für die Monatssummen identifizierten Trend von höheren relativen Abweichungen im Winter auch für die Stundensummen zu untersuchen. Hierfür werden Densityplots der relativen Abweichungen auf Stundenbasis in Abhängigkeit eines Monats für die beiden Testgebiete betrachtet (vgl. Abb. 41). Es kann beobachtet werden, dass in den Wintermonaten zwischen November und März flachere Verteilungsformen auftreten. In den Sommermonaten von April bis Oktober hingegen sind die Verteilungen steiler. Eine steilere Verteilung ist mit geringerer Streuung und somit stärkerer Zentrierung um 0 verbunden. Die relativen Abweichungen sind also bei steilerer Verteilung von geringerem Ausmaß. Auffallend ist die bereits angesprochene Bimodalität der Verteilungen in allen Monaten. Im Anhang dieser Arbeit befinden sich darüber hinaus Plots, in welchen Verteilungen der relativen Abweichungen der Stundensummen in Abhängigkeit der Woche dargestellt sind.

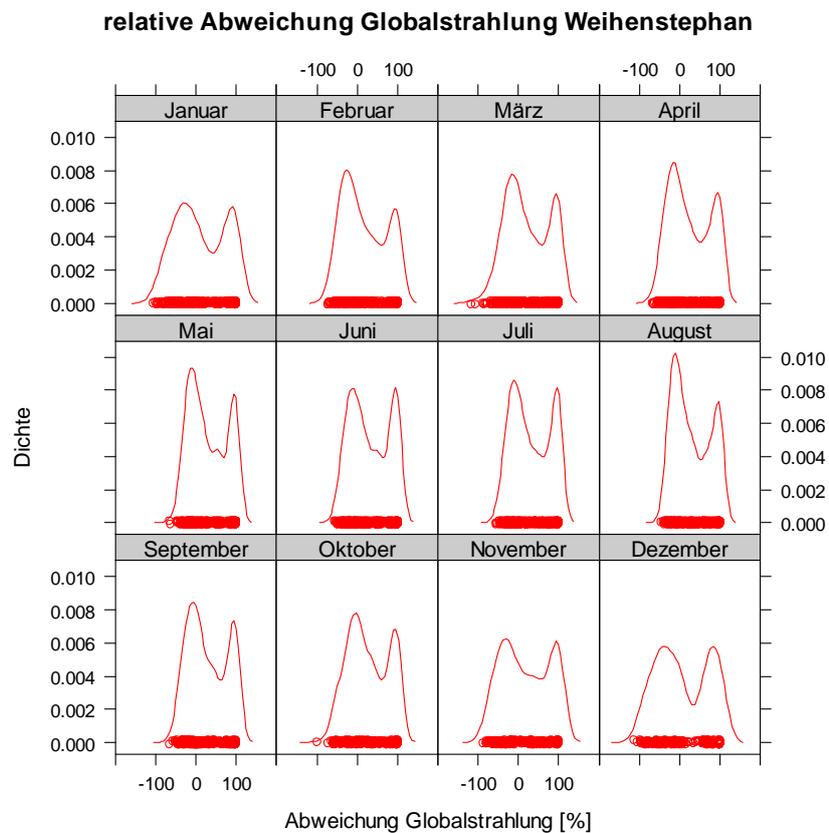
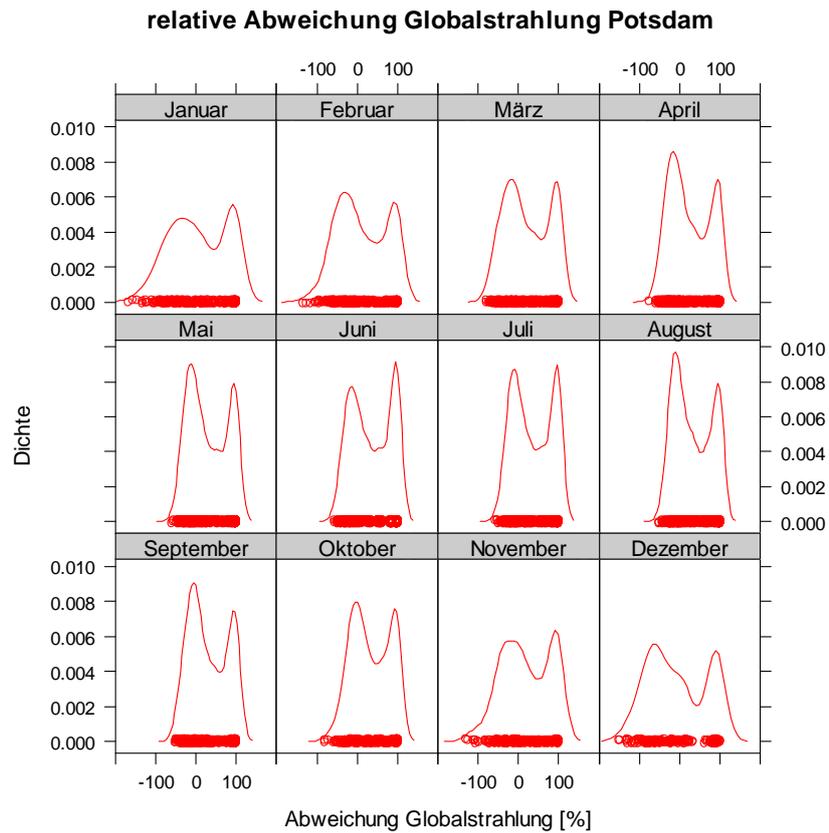


Abbildung 41 Densityplots der relativen Abweichungen der Globalstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit des Monats

Um Trends in den Abweichungen der stündlichen Zeitauflösung zu untersuchen, werden im Folgenden auf Basis der Sichten „Potsdam_Vergleich_Tagesverlauf“ bzw. „Weihenstephan_Vergleich_Tagesverlauf“ die monatlich gemittelten Tagesverläufe der Strahlungsstundensummen betrachtet. Dabei weisen die Plots aller Monate (vgl. 10.4.2) ein durchgehendes Merkmal auf, welches anhand des Monats Juni (vgl. Abb. 42) exemplarisch aufgezeigt werden kann.

Für die beiden Standorte Potsdam und Weihenstephan lässt sich festhalten, dass die Strahlungswerte des DWD (vgl. Abb. 42 gelbe Kurve) morgens zu einem früheren Zeitpunkt und um ein höheres Maß ansteigen als die der Simulation (vgl. Abb. 42 dunkelrote Kurve). Die Werte des DWD werden folglich morgens vom Simulationstool unterschätzt. Nach einem gewissen zeitlichen Versatz jedoch steigen die Strahlungswerte der Simulation stärker an und übersteigen somit die Werte des DWD. Es resultiert ein höherer Tageshöchstwert der Strahlungssummen des Transitionsmodells mittags. Der Zeitpunkt des größten Strahlungswertes ist dabei für Transitionsmodell und Messung überwiegend identisch. Nach dem Erreichen des Tageshöchstwertes fällt der Graph der simulierten Strahlungsenergie stärker als der der Messwerte, womit die Werte der Simulation ab einem gewissen Zeitpunkt unter denen des DWD liegen. Vor Sonnenuntergang sind somit die Werte des DWD größer.

Zusammenfassend ergibt sich für die Visualisierung der Strahlungsenergien der Messwerte des DWD eine breitere und flachere Kurve, während für die simulierten Werte des Transitionsmodells ein steilerer Graph mit geringerer Breite und größerem Maximum resultiert.

Die Auswirkungen auf die relativen Abweichungen sind Abbildung 42 (2) und (4) zu entnehmen. Die größten relativen Abweichungen sind morgens bei Sonnenaufgang und abends bei Sonnenuntergang mit Werten bis zu 100 % zu finden, wenn die geschätzten Werte des Transitionsmodells nahe 0 liegen. Am Schnittpunkt der Kurven von Messung und Simulation sind die relativen Abweichungen von geringstem Ausmaß. Mittags sind die relativen Abweichungen betragsmäßig geringer als morgens und abends, da die absoluten Strahlungswerte größer und somit die Gewichtung geringer ist.

So kann gezeigt werden, dass zwar die Fläche unter den Graphen entsprechend der monatlichen prozentualen Abweichung von 6,55 % für Potsdam und 4,57 % für Weihenstephan im Allgemeinen gut angenähert wird (vgl. Abschnitt 5.2.1.1), die geschätzten stündlichen Strahlungsenergien allerdings über den Tag verteilt innerhalb des oben ausgeführten Schemas um ein relevantes Maß abweichen.

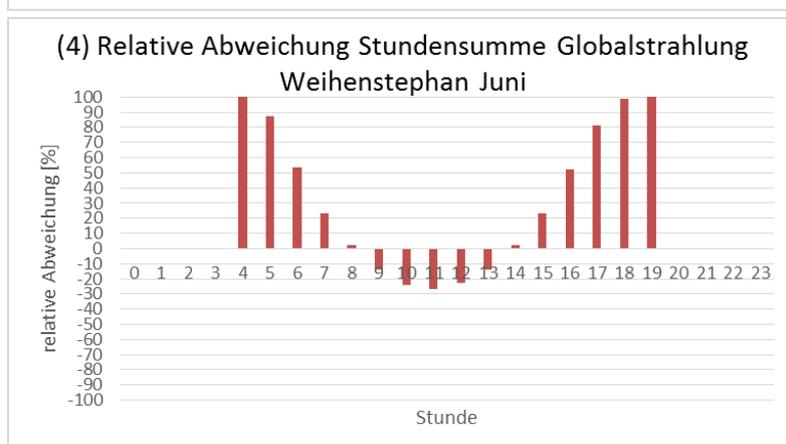
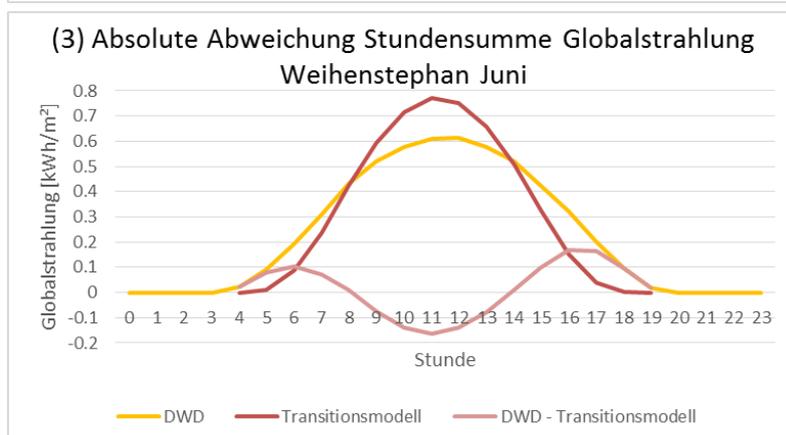
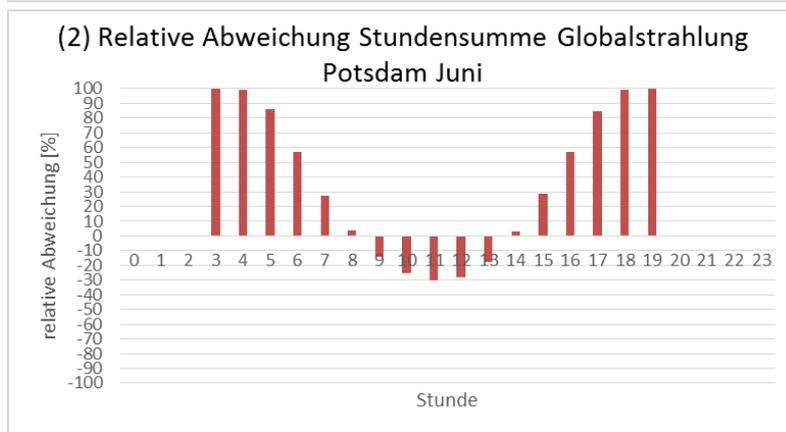
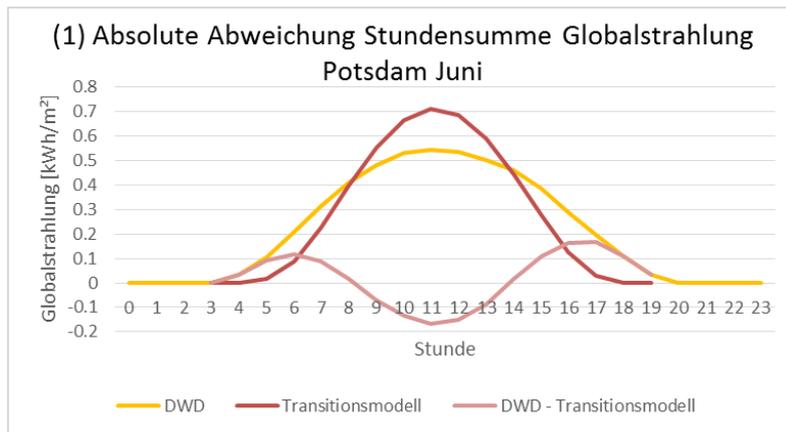


Abbildung 42 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Juni: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

5.2.2.3 Direktstrahlung

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Direktstrahlung fällt auf, dass die negativen relativen Abweichungen in betragsmäßig wesentlich größere Wertebereiche fallen. So zeigt sich für Potsdam (vgl. Abb. 43 links) ein Minimum von -450,10 %. Das Maximum liegt bei 100 %. Das untere Quartil befindet sich dabei bei -9,13 %, das Obere bei 75,98 %. Der Mittelwert liegt mit 23,32 % knapp über dem Median von 21,48 %. Die Verteilung ist linksschief mit einem Schiefewert von -1,16 und ferner spitzgipflig mit einer Kurtosis von 6,53. Die Streuung der Verteilung ist mit einem Interquartilabstand von 85,10 % und einer Standardabweichung von 60,73 % zu beschreiben.

Der Boxplot der relativen Abweichungen Weihenstephans ähnelt dem Potsdams (vgl. Abb. 43 rechts). Das Minimum liegt dabei mit -545,40 % tiefer. Das Maximum befindet sich ebenfalls bei 100 %. Erstes und drittes Quartil sind bei -21,30 % und 66,86 % lokalisiert. Der Median liegt bei 12,83 %, das arithmetische Mittel mit 13,38 % leicht darüber. Die Verteilung hat einen Schiefewert von -1,35 und ist folglich linksschief. Zudem ist die Verteilung spitzgipflig mit einer Kurtosis von 8,04. Die Verteilung streut mit einem Interquartilabstand von 88,15 % und einer Standardabweichung von 67,74 %.

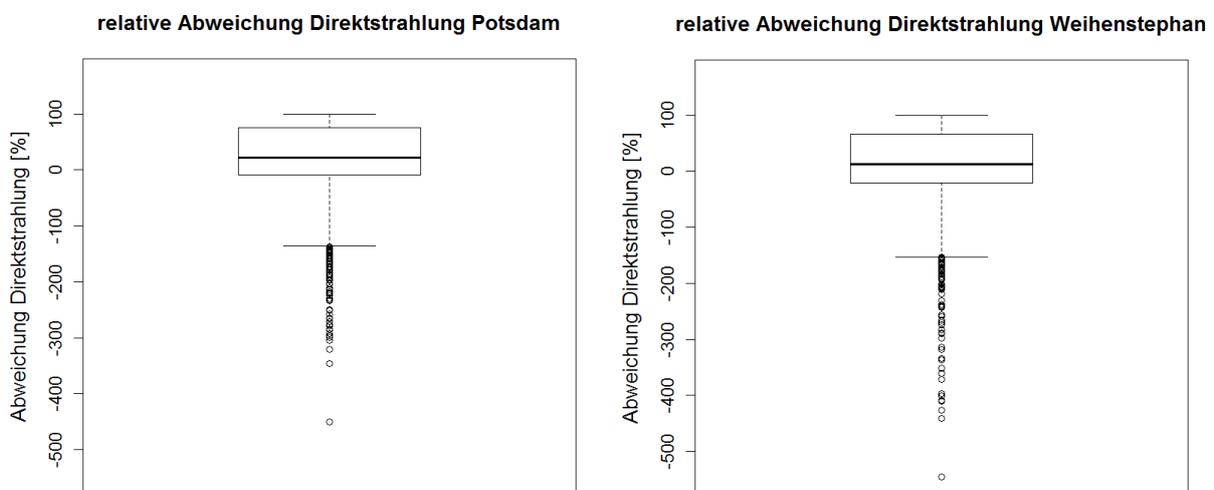


Abbildung 43 Boxplots der relativen Abweichung der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitaufösung

Generell ist festzuhalten, dass die relativen Abweichungen der Direktstrahlung wesentlich höhere Spannweiten aufweisen. Auch die Streuung der Verteilungen ist von größerem Umfang als für die Globalstrahlung. Die Mediane der beiden Standorte liegen im Positiven, während starke Ausreißer im Negativen vorhanden sind. Beide Verteilungen haben linksschiefe Tendenzen.

Ebenso wie für die Globalstrahlungsverteilungen besprochen, ist auch die Verteilung der relativen Abweichungen der direkten Einstrahlung bimodal (vgl. Abb. 44). Die Zentrierungen um die Werte von 0 % und 100 % lassen sich dabei auf die für die Globalstrahlung bereits erläuterten Wertekombinationen zwischen gemessenen DWD-Werten und simulierten Werten des Transitionsmodells zurückführen.

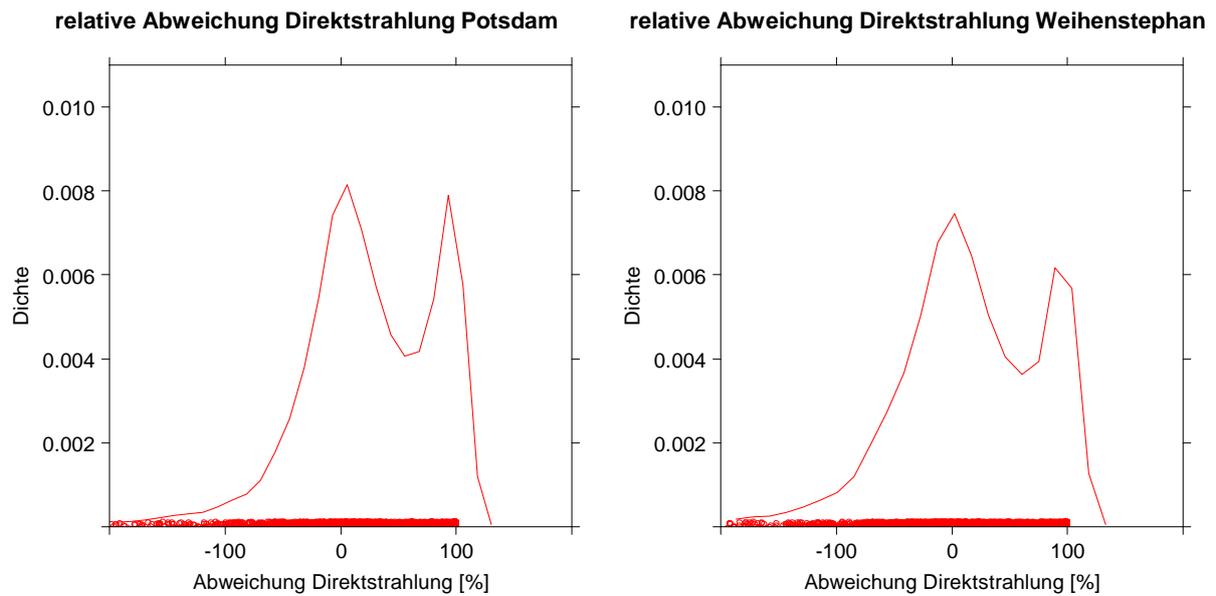


Abbildung 44 Densityplots der relativen Abweichung der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung

Zur Untersuchung des Einflusses des Monats auf die Genauigkeit der Simulation von Stundensummen durch das Transitionsmodell werden im Nachfolgenden, wie zuvor für die Globalstrahlung, die Verteilungen der relativen Abweichungen mit Hilfe von Densityplots in Abhängigkeit des Monats visualisiert (vgl. Abb. 45). Dabei kann für die Stundensummen der in monatlicher Zeitauflösung identifizierte Trend bestätigt werden. In den Wintermonaten treten breitere und flachere Verteilungsformen als in den Sommermonaten auf. Die Verteilungen im Sommer sind steiler und dichter um 0 zentriert.

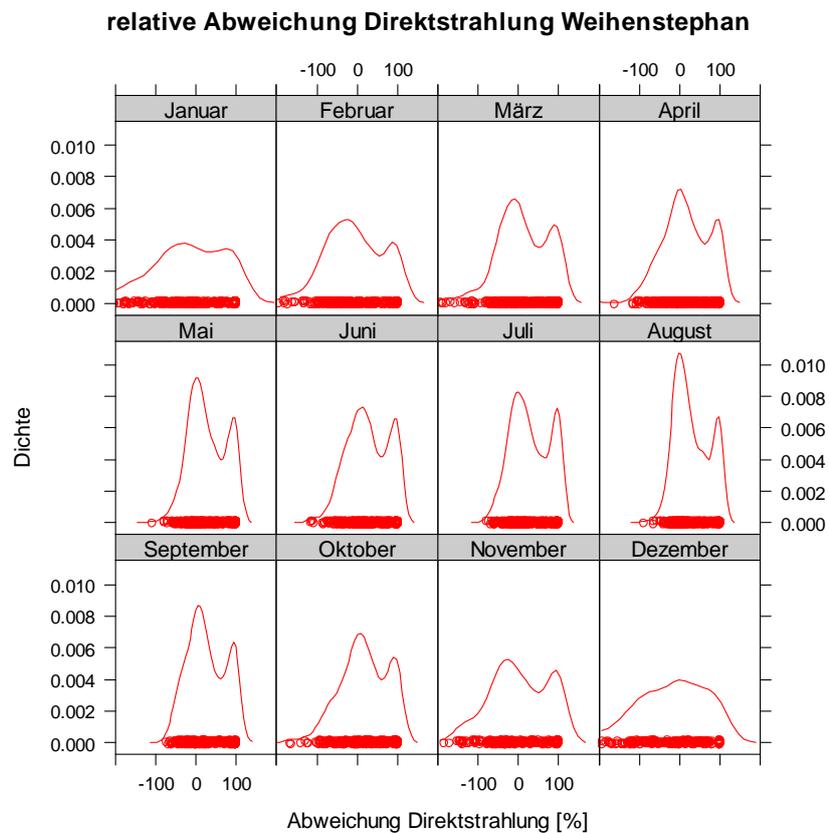
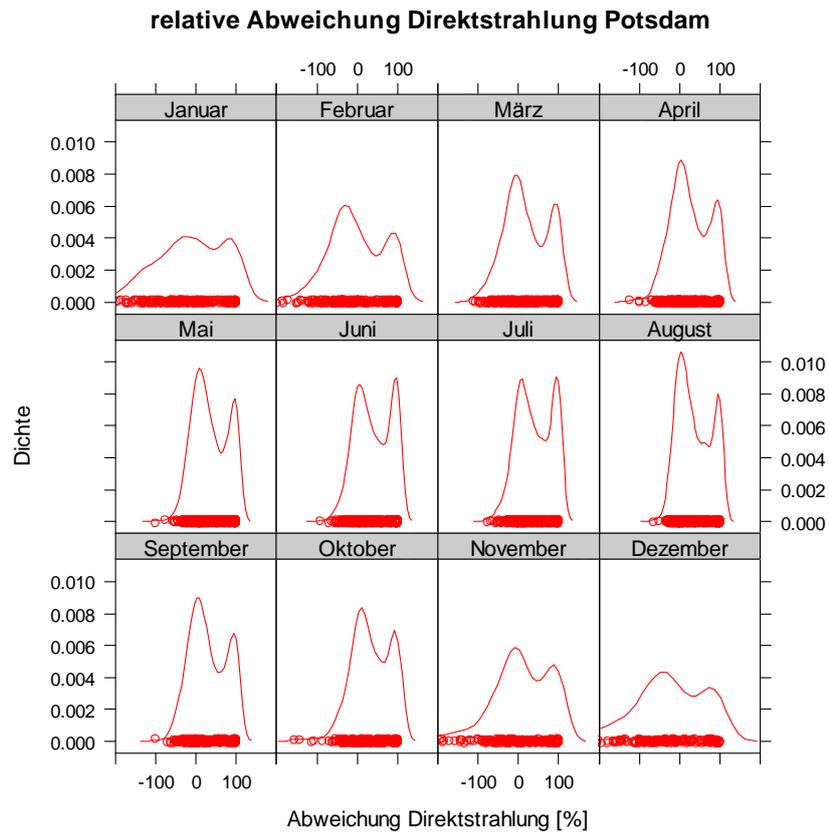


Abbildung 45 Densityplots der relativen Abweichungen der Direktstrahlungssummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit des Monats

Am aggregierten stündlichen Tagesverlauf des Monats Juni (vgl. Abb. 46) kann beispielhaft auch für die Direktstrahlung das für die Globalstrahlung identifizierte Phänomen betrachtet werden. Auch hier überwiegen in den Auswertungen beider Standorte die Strahlungssummen des DWD (vgl. Abb. 46 gelbe Kurve) in den Morgen- und Abendstunden, während mittags die geschätzte Strahlungsenergie des Transitionsmodells (vgl. Abb. 46 rote Kurve) die des DWD übersteigt. Folglich zeigt sich eine breitere Kurve der Strahlungsstundensummen des DWD und eine steilere Kurve des Transitionsmodells. Die Tageshöchstwerte der Kurven befinden sich etwa am selben Zeitpunkt. Das Transitionsmodell weist dabei ein höheres Maximum auf als der DWD.

Ferner finden sich die größten relativen Abweichungen (vgl. Abb. 46 (2) und (4)) morgens und abends mit Werten bis zu 100 %, wobei die simulierten Stundensummen nahe 0 liegen. Mittags hingegen sind die relativen Abweichungen ebenfalls vergleichsweise klein. Die betragsmäßig geringsten prozentualen Abweichungen sind an den Schnittpunkten der Kurven lokalisiert.

Während die aufsummierten Stundensummen für einen Tag und somit die Flächen unter den Kurven mit einer prozentualen Abweichung von 15,77 % für Potsdam und 1,54 % für Weihenstephan vergleichsweise gut angenähert werden, kann festgehalten, dass nach eben erläuterten Muster die relativen Abweichungen der einzelnen Stundensummen jedoch von größerem Umfang sind.

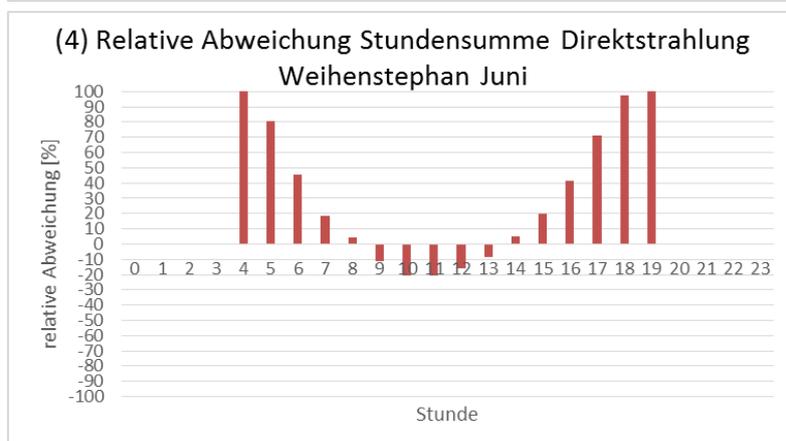
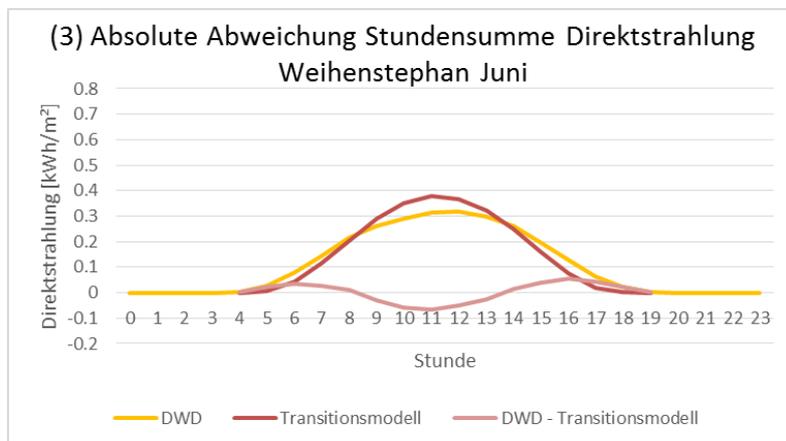
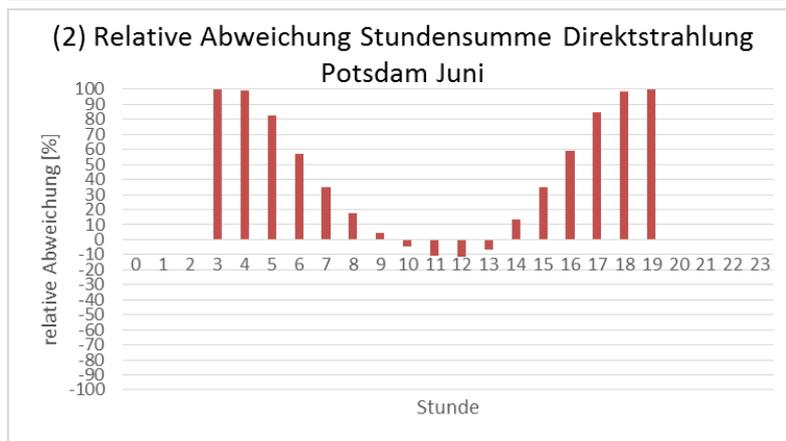
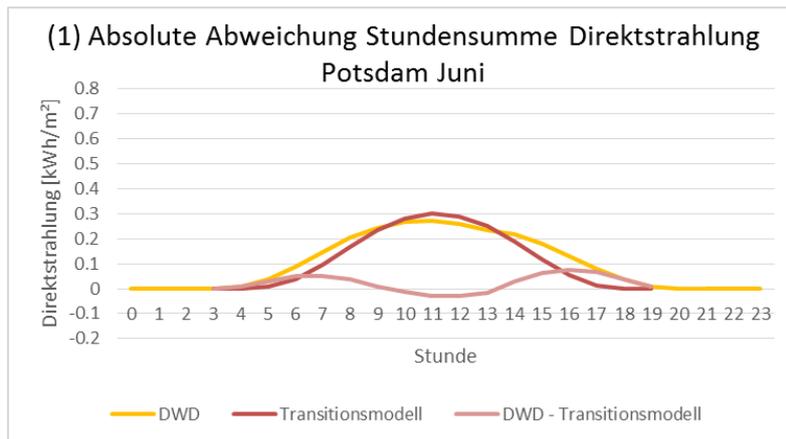


Abbildung 46 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Juni: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

5.2.2.4 Diffusstrahlung

Die Spannweite der relativen Abweichungen der diffusen Einstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell ist geringer als die der Direktstrahlung. Der minimale Wert in der Verteilung Potsdams (vgl. Abb. 47 links) liegt dabei bei 137,10 %. Das Maximum liegt bei 100,00 %. Das untere Quartil ist bei -28,57 %, das Obere bei 85,72 % zu finden. Der Median befindet sich mit 16,85 % unter dem arithmetischen Mittel von 22,34 %. Die Schiefe beträgt -0,06. Folglich hat die Verteilung eine linksschiefe Tendenz. Der Kurtosiswert von 1,73 weist auf eine flachgipflige Verteilung hin. Der Interquartilabstand beträgt 114,30 % und die Standardabweichung 58,53 %.

Für den Standort Weihenstephan (vgl. Abb. 47 rechts) ist die Spannweite der Verteilung der relativen Abweichung der Diffusstrahlung von geringerem Ausmaß als die Potsdams. Minimum und Maximum reichen dabei von -111,10 % bis 100,00 %. Erstes und drittes Quartil befinden sich bei -18,50 % und 83,83 %. Der Median der Verteilung liegt bei 19,91 %. Das arithmetische Mittel befindet sich mit 27,36 % oberhalb des Medians. Die Verteilung hat eine Schiefe von 0,06 und ist somit leicht rechtsschief. Die Kurtosis beläuft sich auf 1,65 und impliziert eine flachgipflige Verteilung. Die Streuung der Verteilung zeigt sich an einem Interquartilabstand von 102,33 % und einer Standardabweichung von 52,45 %.

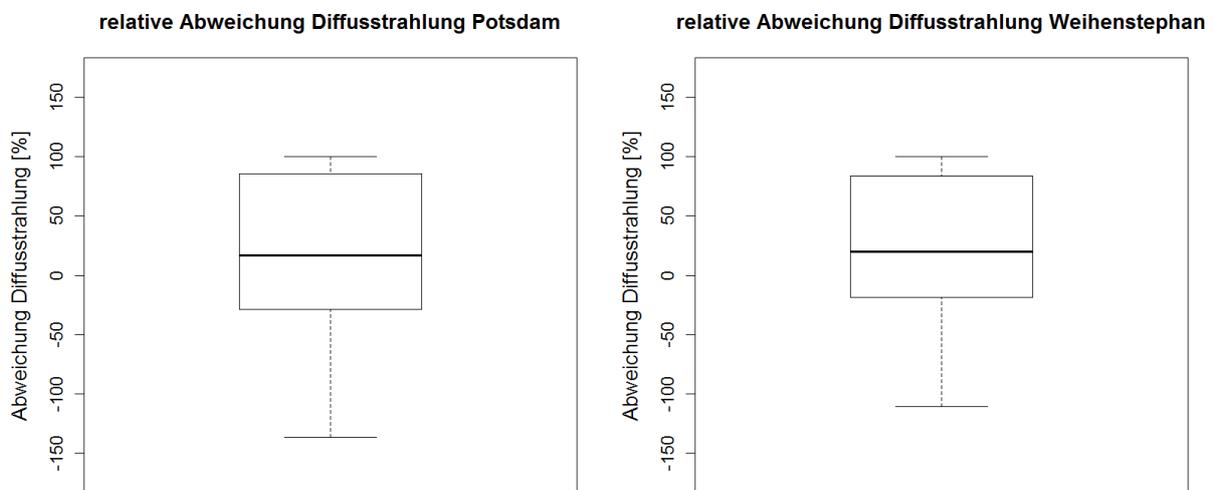


Abbildung 47 Boxplots der relativen Abweichung der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung

Für beide Verteilungen ist ein Median im Positiven festzuhalten. Folglich sind mehr positive als negative Werte in den Verteilungen enthalten. Beide Verteilungen sind flachgipflig. Zudem sind die Spannweiten und Streuungsmaße der Verteilungen von geringerem Umfang als die der Direktstrahlung.

Wie schon für die anderen Strahlungsarten hervorgehoben wurde, ist auch die Verteilung der relativen Abweichungen der stündlichen Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell zweigipflig (vgl. Abb. 48). Es finden sich dabei Zentrierungen der Werte bei 0 % und 100 %. Die Entstehung der Gipfel kann auf die für die Globalstrahlung in Abschnitt 5.2.2.2 erklärten Kombinationen der Strahlungswerte von DWD und Transitionsmodell zurückgeführt werden.

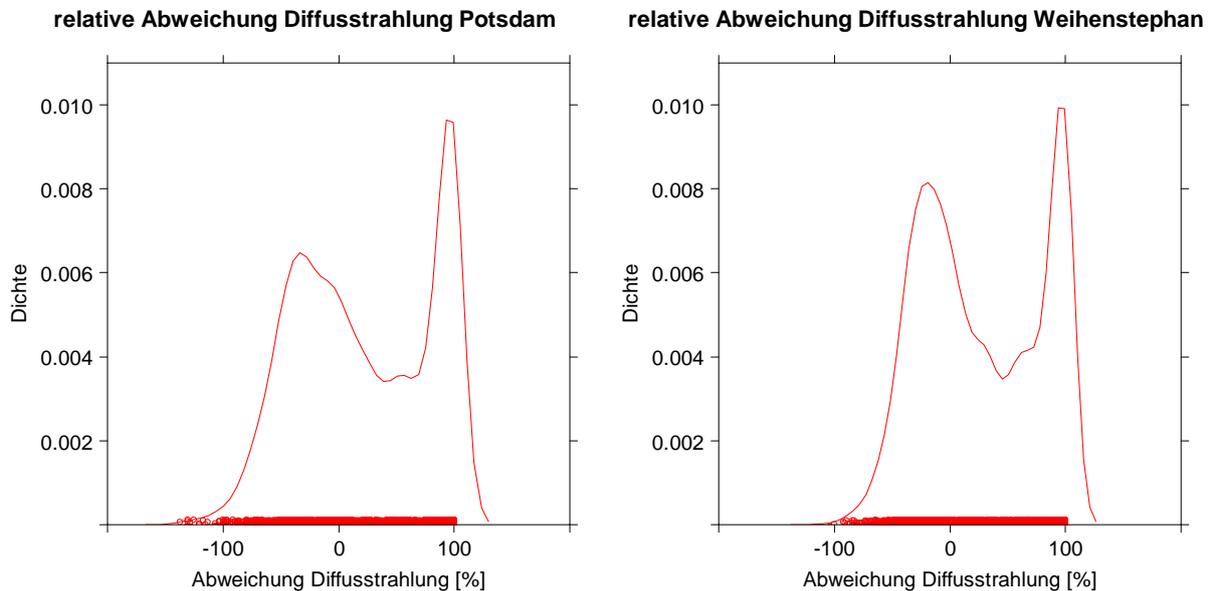
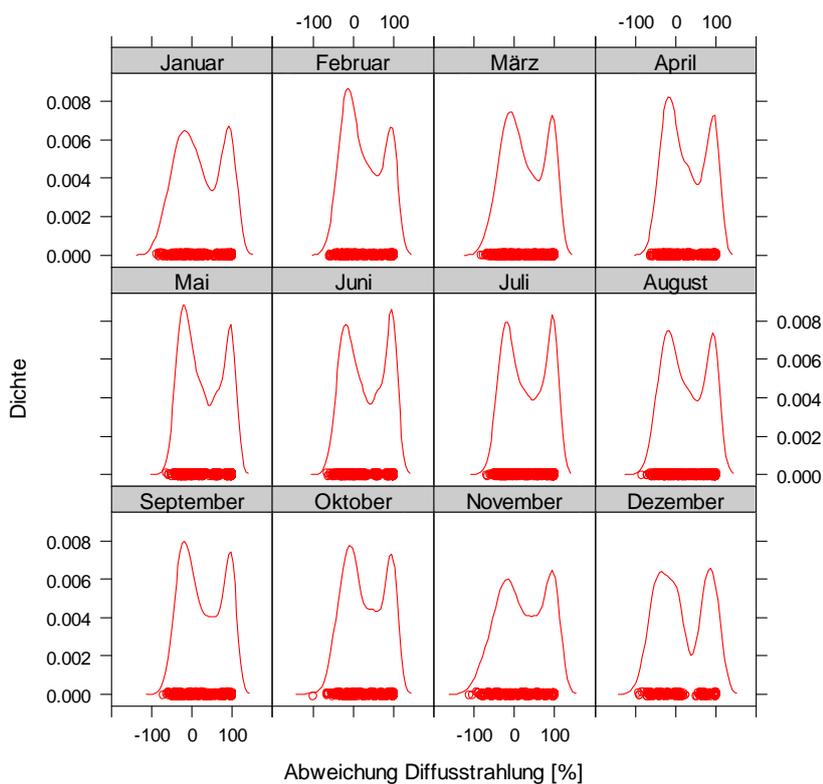


Abbildung 48 Densityplots der relativen Abweichung der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung

Aus Gründen der Vollständigkeit werden an dieser Stelle die Verteilungen der relativen Abweichungen der Stundensummen der diffusen Einstrahlung in Abhängigkeit des Monats betrachtet. Da für die Diffusstrahlung in monatlicher Zeitauflösung keine Trends der Abweichungen aufgezeigt werden konnten, ist zu erwarten, dass auch hier, im Gegensatz zur Auswertung der globalen und direkten Einstrahlung, ebenfalls keine eindeutigen Tendenzen steilerer oder flacherer Verteilungen in beispielsweise Sommer- oder Wintermonaten erkennbar sind. Die in Abbildung 49 angeführten Densityplots bestätigen diese These.

relative Abweichung Diffusstrahlung Weihenstephan



relative Abweichung Diffusstrahlung Potsdam

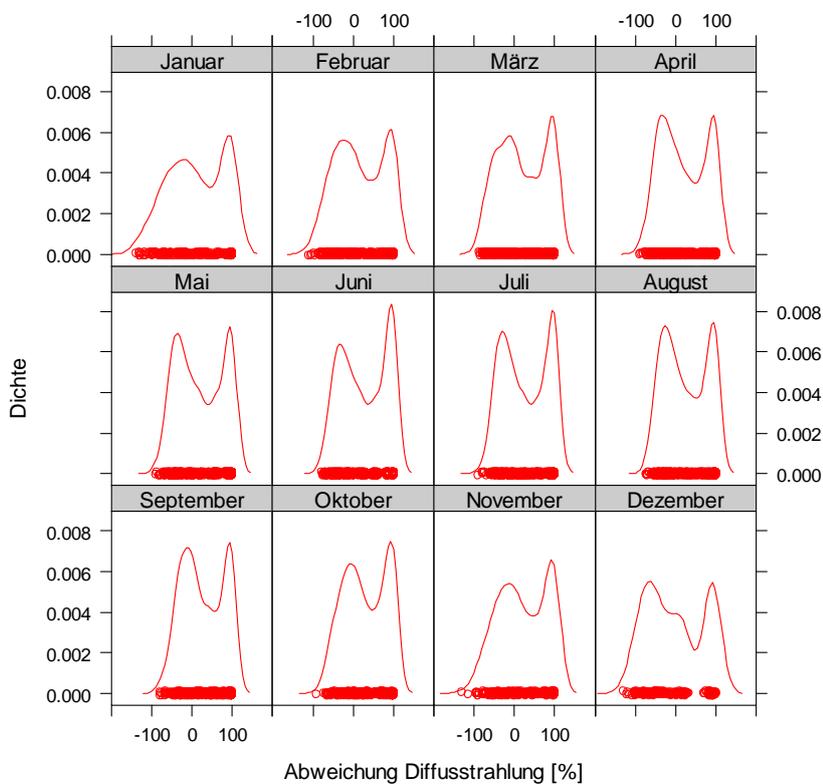


Abbildung 49 Densityplots der relativen Abweichungen der Diffusstrahlungssummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit des Monats

Die für Global- und Direktstrahlung gemachte Beobachtung unterschätzter Werte morgens und abends, gegenüber überschätzten Werten mittags zeigt sich auch für die Auswertung der Diffusstrahlung und wird hier ebenso am Beispiel des Monats Juni für die Standorte Potsdam und Weihenstephan verdeutlicht (vgl. Abb. 50).

Dabei zeigen die Visualisierungen ein ähnliches Bild wie bereits die für globale und direkte Einstrahlung: Die Kurve des Transitionsmodells verläuft vergleichsweise steiler, die des DWD breiter. Die Zeitpunkte des Tageshöchstwertes der Strahlungsstundensummen entsprechen in etwa einander. Des Weiteren kann erneut festgehalten werden, dass die größten relativen Abweichungen von bis zu 100 % in den Morgen- und Abendstunden zu beobachten sind. Mittags sind geringere prozentuale Abweichungen vorhanden. Die beste Annäherung ist an den Schnittpunkten der Kurven gegeben.

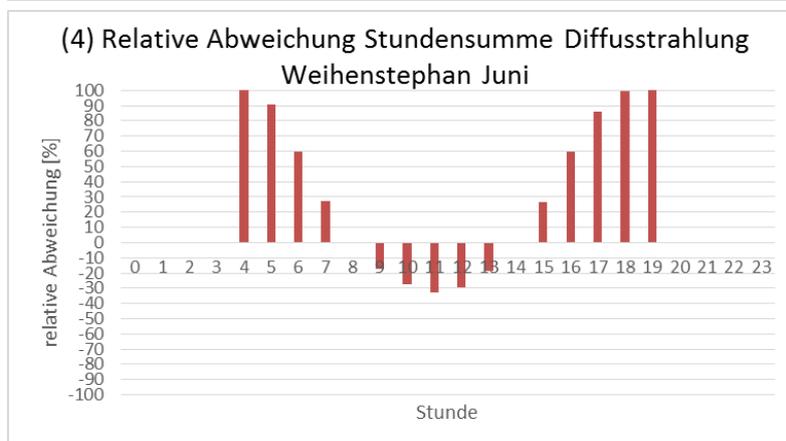
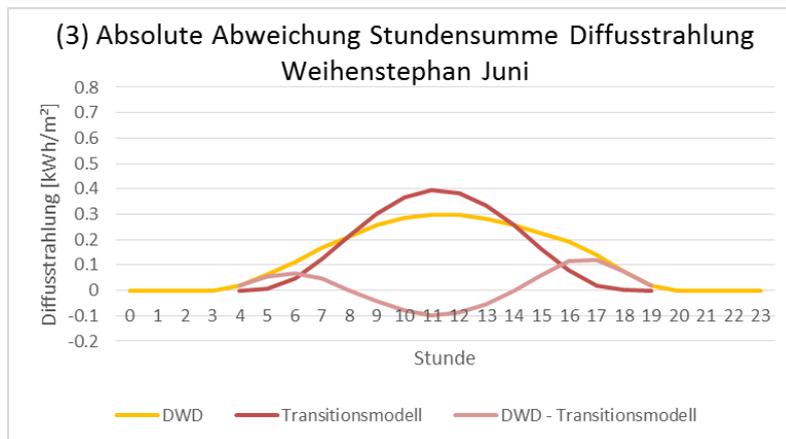
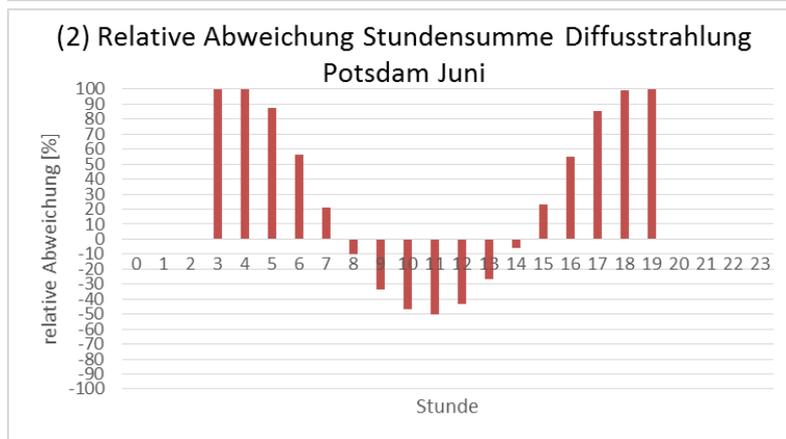
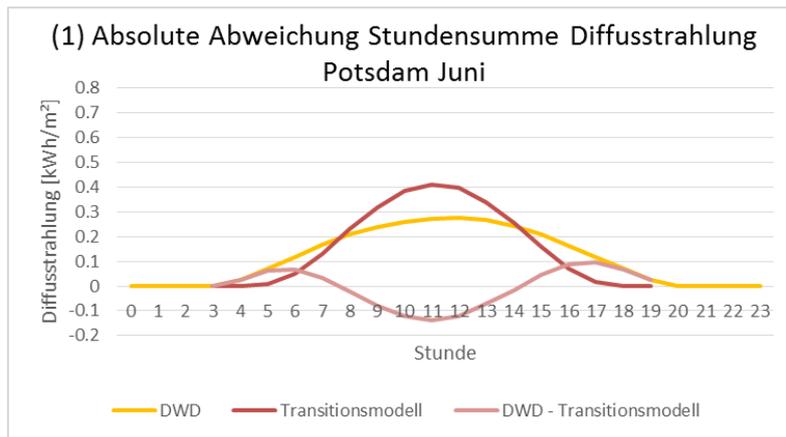


Abbildung 50 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Juni: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

6 Diskussion

In diesem Kapitel werden die soeben dargestellten Ergebnisse diskutiert. Dabei werden die erreichbaren Genauigkeiten der Schätzungen des Transitionsmodells in den verschiedenen zeitlichen Auflösungen besprochen. Des Weiteren soll insbesondere den Ursachen der aufgezeigten Trends nachgegangen werden, wobei zunächst die monatliche und anschließend die stündliche Zeitauflösung beleuchtet wird. Auf Basis dessen werden Vorschläge zur Optimierung des Transitionsmodells abgeleitet.

6.1 Monatliche Zeitauflösung

6.1.1 Globalstrahlung

Werden die Schätzungen auf Basis eines Monats für die Globalstrahlung betrachtet, so können zusammenfassend folgende Aussagen zu den erreichbaren Genauigkeiten des Transitionsmodells festgehalten werden: Die Mediane der relativen Abweichungen der simulierten Werte von den Messwerten des DWD (vgl. Abschnitt 5.2.1.1) zentrieren sich in gewünschter Weise um 0. Ebenso ist die Streuung der simulierten Werte mit Interquartilabständen unter 19 % von hinreichender Genauigkeit. Die Simulation liefert eine gute Annäherung an die tatsächlichen Einstrahlungsgegebenheiten am Standort und hilft somit durchaus ein realitätsgetreues Bild der monatlichen Einstrahlungsverhältnisse zu gewinnen. Durch Kompensation der monatlichen Abweichungen zeigen sich sehr gute Annäherungen der aufsummierten Monatssummen über ein Jahr.

Dabei konnten im Verlauf eines Jahres in den Monaten folgende Trends gezeigt werden: Für die Globalstrahlung konnte eine Überschätzung der Strahlungswerte im Winter bei gleichzeitiger Unterschätzung im Sommer identifiziert werden. Festzuhalten ist, dass präzisere Schätzungen des Transitionsmodells im Sommer als im Winter vorhanden sind. Hierbei konnte ein eindeutiger Zusammenhang der gezeigten Abweichungen der Monatssummen von Transitionsmodell und DWD zu den Abweichungen zwischen NASA und DWD erfasst werden.

Die Abweichungen des Transitionsmodells lassen sich somit aus denen der NASA ableiten: Es kann geschlussfolgert werden, dass die monatlichen Abweichungen des Transitionsmodells größtenteils nicht etwa auf einer fehlerhaften Funktionsweise des Modells, sondern vielmehr auf einer ungenauen Kalibrierung des Transitionsmodells anhand der NASA-Werte beruhen. Diese wurden nach in Abschnitt 4.1.3.1 ausgeführtem Schema satellitenabgeleitet erfasst. Die Methodik ist im Allgemeinen von geringerer Genauigkeit als die der Bodenmesstechnik und liefert somit, wie in Abschnitt 5.1 gezeigt, bereits abweichende Strahlungswerte gegenüber des DWD.

Um die monatlichen Abweichungen des Transitionsmodells zu verringern, sind folgende Optimierungen denkbar. Größtes Potential zur Verbesserung bieten die bisher ungenauen Strahlungswerte der NASA. Zunächst ist festzuhalten, dass das POWER-Projekt der NASA an einer stetigen Verbesserung der in SSE bereitgestellten und für das Transitionsmodell verwendeten gemittelten Strahlungswerte arbeitet. Da in der Vergangenheit ein reges Interesse an den Daten von Seiten verschiedener hochrangiger Institutionen, aber auch von Seiten der Energiewirtschaft bestand, existiert eine große Motivation seitens der NASA, weiter in Forschung innerhalb dieses Feldes zu investieren. Aus diesem Grund ist mit der Bereitstellung präziserer Parameter innerhalb von SSE in der Zukunft zu rechnen.

Um das Modell präziser an die Einstrahlungsverhältnisse des Berechnungsgebietes anzupassen, wäre ferner eine Kalibrierung anhand anderer Strahlungsdaten denkbar. Die bezogenen NASA-Strahlungswerte sind in ihrer Globalität einzigartig, jedoch könnten für deutschlandweite Simulationen Rasterdaten von höherer Genauigkeit verwendet werden. Hierbei bieten sich beispielsweise Strahlungswerte des DWD, basierend auf Boden- und Satellitenmessung an, welche innerhalb des Climate Data Centers frei verfügbar sind. Problematisch ist, dass hier lediglich Werte zur Globalstrahlung, nicht aber zur Diffusstrahlung bereitgestellt werden. Da die Diffusstrahlungswerte für die Kalibrierung der Parameter des Transitionsmodells an die geographischen Einstrahlungsverhältnisse aber von elementarer Bedeutung sind, können die Rasterdaten des DWD vorerst nicht für die Kalibrierung verwendet werden. Sie stellen jedoch einen ersten Anhaltspunkt für weitere Recherche dar.

6.1.2 Direktstrahlung

Für die Direktstrahlung in monatlicher Zeitaufösung kann zur erreichbaren Genauigkeit des Transitionsmodells Folgendes festgehalten werden: Die Mediane der relativen Abweichungen liegen mit einer betragsmäßigen Abweichung von kleiner 8 % um 0, die Streuung zeigt Interquartilabstände kleiner 34 %. Demzufolge handelt es sich bei der Simulation der Direktstrahlung um Werte geringerer Präzision als die der Globalstrahlung, dennoch bewegen sich die Ungenauigkeiten in einem annehmbaren Bereich. Die jährlichen relativen Abweichungen belaufen sich auf Werte kleiner 10 % und liefern folglich eine gute Annäherung.

Ähnlich wie für die Globalstrahlung wurde für die Direktstrahlung festgestellt, dass das Transitionsmodell in den Wintermonaten zu hoch geschätzte, in den Sommermonaten zu niedrig geschätzte Strahlungssummen liefert. Auch hier ist eine präzisere Simulation im Sommer möglich.

Für die Direktstrahlung konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die monatlichen relativen Abweichungen zwischen Transitionsmodell und DWD mit den Abweichungen zwischen NASA und DWD einhergehen. Aus diesem Grund kann geschlossen werden, dass auch hier die Kalibrierung des Modells an den NASA-Werten Ursache für die monatlichen Abweichungen des Modells ist. Zu beheben sind diese Abweichungen mit den für die Globalstrahlung angeführten Optimierungsvorschlägen.

6.1.3 Diffusstrahlung

Für die diffuse Einstrahlung kann die genaueste Simulation mit Hilfe des Transitionsmodells erreicht werden. Die Mediane der relativen Abweichungen pendeln dabei um bis zu 6 % um 0, die Interquartilabstände liegen in einem Bereich von kleiner 9 %. Somit ist auch die Abweichung der aufsummierten Jahressummen von geringem Umfang.

Die Ergebnisse der verschiedenen Standorte lassen keine Rückschlüsse auf Trends innerhalb der Abweichungen der diffusen Einstrahlung zu.

Dabei konnten die monatlichen Abweichungen des Transitionsmodells, wie vorher für die beiden anderen Strahlungsarten, auf die Abweichungen der NASA-Werte von den DWD-Werten zurückgeführt werden. Auch für die Diffusstrahlung ist festzustellen, dass die Ungenauigkeiten der Simulation auf Monatsbasis ursächlich nicht in der Funktionsweise des Transitionsmodells, sondern in der ungenauen Kalibrierung anhand der NASA-Werte liegen. Dabei gelten ebenso die für die Globalstrahlung festgehaltenen Möglichkeiten zur Optimierung.

6.2 Stündliche Zeitauflösung

Wie im Ergebnisteil deutlich wurde, sind die Abweichungen des Transitionsmodells gegenüber des DWD in stündlicher Zeitauflösung von wesentlich größerem Umfang als in monatlicher Zeitauflösung. Im Folgenden sollen deshalb die Abweichungen in stündlicher Zeitauflösung diskutiert werden.

6.2.1 Sonnenzenitwinkel

Die per Algorithmus berechneten Sonnenzenitwinkel stellen die Basis zur Berechnung der relativen optischen Pfadlänge dar. Letztere ist dabei zur Berücksichtigung des Ausmaßes der Extinktion der einfallenden solaren Strahlung von elementarer Bedeutung. Aus diesem Grund würden sich fehlerhafte Berechnungen des Sonnenzenitwinkels negativ auf die Schätzungen der Strahlungsenergien auswirken.

Die Untersuchung der erreichbaren Genauigkeiten zeigte dabei eine Zentrierung der Mediane der relativen Abweichungen um 0 mit Abweichungen kleiner 0,5 % und ein geringes Maß an Streuung mit Interquartilabständen kleiner 5 %. Der verwendete Algorithmus liefert zusammenfassend Ergebnisse von hoher Genauigkeit und stellt somit eine sehr gute Basis zur Ableitung der relativen optischen Pfadlänge durch das Transitionsmodell dar. Das Verbesserungspotential etwa durch Verwendung eines anderen Algorithmus ist folglich gering.

6.2.2 Globalstrahlung

Die geschätzten Globalstrahlungsstundensummen des Transitionsmodells sind wesentlich ungenauer als die Werte auf Monatsbasis. Werden die relativen Abweichungen betrachtet, zeigen sich Abweichungen der Mediane von 0 kleiner 19 %. Die Streuung ist mit Interquartilabständen von bis zu 101 % im Vergleich zur monatlichen Zeitauflösung sehr groß. Dieses Ausmaß an Abweichungen zeigt, dass in der momentanen Version des Transitionsmodells kaum verlässliche Schätzungen zur Globalstrahlung auf Stundenbasis erzielbar sind.

Dabei konnte durch Visualisierung der Verteilungen der relativen Abweichungen in Abhängigkeit des Monats gezeigt werden, dass die Simulation der Globalstrahlungswerte auf Stundenbasis in den Wintermonaten von geringerer Genauigkeit als in den Sommermonaten ist. Dies ist auf die Kalibrierung des Transitionsmodells anhand der ungenauen NASA-Werte zurückzuführen.

Für den stündlichen Verlauf eines Tages konnte gezeigt werden, dass die durch das Transitionsmodell geschätzten Globalstrahlungsstundensummen in den Morgen- und Abendstunden zu niedrig, in den Mittagsstunden hingegen zu hoch berechnet werden. Dies kann folgendermaßen begründet werden. Das in Abschnitt 4.1.2.1 dargelegte Funktionsprinzip des Transitionsmodells nutzt zur Ableitung der relativen optischen Pfadlänge einfallender Sonnenstrahlung die per Algorithmus diskret berechneten Sonnenstände. Dabei liefert die zur Ableitung verwendete Formel für niedrige Sonnenstände eine zu hoch berechnete relative optische Pfadlänge. Grund hierfür ist die Refraktion der Strahlung innerhalb der Erdatmosphäre. Diese bezeichnet die Ablenkung der Sonnenstrahlen von ihrer ursprünglichen Laufbahn infolge von Lichtbrechung an den zur Erdoberfläche hin kontinuierlich dichter werdenden Schichten der Erdatmosphäre (Häckel 2008, S. 222).

Die genannten Einflüsse der Refraktion werden im Modell momentan nicht berücksichtigt. Deshalb wird zu Zeitpunkten niedriger Sonnenstände mit Sonnenzenitwinkeln größer 80° , wie bei Sonnenaufgang morgens und Sonnenuntergang abends, im Modell von einem längeren Weg der Strahlung durch die Erdatmosphäre ausgegangen. Damit verbunden ist die Annahme eines größeren Ausmaßes an Extinktion der einfallenden Strahlung gegenüber der tatsächlichen Extinktion. Folglich resultieren Strahlungsenergien, die in ihrem Umfang die der realen Einstrahlung unterschreiten.

Diese Unterschätzung der Werte am Morgen und am Abend wird zur Mittagszeit mit höheren Werten ausgeglichen, sodass die Abweichungen über den Verlauf eines Tages kompensiert werden und die Tagessumme der Strahlungsenergien generell genauer angenähert wird. In stündlicher Zeitauflösung jedoch weichen so auch mittags die simulierten Strahlungswerte um ein relevantes Maß von den Messwerten ab.

Zur Verbesserung der Abschätzung der relativen optischen Pfadlänge ist die Implementierung von Korrekturfaktoren zur Refraktion notwendig.

Damit würde nicht nur eine bessere Annäherung der Schätzungen an die realen Strahlungsenergien morgens und abends erreicht, sondern darüber hinaus eine Simulation genauerer Strahlungswerte über den gesamten Tagesverlauf. Durch Korrektur der unterschätzten Werte würde eine Überschätzung der

Strahlungswerte mittags zum Zweck des Ausgleichs ausbleiben. Hieraus wird das große Verbesserungspotential durch Implementierung einer Refraktionskorrektur der relativen optischen Pfadlänge in der Simulation der Stundenwerte deutlich.

Dabei ist zu erwarten, dass die in Abschnitt 5.2.2.2 gezeigte Zentrierung der Verteilungen der relativen Abweichungen um 100 % größtenteils beseitigt werden kann. Abweichungen um 100 % beruhen auf Wertekombinationen, in welchen der Messwert des DWD größer 0 und der geschätzte Wert des Modells 0 ist. Dies ist zu Zeitpunkten morgens und abends der Fall, zu denen das Transitionsmodell durch zu hohe Berechnung der Extinktion die ankommende Strahlung mit Werten gegen 0 unterschätzt.

In diesem Kontext ist auch festzuhalten, dass die Tageshöchstwerte von DWD und Transitionsmodell in den Auswertungen weitgehend zur selben Zeit aufzufinden sind. Die Kurve des Transitionsmodells ist also prinzipiell richtig ausgerichtet.

Zur Refraktionskorrektur der relativen optischen Pfadlänge sind entsprechende Faktoren zu recherchieren und in die Berechnung des Transitionsmodells zu implementieren.

6.2.3 Direktstrahlung

Für die relativen Abweichungen der direkten Einstrahlung zwischen Transitionsmodell und DWD auf Stundenbasis konnten Abweichungen des Medians von 0 um bis zu 22 % und Interquartilabstände von kleiner 89 % festgestellt werden. Die Strahlungswerte weisen große Ungenauigkeiten auf und können kaum zur Schätzung realitätsgetreuer Einstrahlungsverhältnisse auf Stundenbasis verwendet werden.

Auch für die Direktstrahlung konnte gezeigt werden, dass die Simulation von Strahlungsstundensummen im Winter unpräziser als im Sommer ist. Dies liegt, wie schon mehrfach erläutert, an der ungenauen Kalibrierung anhand der NASA-Werte.

Des Weiteren konnte innerhalb des stündlichen Verlaufes eines Tages derselbe Trend wie für die globale Einstrahlung identifiziert werden: Morgens und abends liefert das Transitionsmodell unter-, mittags dagegen überschätzte Werte. Die Tageshöchstwerte der Stundensummen von Transitionsmodell und DWD sind überwiegend zum selben Zeitpunkt zu finden.

Ursache des Trends in den Abweichungen ist dabei ebenfalls die atmosphärische Refraktion und somit eine fehlende Refraktionskorrektur der relativen optischen Pfadlänge im Transitionsmodell. Für Erläuterungen hierzu soll an dieser Stelle auf die Ausführungen im letzten Abschnitt zur globalen Einstrahlung verwiesen werden. Durch Implementierung einer Refraktionskorrektur ist ebenfalls eine große Steigerung in der Präzision der Direktstrahlungsstundenwerte zu erwarten.

6.2.4 Diffusstrahlung

Bei der Untersuchung der Simulation der diffusen Einstrahlung auf Stundenbasis mittels Transitionsmodell konnten Abweichungen der Mediane von 0 um bis zu 20 % und Interquartilabstände kleiner 115 % erfasst werden. Die stundenweise geschätzten Diffusstrahlungswerte weisen ebenfalls sehr hohe Ungenauigkeiten auf. Die Schätzungen des Transitionsmodells sind momentan somit auch für die Stundensummen der diffusen Sonneneinstrahlung von unzureichender Genauigkeit.

Für die Simulation von Diffusstrahlungsstundensummen mit Hilfe des Transitionsmodells konnten keine Trends innerhalb des Verlaufes eines Jahres identifiziert werden, sodass nicht generell geschlossen werden kann, innerhalb welcher Monate mit genaueren bzw. ungenaueren Schätzungen gerechnet werden kann.

Es konnte jedoch, analog zur globalen und direkten Einstrahlung, festgestellt werden, dass die Strahlungswerte im Verlauf eines Tages morgens und abends unterschätzt, mittags überschätzt werden. Hierbei kann wieder auf das Phänomen der Refraktion und auf die Ausführungen in Abschnitt 6.2.2 verwiesen werden. Auch hier ist eine Refraktionskorrektur zu implementieren um präzisere Strahlungswerte mit Hilfe des Modells zu erreichen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Validierung eines Transitionsmodells zur Schätzung von Sonneneinstrahlungswerten der Direkt- und Diffusstrahlung durchgeführt. Für die Standorte Potsdam und Weißenstephan wurden den simulierten Wertereihen des Transitionsmodells durch Bodenmesstechnik gewonnene Wertereihen des DWD gegenübergestellt. Zudem wurden in der Validierung per Satellitenmessung abgeleitete Strahlungswerte der NASA berücksichtigt.

Die Wertereihen wurden zum Vergleich in eine Datenbank integriert und aggregiert. Während die genutzten Werte der NASA bereits über 22 Jahre gemittelte, monatliche Tagessummen darstellen, wurden die Stundenwerte von DWD und Simulation über den Zeitraum der NASA-Daten aggregiert. Mittels eines in dieser Arbeit erstellten SQL-Skriptes konnten die Wertereihen des DWD und des Transitionsmodells in den Zeitaufösungen eines Monats sowie einer Stunde miteinander verglichen werden. Ein Vergleich der NASA-Daten zwischen DWD und Transitionsmodell fand auf monatlicher Basis statt. Die gewonnenen Ergebnisse konnten mit Hilfe statistischer Methoden und verschiedenen Visualisierung hinsichtlich der erreichbaren Genauigkeit und Trends der Abweichungen analysiert und diskutiert werden.

Die Betrachtung der relativen Abweichungen zwischen Transitionsmodell und DWD in monatlicher Zeitauflösung (vgl. Tabelle 5) zeigte betragsmäßige Abweichungen der Mediane von 0 zwischen 1,09 % und 7,41 %. Die Abweichungen streuen mit einem Interquartilabstand von 4,82 % bis 33,47 %. Daraus ergibt sich eine gute Annäherung der mit Hilfe des Transitionsmodell simulierten monatlichen Strahlungswerte an die tatsächlichen Einstrahlungsgegebenheiten.

Die Simulation liefert eine gute Annäherung an die tatsächlichen Einstrahlungsgegebenheiten am Standort und hilft somit durchaus ein realitätsgetreues Bild der monatlichen Einstrahlungsverhältnisse zu gewinnen.

		Globalstrahlung	Direktstrahlung	Diffusstrahlung
Median	Potsdam	1,65 %	7,41 %	-5,47 %
	Weißenstephan	1,09 %	-4,13 %	3,46 %
IQA	Potsdam	18,20 %	33,47 %	8,37 %
	Weißenstephan	13,92 %	27,75 %	4,82 %

Tabelle 5 Zusammenfassung der relativen Abweichungen zwischen Transitionsmodell und DWD in monatlicher Zeitauflösung

In monatlicher Zeitauflösung wurde für die Strahlungsarten der Global- und Direktstrahlung eine Überschätzung der simulierten Werte in den Wintermonaten und eine Unterschätzung in den Sommermonaten aufgezeigt. Zudem konnten in den Wintermonaten Abweichungen größeren und in den Sommermonaten geringeren Umfangs festgestellt werden. Für die diffuse Einstrahlung konnten dabei keine Trends abgeleitet werden. Die aufgezeigten Abweichungen aller untersuchten Strahlungsarten konnten auf die Abweichungen der NASA-Werte zurückgeführt werden, welche zur Kalibrierung des Modells an die geographischen Einstrahlungsverhältnisse dienen. Zur Verbesserung der Kalibrierung kann einerseits auf präzisere NASA-Werte in Zukunft gehofft werden oder andererseits eine Kalibrierung anhand anderer Strahlungswerte vorgenommen werden. Als Ausgangspunkt zur Recherche bieten sich beispielsweise deutschlandweite Rasterdaten zur Globalstrahlung des Climate Data Centers des DWD an. Problematisch dabei ist das Fehlen von Rasterdaten zur Diffusstrahlung, welche für das Kalibrieren der Parameter des Transitionsmodells von zentraler Bedeutung sind. Die Recherche geeigneter Rasterdaten könnte Ausgangspunkt für weitere Forschung sein.

Die Berechnung der Sonnenzenitwinkel mittels Algorithmus, welche die Basis des Transitionsmodells darstellt, ist von hoher Präzision und nur geringfügig optimierbar.

Die Analyse der Abweichungen der Strahlungswerte in stündlicher Zeitauflösung zeigte wesentlich unpräziser geschätzte Werte als in monatlicher Zeitauflösung wie in Tabelle 6 zu entnehmen. Die Mediane variieren dabei von 12,83 % bis zu 21,48 %. Die Streuung der Werte beläuft sich auf einen Wertebereich von 85,10 % bis zu 114,30 %.

		Globalstrahlung	Direktstrahlung	Diffusstrahlung
Median	Potsdam	18,64 %	21,48 %	16,58 %
	Weihenstephan	15,94 %	12,83 %	19,91 %
IQA	Potsdam	100,72 %	85,10 %	114,30 %
	Weihenstephan	96,26 %	88,15 %	102,33 %

Tabelle 6 Zusammenfassung der relativen Abweichungen zwischen Transitionsmodell und DWD in stündlicher Zeitauflösung

In stündlicher Zeitauflösung wurde eine Unterschätzung der Strahlungswerte zu Morgen- und Abendstunden, hingegen eine Überschätzung der Werte zur Mittagszeit für alle Strahlungsarten identifiziert. Als Grund konnte eine fehlerhaft berechnete optische Pfadlänge für niedrige Sonnenzenitwinkel festgehalten werden. Diese kann durch Implementierung einer Refraktionskorrektur behoben werden. Durch das Implementieren geeigneter Faktoren ist eine große Verbesserung der erreichbaren Genauigkeiten der Simulation auf Stundenbasis zu erwarten.

Zur Überprüfung der Wirksamkeit zukünftiger Optimierungen des Transitionsmodells kann auf die in dieser Arbeit entwickelten Methoden zur Validierung zurückgegriffen werden.

8 Literaturverzeichnis

(Cleff 2015)

Cleff, Thomas (2015): Deskriptive Statistik und Explorative Datenanalyse. Eine computergestützte Einführung mit Excel, SPSS und STATA. 3. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler (Lehrbuch).

(con terra GmbH 2015)

con terra GmbH (2015): FME Desktop. Das deutschsprachige Handbuch für Einsteiger und Anwender. Berlin, Offenbach: Wichmann.

(Deutscher Wetterdienst 2005)

Deutscher Wetterdienst (2005): Die Kraft der Sonne nutzen. Deutscher Wetterdienst - nationale Referenz für Meteorologie. Offenbach am Main: Selbstverl. des Deutschen Wetterdienstes.

(Deutscher Wetterdienst 2015)

Deutscher Wetterdienst (2015): Climate Data Center FTP-Server Messwerte. Online verfügbar unter <http://www.dwd.de/DE/leistungen/cdcftpmesswerte/cdcftpmesswerte.html?nn=17626>, zuletzt geprüft am 18.11.2015.

(Dr. Harald Maier, DWD 2015)

Dr. Harald Maier, DWD (2015): Messdaten Strahlung für Ihre Bachelorarbeit. München, 19.11.2015. Persönliche Mitteilung an Benjamin Eberle.

(Gengenbach Messtechnik e.K 2015)

Gengenbach Messtechnik e.K (2015): Sensoren / Geräte in der Praxis. Online verfügbar unter <http://www.rg-messtechnik.de/sensoren-geraete-in-der-praxis.php>, zuletzt geprüft am 18.11.2015.

(Gross 2010)

Gross, Jürgen (2010): Grundlegende Statistik mit R. Eine anwendungsorientierte Einführung in die Verwendung der Statistik Software R. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner (Studium).

(Häckel 2008)

Häckel, Hans (2008): Meteorologie. 29 Tabellen. 6., korrigierte Aufl. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer (UTB, 1338).

(Liljequist und Cehak 1974)

Liljequist, Gösta H.; Cehak, Konrad (1974): Allgemeine Meteorologie. Mit 336 Bildern, 24 Tabellen, 30 Photos im Anhang. Braunschweig [etc.]: Vieweg.

(Löffler 2012)

Löffler, Hans (2012): Meteorologische Bodenmesstechnik. 3., vollst. neu bearb. Aufl. Offenbach am Main: Dt. Wetterdienst (Leitfäden für die Ausbildung im Deutschen Wetterdienst, 6).

(Mertens 2011)

Mertens, Konrad (2011): Photovoltaik. Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis. München: Hanser.

(NASA 2014)

NASA (Hg.) (2014): Surface meteorology and Solar Energy (SSE) Release 6.0 Methodology Version 3.1.2. Online verfügbar unter <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/documents/SSE6Methodology.pdf>, zuletzt geprüft am 26.11.2015.

(Pinker und Laszlo 1992)

Pinker, R. T.; Laszlo, I. (1992): Modeling Surface Solar Irradiance for Satellite Applications on a Global Scale. In: *J. Appl. Meteor.* 31 (2), S. 194–211. DOI: 10.1175/1520-0450(1992)031<0194:MSSIFS>2.0.CO;2.

(Prediction of Worldwide Energy Resource 2015)

Prediction of Worldwide Energy Resource. Surface meteorology and Solar Energy (SSE-release 6.0) : A renewable energy web site sponsored by NASA's Applied Sciences Program in the Science Mission Directorate Earth Science for Society: Accelerating the realization of economic and societal benefits from Earth science, information and technology. The POWER Project (2015). Online verfügbar unter http://power.larc.nasa.gov/common/php/POWER_AboutPOWER.php, zuletzt geprüft am 26.11.2015.

(Roedel und Wagner 2011)

Roedel, Walter; Wagner, Thomas (2011): Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

(Rooch 2014)

Rooch, Aeneas (2014): Statistik für Ingenieure. Wahrscheinlichkeitsrechnung und Datenauswertung endlich verständlich. Aufl. 2014. Berlin: Springer Berlin (Springer-Lehrbuch).

(Schönwiese 2013)

Schönwiese, Christian-Dietrich (2013): Klimatologie. 4., überarb. und aktualisierte Aufl. Stuttgart: Ulmer (UTB, 1793).

(Surface meteorology and Solar Energy 2015)

Surface meteorology and Solar Energy. - A renewable energy resource web site (release 6.0) sponsored by NASA's Applied Science Program in the Science Mission Directorate developed by POWER: Prediction of Worldwide Energy Resource Project. These data were obtained from the NASA Langley Research Center Atmospheric Science Data Center Surface meteorological and Solar Energy (SSE) web portal supported by the NASA LaRC POWER Project. (2015). Online verfügbar unter <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?skip@larc.nasa.gov+s04+s05+s06+s07+s08+s09+s10+s11+s12#s10>, zuletzt geprüft am 07.11.2015.

(The PostgreSQL Global Development Group 2015)

The PostgreSQL Global Development Group (2015): PostgreSQL 8.2.23 Documentation. Online verfügbar unter <http://www.postgresql.org/docs/8.2/static/sql-createview.html>, zuletzt geprüft am 18.11.2015.

(U.S. Department of Commerce 2015)

U.S. Department of Commerce (2015): National Oceanic & Atmospheric Administration. Earth System Research Laboratory. Online verfügbar unter <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azelzen.gif>, zuletzt geprüft am 24.11.2015.

(Zahn 2015)

Zahn, Wolfgang (2015): Sonneneinstrahlungsanalyse auf und Informationsanreicherung von großen 3D-Stadtmodellen im CityGML-Schema. Masterarbeit. Technische Universität München, München. Lehrstuhl für Geoinformatik.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Spektrum der Sonne als Annäherung durch einen idealen Schwarzen Körper mit 5578 K (schwarz gestrichelte Linie), tatsächliches Spektrum der extraterrestrischen Strahlung (rote Linie) und nach Extinktion eintreffende terrestrische Strahlung (blaue Linie) (Mertens 2011)	4
Abbildung 2 Strahlungsarten nach Extinktion in der Erdatmosphäre (Mertens 2011)	5
Abbildung 3 Winkel zur Beschreibung des Sonnenstandes: Zenitdistanz α , Einstrahlungswinkel β und Azimut A (modifiziert nach (U.S. Department of Commerce 2015))	6
Abbildung 4 Siliziumzellensensoren (Mertens 2011).....	7
Abbildung 5 Vergleich der Abdeckung des solaren Spektrums (blau) – Pyranometer (rot) und c-Si-Sensor (grün) (Mertens 2011)	8
Abbildung 6 Aufbau eines Pyranometers zur Messung der Globalstrahlung (Mertens 2011)	8
Abbildung 7 Pyranometer CM21 der Firma Kipp & Zonen mit Schattenring zur Messung der Diffusstrahlung (Gengenbach Messtechnik e.K 2015)	9
Abbildung 8 Auszug aus ASCII-Datei der Messreihe des DWD für Weihenstephan	11
Abbildung 9 Auszug aus der Tabelle "position_of_sun" zur Simulation der Strahlungsdaten Weihenstephans mit Hilfe des Transitionsmodells.....	12
Abbildung 10 Beteiligte NASA-Programme als Bezugsquellen für SSE 6.0 (modifiziert nach (NASA 2014, S. 5))	13
Abbildung 11 Tabelle "radiation_values" mit NASA-Parametern für die Simulation der Strahlungsdaten Potsdams mittels Transitionsmodell	15
Abbildung 12 Auszug aus der Tabelle "Potsdam_Strahlungsdaten_Stundenwerte"	17
Abbildung 13 Auszug aus der Tabelle „Potsdam_position_of_sun“	17
Abbildung 14 Tabelle "Potsdam_NASA"	18
Abbildung 15 SQL-Statement "mean_mess_potsdam"	19
Abbildung 16 Auszug aus der Sicht "Potsdam_Aggregation_Simulation"	20
Abbildung 17 SQL-Statement "mean_sim_potsdam"	20
Abbildung 18 Auszug aus der Sicht "Potsdam_Aggregation_Simulation"	21
Abbildung 19 Auszug aus "difference_mess_sim_potsdam" - WHERE-Klausel	22
Abbildung 20 Auszug aus SQL-Statement "difference_mess_sim_potsdam" zur Berechnung von week	22
Abbildung 21 Auszug aus SQL-Statement "difference_mess_sim_potsdam" – CASE-Klausel zur Berechnung der relativen Abweichung der Globalstrahlung	24
Abbildung 22 Auszug aus der Sicht "Potsdam_Vergleich".....	25

Abbildung 23 Auszug aus SQL-Statement "difference_mess_sim_potsdam_monatssumme" - WHERE-Klausel	26
Abbildung 24 Auszug aus der Sicht "Potsdam_Vergleich_Monatssumme": Attribute zum Vergleich der Monatssummen der Globalstrahlung	27
Abbildung 25 Auszug aus der Sicht "Potsdam_Vergleich_Tagesverlauf"	29
Abbildung 26 Boxplots der relativen Abweichung der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und NASA in monatlicher Zeitauflösung.....	33
Abbildung 27 Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und NASA: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	35
Abbildung 28 Boxplots der relativen Abweichung der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und NASA in monatlicher Zeitauflösung.....	36
Abbildung 29 Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und NASA: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	38
Abbildung 30 Boxplots der relativen Abweichung der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und NASA in monatlicher Zeitauflösung.....	39
Abbildung 31 Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und NASA: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	41
Abbildung 32 Boxplots der relativen Abweichung der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in monatlicher Zeitauflösung	43
Abbildung 33 Monatliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	45
Abbildung 34 Boxplots der relativen Abweichung der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in monatlicher Zeitauflösung	46
Abbildung 35 Monatliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	48
Abbildung 36 Boxplots der relativen Abweichung der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in monatlicher Zeitauflösung	49
Abbildung 37 Monatliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	51
Abbildung 38 Boxplots der relativen Abweichungen des Sonnenzenitwinkels zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung	52
Abbildung 39 Boxplots der relativen Abweichung der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung	53

Abbildung 40 Densityplots der relativen Abweichung der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung	54
Abbildung 41 Densityplots der relativen Abweichungen der Globalstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit des Monats	55
Abbildung 42 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Juni: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	57
Abbildung 43 Boxplots der relativen Abweichung der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung	58
Abbildung 44 Densityplots der relativen Abweichung der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung	59
Abbildung 45 Densityplots der relativen Abweichungen der Direktstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit des Monats	60
Abbildung 46 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Juni: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	62
Abbildung 47 Boxplots der relativen Abweichung der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung	63
Abbildung 48 Densityplots der relativen Abweichung der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell in stündlicher Zeitauflösung	64
Abbildung 49 Densityplots der relativen Abweichungen der Diffusstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit des Monats	65
Abbildung 50 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Juni: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	67
Abbildung 51 Densityplots der relativen Abweichungen der Globalstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit der Woche für Potsdam	108
Abbildung 52 Densityplots der relativen Abweichungen der Globalstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit der Woche für Weihenstephan	109
Abbildung 53 Densityplots der relativen Abweichungen der Direktstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit der Woche für Potsdam	110
Abbildung 54 Densityplots der relativen Abweichungen der Direktstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit der Woche für Weihenstephan	111
Abbildung 55 Densityplots der relativen Abweichungen der Diffusstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit der Woche für Potsdam	112
Abbildung 56 Densityplots der relativen Abweichungen der Diffusstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit der Woche für Weihenstephan	113

Abbildung 57 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Januar: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	115
Abbildung 58 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Februar: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	116
Abbildung 59 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für März: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	117
Abbildung 60 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für April: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	118
Abbildung 61 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Mai: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	119
Abbildung 62 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Juli: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	120
Abbildung 63 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für August: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	121
Abbildung 64 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für September: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	122
Abbildung 65 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Oktober: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	123
Abbildung 66 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für November: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	124
Abbildung 67 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Dezember: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)	125
Abbildung 68 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Januar: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für	

Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 127

Abbildung 69 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Februar: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 128

Abbildung 70 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für März: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 129

Abbildung 71 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für April: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 130

Abbildung 72 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Mai: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 131

Abbildung 73 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Juli: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 132

Abbildung 74 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für August: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 133

Abbildung 75 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für September: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 134

Abbildung 76 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Oktober: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 135

Abbildung 77 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für November: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 136

Abbildung 78 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Dezember: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 137

Abbildung 79 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Januar: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 139

Abbildung 80 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Februar: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 139

Abbildung 81 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für März: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 139

Abbildung 82 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für April: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 139

Abbildung 83 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Mai: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 139

Abbildung 84 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Juli: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 139

Abbildung 85 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für August: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 139

Abbildung 86 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für September: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 139

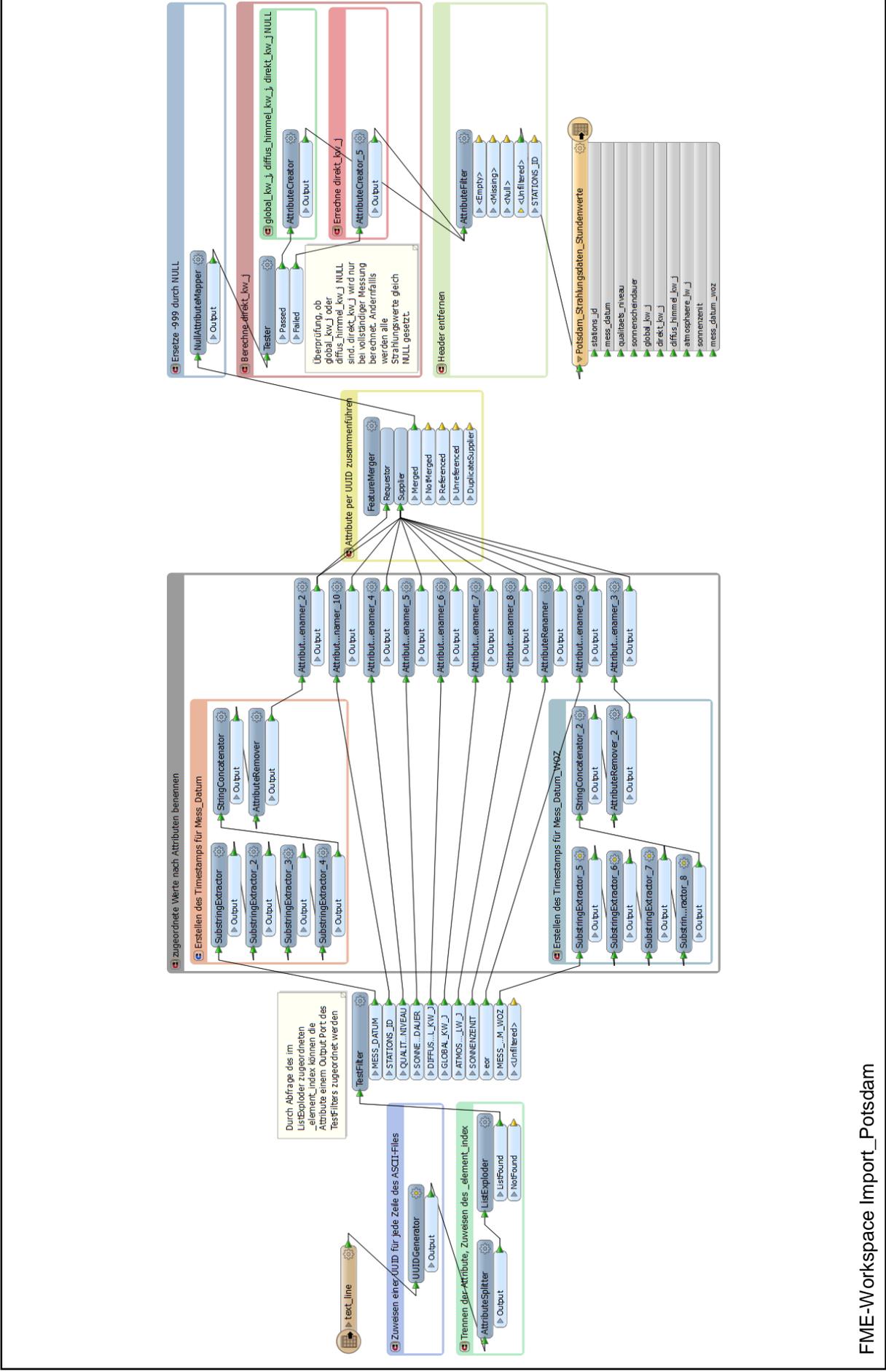
Abbildung 87 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Oktober: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 139

Abbildung 88 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für November: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 139

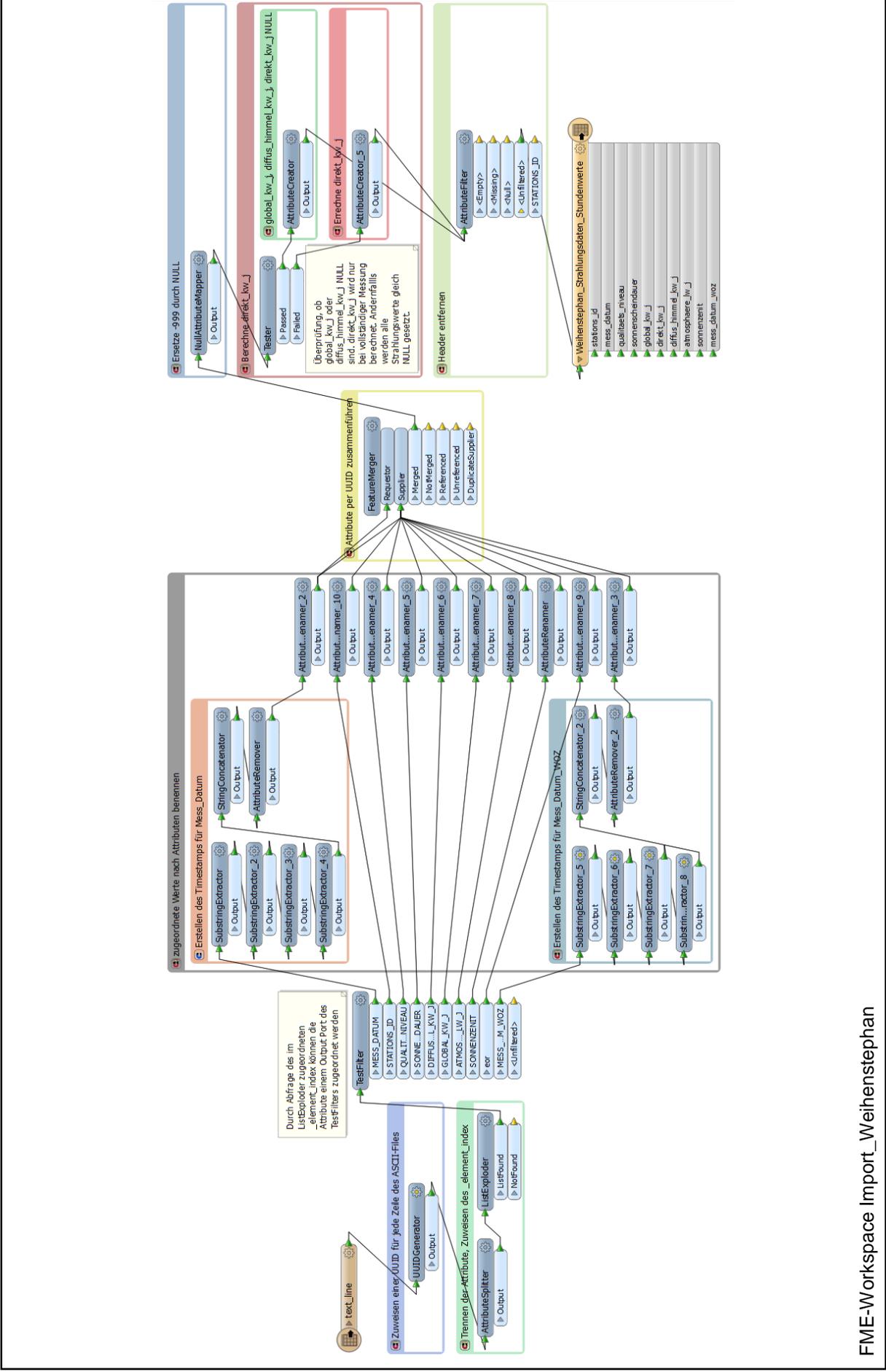
Abbildung 89 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Dezember: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4) 139

10 Anhänge

10.1 FME-Workspaces



FME-Workspace Import_Potsdam



FME-Workspace Import_Weihenstephan

10.2 SQL-Skripte in PostgreSQL

10.2.1 Potsdam

10.2.1.1 AUFRUF_Sonnenstände_Potsdam

```
DROP TABLE IF EXISTS position_of_sun;
CREATE TABLE position_of_sun (year int, month int, day int, hour real, x double precision, y
double precision, z double precision, azimuth real, zenith real, point geometry, m double
precision, direct_rad double precision, diffuse_rad double precision, direct_rad_horiz double
precision);
```

```
SELECT sunpoints(1983, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1984, true, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1985, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1986, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1987, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1988, true, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1989, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1990, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1991, false, 1, 1.0, 52.38,13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1992, true, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1993, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1994, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1995, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1996, true, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1997, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1998, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1999, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(2000, true, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(2001, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(2002, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(2003, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(2004, true, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
SELECT sunpoints(2005, false, 1, 1.0, 52.38, 13.06, 1, 31468);
```

```
--UPDATE position_of_sun
--SET diffuse_rad = diffuse_rad * (1/(SELECT sum(calibration_value) FROM hemisphere));
```

```
SELECT * FROM position_of_sun;
```

```
/*DROP TABLE IF EXISTS position_of_sun;
CREATE TABLE position_of_sun (year int, month int, day int, hour real, x double precision, y
double precision, z double precision, azimuth real, zenith real, point geometry, m double
precision, direct_rad double precision, diffuse_rad double precision, direct_rad_horiz double
precision);
SELECT sunpoints(@Value(year), false, 1, 1.0, @Value(lat), @Value(lon), 1, @Value(srid));*/
```

10.2.1.2 copy_position_of_sun_potsdam

```
CREATE TABLE "Potsdam_position_of_sun" AS
SELECT * FROM "position_of_sun";
```

10.2.1.3 potsdam_nasa

```
DROP TABLE IF EXISTS "Potsdam_NASA";
CREATE TABLE "Potsdam_NASA"(month integer, global_radiation double precision,
global_radiation_monat double precision, direct_radiation double precision,
direct_radiation_monat double precision, diff_radiation double precision, diff_radiation_monat
double precision);
```

```
INSERT INTO "Potsdam_NASA" SELECT month, global_radiation_soll, 31*global_radiation_soll,
direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll, diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll
FROM radiation_values WHERE month=1 ;
INSERT INTO "Potsdam_NASA" SELECT month, global_radiation_soll, 28*global_radiation_soll,
direct_radiation_soll, 28*direct_radiation_soll, diff_radiation_soll, 28*diff_radiation_soll
FROM radiation_values WHERE month=2 ;
INSERT INTO "Potsdam_NASA" SELECT month, global_radiation_soll, 31*global_radiation_soll,
direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll, diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll
FROM radiation_values WHERE month=3 ;
INSERT INTO "Potsdam_NASA" SELECT month, global_radiation_soll, 30*global_radiation_soll,
direct_radiation_soll, 30*direct_radiation_soll, diff_radiation_soll, 30*diff_radiation_soll
FROM radiation_values WHERE month=4 ;
INSERT INTO "Potsdam_NASA" SELECT month, global_radiation_soll, 31*global_radiation_soll,
direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll, diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll
FROM radiation_values WHERE month=5 ;
```

```

INSERT INTO "Potsdam_NASA" SELECT month, global_radiation_soll, 30*global_radiation_soll,
direct_radiation_soll, 30*direct_radiation_soll, diff_radiation_soll, 30*diff_radiation_soll
FROM radiation_values WHERE month=6 ;
INSERT INTO "Potsdam_NASA" SELECT month, global_radiation_soll, 31*global_radiation_soll,
direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll, diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll
FROM radiation_values WHERE month=7 ;
INSERT INTO "Potsdam_NASA" SELECT month, global_radiation_soll, 31*global_radiation_soll,
direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll, diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll
FROM radiation_values WHERE month=8 ;
INSERT INTO "Potsdam_NASA" SELECT month, global_radiation_soll, 30*global_radiation_soll,
direct_radiation_soll, 30*direct_radiation_soll, diff_radiation_soll, 30*diff_radiation_soll
FROM radiation_values WHERE month=9 ;
INSERT INTO "Potsdam_NASA" SELECT month, global_radiation_soll, 31*global_radiation_soll,
direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll, diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll
FROM radiation_values WHERE month=10;
INSERT INTO "Potsdam_NASA" SELECT month, global_radiation_soll, 30*global_radiation_soll,
direct_radiation_soll, 30*direct_radiation_soll, diff_radiation_soll, 30*diff_radiation_soll
FROM radiation_values WHERE month=11;
INSERT INTO "Potsdam_NASA" SELECT month, global_radiation_soll, 31*global_radiation_soll,
direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll, diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll
FROM radiation_values WHERE month=12;

```

10.2.1.4 mean_mess_potsdam

```

CREATE OR REPLACE VIEW "Potsdam_Aggregation_Messwerte" AS
SELECT date_part('month', mess_datum) month_mess, date_part('day', mess_datum) day_mess,
date_part('hour', mess_datum) hour_mess, avg(global_kw_j) global_mess_avg,
avg(direkt_kw_j) direkt_mess_avg, avg(diffus_himmel_kw_j) diffus_mess_avg,
avg(sonnenzenit) zenit_mess_avg
FROM "Potsdam_Strahlungsdaten_Stundenwerte"
WHERE (date_part('year', mess_datum)=1983 AND date_part('month', mess_datum)>6)
OR (date_part('year', mess_datum)>1983 AND date_part('year', mess_datum)<2005)
OR (date_part('year', mess_datum)=2005 AND date_part('month', mess_datum)<7)
GROUP BY month_mess, day_mess, hour_mess
ORDER BY month_mess, day_mess, hour_mess;

```

10.2.1.5 mean_sim_potsdam

```

CREATE OR REPLACE VIEW "Potsdam_Aggregation_Simulation" AS
SELECT month, day, hour, avg(direct_rad_horiz + diffuse_rad) global_avg, avg(direct_rad_horiz)
direkt_avg,
avg(diffuse_rad) diffus_avg, avg(zenith) zenit_avg
FROM "Potsdam_position_of_sun"
WHERE ("Potsdam_position_of_sun".year=1983 AND "Potsdam_position_of_sun".month>6)
OR ("Potsdam_position_of_sun".year>1983 AND "Potsdam_position_of_sun".year<2005)
OR ("Potsdam_position_of_sun".year=2005 AND "Potsdam_position_of_sun".month<7)
GROUP BY month, day, hour
ORDER BY month, day, hour;

```

10.2.1.6 difference_mess_sim_potsdam

```

CREATE OR REPLACE VIEW "Potsdam_Vergleich" AS
SELECT
"Potsdam_Aggregation_Simulation".month,

CEIL((CASE WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=1
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=2
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+31
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=3
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+60
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=4
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+91
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=5
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+121
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=6
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+152
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=7
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+182
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=8
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+213
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=9

```

```

THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+244
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=10
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+274
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=11
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+305
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess=12
THEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess+335
END)/7) week,

"Potsdam_Aggregation_Simulation".day,
"Potsdam_Aggregation_Simulation".hour,

"Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360 global_mess,
"Potsdam_Aggregation_Simulation".global_avg global_sim,
(("Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360)-
("Potsdam_Aggregation_Simulation".global_avg)) global_diff,
CASE WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg=0 AND
(("Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360)-
"Potsdam_Aggregation_Simulation".global_avg)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg=0 AND
(("Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360)-
"Potsdam_Aggregation_Simulation".global_avg)=0
THEN 0*100
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg<>0
THEN (((("Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360)-
"Potsdam_Aggregation_Simulation".global_avg)/("Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/
360))*100
END global_rel,

"Potsdam_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg/360 direkt_mess,
"Potsdam_Aggregation_Simulation".direkt_avg direkt_sim,
(("Potsdam_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg/360)-
"Potsdam_Aggregation_Simulation".direkt_avg) direkt_diff,
CASE WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg=0 AND
(("Potsdam_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg/360)-
("Potsdam_Aggregation_Simulation".direkt_avg))<>0
THEN 1*(-100)
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg=0 AND
(("Potsdam_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg/360)-
("Potsdam_Aggregation_Simulation".direkt_avg))=0
THEN 0*100
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg<>0
THEN (((("Potsdam_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg/360)-
("Potsdam_Aggregation_Simulation".direkt_avg))/("Potsdam_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_av
g/360))*100
END direkt_rel,

"Potsdam_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg/360 diffus_mess,
"Potsdam_Aggregation_Simulation".diffus_avg diffus_sim,
(("Potsdam_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg/360)-
("Potsdam_Aggregation_Simulation".diffus_avg)) diffus_diff,
CASE WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg=0 AND
(("Potsdam_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg/360)-
"Potsdam_Aggregation_Simulation".diffus_avg)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg=0 AND
(("Potsdam_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg/360)-
"Potsdam_Aggregation_Simulation".diffus_avg)=0
THEN 0*100
WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg<>0
THEN (((("Potsdam_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg/360)-
("Potsdam_Aggregation_Simulation".diffus_avg))/("Potsdam_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_av
g/360))*100
END diffus_rel,

"Potsdam_Aggregation_Messwerte".zenit_mess_avg zenit_mess,
((360/(2*pi()))*"Potsdam_Aggregation_Simulation".zenit_avg) zenit_sim,
("Potsdam_Aggregation_Messwerte".zenit_mess_avg-
((360/(2*pi()))*"Potsdam_Aggregation_Simulation".zenit_avg)) zenit_diff,
CASE WHEN "Potsdam_Aggregation_Messwerte".zenit_mess_avg<>0 THEN
(("Potsdam_Aggregation_Messwerte".zenit_mess_avg-

```

```

((360/(2*pi()))*"Potsdam_Aggregation_Simulation".zenit_avg)/"Potsdam_Aggregation_Messwerte".zenit_mess_avg)*100 END zenit_rel

FROM "Potsdam_Aggregation_Messwerte", "Potsdam_Aggregation_Simulation"

WHERE "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess = "Potsdam_Aggregation_Simulation".month
AND "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess = "Potsdam_Aggregation_Simulation".day
AND "Potsdam_Aggregation_Messwerte".hour_mess = "Potsdam_Aggregation_Simulation".hour

GROUP BY "Potsdam_Aggregation_Simulation".month, "Potsdam_Aggregation_Simulation".day,
"Potsdam_Aggregation_Simulation".hour, "Potsdam_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg,
"Potsdam_Aggregation_Simulation".global_avg, "Potsdam_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg,
"Potsdam_Aggregation_Simulation".direkt_avg, "Potsdam_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg,
"Potsdam_Aggregation_Simulation".diffus_avg, "Potsdam_Aggregation_Messwerte".zenit_mess_avg,
"Potsdam_Aggregation_Simulation".zenit_avg, "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess,
"Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess, "Potsdam_Aggregation_Messwerte".hour_mess

ORDER BY "Potsdam_Aggregation_Messwerte".month_mess, "Potsdam_Aggregation_Messwerte".day_mess,
"Potsdam_Aggregation_Messwerte".hour_mess;

```

10.2.1.7 difference_mess_sim_potsdam_monatssumme

```
CREATE OR REPLACE VIEW "Potsdam_Vergleich_Monatssumme" AS
```

```
SELECT
```

```
"Potsdam_Vergleich".month,
```

```
sum(global_mess) global_mess_monat, global_radiation_monat global_nasa_monat, sum(global_sim)
global_sim_monat,
sum(global_mess)-global_radiation_monat global_diff_mess_nasa,
CASE WHEN sum(global_mess)=0 AND global_radiation_monat<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(global_mess)=0 AND sum(global_mess)-global_radiation_monat=0
THEN 0*100
WHEN sum(global_mess)<>0
THEN ((sum(global_mess)-global_radiation_monat)/sum(global_mess))*100
END global_rel_mess_nasa,
```

```
sum(global_diff) global_diff_mess_sim,
CASE WHEN sum(global_mess)=0 AND sum(global_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(global_mess)=0 AND sum(global_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(global_mess)<>0
THEN (sum(global_diff)/sum(global_mess))*100
END global_rel_mess_sim,
```

```
global_radiation_monat-sum(global_sim) global_diff_nasa_sim,
CASE WHEN global_radiation_monat=0 AND (global_radiation_monat-sum(global_sim))<>0
THEN 1*(-100)
WHEN global_radiation_monat=0 AND (global_radiation_monat-sum(global_sim))=0
THEN 0*100
WHEN global_radiation_monat<>0
THEN ((global_radiation_monat-sum(global_sim))/global_radiation_monat)*100
END global_rel_nasa_sim,
```

```
sum(direkt_mess) direkt_mess_monat, direct_radiation_monat direkt_nasa_monat, sum(direkt_sim)
direkt_sim_monat,
sum(direkt_mess)-direct_radiation_monat direkt_diff_mess_nasa,
CASE WHEN sum(direkt_mess)=0 AND direct_radiation_monat<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(direkt_mess)=0 AND sum(direkt_mess)-direct_radiation_monat=0
THEN 0*100
WHEN sum(direkt_mess)<>0
THEN ((sum(direkt_mess)-direct_radiation_monat)/sum(direkt_mess))*100
END direkt_rel_mess_nasa,
```

```
sum(direkt_diff) direkt_diff_mess_sim,
CASE WHEN sum(direkt_mess)=0 AND sum(direkt_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(direkt_mess)=0 AND sum(direkt_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(direkt_mess)<>0
THEN (sum(direkt_diff)/sum(direkt_mess))*100
END direkt_rel_mess_sim,
```

```

direct_radiation_monat-sum(direkt_sim) direkt_diff_nasa_sim,
CASE WHEN direct_radiation_monat=0 AND (direct_radiation_monat-sum(direkt_sim))<>0
THEN 1*(-100)
WHEN direct_radiation_monat=0 AND (direct_radiation_monat-sum(direkt_sim))=0
THEN 0*100
WHEN direct_radiation_monat<>0
THEN ((direct_radiation_monat-sum(direkt_sim))/direct_radiation_monat)*100
END direkt_rel_nasa_sim,

sum(diffus_mess) diffus_mess_monat, diff_radiation_monat diffus_nasa_monat, sum(diffus_sim)
diffus_sim_monat,
sum(diffus_mess)-diff_radiation_monat diffus_diff_mess_nasa,
CASE WHEN sum(diffus_mess)=0 AND diff_radiation_monat<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(diffus_mess)=0 AND sum(diffus_mess)-diff_radiation_monat=0
THEN 0*100
WHEN sum(diffus_mess)<>0
THEN ((sum(diffus_mess)-diff_radiation_monat)/sum(diffus_mess))*100
END diffus_rel_mess_nasa,

sum(diffus_diff) diffus_diff_mess_sim,
CASE WHEN sum(diffus_mess)=0 AND sum(diffus_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(diffus_mess)=0 AND sum(diffus_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(diffus_mess)<>0
THEN (sum(diffus_diff)/sum(diffus_mess))*100
END diffus_rel_mess_sim,

diff_radiation_monat-sum(diffus_sim) diffus_diff_nasa_sim,
CASE WHEN diff_radiation_monat=0 AND (diff_radiation_monat-sum(diffus_sim))<>0
THEN 1*(-100)
WHEN diff_radiation_monat=0 AND (diff_radiation_monat-sum(diffus_sim))=0
THEN 0*100
WHEN diff_radiation_monat<>0
THEN ((diff_radiation_monat-sum(diffus_sim))/diff_radiation_monat)*100
END diffus_rel_nasa_sim,

sum(zenit_mess) zenit_mess_monat, sum(zenit_sim) zenit_sim_monat, sum(zenit_diff)
zenit_diff_monat,
CASE WHEN sum(zenit_mess)=0 AND sum(zenit_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(zenit_mess)=0 AND sum(zenit_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(zenit_mess)<>0
THEN (sum(zenit_diff)/sum(zenit_mess))*100
END zenit_rel_monat

FROM "Potsdam_Vergleich", "Potsdam_NASA" WHERE "Potsdam_Vergleich".month="Potsdam_NASA".month
AND (("Potsdam_Vergleich".month=2 AND "Potsdam_Vergleich".day=29) is FALSE) GROUP BY
"Potsdam_Vergleich".month, global_radiation_monat, direct_radiation_monat,
diff_radiation_monat ORDER BY "Potsdam_Vergleich".month;

```

10.2.1.8 difference_mess_sim_potsdam_tagesverlauf

```
CREATE OR REPLACE VIEW "Potsdam_Vergleich_Tagesverlauf" AS
```

```
SELECT month, hour,
```

```

avg(global_mess) global_mess_tag , avg(global_sim) global_sim_tag , avg(global_diff)
global_diff_tag,
CASE WHEN sum(global_mess)=0 AND sum(global_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(global_mess)=0 AND sum(global_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(global_mess)<>0
THEN (sum(global_diff)/sum(global_mess))*100
END global_rel_tag,

```

```

avg(direkt_mess) direkt_mess_tag, avg(direkt_sim) direkt_sim_tag, avg(direkt_diff)
direkt_diff_tag,
CASE WHEN sum(direkt_mess)=0 AND sum(direkt_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(direkt_mess)=0 AND sum(direkt_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(direkt_mess)<>0
THEN (sum(direkt_diff)/sum(direkt_mess))*100

```

```

END direkt_rel_tag,

avg(diffus_mess) diffus_mess_tag, avg(diffus_sim) diffus_sim_tag, avg(diffus_diff)
diffus_diff_tag,
CASE WHEN sum(diffus_mess)=0 AND sum(diffus_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(diffus_mess)=0 AND sum(diffus_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(diffus_mess)<>0
THEN (sum(diffus_diff)/sum(diffus_mess))*100
END diffus_rel_tag,

avg(zenit_mess) zenit_mess_tag, avg(zenit_sim) zenit_sim_tag, avg(zenit_diff) zenit_diff_tag,
CASE WHEN sum(zenit_mess)=0 AND sum(zenit_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(zenit_mess)=0 AND sum(zenit_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(zenit_mess)<>0
THEN (sum(zenit_diff)/sum(zenit_mess))*100
END zenit_rel_tag

FROM "Potsdam_Vergleich"
GROUP BY hour, month
ORDER BY month, hour;

```

10.2.2 Weihenstephan

10.2.2.1 AUFRUF_Sonnenstände_Weihenstephan

```

DROP TABLE IF EXISTS position_of_sun;
CREATE TABLE position_of_sun (year int, month int, day int, hour real, x double precision, y
double precision, z double precision, azimuth real, zenith real, point geometry, m double
precision, direct_rad double precision, diffuse_rad double precision, direct_rad_horiz double
precision);

```

```

SELECT sunpoints(1983, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1984, true, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1985, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1986, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1987, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1988, true, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1989, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1990, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1991, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1992, true, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1993, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1994, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1995, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1996, true, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1997, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1998, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(1999, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(2000, true, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(2001, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(2002, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(2003, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(2004, true, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);
SELECT sunpoints(2005, false, 1, 1.0, 48.40, 11.69, 1, 31468);

```

```

--UPDATE position_of_sun
--SET diffuse_rad = diffuse_rad * (1/(SELECT sum(calibration_value) FROM hemisphere));

```

```

SELECT * FROM position_of_sun;

```

```

/*DROP TABLE IF EXISTS position_of_sun;
CREATE TABLE position_of_sun (year int, month int, day int, hour real, x double precision, y
double precision, z double precision, azimuth real, zenith real, point geometry, m double
precision, direct_rad double precision, diffuse_rad double precision, direct_rad_horiz double
precision);

```

```
SELECT sunpoints(@Value(year), false, 1, 1.0, @Value(lat), @Value(lon), 1, @Value(srid));*/
```

10.2.2.2 copy_position_of_sun_weihenstephan

```
CREATE TABLE "Weihenstephan_position_of_sun" AS  
SELECT * FROM "position_of_sun";
```

10.2.2.3 weihenstephan_nasa

```
DROP TABLE IF EXISTS "Weihenstephan_NASA";  
CREATE TABLE "Weihenstephan_NASA"(month integer, global_radiation double precision,  
global_radiation_monat double precision, direct_radiation double precision,  
direct_radiation_monat double precision, diff_radiation double precision, diff_radiation_monat  
double precision);
```

```
INSERT INTO "Weihenstephan_NASA" SELECT month, global_radiation_soll,  
31*global_radiation_soll, direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll,  
diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll FROM radiation_values WHERE month=1 ;  
INSERT INTO "Weihenstephan_NASA" SELECT month, global_radiation_soll,  
28*global_radiation_soll, direct_radiation_soll, 28*direct_radiation_soll,  
diff_radiation_soll, 28*diff_radiation_soll FROM radiation_values WHERE month=2 ;  
INSERT INTO "Weihenstephan_NASA" SELECT month, global_radiation_soll,  
31*global_radiation_soll, direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll,  
diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll FROM radiation_values WHERE month=3 ;  
INSERT INTO "Weihenstephan_NASA" SELECT month, global_radiation_soll,  
30*global_radiation_soll, direct_radiation_soll, 30*direct_radiation_soll,  
diff_radiation_soll, 30*diff_radiation_soll FROM radiation_values WHERE month=4 ;  
INSERT INTO "Weihenstephan_NASA" SELECT month, global_radiation_soll,  
31*global_radiation_soll, direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll,  
diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll FROM radiation_values WHERE month=5 ;  
INSERT INTO "Weihenstephan_NASA" SELECT month, global_radiation_soll,  
30*global_radiation_soll, direct_radiation_soll, 30*direct_radiation_soll,  
diff_radiation_soll, 30*diff_radiation_soll FROM radiation_values WHERE month=6 ;  
INSERT INTO "Weihenstephan_NASA" SELECT month, global_radiation_soll,  
31*global_radiation_soll, direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll,  
diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll FROM radiation_values WHERE month=7 ;  
INSERT INTO "Weihenstephan_NASA" SELECT month, global_radiation_soll,  
31*global_radiation_soll, direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll,  
diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll FROM radiation_values WHERE month=8 ;  
INSERT INTO "Weihenstephan_NASA" SELECT month, global_radiation_soll,  
30*global_radiation_soll, direct_radiation_soll, 30*direct_radiation_soll,  
diff_radiation_soll, 30*diff_radiation_soll FROM radiation_values WHERE month=9 ;  
INSERT INTO "Weihenstephan_NASA" SELECT month, global_radiation_soll,  
31*global_radiation_soll, direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll,  
diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll FROM radiation_values WHERE month=10;  
INSERT INTO "Weihenstephan_NASA" SELECT month, global_radiation_soll,  
30*global_radiation_soll, direct_radiation_soll, 30*direct_radiation_soll,  
diff_radiation_soll, 30*diff_radiation_soll FROM radiation_values WHERE month=11;  
INSERT INTO "Weihenstephan_NASA" SELECT month, global_radiation_soll,  
31*global_radiation_soll, direct_radiation_soll, 31*direct_radiation_soll,  
diff_radiation_soll, 31*diff_radiation_soll FROM radiation_values WHERE month=12;
```

```
SELECT * FROM "Weihenstephan_NASA"
```

10.2.2.4 mean_mess_weihenstephan

```
CREATE OR REPLACE VIEW "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte" AS  
SELECT date_part('month', mess_datum) month_mess, date_part('day', mess_datum) day_mess,  
date_part('hour', mess_datum) hour_mess, avg(global_kw_j) global_mess_avg, avg(direkt_kw_j)  
direkt_mess_avg, avg(diffus_himmel_kw_j) diffus_mess_avg, avg(sonnenzenit) zenit_mess_avg  
FROM "Weihenstephan_Strahlungsdaten_Stundenwerte"  
WHERE (date_part('year', mess_datum)=1983 AND date_part('month', mess_datum)>6) OR  
(date_part('year', mess_datum)>1983 AND date_part('year', mess_datum)<2005) OR  
(date_part('year', mess_datum)=2005 AND date_part('month', mess_datum)<7)  
GROUP BY month_mess, day_mess, hour_mess  
ORDER BY month_mess, day_mess, hour_mess;
```

```
Select * From "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte"
```

10.2.2.5 mean_sim_weihenstephan

```
CREATE OR REPLACE VIEW "Weihenstephan_Aggregation_Simulation" AS
```

```

SELECT month, day, hour, avg(direct_rad_horiz + diffuse_rad) global_avg, avg(direct_rad_horiz)
direkt_avg, avg(diffuse_rad) diffus_avg, avg(zenith) zenit_avg
FROM "Weihenstephan_position_of_sun"
WHERE ("Weihenstephan_position_of_sun".year=1983 AND "Weihenstephan_position_of_sun".month>6)
OR ("Weihenstephan_position_of_sun".year>1983 AND "Weihenstephan_position_of_sun".year<2005)
OR ("Weihenstephan_position_of_sun".year=2005 AND "Weihenstephan_position_of_sun".month<7)
GROUP BY month, day, hour
ORDER BY month, day, hour;

```

```
Select * From "Weihenstephan_Aggregation_Simulation"
```

10.2.2.6 difference_mess_sim_weihenstephan

```
CREATE OR REPLACE VIEW "Weihenstephan_Vergleich" AS
```

```

SELECT
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".month,

CEIL((CASE WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess=1
THEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess=2
THEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess+31
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess=3
THEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess+60
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess=4
THEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess+91
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess=5
THEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess+121
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess=6
THEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess+152
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess=7
THEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess+182
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess=8
THEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess+213
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess=9
THEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess+244
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess=10
THEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess+274
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess=11
THEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess+305
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess=12
THEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess+335
END)/7) week,

"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".day,
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".hour,

"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360 global_mess,
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".global_avg global_sim,
(("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360)-
("Weihenstephan_Aggregation_Simulation".global_avg)) global_diff,
CASE WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg=0 AND
("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360)-
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".global_avg)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg=0 AND
(("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360)-
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".global_avg)=0
THEN 0*100
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg<>0
THEN (((("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg/360)-
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".global_avg)/("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".glob
al_mess_avg/360))*100
END global_rel,

"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg/360 direkt_mess,
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".direkt_avg direkt_sim,
(("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg/360)-
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".direkt_avg) direkt_diff,

```

```

CASE WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg=0 AND
(("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg/360)-
("Weihenstephan_Aggregation_Simulation".direkt_avg))<>0
THEN 1*(-100)
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg=0 AND
(("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg/360)-
("Weihenstephan_Aggregation_Simulation".direkt_avg))=0
THEN 0*100
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg<>0
THEN (((("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg/360)-
("Weihenstephan_Aggregation_Simulation".direkt_avg))/("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".di
rekt_mess_avg/360))*100
END direkt_rel,

"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg/360 diffus_mess,
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".diffus_avg diffus_sim,
(("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg/360)-
("Weihenstephan_Aggregation_Simulation".diffus_avg)) diffus_diff,
CASE WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg=0 AND
(("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg/360)-
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".diffus_avg)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg=0 AND
(("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg/360)-
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".diffus_avg)=0
THEN 0*100
WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg<>0
THEN (((("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg/360)-
("Weihenstephan_Aggregation_Simulation".diffus_avg))/("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".di
ffus_mess_avg/360))*100
END diffus_rel,

"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".zenit_mess_avg zenit_mess,
((360/(2*pi()))*"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".zenit_avg) zenit_sim,
("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".zenit_mess_avg-
((360/(2*pi()))*"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".zenit_avg)) zenit_diff,
CASE WHEN "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".zenit_mess_avg<>0 THEN
(("Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".zenit_mess_avg-
((360/(2*pi()))*"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".zenit_avg))/"Weihenstephan_Aggregation_
Messwerte".zenit_mess_avg)*100 END zenit_rel

FROM "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte", "Weihenstephan_Aggregation_Simulation"

WHERE "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess =
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".month
AND "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess =
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".day
AND "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".hour_mess =
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".hour

GROUP BY "Weihenstephan_Aggregation_Simulation".month,
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".day, "Weihenstephan_Aggregation_Simulation".hour,
"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".global_mess_avg,
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".global_avg,
"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".direkt_mess_avg,
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".direkt_avg,
"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".diffus_mess_avg,
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".diffus_avg,
"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".zenit_mess_avg,
"Weihenstephan_Aggregation_Simulation".zenit_avg,
"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess,
"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess,
"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".hour_mess

ORDER BY "Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".month_mess,
"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".day_mess,
"Weihenstephan_Aggregation_Messwerte".hour_mess;

SELECT * FROM "Weihenstephan_Vergleich"

```

10.2.2.7 difference_mess_sim_weihenstephan_monatssumme

```
CREATE OR REPLACE VIEW "Weihenstephan_Vergleich_Monatssumme" AS
```

```

SELECT

"Weihenstephan_Vergleich".month,

sum(global_mess) global_mess_monat, global_radiation_monat global_nasa_monat, sum(global_sim)
global_sim_monat,
sum(global_mess)-global_radiation_monat global_diff_mess_nasa,
CASE WHEN sum(global_mess)=0 AND global_radiation_monat<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(global_mess)=0 AND sum(global_mess)-global_radiation_monat=0
THEN 0*100
WHEN sum(global_mess)<>0
THEN ((sum(global_mess)-global_radiation_monat)/sum(global_mess))*100
END global_rel_mess_nasa,

sum(global_diff) global_diff_mess_sim,
CASE WHEN sum(global_mess)=0 AND sum(global_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(global_mess)=0 AND sum(global_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(global_mess)<>0
THEN (sum(global_diff)/sum(global_mess))*100
END global_rel_mess_sim,

global_radiation_monat-sum(global_sim) global_diff_nasa_sim,
CASE WHEN global_radiation_monat=0 AND (global_radiation_monat-sum(global_sim))<>0
THEN 1*(-100)
WHEN global_radiation_monat=0 AND (global_radiation_monat-sum(global_sim))=0
THEN 0*100
WHEN global_radiation_monat<>0
THEN ((global_radiation_monat-sum(global_sim))/global_radiation_monat)*100
END global_rel_nasa_sim,

sum(direkt_mess) direkt_mess_monat, direct_radiation_monat direkt_nasa_monat, sum(direkt_sim)
direkt_sim_monat,
sum(direkt_mess)-direct_radiation_monat direkt_diff_mess_nasa,
CASE WHEN sum(direkt_mess)=0 AND direct_radiation_monat<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(direkt_mess)=0 AND sum(direkt_mess)-direct_radiation_monat=0
THEN 0*100
WHEN sum(direkt_mess)<>0
THEN ((sum(direkt_mess)-direct_radiation_monat)/sum(direkt_mess))*100
END direkt_rel_mess_nasa,

sum(direkt_diff) direkt_diff_mess_sim,
CASE WHEN sum(direkt_mess)=0 AND sum(direkt_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(direkt_mess)=0 AND sum(direkt_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(direkt_mess)<>0
THEN (sum(direkt_diff)/sum(direkt_mess))*100
END direkt_rel_mess_sim,

direct_radiation_monat-sum(direkt_sim) direkt_diff_nasa_sim,
CASE WHEN direct_radiation_monat=0 AND (direct_radiation_monat-sum(direkt_sim))<>0
THEN 1*(-100)
WHEN direct_radiation_monat=0 AND (direct_radiation_monat-sum(direkt_sim))=0
THEN 0*100
WHEN direct_radiation_monat<>0
THEN ((direct_radiation_monat-sum(direkt_sim))/direct_radiation_monat)*100
END direkt_rel_nasa_sim,

sum(diffus_mess) diffus_mess_monat, diff_radiation_monat diffus_nasa_monat, sum(diffus_sim)
diffus_sim_monat,
sum(diffus_mess)-diff_radiation_monat diffus_diff_mess_nasa,
CASE WHEN sum(diffus_mess)=0 AND diff_radiation_monat<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(diffus_mess)=0 AND sum(diffus_mess)-diff_radiation_monat=0
THEN 0*100
WHEN sum(direkt_mess)<>0
THEN ((sum(diffus_mess)-diff_radiation_monat)/sum(diffus_mess))*100

```

```

END diffus_rel_mess_nasa,

sum(diffus_diff) diffus_diff_mess_sim,
CASE WHEN sum(diffus_mess)=0 AND sum(diffus_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(diffus_mess)=0 AND sum(diffus_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(diffus_mess)<>0
THEN (sum(diffus_diff)/sum(diffus_mess))*100
END diffus_rel_mess_sim,

diff_radiation_monat-sum(diffus_sim) diffus_diff_nasa_sim,
CASE WHEN diff_radiation_monat=0 AND (diff_radiation_monat-sum(diffus_sim))<>0
THEN 1*(-100)
WHEN diff_radiation_monat=0 AND (diff_radiation_monat-sum(diffus_sim))=0
THEN 0*100
WHEN diff_radiation_monat<>0
THEN ((diff_radiation_monat-sum(diffus_sim))/diff_radiation_monat)*100
END diffus_rel_nasa_sim,

sum(zenit_mess) zenit_mess_monat, sum(zenit_sim) zenit_sim_monat, sum(zenit_diff)
zenit_diff_monat,
CASE WHEN sum(zenit_mess)=0 AND sum(zenit_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(zenit_mess)=0 AND sum(zenit_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(zenit_mess)<>0
THEN (sum(zenit_diff)/sum(zenit_mess))*100
END zenit_rel_monat

FROM "Weihenstephan_Vergleich", "Weihenstephan_NASA" WHERE
"Weihenstephan_Vergleich".month="Weihenstephan_NASA".month AND
(("Weihenstephan_Vergleich".month=2 AND "Weihenstephan_Vergleich".day=29) is FALSE) GROUP BY
"Weihenstephan_Vergleich".month, global_radiation_monat, direct_radiation_monat,
diff_radiation_monat ORDER BY "Weihenstephan_Vergleich".month;

SELECT * FROM "Weihenstephan_Vergleich_Monatssumme"

```

10.2.2.8 difference_mess_sim_weihenstephan_tagesverlauf

```
CREATE OR REPLACE VIEW "Weihenstephan_Vergleich_Tagesverlauf" AS
```

```

SELECT month, hour,

avg(global_mess) global_mess_tag , avg(global_sim) global_sim_tag , avg(global_diff)
global_diff_tag,
CASE WHEN sum(global_mess)=0 AND sum(global_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(global_mess)=0 AND sum(global_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(global_mess)<>0
THEN (sum(global_diff)/sum(global_mess))*100
END global_rel_tag,

avg(direkt_mess) direkt_mess_tag, avg(direkt_sim) direkt_sim_tag, avg(direkt_diff)
direkt_diff_tag,
CASE WHEN sum(direkt_mess)=0 AND sum(direkt_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(direkt_mess)=0 AND sum(direkt_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(direkt_mess)<>0
THEN (sum(direkt_diff)/sum(direkt_mess))*100
END direkt_rel_tag,

avg(diffus_mess) diffus_mess_tag, avg(diffus_sim) diffus_sim_tag, avg(diffus_diff)
diffus_diff_tag,
CASE WHEN sum(diffus_mess)=0 AND sum(diffus_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(diffus_mess)=0 AND sum(diffus_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(diffus_mess)<>0

```

```

THEN (sum(diffus_diff)/sum(diffus_mess))*100
END diffus_rel_tag,

avg(zenit_mess) zenit_mess_tag, avg(zenit_sim) zenit_sim_tag, avg(zenit_diff) zenit_diff_tag,
CASE WHEN sum(zenit_mess)=0 AND sum(zenit_diff)<>0
THEN 1*(-100)
WHEN sum(zenit_mess)=0 AND sum(zenit_diff)=0
THEN 0*100
WHEN sum(zenit_mess)<>0
THEN (sum(zenit_diff)/sum(zenit_mess))*100
END zenit_rel_tag

FROM "Weihenstephan_Vergleich"
GROUP BY hour, month
ORDER BY month, hour;

SELECT * FROM "Weihenstephan_Vergleich_Tagesverlauf"

```

10.3 Skripte zur statistischen Auswertung in R

10.3.1 Monatliche Zeitauflösung

```
#Import der Sichten "Potsdam_Vergleich_Monatssumme" und
"Weihenstephan_Vergleich_Monatssumme" aus PostgreSQL-Datenbank

install.packages("RPostgreSQL")
library("RPostgreSQL")

con <- dbConnect(PostgreSQL(), host="10.162.246.37", user="BA_B_Eberle",
password="sonne2015", dbname="BA_Sonne_Eberle")

dbListTables(con)

W_monat <- dbGetQuery(con, "Select * From \"Weihenstephan_Vergleich_Monatssumme\"")
head(W_monat)

P_monat <- dbGetQuery(con, "Select * From \"Potsdam_Vergleich_Monatssumme\"")
head(P_monat)

install.packages("lattice")
library("lattice")

install.packages("moments")
library(moments)

##### Auswertung Potsdam NASA #####

#Relative Abweichungen
#Boxplots
summary(P_monat$global_rel_mess_nasa)
IQR(P_monat$global_rel_mess_nasa)
sd(P_monat$global_rel_mess_nasa)
skewness(P_monat$global_rel_mess_nasa)
kurtosis(P_monat$global_rel_mess_nasa)
boxplot(P_monat$global_rel_mess_nasa, main="relative Abweichung Globalstrahlung Potsdam",
ylab="Abweichung Globalstrahlung [%]", ylim=c(-60, 60), cex.main=1.45, cex.axis=1.2,
cex.lab=1.3)

summary(P_monat$direkt_rel_mess_nasa)
IQR(P_monat$direkt_rel_mess_nasa)
sd(P_monat$direkt_rel_mess_nasa)
skewness(P_monat$direkt_rel_mess_nasa)
kurtosis(P_monat$direkt_rel_mess_nasa)
boxplot(P_monat$direkt_rel_mess_nasa, main="relative Abweichung Direktstrahlung Potsdam",
ylab="Abweichung Direktstrahlung [%]", ylim=c(-60, 60), cex.main=1.45, cex.axis=1.2,
cex.lab=1.3)

summary(P_monat$diffus_rel_mess_nasa)
IQR(P_monat$diffus_rel_mess_nasa)
sd(P_monat$diffus_rel_mess_nasa)
skewness(P_monat$diffus_rel_mess_nasa)
kurtosis(P_monat$diffus_rel_mess_nasa)
boxplot(P_monat$diffus_rel_mess_nasa, main="relative Abweichung Diffusstrahlung Potsdam",
ylab="Abweichung Diffusstrahlung [%]", ylim=c(-60, 60), cex.main=1.45, cex.axis=1.2,
cex.lab=1.3)

##### Auswertung Weihenstephan NASA #####

#Relative Abweichungen
#Boxplots
summary(W_monat$global_rel_mess_nasa)
IQR(W_monat$global_rel_mess_nasa)
sd(W_monat$global_rel_mess_nasa)
skewness(W_monat$global_rel_mess_nasa)
kurtosis(W_monat$global_rel_mess_nasa)
```

```

boxplot(W_monat$global_rel_mess_nasa, main="relative Abweichung Globalstrahlung
Weihenstephan", ylab="Abweichung Globalstrahlung [%]", ylim=c(-60, 60), cex.main=1.45,
cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)

```

```

summary(W_monat$direkt_rel_mess_nasa)
IQR(W_monat$direkt_rel_mess_nasa)
sd(W_monat$direkt_rel_mess_nasa)
skewness(W_monat$direkt_rel_mess_nasa)
kurtosis(W_monat$direkt_rel_mess_nasa)
boxplot(W_monat$direkt_rel_mess_nasa, main="relative Abweichung Direktstrahlung
Weihenstephan", ylab="Abweichung Direktstrahlung [%]", ylim=c(-60, 60), cex.main=1.45,
cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)

```

```

summary(W_monat$diffus_rel_mess_nasa)
IQR(W_monat$diffus_rel_mess_nasa)
sd(W_monat$diffus_rel_mess_nasa)
skewness(W_monat$diffus_rel_mess_nasa)
kurtosis(W_monat$diffus_rel_mess_nasa)
boxplot(W_monat$diffus_rel_mess_nasa, main="relative Abweichung Diffusstrahlung
Weihenstephan", ylab="Abweichung Diffusstrahlung [%]", ylim=c(-60, 60), cex.main=1.45,
cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)

```

```

##### Auswertung Potsdam Transitionsmodell
#####

```

```

#Relative Abweichungen
#Boxplots
summary(P_monat$global_rel_mess_sim)
IQR(P_monat$global_rel_mess_sim)
sd(P_monat$global_rel_mess_sim)
skewness(P_monat$global_rel_mess_sim)
kurtosis(P_monat$global_rel_mess_sim)
boxplot(P_monat$global_rel_mess_sim, main="relative Abweichung Globalstrahlung Potsdam",
ylab="Abweichung Globalstrahlung [%]", ylim=c(-60, 60), cex.main=1.45,
cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)

```

```

summary(P_monat$direkt_rel_mess_sim)
IQR(P_monat$direkt_rel_mess_sim)
sd(P_monat$direkt_rel_mess_sim)
skewness(P_monat$direkt_rel_mess_sim)
kurtosis(P_monat$direkt_rel_mess_sim)
boxplot(P_monat$direkt_rel_mess_sim, main="relative Abweichung Direktstrahlung Potsdam",
ylab="Abweichung Direktstrahlung [%]", ylim=c(-60, 60), cex.main=1.45,
cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)

```

```

summary(P_monat$diffus_rel_mess_sim)
IQR(P_monat$diffus_rel_mess_sim)
sd(P_monat$diffus_rel_mess_sim)
skewness(P_monat$diffus_rel_mess_sim)
kurtosis(P_monat$diffus_rel_mess_sim)
boxplot(P_monat$diffus_rel_mess_sim, main="relative Abweichung Diffusstrahlung Potsdam",
ylab="Abweichung Diffusstrahlung [%]", ylim=c(-60, 60), cex.main=1.45,
cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)

```

```

##### Auswertung Weihenstephan Transitionsmodell
#####

```

```

#Relative Abweichungen
#Boxplots
summary(W_monat$global_rel_mess_sim)
IQR(W_monat$global_rel_mess_sim)
sd(W_monat$global_rel_mess_sim)
skewness(W_monat$global_rel_mess_sim)
kurtosis(W_monat$global_rel_mess_sim)
boxplot(W_monat$global_rel_mess_sim, main="relative Abweichung Globalstrahlung
Weihenstephan", ylab="Abweichung Globalstrahlung [%]", ylim=c(-60, 60), cex.main=1.45,
cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)

```

```
summary(W_monat$direkt_rel_mess_sim)
IQR(W_monat$direkt_rel_mess_sim)
sd(W_monat$direkt_rel_mess_sim)
skewness(W_monat$direkt_rel_mess_sim)
kurtosis(W_monat$direkt_rel_mess_sim)
boxplot(W_monat$direkt_rel_mess_sim, main="relative Abweichung Direktstrahlung
Weihenstephan", ylab="Abweichung Direktstrahlung [%]", ylim=c(-60, 60), cex.main=1.45,
cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)
```

```
summary(W_monat$diffus_rel_mess_sim)
IQR(W_monat$diffus_rel_mess_sim)
sd(W_monat$diffus_rel_mess_sim)
skewness(W_monat$diffus_rel_mess_sim)
kurtosis(W_monat$diffus_rel_mess_sim)
boxplot(W_monat$diffus_rel_mess_sim, main="relative Abweichung Diffusstrahlung
Weihenstephan", ylab="Abweichung Diffusstrahlung [%]", ylim=c(-60, 60), cex.main=1.45,
cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)
```

10.3.2 Stündliche Zeitauflösung

```
#Import der Sichten "Potsdam_Vergleich" und "Weihenstephan_Vergleich" aus PostgreSQL-
Datenbank

install.packages("RPostgreSQL")
library("RPostgreSQL")

con <- dbConnect(PostgreSQL(), host="10.162.246.37", user="BA_B_Eberle",

password="sonne2015", dbname="BA_Sonne_Eberle")

dbListTables(con)

P <- dbGetQuery(con, "Select * From \"Potsdam_Vergleich\"")
head(P)

W <- dbGetQuery(con, "Select * From \"Weihenstephan_Vergleich\"")
head(W)

install.packages("lattice")
library("lattice")

install.packages("moments")
library(moments)

##### Auswertung Potsdam #####

#Relative Abweichungen
#Boxplots

summary(P$zenit_rel)
IQR(P$zenit_rel, na.rm = TRUE)
sd(P$zenit_rel, na.rm = TRUE)
skewness(P$zenit_rel, na.rm = TRUE)
kurtosis(P$zenit_rel, na.rm = TRUE)
boxplot(P$zenit_rel, main="relative Abweichung Sonnenzenitwinkel Potsdam", ylab="Abweichung
Sonnenzenitwinkel [%]",ylim=c(-10, 10), cex.main=1.45, cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)

summary(P$global_rel)
IQR(P$global_rel, na.rm = TRUE)
sd(P$global_rel, na.rm = TRUE)
skewness(P$global_rel, na.rm = TRUE)
kurtosis(P$global_rel, na.rm = TRUE)
boxplot(P$global_rel, main="relative Abweichung Globalstrahlung Potsdam", ylab="Abweichung
Globalstrahlung [%]",ylim=c(-170, 170), cex.main=1.45, cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)

summary(P$direkt_rel)
IQR(P$direkt_rel, na.rm = TRUE)
sd(P$direkt_rel, na.rm = TRUE)
skewness(P$direkt_rel, na.rm = TRUE)
kurtosis(P$direkt_rel, na.rm = TRUE)
boxplot(P$direkt_rel, main="relative Abweichung Direktstrahlung Potsdam", ylab="Abweichung
Direktstrahlung [%]", ylim=c(-550, 170), cex.main=1.45, cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)

summary(P$diffus_rel)
IQR(P$diffus_rel, na.rm = TRUE)
sd(P$diffus_rel, na.rm = TRUE)
skewness(P$diffus_rel, na.rm = TRUE)
kurtosis(P$diffus_rel, na.rm = TRUE)
boxplot(P$diffus_rel, main="relative Abweichung Diffusstrahlung Potsdam", ylab="Abweichung
Diffusstrahlung [%]",ylim=c(-170, 170), cex.main=1.45, cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)

#Densityplots

#Gesamt
#Berechnen der Modalwerte der bimodalen Verteilung
names(sort(-table(P$global_rel)))[1]
names(sort(-table(P$global_rel)))[2]
```

```

densityplot(~global_rel, data=P, main=list("relative Abweichung Globalstrahlung Potsdam",
cex=1.5), col='red', xlab = list("Abweichung Globalstrahlung [%]", cex = 1.3), ylab=list
(label="Dichte", cex=1.3), scales=list(cex=1.3), xlim=c(-200,200), ylim=c(0, 0.011))

#Berechnen der Modalwerte der bimodalen Verteilung
names(sort(-table(P$direkt_rel)))[1]
names(sort(-table(P$direkt_rel)))[2]
densityplot(~direkt_rel, data=P, main=list("relative Abweichung Direktstrahlung Potsdam",
cex=1.5), col='red', xlab = list("Abweichung Direktstrahlung [%]", cex = 1.3), ylab=list
(label="Dichte", cex=1.3), scales=list(cex=1.3), xlim=c(-200,200), ylim=c(0, 0.011))

#Berechnen der Modalwerte der bimodalen Verteilung
names(sort(-table(P$diffus_rel)))[1]
names(sort(-table(P$diffus_rel)))[2]
densityplot(~diffus_rel, data=P, main=list("relative Abweichung Diffusstrahlung Potsdam",
cex=1.5), col='red', xlab = list("Abweichung Diffusstrahlung [%]", cex = 1.3), ylab=list
(label="Dichte", cex=1.3), scales=list(cex=1.3), xlim=c(-200,200), ylim=c(0, 0.011))

#Verteilungen in Abhängigkeit des Monats
densityplot(~global_rel | month, data=P, as.table=TRUE, main="relative Abweichung
Globalstrahlung Potsdam", col='red', xlim=c(-200, 200), xlab="Abweichung Globalstrahlung
[%]", ylab="Dichte", strip=strip.custom(bg='grey80', fg='grey80', strip.levels=c(TRUE,
TRUE), strip.names= c(FALSE, FALSE), factor.levels=c
("Januar", "Februar", "März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "August", "September", "Oktober", "Nove
mber", "Dezember")))

densityplot(~direkt_rel | month, data=P, as.table=TRUE, main="relative Abweichung
Direktstrahlung Potsdam", col='red', xlim=c(-200, 200), xlab="Abweichung Direktstrahlung
[%]", ylab="Dichte", strip=strip.custom(bg='grey80', fg='grey80', strip.levels=c(TRUE,
TRUE), strip.names= c(FALSE, FALSE), factor.levels=c
("Januar", "Februar", "März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "August", "September", "Oktober", "Nove
mber", "Dezember")))

densityplot(~diffus_rel | month, data=P, as.table=TRUE, main="relative Abweichung
Diffusstrahlung Potsdam", col='red', xlim=c(-200, 200), xlab="Abweichung Diffusstrahlung
[%]", ylab="Dichte", strip=strip.custom(bg='grey80', fg='grey80', strip.levels=c(TRUE,
TRUE), strip.names= c(FALSE, FALSE), factor.levels=c
("Januar", "Februar", "März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "August", "September", "Oktober", "Nove
mber", "Dezember")))

#Verteilungen in Abhängigkeit der Woche
densityplot(~global_rel | week, data=P, as.table=TRUE, main="relative Abweichung
Globalstrahlung Potsdam", col='red', xlim=c(-200, 200), xlab="Abweichung Globalstrahlung
[%]", ylab="Dichte", strip=strip.custom(bg='grey80', fg='grey80', strip.levels=c(TRUE,
TRUE), strip.names= c(FALSE, FALSE), factor.levels=c("1. Woche", "2. Woche", "3. Woche",
"4. Woche", "5. Woche", "6. Woche", "7. Woche", "8. Woche", "9. Woche", "10. Woche", "11.
Woche", "12. Woche", "13. Woche", "14. Woche", "15. Woche", "16. Woche", "17. Woche", "18.
Woche", "19. Woche", "20. Woche", "21. Woche", "22. Woche", "23. Woche", "24. Woche", "25.
Woche", "26. Woche", "27. Woche", "28. Woche", "29. Woche", "30. Woche", "31. Woche", "32.
Woche", "33. Woche", "34. Woche", "35. Woche", "36. Woche", "37. Woche", "38. Woche", "39.
Woche", "40. Woche", "41. Woche", "42. Woche", "43. Woche", "44. Woche", "45. Woche", "46.
Woche", "47. Woche", "48. Woche", "49. Woche", "50. Woche", "51. Woche", "52. Woche", "53.
Woche"), par.strip.text=list(cex=0.75)))

densityplot(~direkt_rel | week, data=P, as.table=TRUE, main="relative Abweichung
Direktstrahlung Potsdam", col='red', xlim=c(-200, 200), xlab="Abweichung Direktstrahlung
[%]", ylab="Dichte", strip=strip.custom(bg='grey80', fg='grey80', strip.levels=c(TRUE,
TRUE), strip.names= c(FALSE, FALSE), factor.levels=c("1. Woche", "2. Woche", "3. Woche",
"4. Woche", "5. Woche", "6. Woche", "7. Woche", "8. Woche", "9. Woche", "10. Woche", "11.
Woche", "12. Woche", "13. Woche", "14. Woche", "15. Woche", "16. Woche", "17. Woche", "18.
Woche", "19. Woche", "20. Woche", "21. Woche", "22. Woche", "23. Woche", "24. Woche", "25.
Woche", "26. Woche", "27. Woche", "28. Woche", "29. Woche", "30. Woche", "31. Woche", "32.
Woche", "33. Woche", "34. Woche", "35. Woche", "36. Woche", "37. Woche", "38. Woche", "39.
Woche", "40. Woche", "41. Woche", "42. Woche", "43. Woche", "44. Woche", "45. Woche", "46.
Woche", "47. Woche", "48. Woche", "49. Woche", "50. Woche", "51. Woche", "52. Woche", "53.
Woche"), par.strip.text=list(cex=0.75)))

densityplot(~diffus_rel | week, data=P, as.table=TRUE, main="relative Abweichung
Diffusstrahlung Potsdam", col='red', xlim=c(-200, 200), xlab="Abweichung Diffusstrahlung
[%]", ylab="Dichte", strip=strip.custom(bg='grey80', fg='grey80', strip.levels=c(TRUE,

```

```
TRUE), strip.names= c(FALSE, FALSE), factor.levels=c("1. Woche", "2. Woche", "3. Woche",
"4. Woche", "5. Woche", "6. Woche", "7. Woche", "8. Woche", "9. Woche", "10. Woche", "11.
Woche", "12. Woche", "13. Woche", "14. Woche", "15. Woche", "16. Woche", "17. Woche", "18.
Woche", "19. Woche", "20. Woche", "21. Woche", "22. Woche", "23. Woche", "24. Woche", "25.
Woche", "26. Woche", "27. Woche", "28. Woche", "29. Woche", "30. Woche", "31. Woche", "32.
Woche", "33. Woche", "34. Woche", "35. Woche", "36. Woche", "37. Woche", "38. Woche", "39.
Woche", "40. Woche", "41. Woche", "42. Woche", "43. Woche", "44. Woche", "45. Woche", "46.
Woche", "47. Woche", "48. Woche", "49. Woche", "50. Woche", "51. Woche", "52. Woche", "53.
Woche"), par.strip.text=list(cex=0.75))
```

```
##### Auswertung Weihenstephan #####
```

```
#Relative Abweichungen
#Boxplots
```

```
summary(W$zenit_rel)
IQR(W$zenit_rel, na.rm = TRUE)
sd(W$zenit_rel, na.rm = TRUE)
skewness(W$zenit_rel, na.rm = TRUE)
kurtosis(W$zenit_rel, na.rm = TRUE)
boxplot(W$zenit_rel, main="relative Abweichung Sonnenzenitwinkel Weihenstephan",
ylab="Abweichung
Sonnenzenitwinkel [%]",ylim=c(-10, 10), cex.main=1.45, cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)
```

```
summary(W$global_rel)
IQR(W$global_rel, na.rm = TRUE)
sd(W$global_rel, na.rm = TRUE)
skewness(W$global_rel, na.rm = TRUE)
kurtosis(W$global_rel, na.rm = TRUE)
boxplot(W$global_rel, main="relative Abweichung Globalstrahlung Weihenstephan",
ylab="Abweichung
Globalstrahlung [%]",ylim=c(-170, 170), cex.main=1.45, cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)
```

```
summary(W$direkt_rel)
IQR(W$direkt_rel, na.rm = TRUE)
sd(W$direkt_rel, na.rm = TRUE)
skewness(W$direkt_rel, na.rm = TRUE)
kurtosis(W$direkt_rel, na.rm = TRUE)
boxplot(W$direkt_rel, main="relative Abweichung Direktstrahlung Weihenstephan",
ylab="Abweichung
Direktstrahlung [%]", ylim=c(-550, 170), cex.main=1.45, cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)
```

```
summary(W$diffus_rel)
IQR(W$diffus_rel, na.rm = TRUE)
sd(W$diffus_rel, na.rm = TRUE)
skewness(W$diffus_rel, na.rm = TRUE)
kurtosis(W$diffus_rel, na.rm = TRUE)
boxplot(W$diffus_rel, main="relative Abweichung Diffusstrahlung Weihenstephan",
ylab="Abweichung
Diffusstrahlung [%]",ylim=c(-170, 170), cex.main=1.45, cex.axis=1.2, cex.lab=1.3)
```

```
#Densityplots
```

```
#Gesamt
#Berechnen der Modalwerte der bimodalen Verteilung
names(sort(-table(W$global_rel)))[1]
names(sort(-table(W$global_rel)))[2]
densityplot(~global_rel, data=W, main=list("relative Abweichung Globalstrahlung
Weihenstephan",
cex=1.5), col='red', xlab = list("Abweichung Globalstrahlung [%]", cex = 1.3), ylab=list
(label="Dichte", cex=1.3), scales=list(cex=1.3), xlim=c(-200,200), ylim=c(0, 0.011))
```

```
#Berechnen der Modalwerte der bimodalen Verteilung
names(sort(-table(W$direkt_rel)))[1]
names(sort(-table(W$direkt_rel)))[2]
densityplot(~direkt_rel, data=W, main=list("relative Abweichung Direktstrahlung
Weihenstephan",
cex=1.5), col='red', xlab = list("Abweichung Direktstrahlung [%]", cex = 1.3), ylab=list
(label="Dichte", cex=1.3), scales=list(cex=1.3), xlim=c(-200,200), ylim=c(0, 0.011))
```

```

#Berechnen der Modalwerte der bimodalen Verteilung
names(sort(-table(W$diffus_rel)))[1]
names(sort(-table(W$diffus_rel)))[2]
densityplot(~diffus_rel, data=W, main=list("relative Abweichung Diffusstrahlung
Weihenstephan",
cex=1.5), col='red', xlab = list("Abweichung Diffusstrahlung [%]", cex = 1.3), ylab=list
(label="Dichte", cex=1.3), scales=list(cex=1.3), xlim=c(-200,200), ylim=c(0, 0.011))

#Verteilungen in Abhängigkeit des Monats
densityplot(~global_rel | month, data=W, as.table=TRUE, main="relative Abweichung
Globalstrahlung Weihenstephan", col='red', xlim=c(-200, 200), xlab="Abweichung
Globalstrahlung
[%]", ylab="Dichte", strip=strip.custom(bg='grey80', fg='grey80', strip.levels=c(TRUE,
TRUE), strip.names= c(FALSE, FALSE), factor.levels=c
("Januar", "Februar", "März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "August", "September", "Oktober", "Nove
mber", "Dezember")))

densityplot(~direkt_rel | month, data=W, as.table=TRUE, main="relative Abweichung
Direktstrahlung Weihenstephan", col='red', xlim=c(-200, 200), xlab="Abweichung
Direktstrahlung
[%]", ylab="Dichte", strip=strip.custom(bg='grey80', fg='grey80', strip.levels=c(TRUE,
TRUE), strip.names= c(FALSE, FALSE), factor.levels=c
("Januar", "Februar", "März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "August", "September", "Oktober", "Nove
mber", "Dezember")))

densityplot(~diffus_rel | month, data=W, as.table=TRUE, main="relative Abweichung
Diffusstrahlung Weihenstephan", col='red', xlim=c(-200, 200), xlab="Abweichung
Diffusstrahlung
[%]", ylab="Dichte", strip=strip.custom(bg='grey80', fg='grey80', strip.levels=c(TRUE,
TRUE), strip.names= c(FALSE, FALSE), factor.levels=c
("Januar", "Februar", "März", "April", "Mai", "Juni", "Juli", "August", "September", "Oktober", "Nove
mber", "Dezember")))

#Verteilungen in Abhängigkeit der Woche
densityplot(~global_rel | week, data=W, as.table=TRUE, main="relative Abweichung
Globalstrahlung Weihenstephan", col='red', xlim=c(-200, 200), xlab="Abweichung
Globalstrahlung [%]",
ylab="Dichte", strip=strip.custom(bg='grey80', fg='grey80', strip.levels=c(TRUE, TRUE),
strip.names= c(FALSE, FALSE), factor.levels=c("1. Woche", "2. Woche", "3. Woche", "4.
Woche", "5. Woche", "6. Woche", "7. Woche", "8. Woche", "9. Woche", "10. Woche", "11.
Woche", "12. Woche", "13. Woche", "14. Woche", "15. Woche", "16. Woche", "17. Woche", "18.
Woche", "19. Woche", "20. Woche", "21. Woche", "22. Woche", "23. Woche", "24. Woche", "25.
Woche", "26. Woche", "27. Woche", "28. Woche", "29. Woche", "30. Woche", "31. Woche", "32.
Woche", "33. Woche", "34. Woche", "35. Woche", "36. Woche", "37. Woche", "38. Woche", "39.
Woche", "40. Woche", "41. Woche", "42. Woche", "43. Woche", "44. Woche", "45. Woche", "46.
Woche", "47. Woche", "48. Woche", "49. Woche", "50. Woche", "51. Woche", "52. Woche", "53.
Woche"), par.strip.text=list(cex=0.75))

densityplot(~direkt_rel | week, data=W, as.table=TRUE, main="relative Abweichung
Direktstrahlung Weihenstephan", col='red', xlim=c(-200, 200), xlab="Abweichung
Direktstrahlung [%]",
ylab="Dichte", strip=strip.custom(bg='grey80', fg='grey80', strip.levels=c(TRUE, TRUE),
strip.names= c(FALSE, FALSE), factor.levels=c("1. Woche", "2. Woche", "3. Woche", "4.
Woche", "5. Woche", "6. Woche", "7. Woche", "8. Woche", "9. Woche", "10. Woche", "11.
Woche", "12. Woche", "13. Woche", "14. Woche", "15. Woche", "16. Woche", "17. Woche", "18.
Woche", "19. Woche", "20. Woche", "21. Woche", "22. Woche", "23. Woche", "24. Woche", "25.
Woche", "26. Woche", "27. Woche", "28. Woche", "29. Woche", "30. Woche", "31. Woche", "32.
Woche", "33. Woche", "34. Woche", "35. Woche", "36. Woche", "37. Woche", "38. Woche", "39.
Woche", "40. Woche", "41. Woche", "42. Woche", "43. Woche", "44. Woche", "45. Woche", "46.
Woche", "47. Woche", "48. Woche", "49. Woche", "50. Woche", "51. Woche", "52. Woche", "53.
Woche"), par.strip.text=list(cex=0.75))

densityplot(~diffus_rel | week, data=W, as.table=TRUE, main="relative Abweichung
Diffusstrahlung Weihenstephan", col='red', xlim=c(-200, 200), xlab="Abweichung
Diffusstrahlung [%]",
ylab="Dichte", strip=strip.custom(bg='grey80', fg='grey80', strip.levels=c(TRUE, TRUE),
strip.names= c(FALSE, FALSE), factor.levels=c("1. Woche", "2. Woche", "3. Woche", "4.
Woche", "5. Woche", "6. Woche", "7. Woche", "8. Woche", "9. Woche", "10. Woche", "11.
Woche", "12. Woche", "13. Woche", "14. Woche", "15. Woche", "16. Woche", "17. Woche", "18.
Woche", "19. Woche", "20. Woche", "21. Woche", "22. Woche", "23. Woche", "24. Woche", "25.
Woche", "26. Woche", "27. Woche", "28. Woche", "29. Woche", "30. Woche", "31. Woche", "32.

```

```
Woche", "33. Woche", "34. Woche", "35. Woche", "36. Woche", "37. Woche", "38. Woche", "39.  
Woche", "40. Woche", "41. Woche", "42. Woche", "43. Woche", "44. Woche", "45. Woche", "46.  
Woche", "47. Woche", "48. Woche", "49. Woche", "50. Woche", "51. Woche", "52. Woche", "53.  
Woche"), par.strip.text=list(cex=0.75))
```

10.4 Visualisierungen

10.4.1 Visualisierung der Verteilungen der relativen Abweichungen der Stundensummen in Abhängigkeit der Woche mit R

10.4.1.1 Globalstrahlung

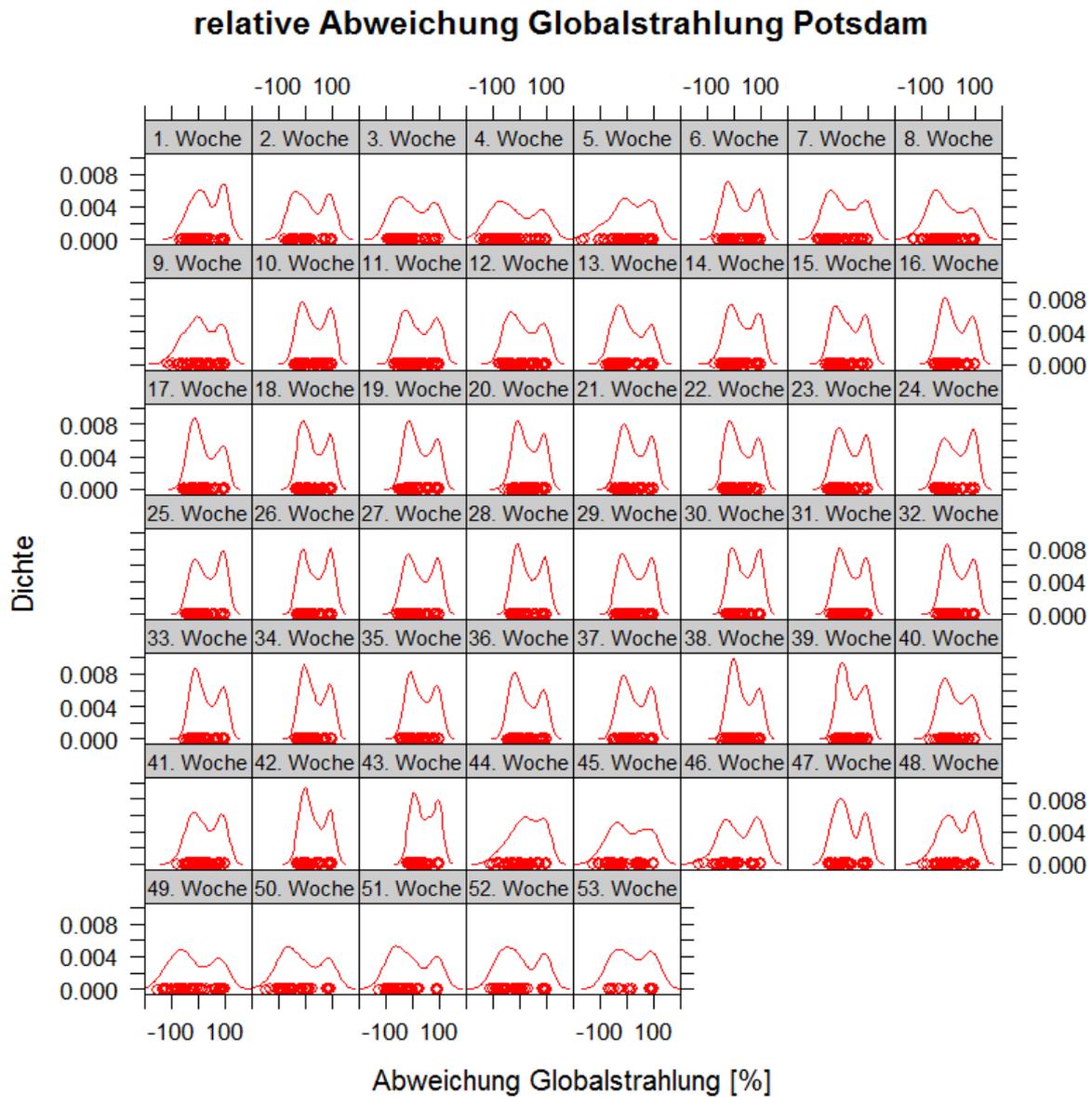


Abbildung 51 Densityplots der relativen Abweichungen der Globalstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit der Woche für Potsdam

relative Abweichung Globalstrahlung Weihenstephan

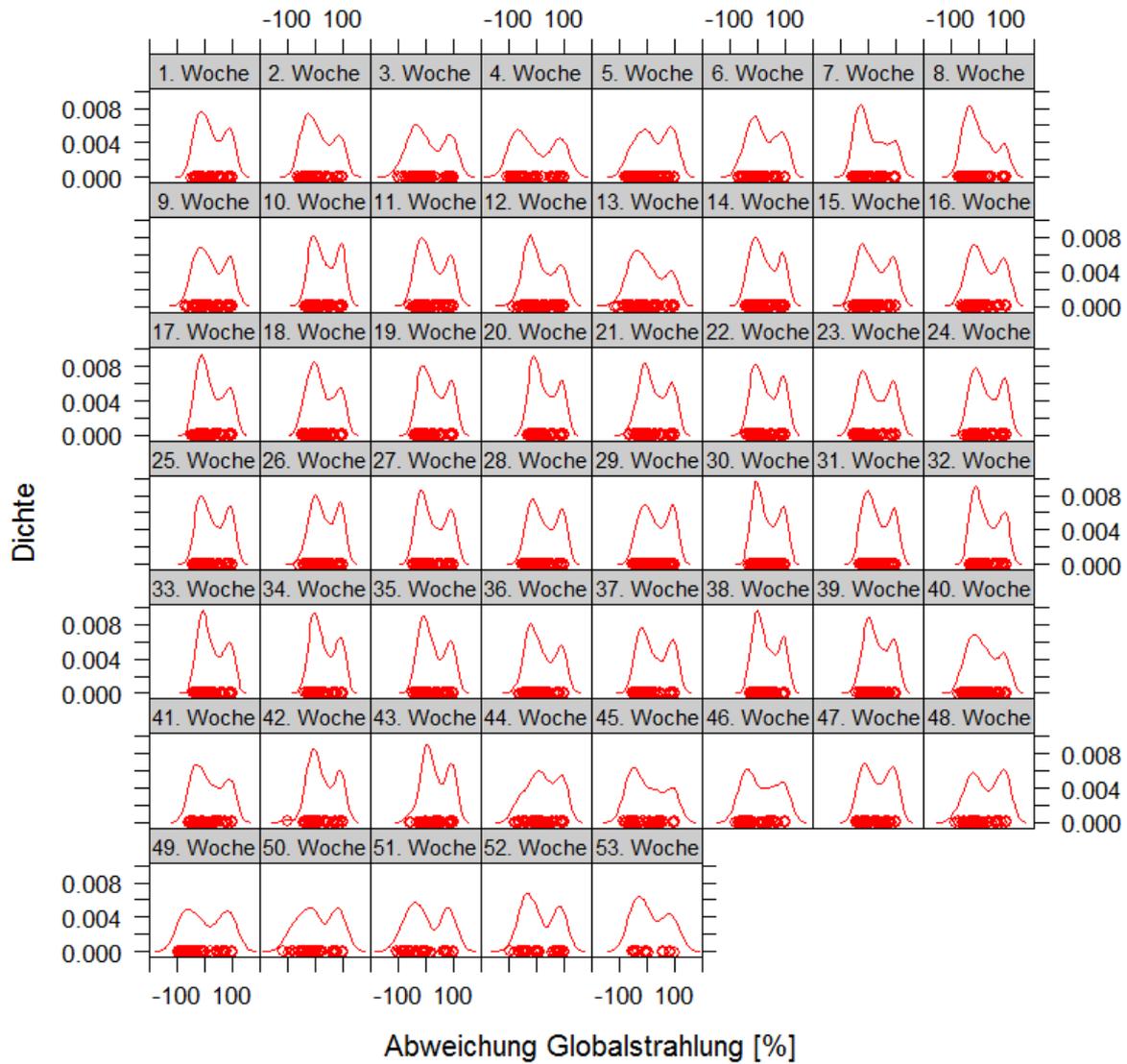


Abbildung 52 Densityplots der relativen Abweichungen der Globalstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit der Woche für Weihenstephan

10.4.1.2 Direktstrahlung

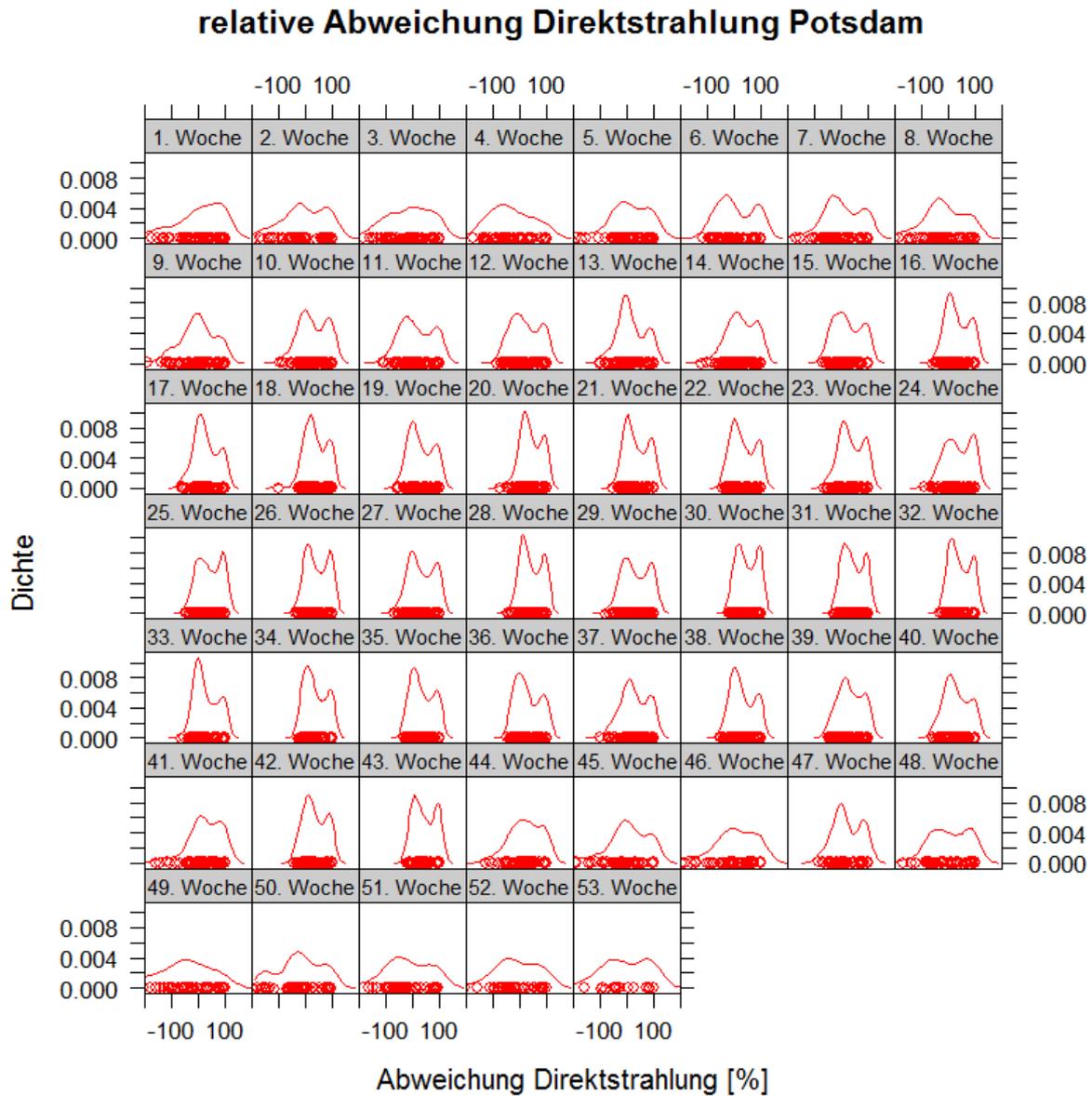


Abbildung 53 Densityplots der relativen Abweichungen der Direktstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit der Woche für Potsdam

relative Abweichung Direktstrahlung Weihenstephan

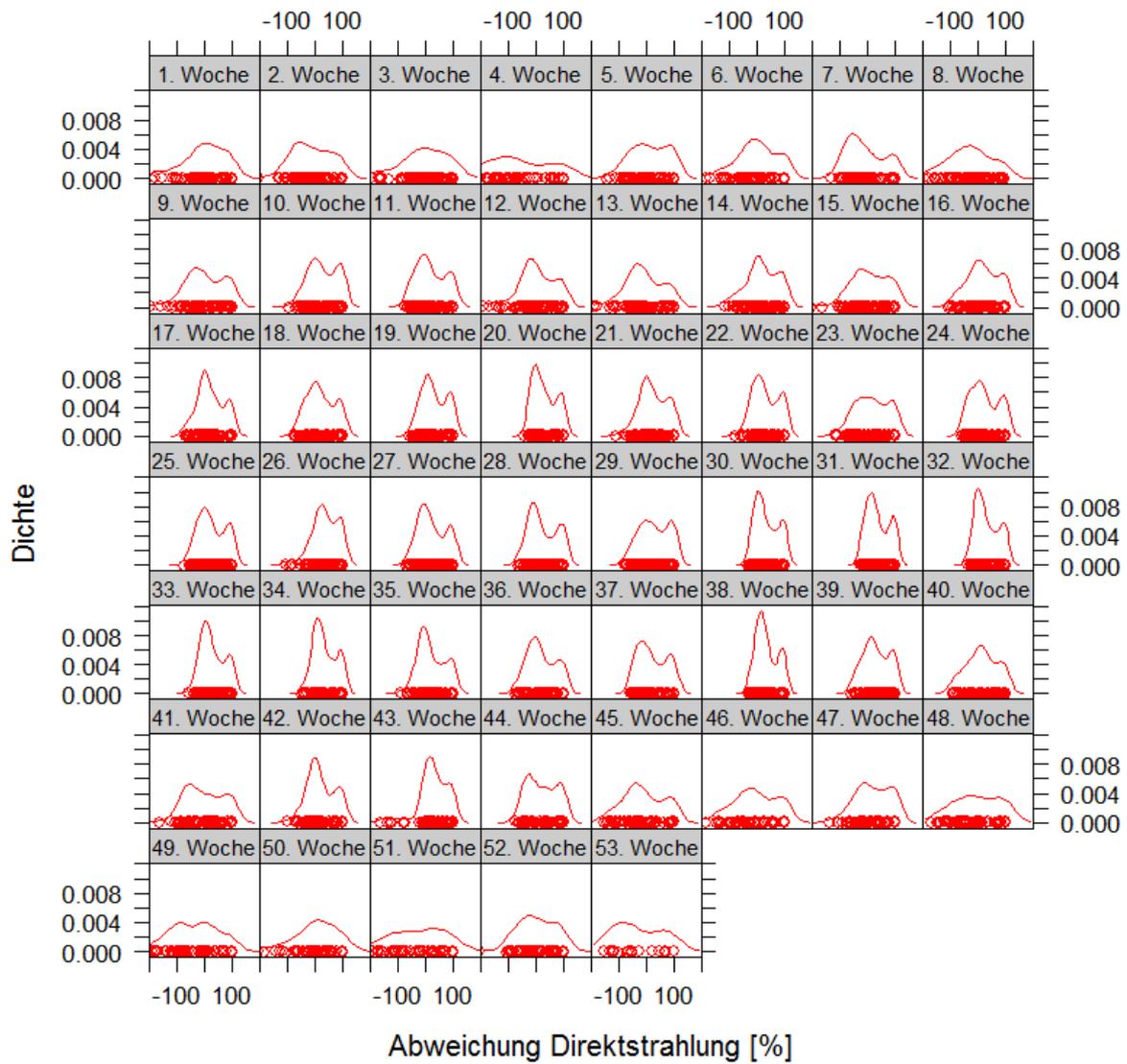


Abbildung 54 Densityplots der relativen Abweichungen der Direktstrahlungssummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit der Woche für Weihenstephan

10.4.1.3 Diffusstrahlung

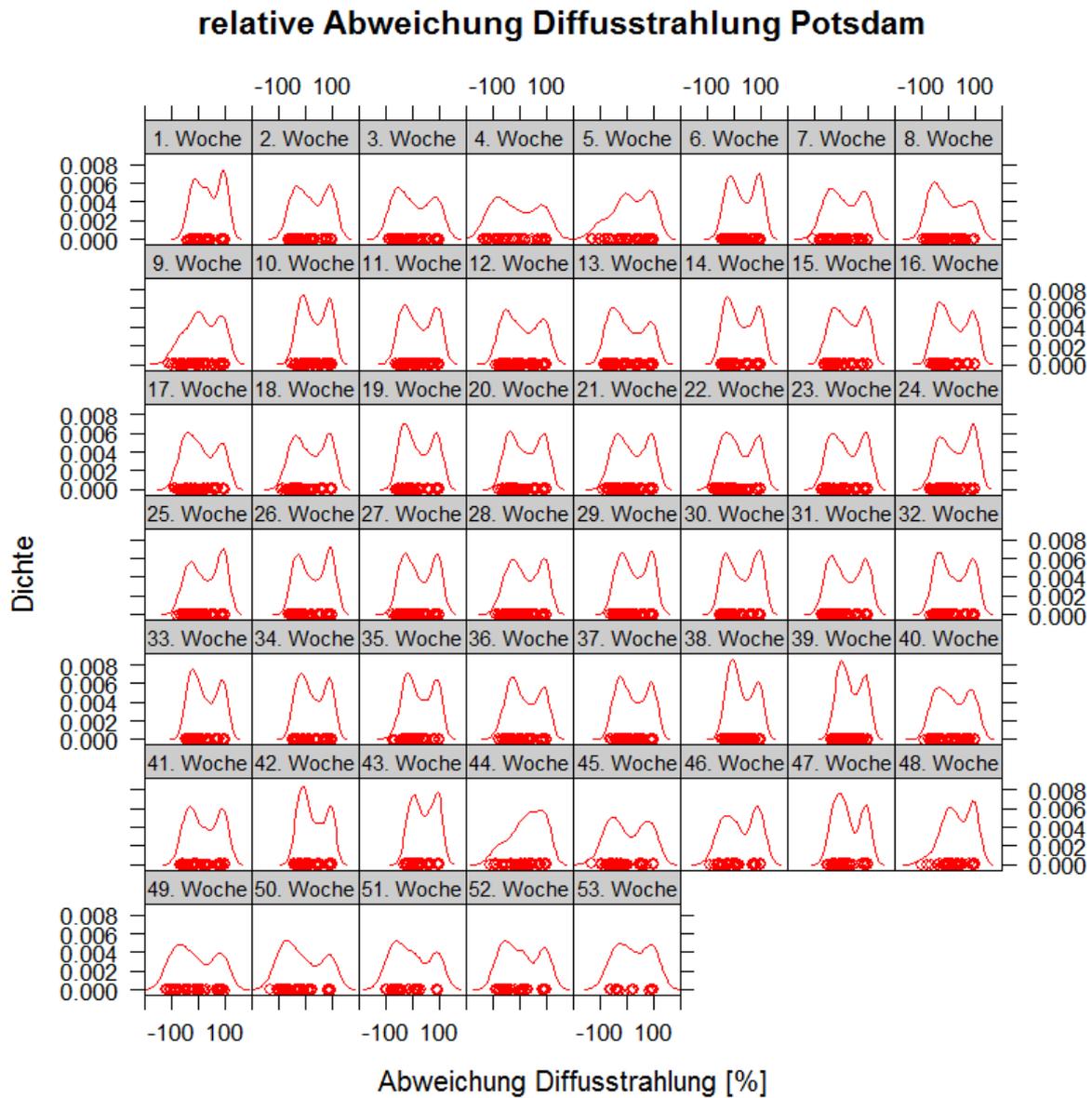


Abbildung 55 Densityplots der relativen Abweichungen der Diffusstrahlungsstundensummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit der Woche für Potsdam

relative Abweichung Diffusstrahlung Weihenstephan

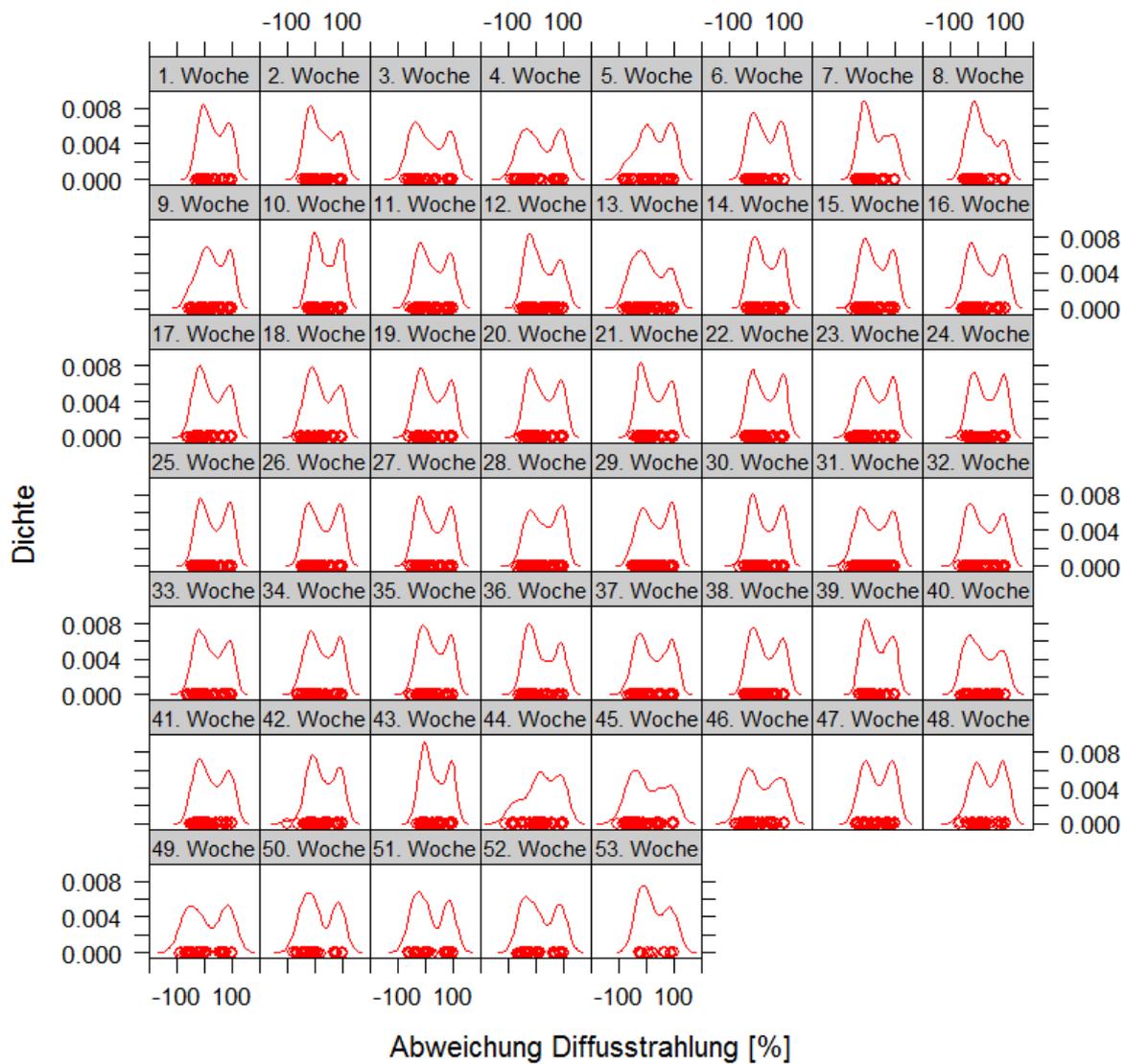


Abbildung 56 Densityplots der relativen Abweichungen der Diffusstrahlungssummen zwischen DWD und Transitionsmodell in Abhängigkeit der Woche für Weihenstephan

10.4.2 Stündliche Tagesverläufe

10.4.2.1 Globalstrahlung

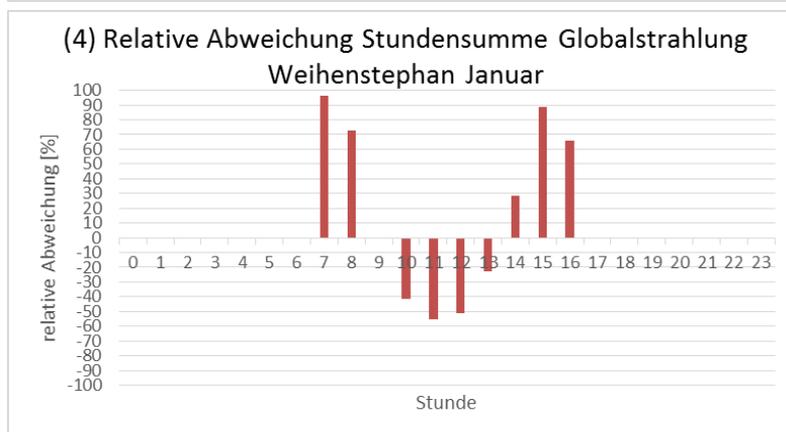
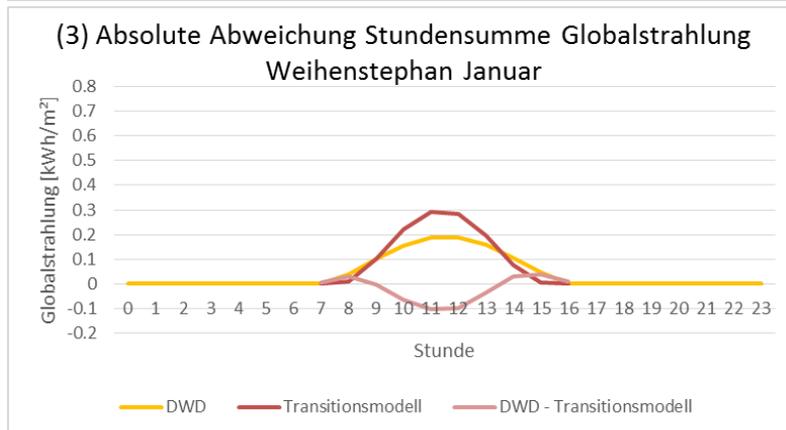
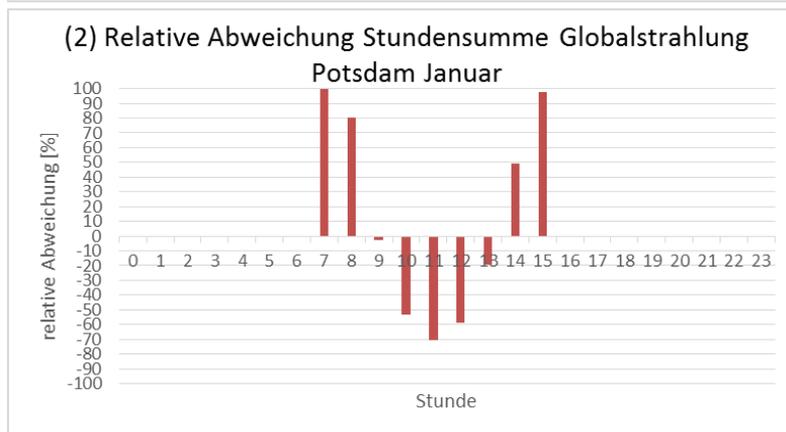
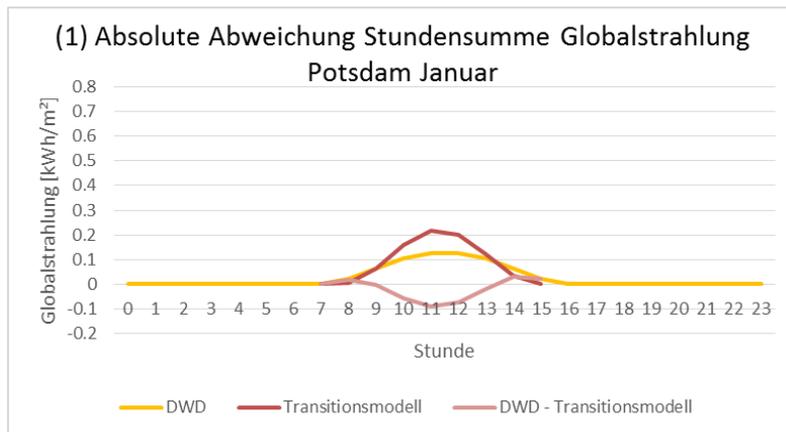


Abbildung 57 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Januar: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

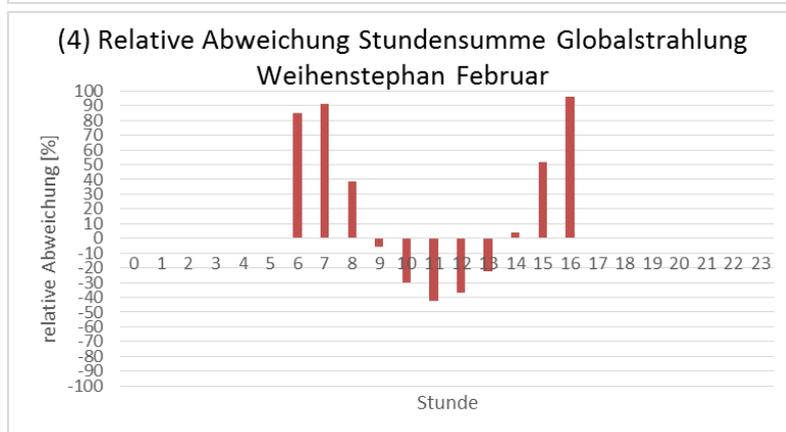
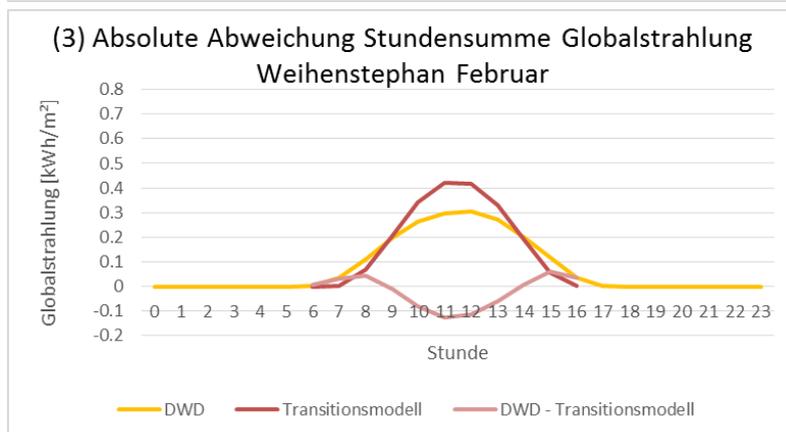
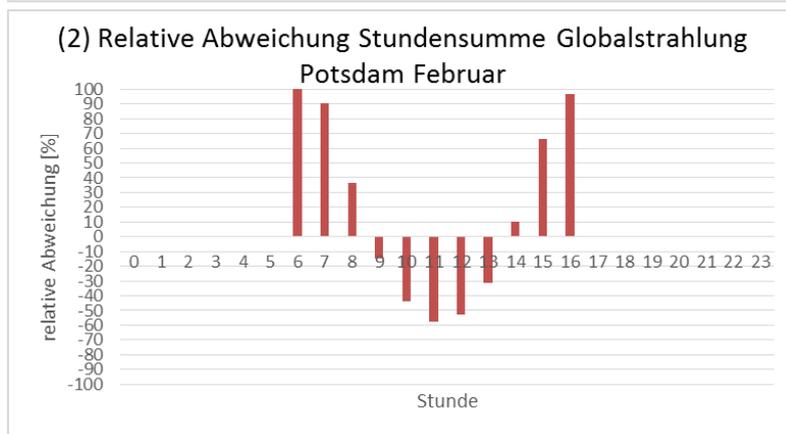
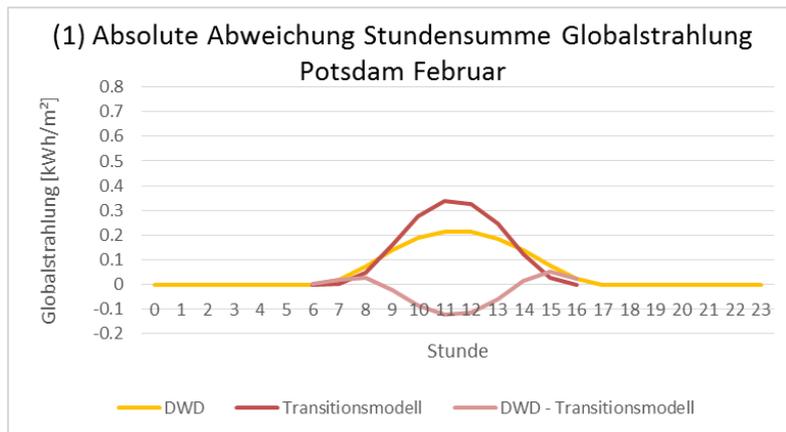


Abbildung 58 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Februar: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

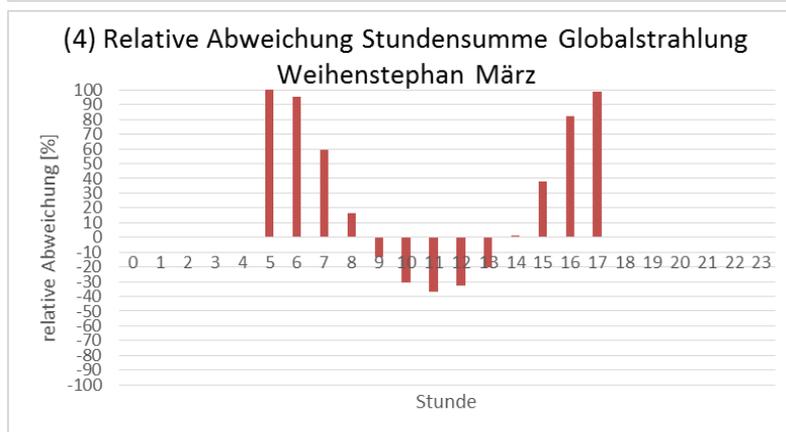
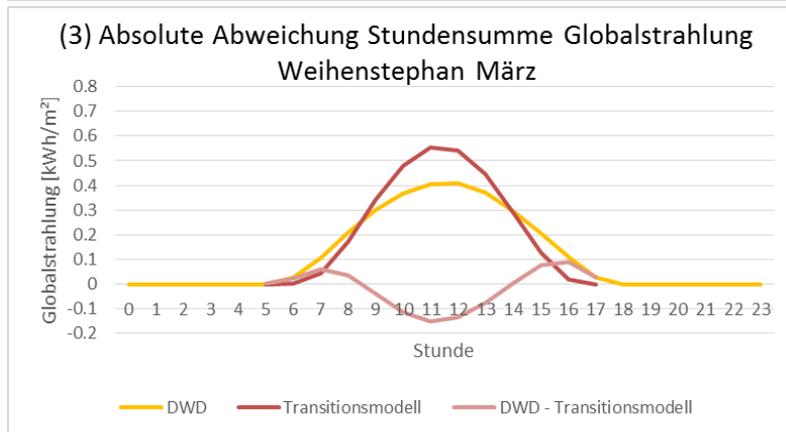
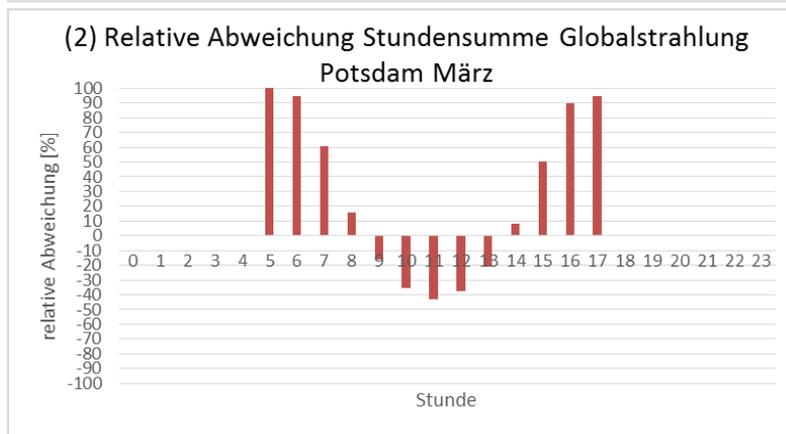
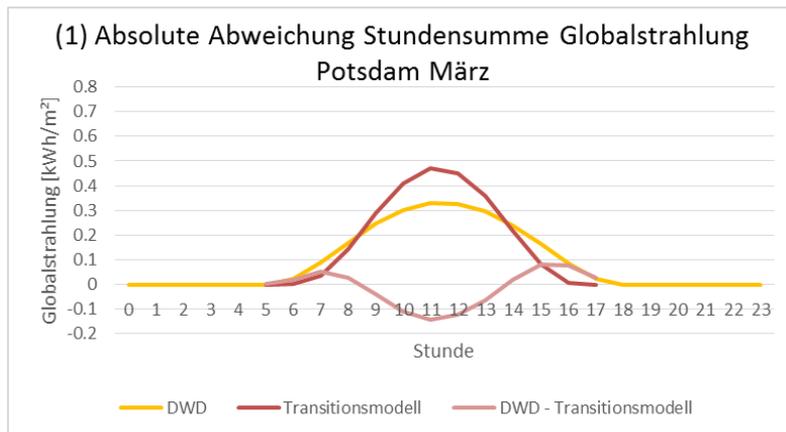


Abbildung 59 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für März: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

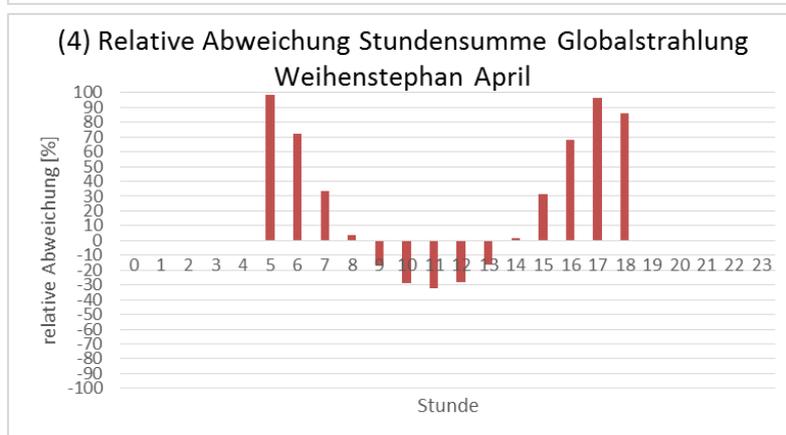
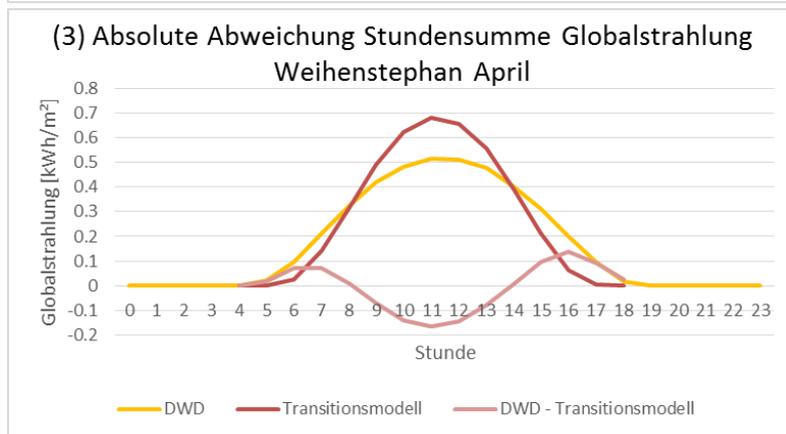
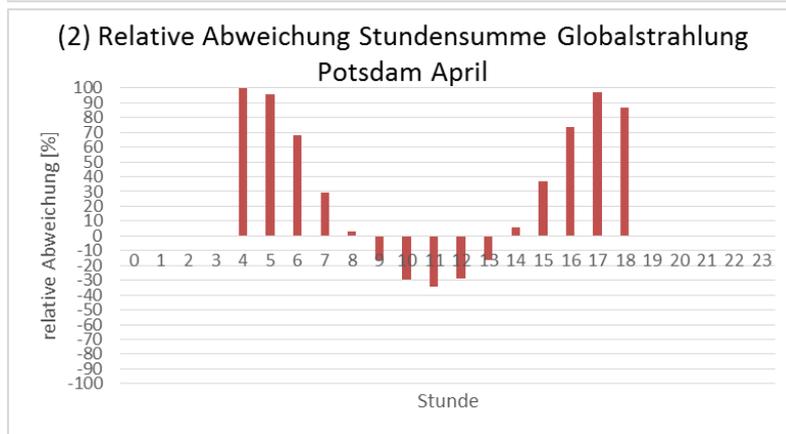
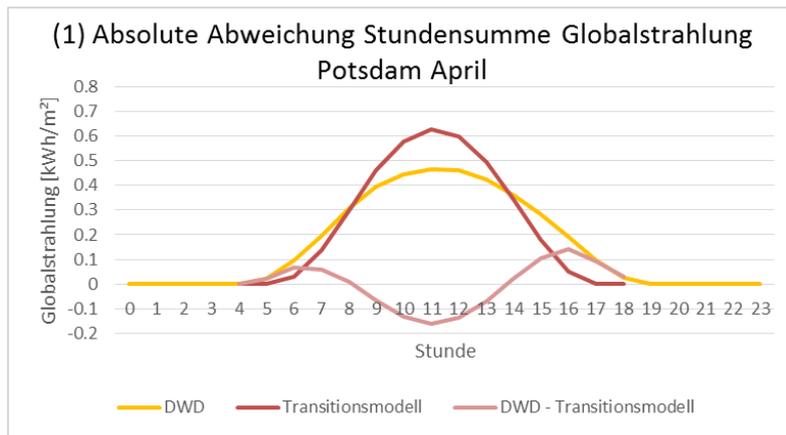


Abbildung 60 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für April: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

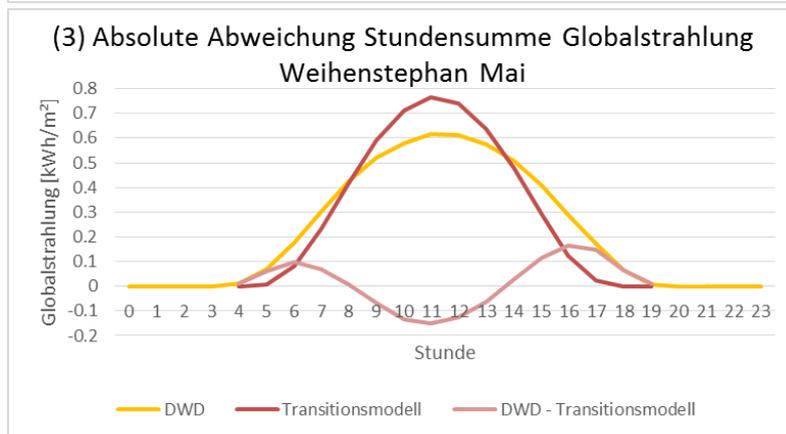
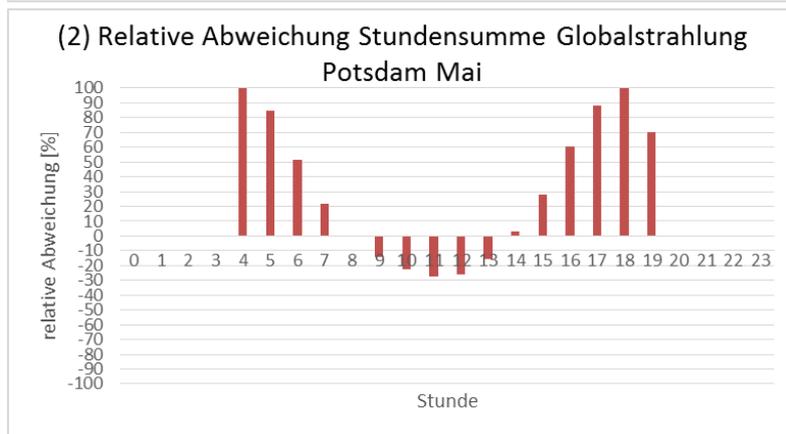
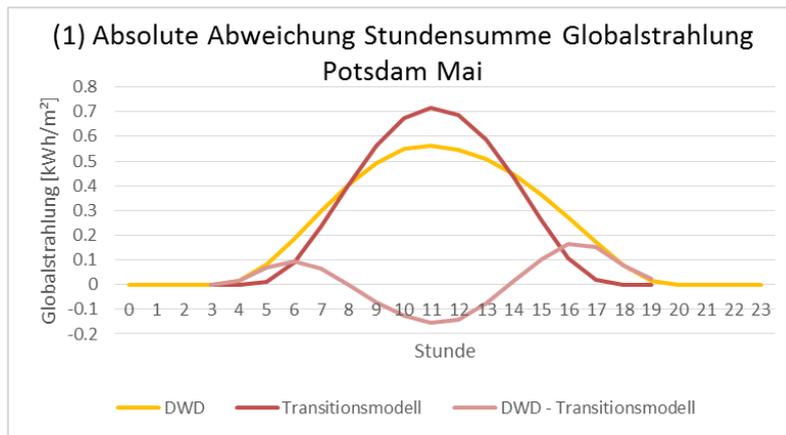


Abbildung 61 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Mai: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

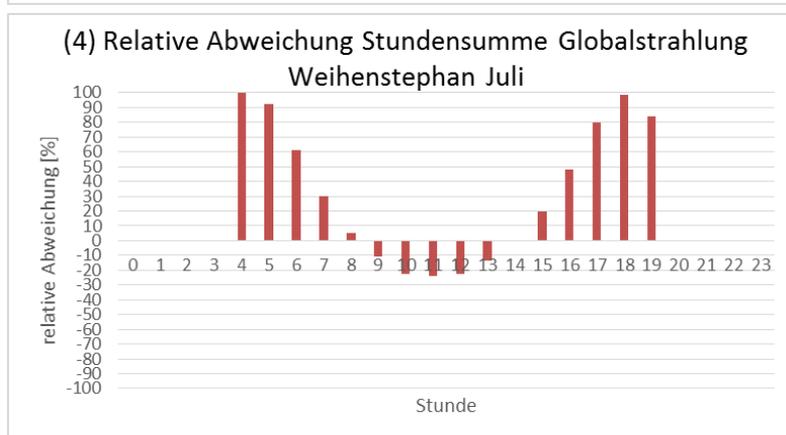
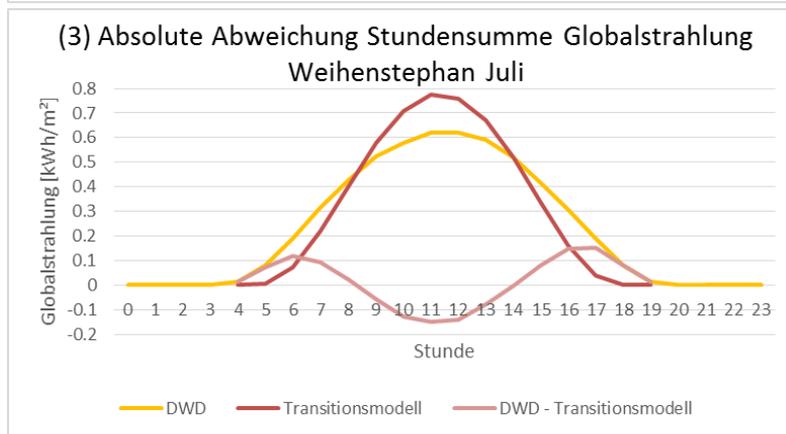
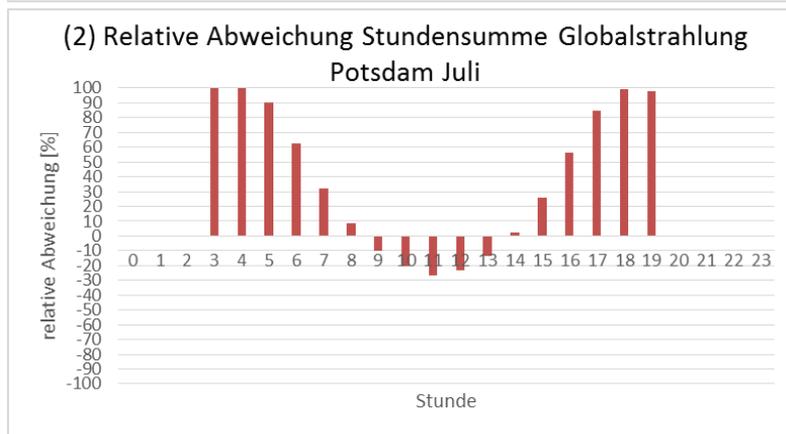
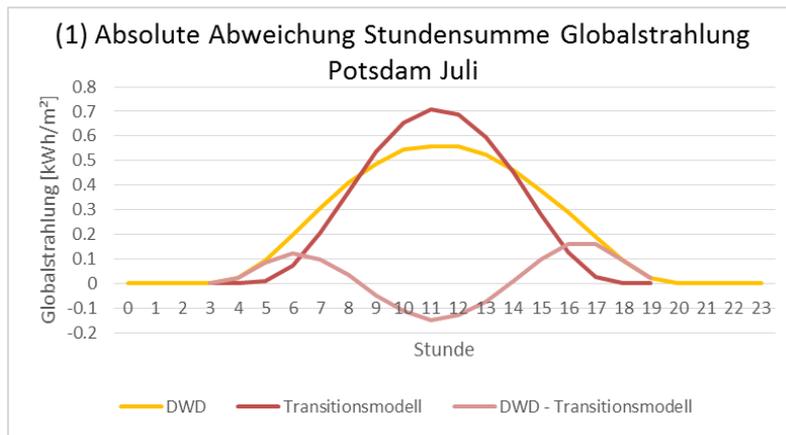


Abbildung 62 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Juli: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

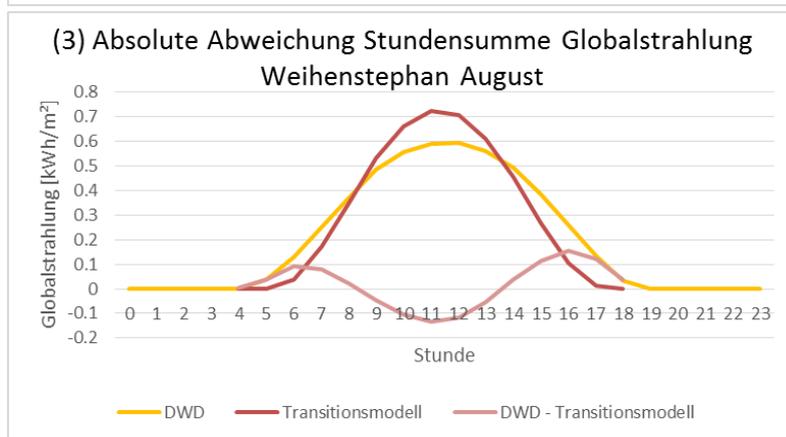
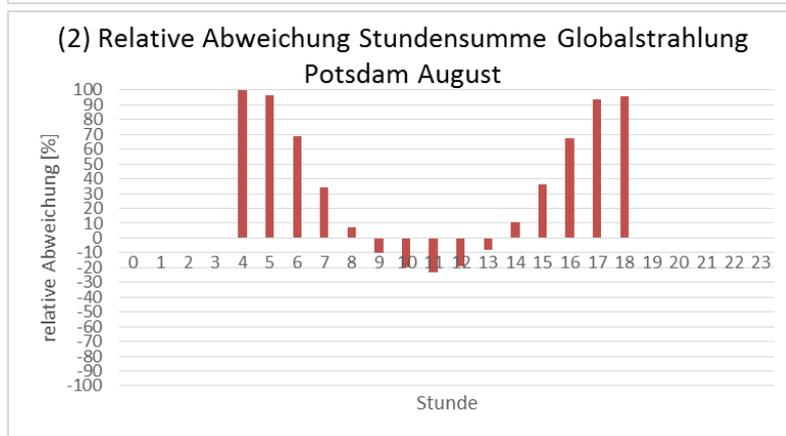
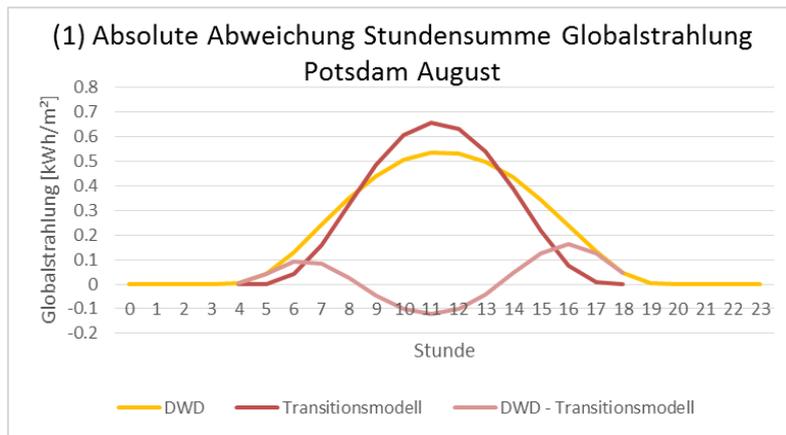


Abbildung 63 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für August: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

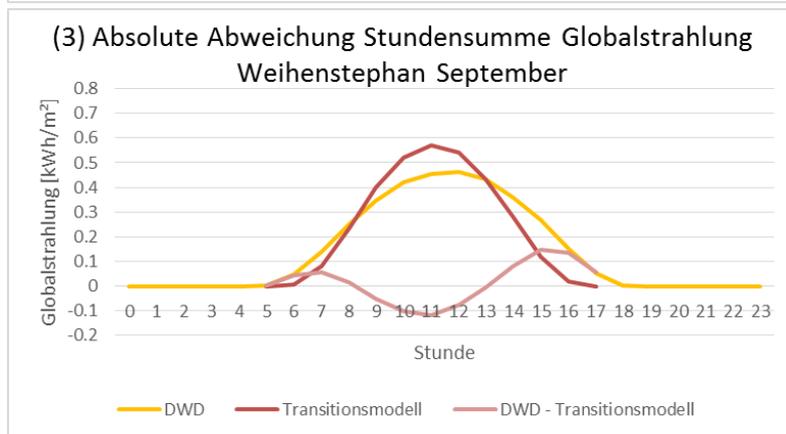
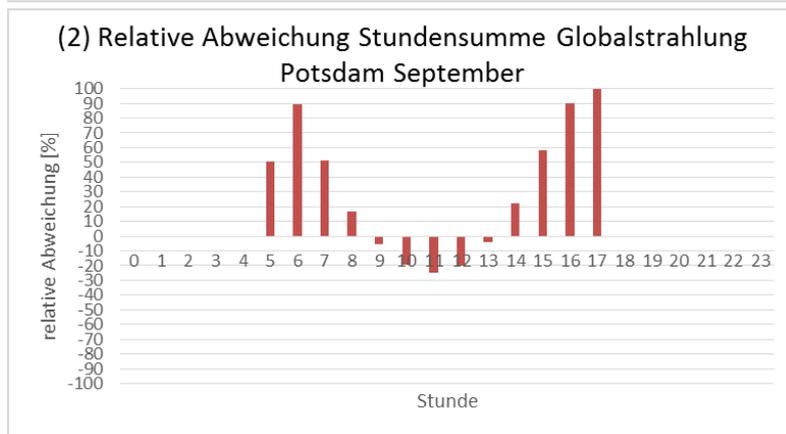
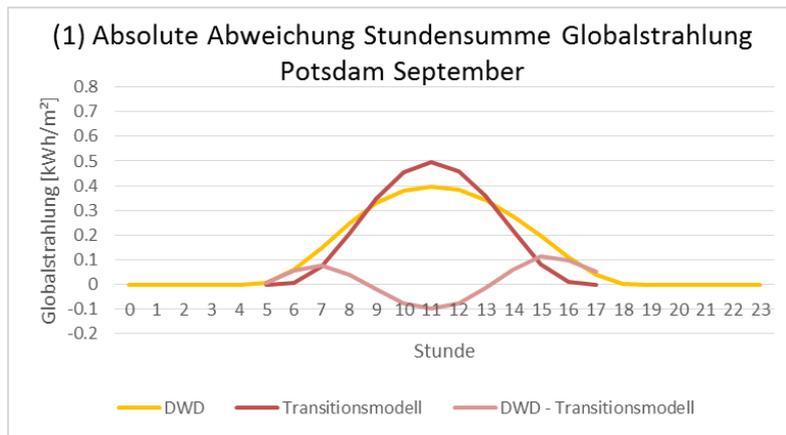


Abbildung 64 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für September: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

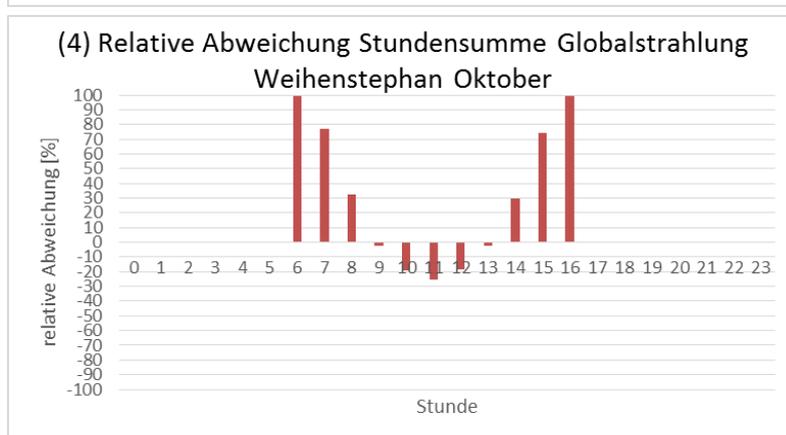
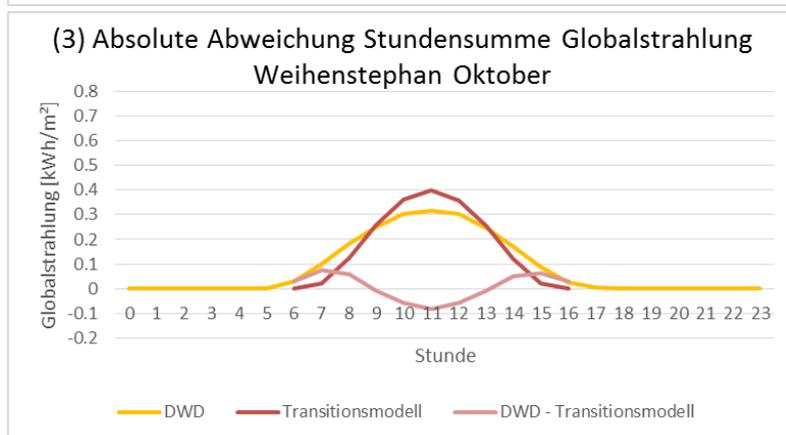
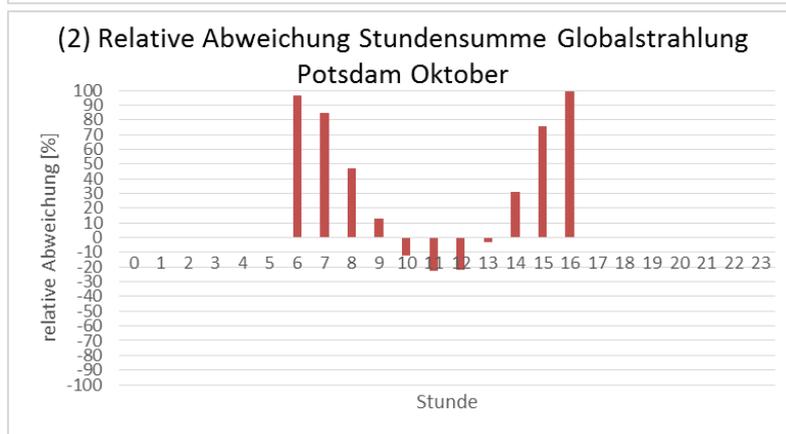
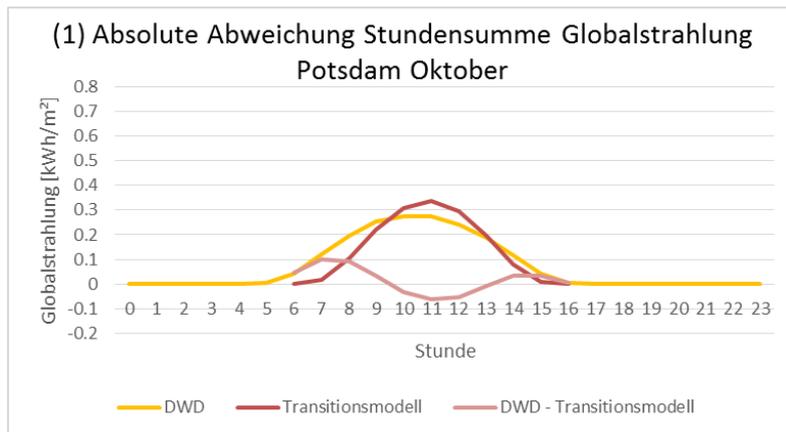


Abbildung 65 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Oktober: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

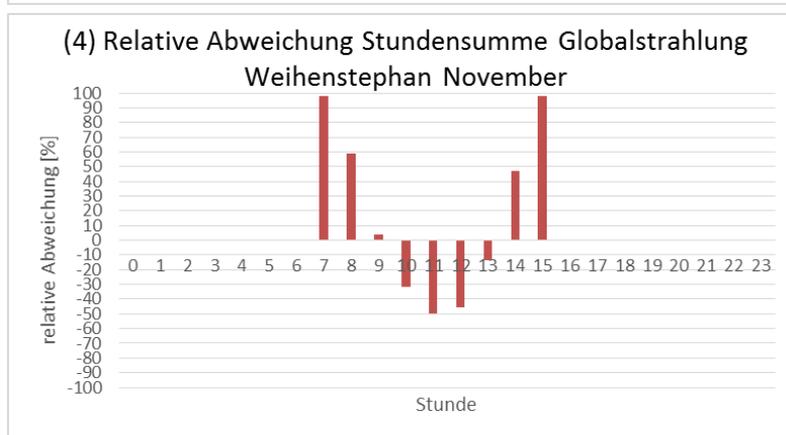
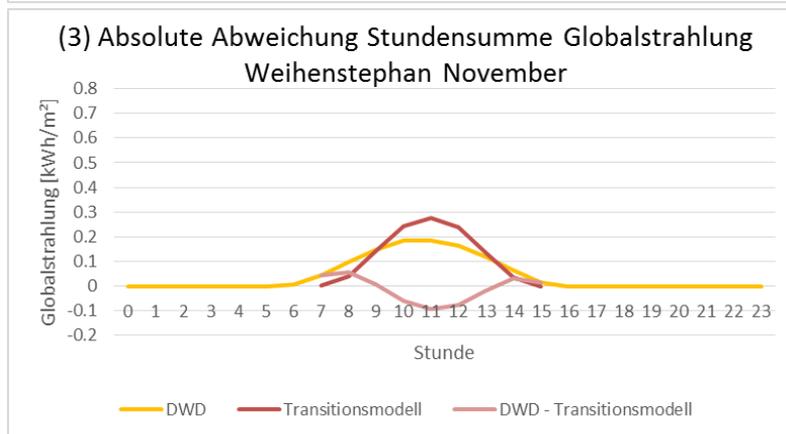
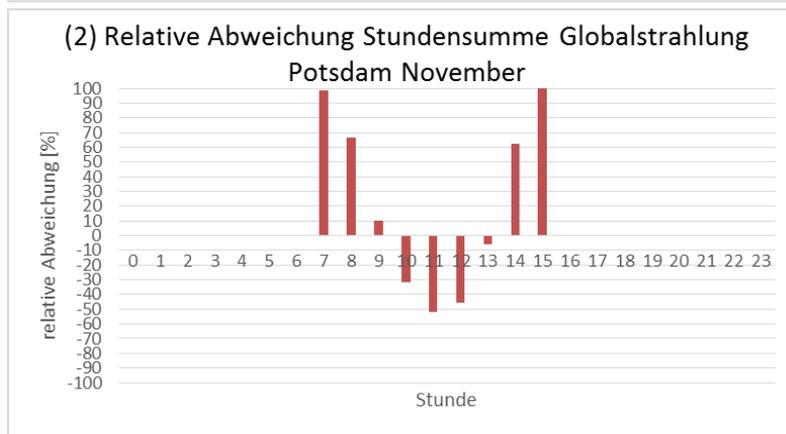
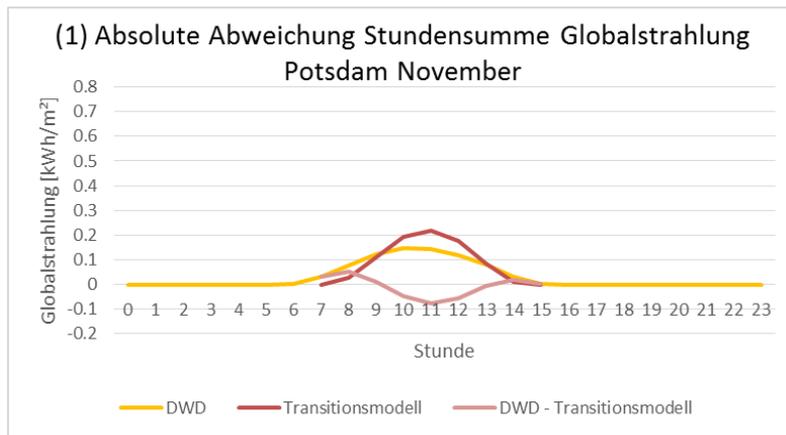


Abbildung 66 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für November: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

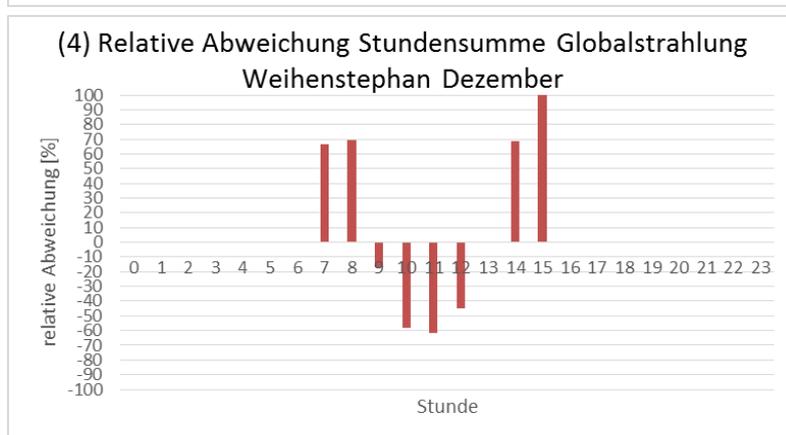
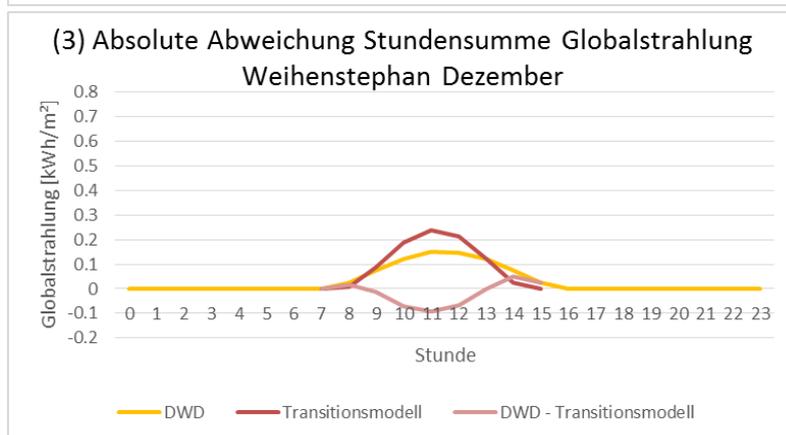
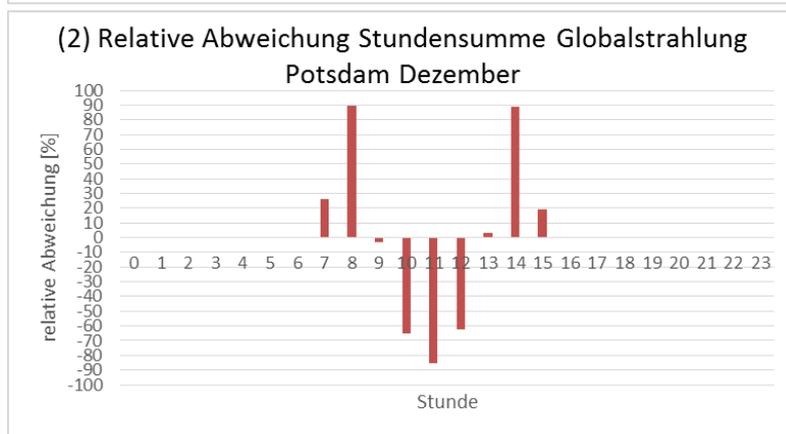
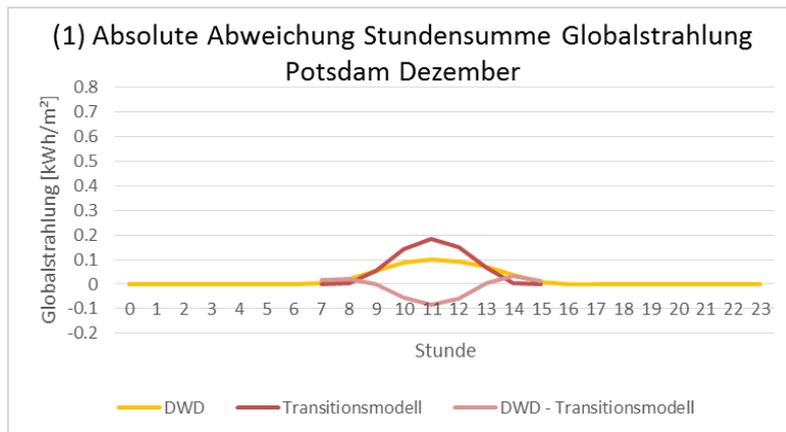


Abbildung 67 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Globalstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Dezember: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

10.4.2.2 Direktrahlung

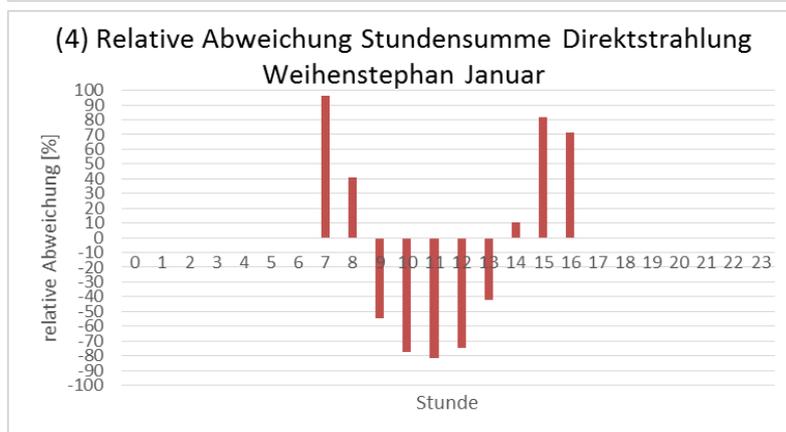
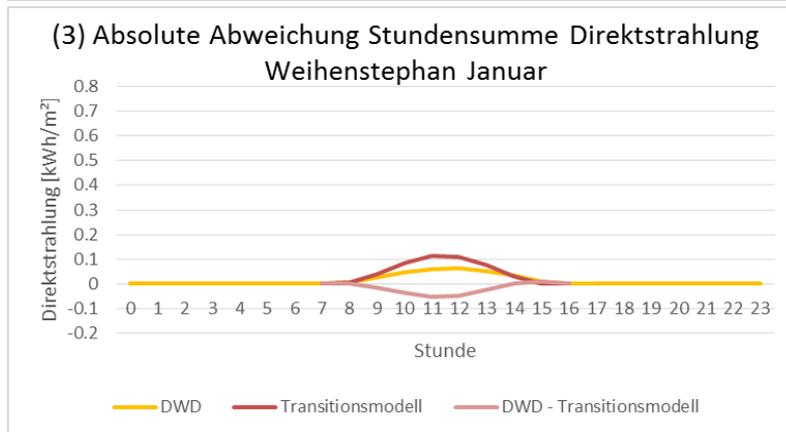
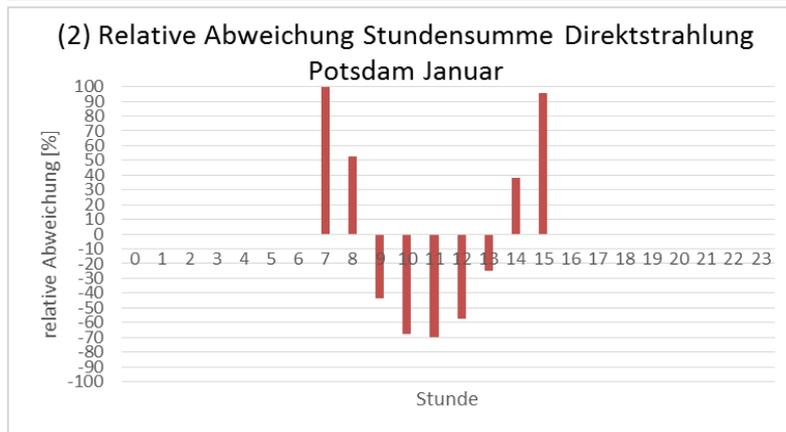
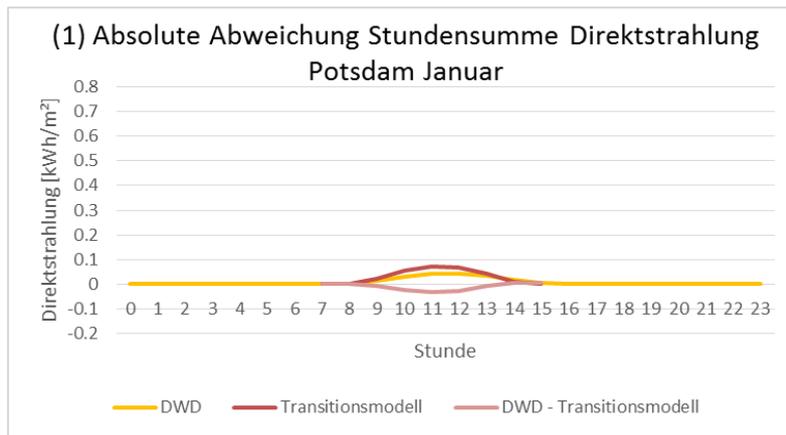


Abbildung 68 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Januar: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

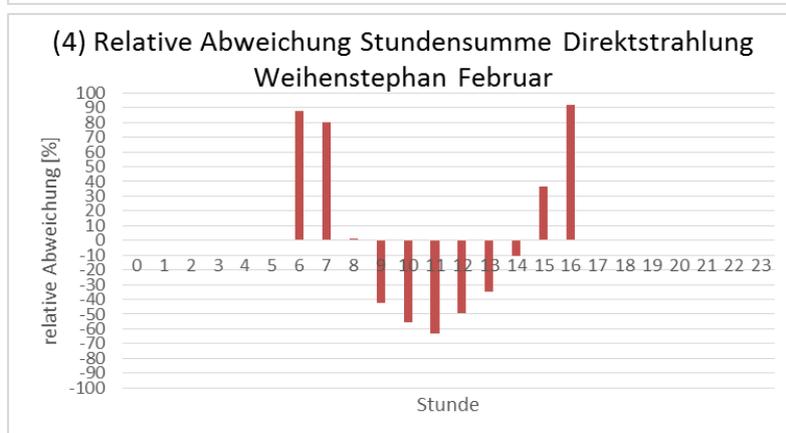
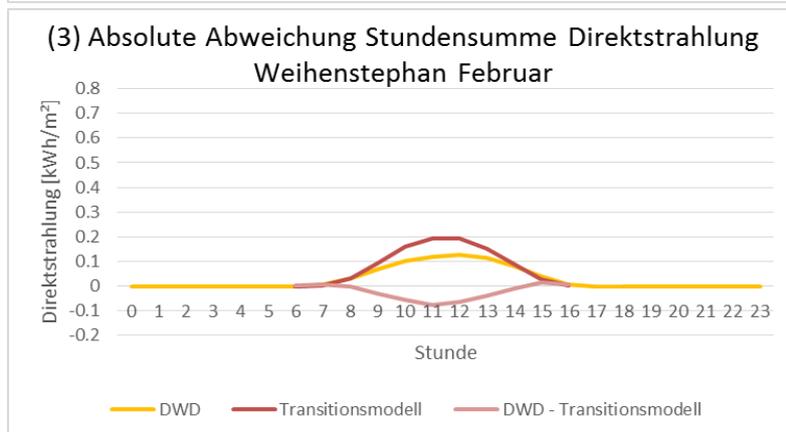
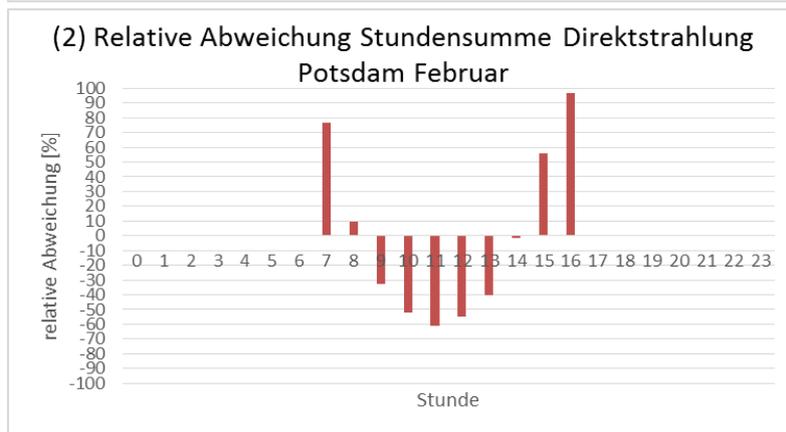
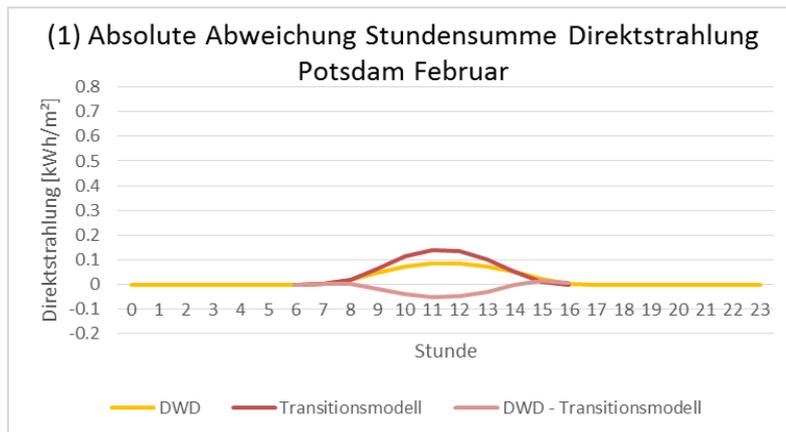


Abbildung 69 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Februar: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

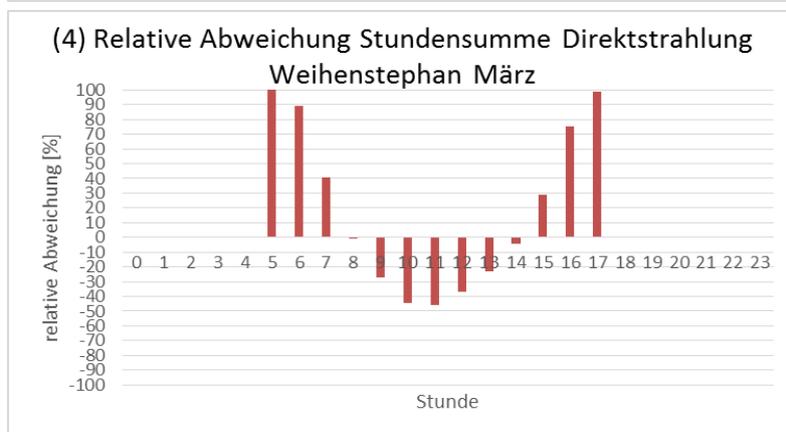
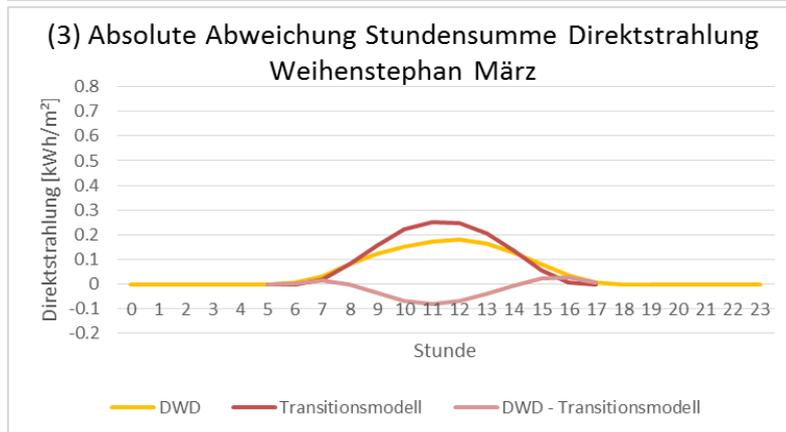
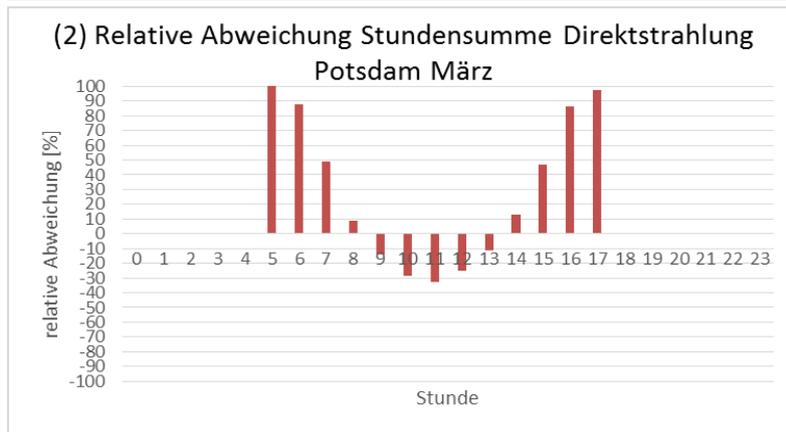
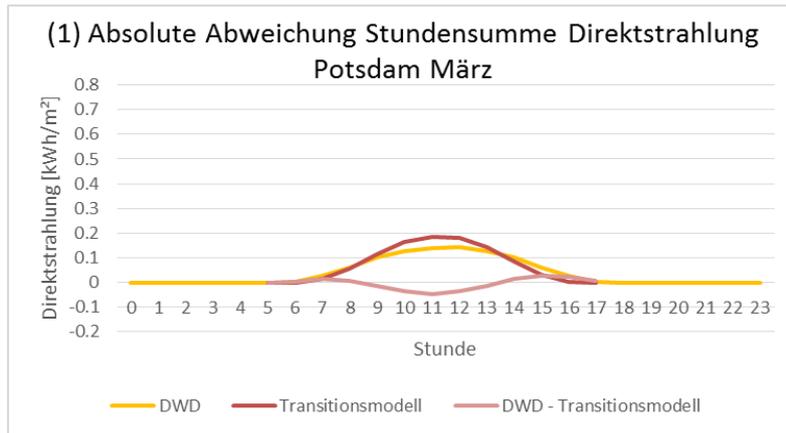


Abbildung 70 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für März: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

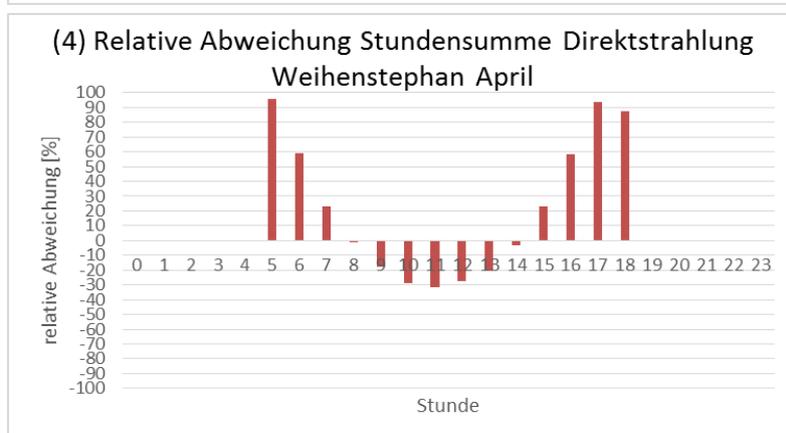
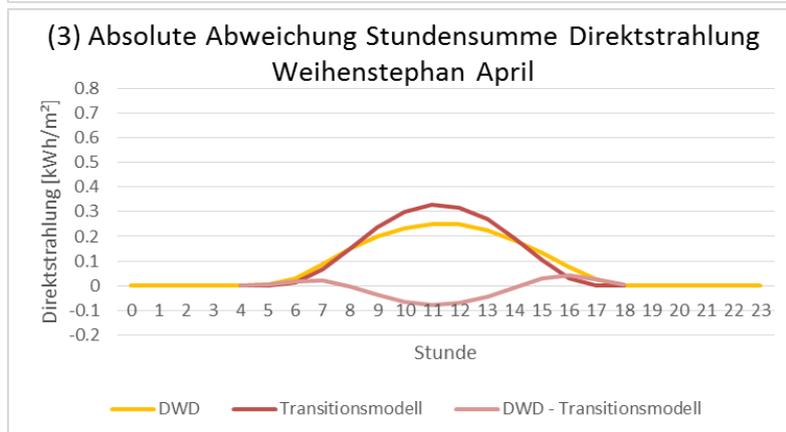
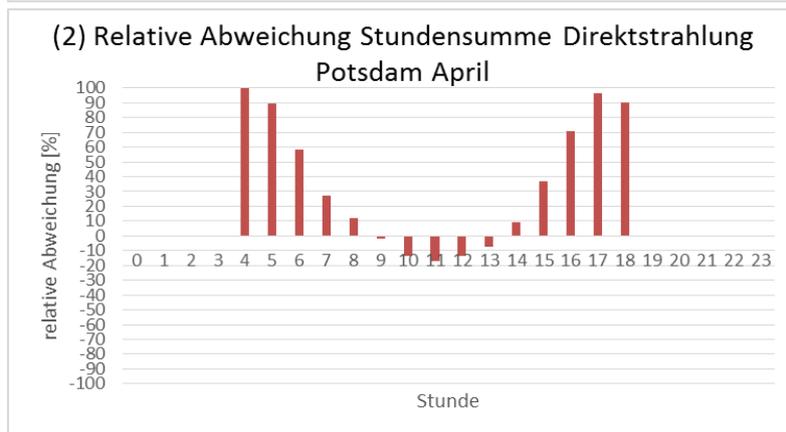
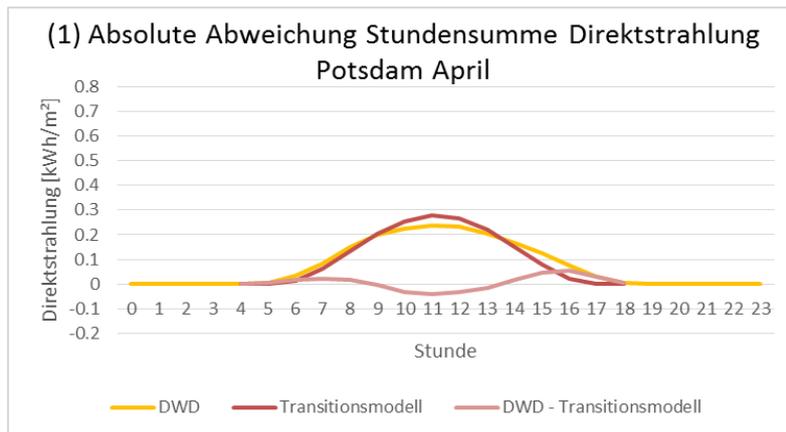


Abbildung 71 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für April: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

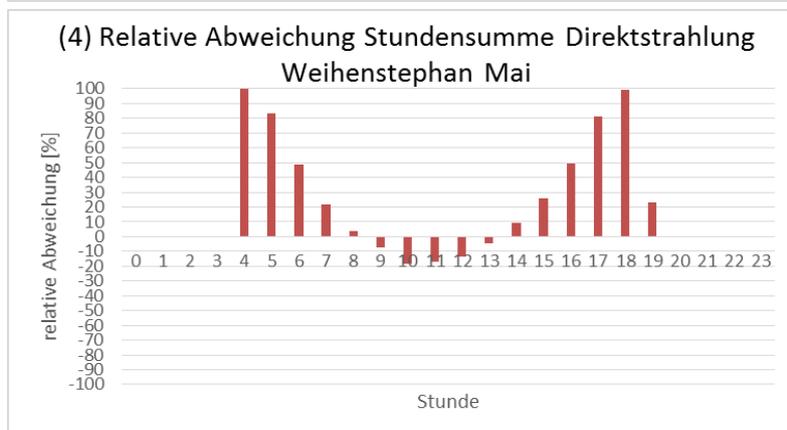
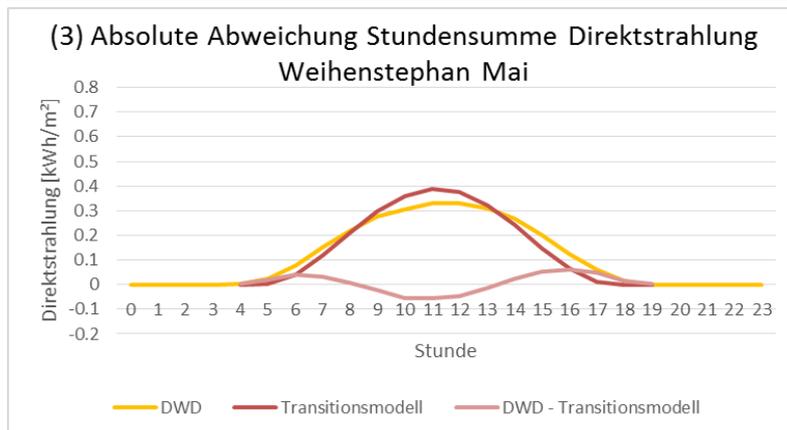
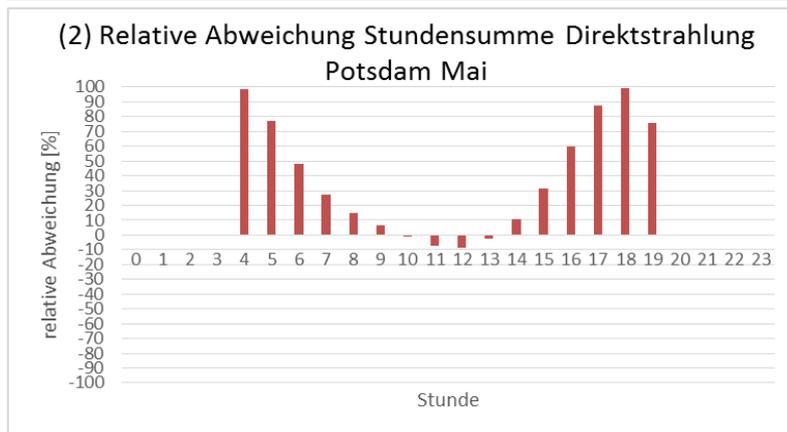
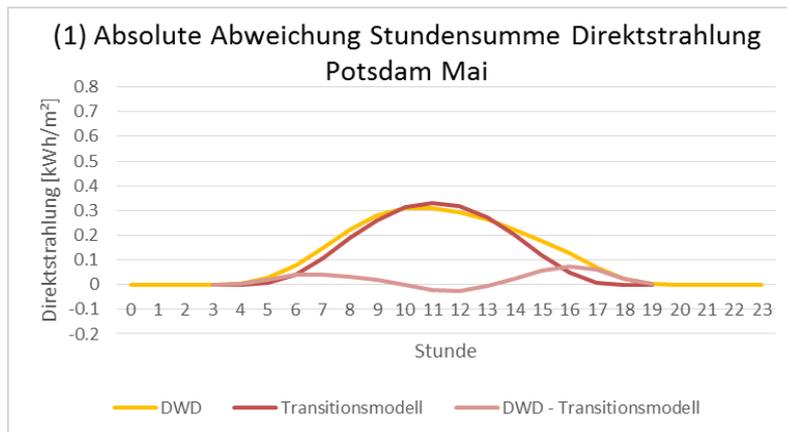


Abbildung 72 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Mai: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

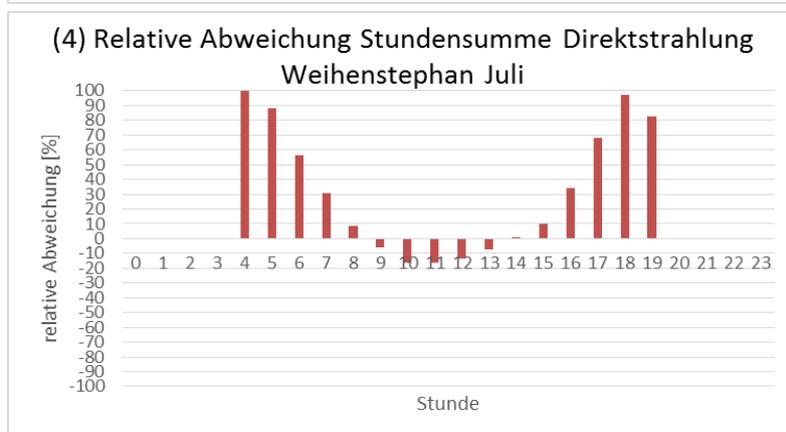
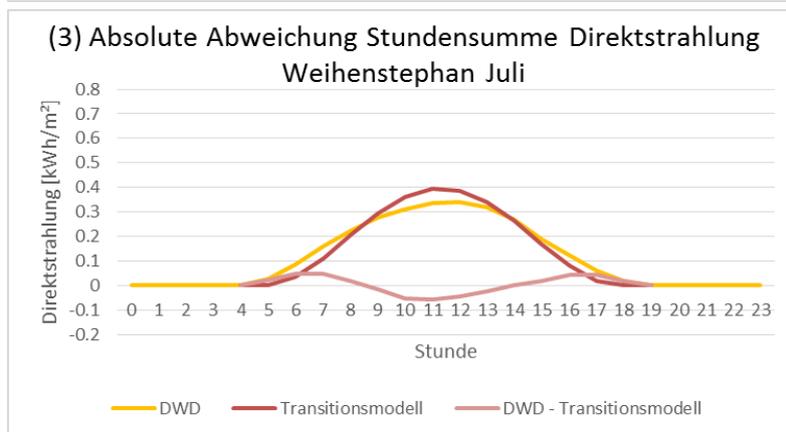
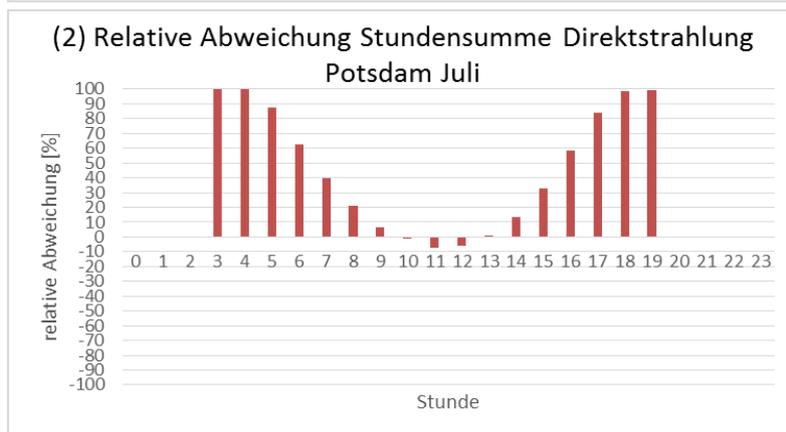
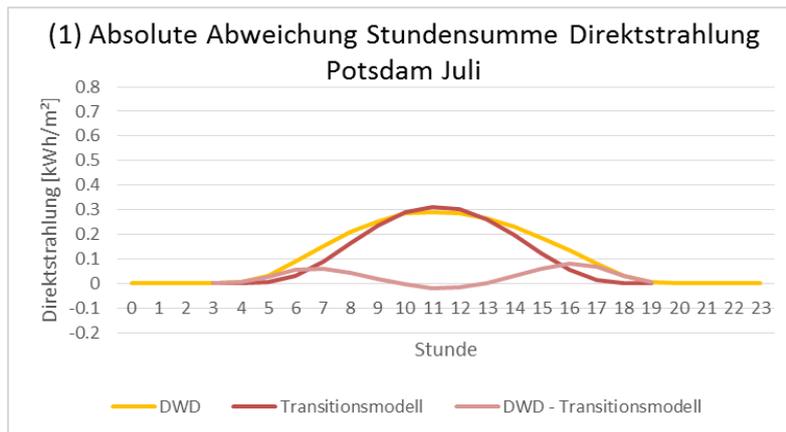


Abbildung 73 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Juli: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

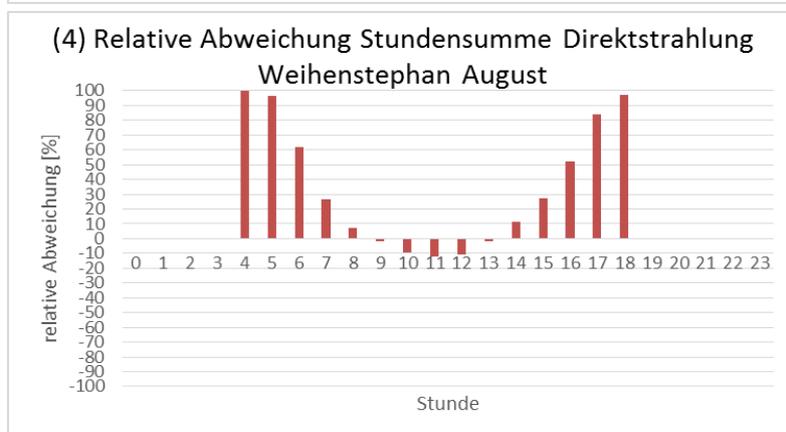
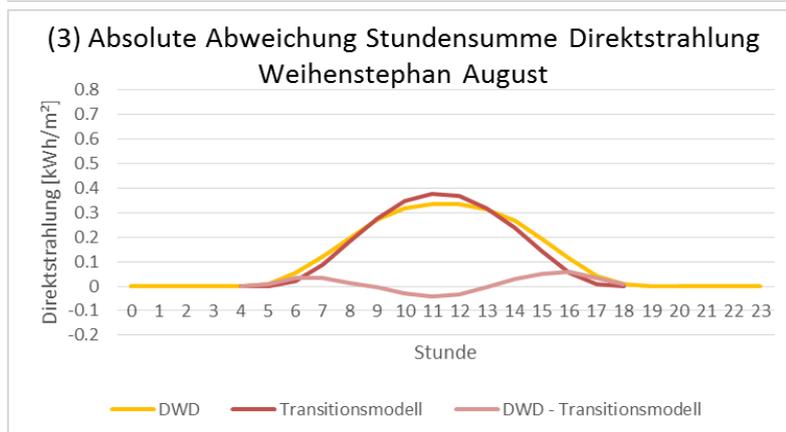
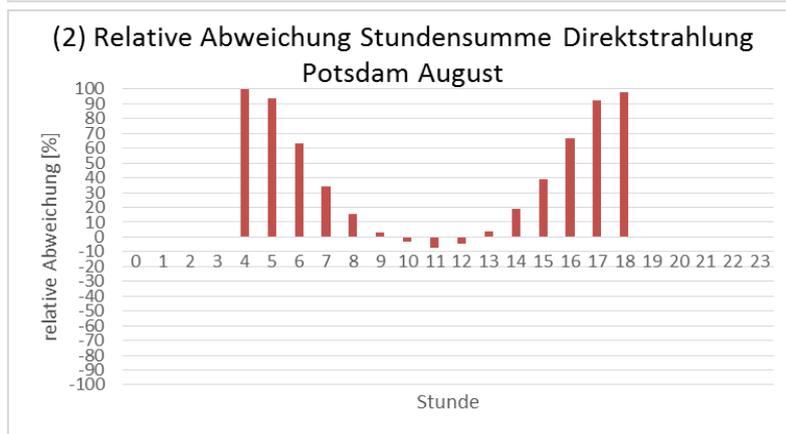
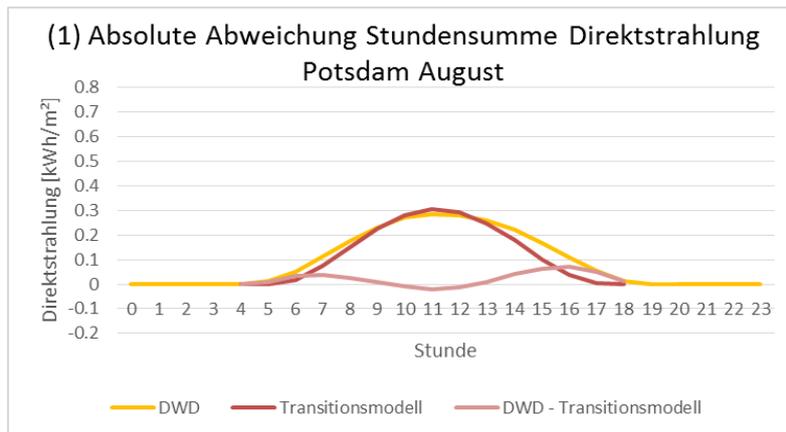


Abbildung 74 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für August: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

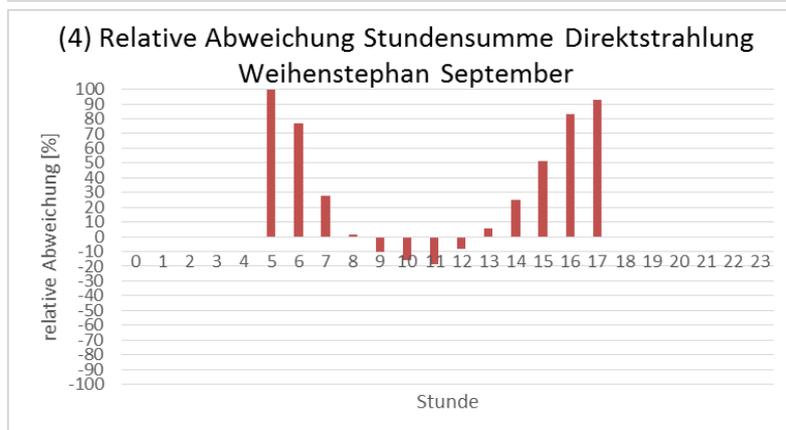
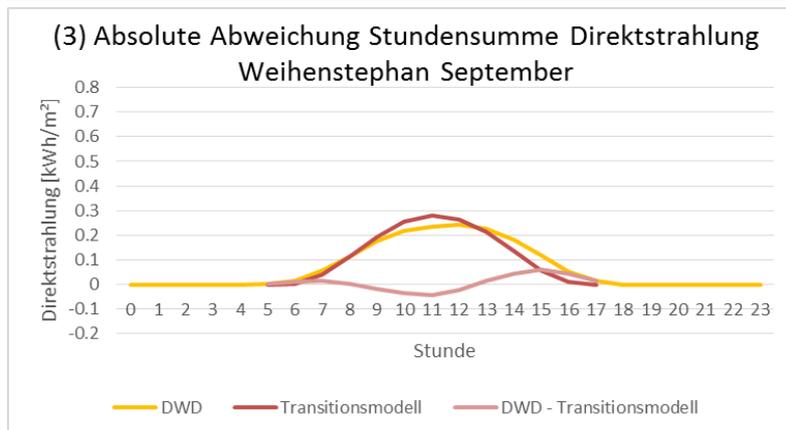
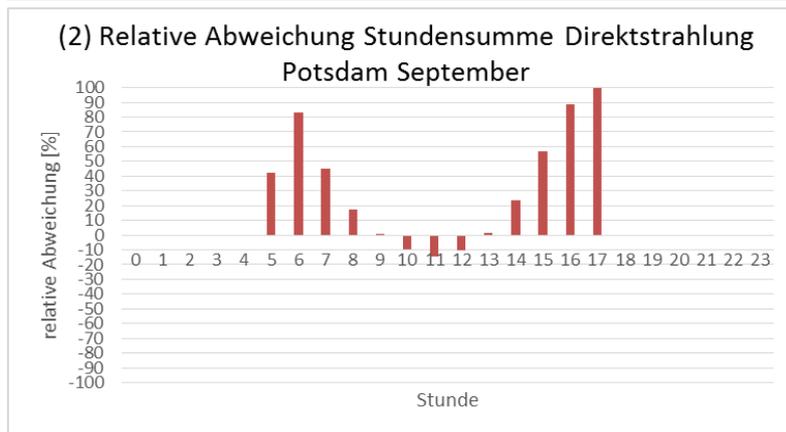
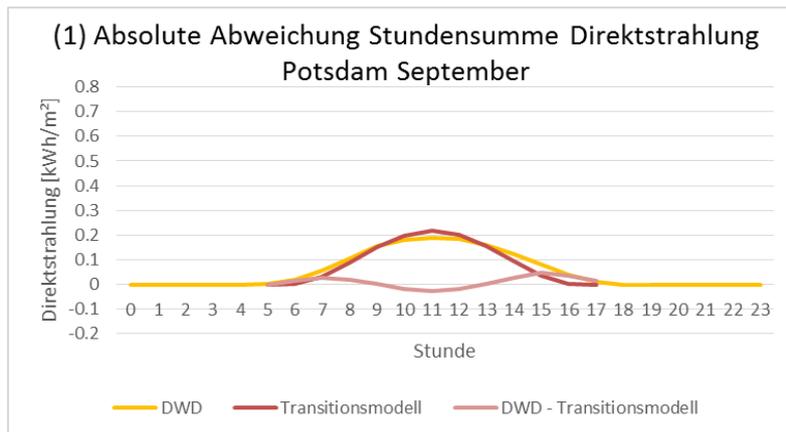


Abbildung 75 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für September: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

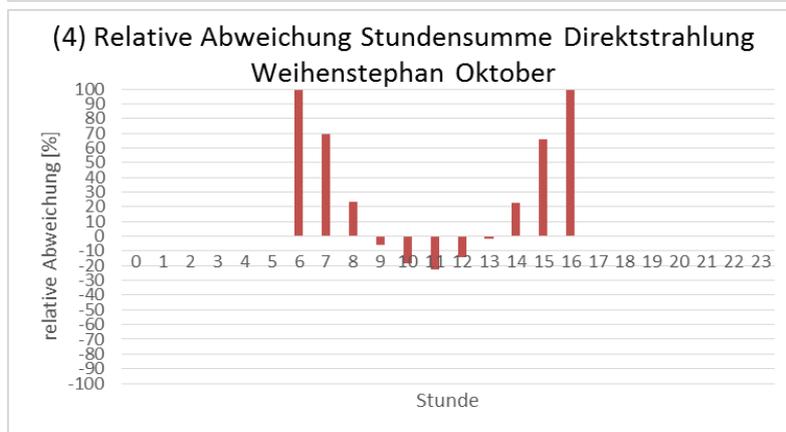
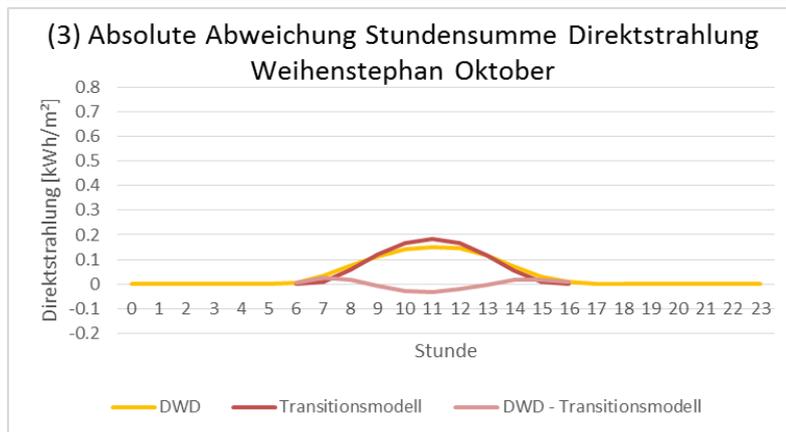
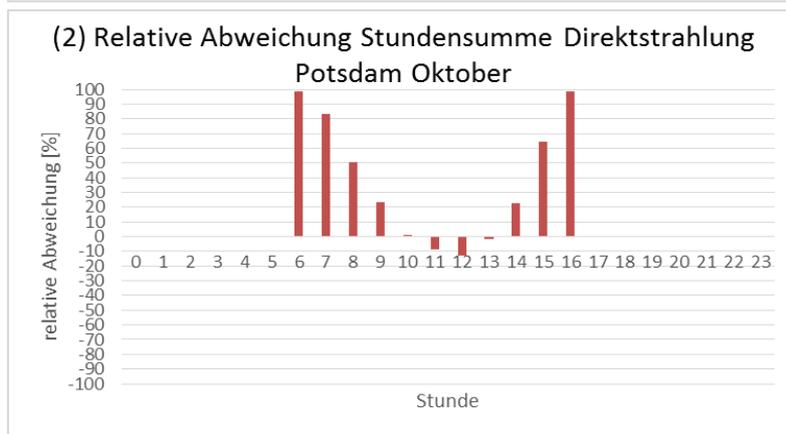
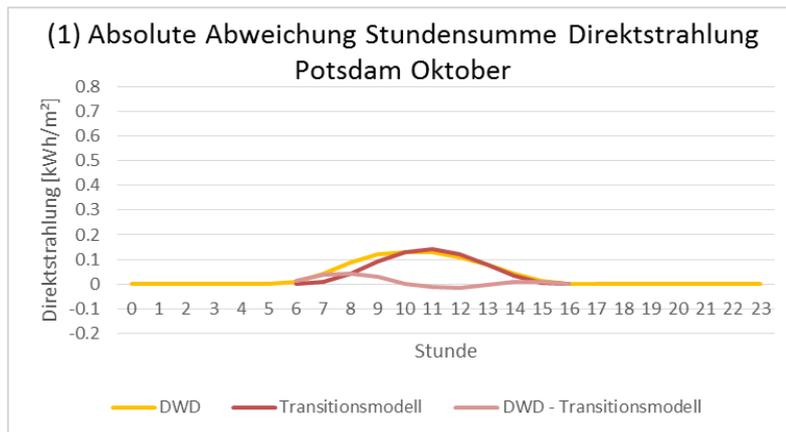


Abbildung 76 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Oktober: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

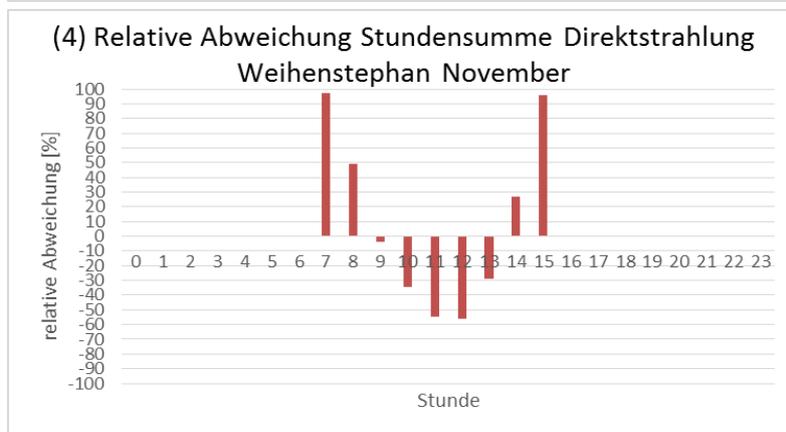
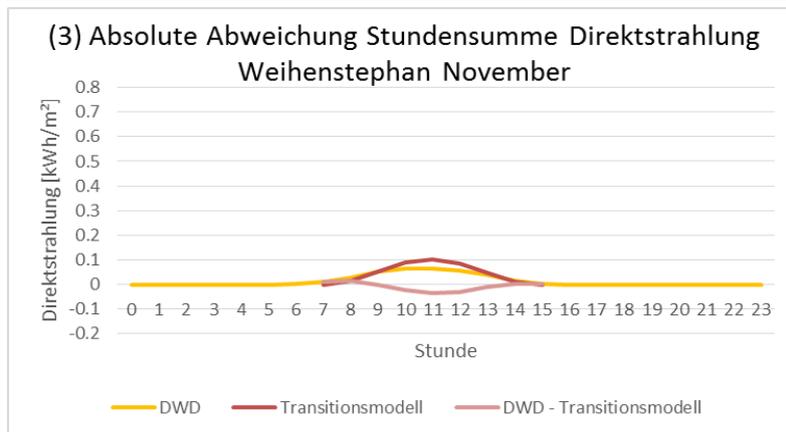
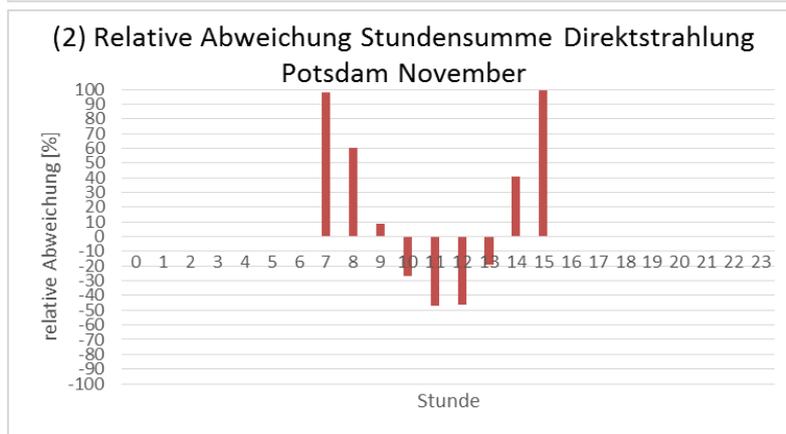
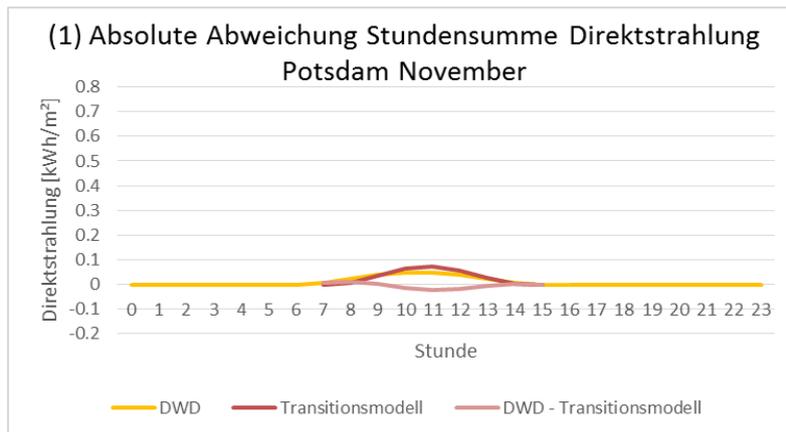


Abbildung 77 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für November: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

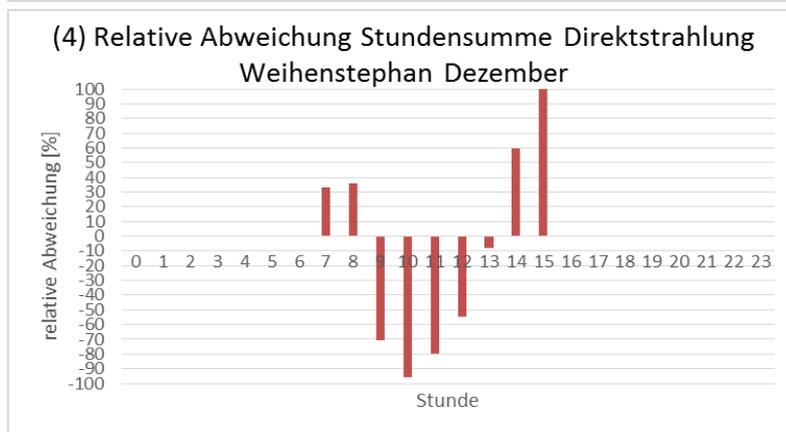
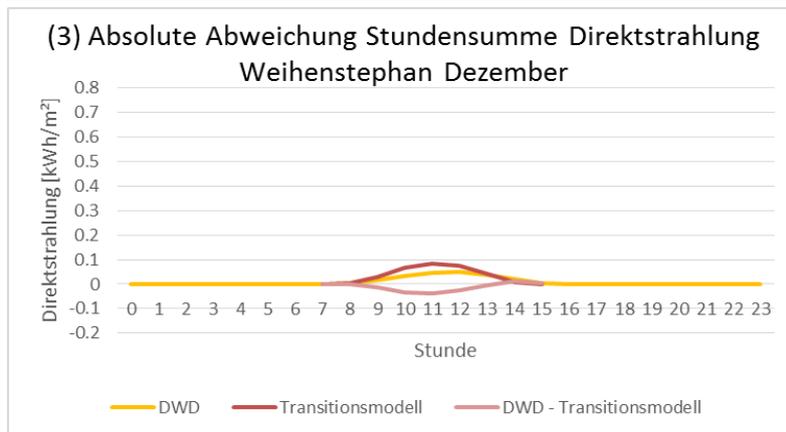
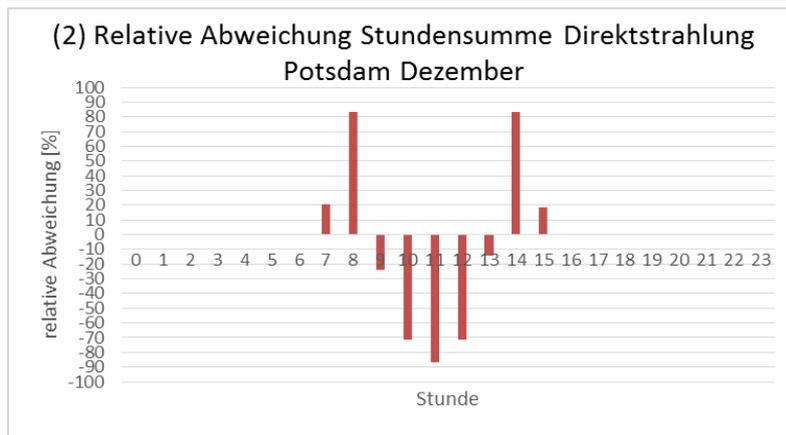
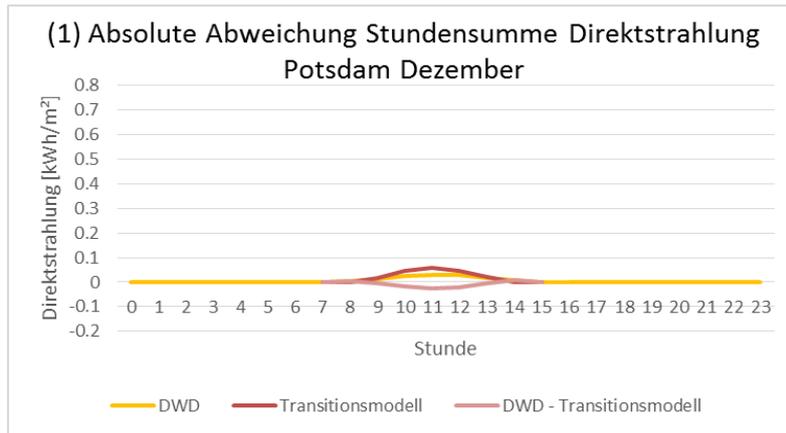


Abbildung 78 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Direktstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Dezember: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

10.4.2.3 Diffusstrahlung

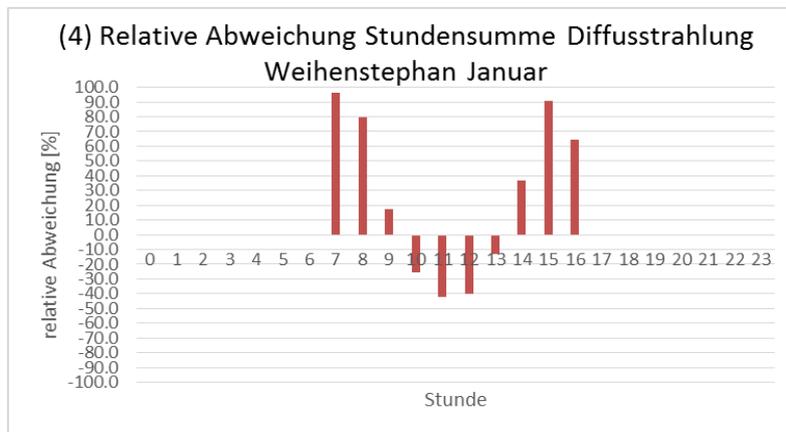
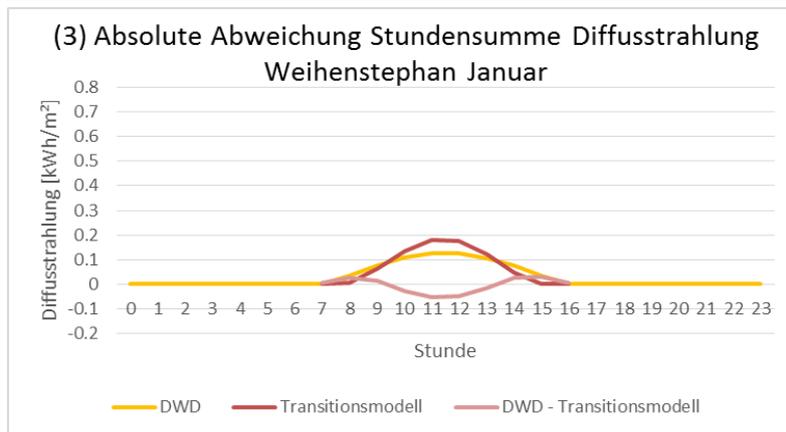
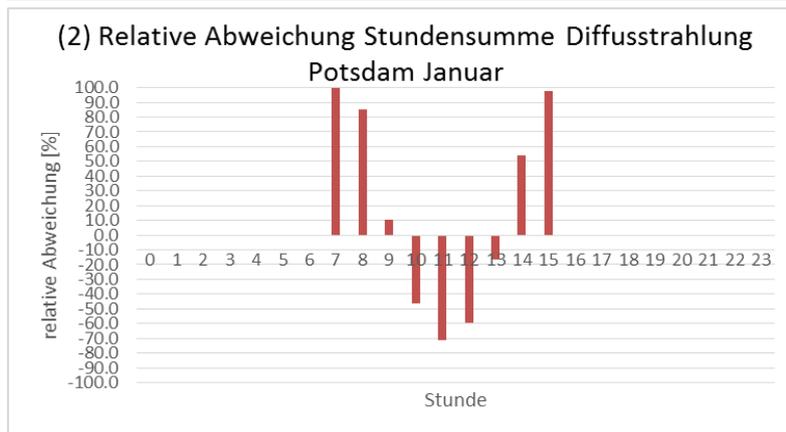
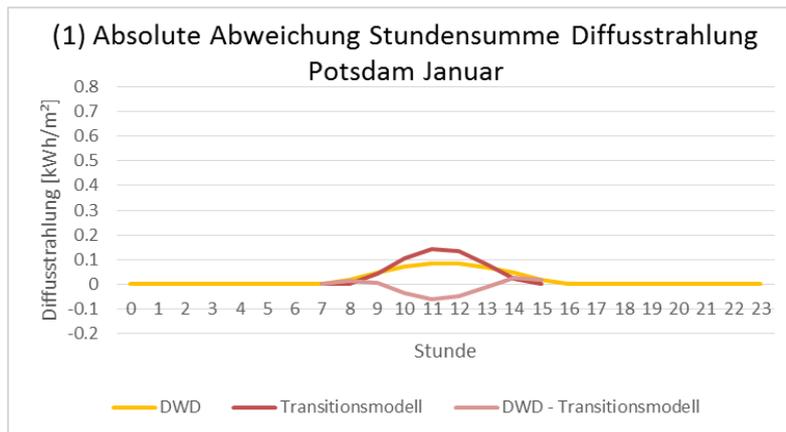


Abbildung 79 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Januar: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

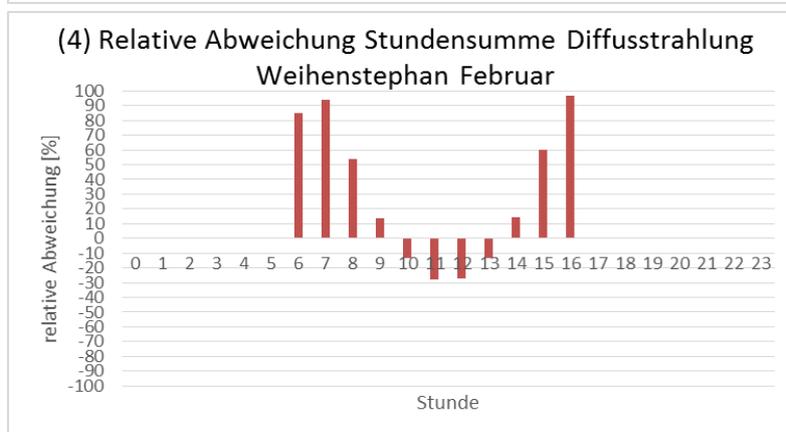
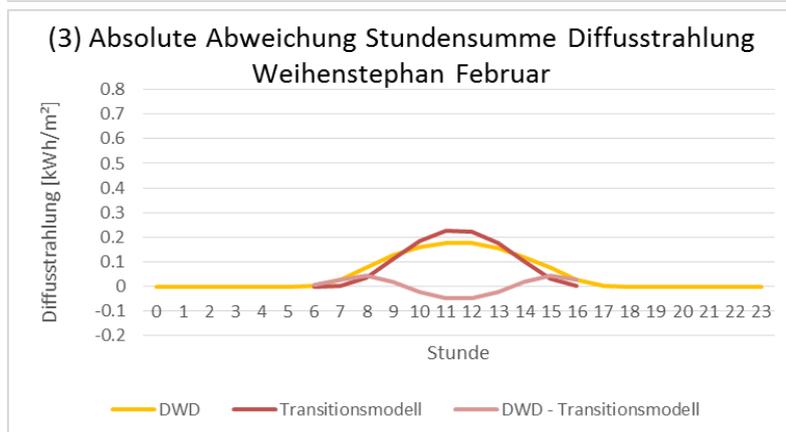
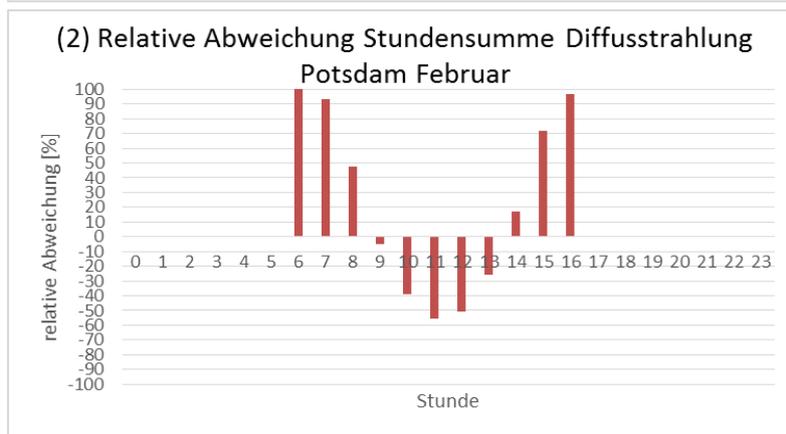
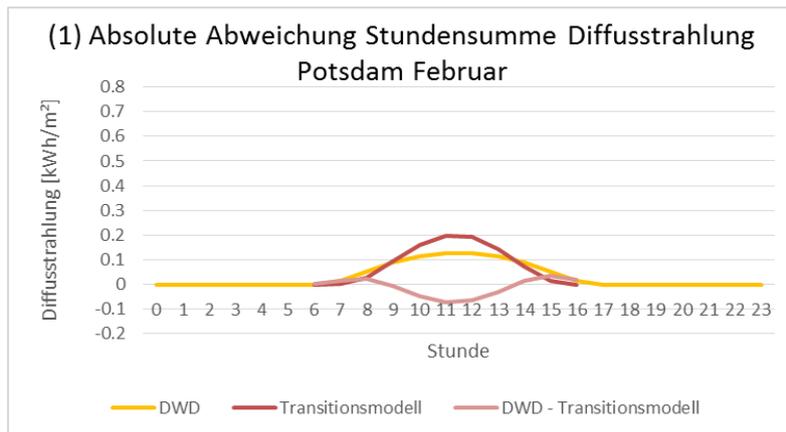


Abbildung 80 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Februar: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

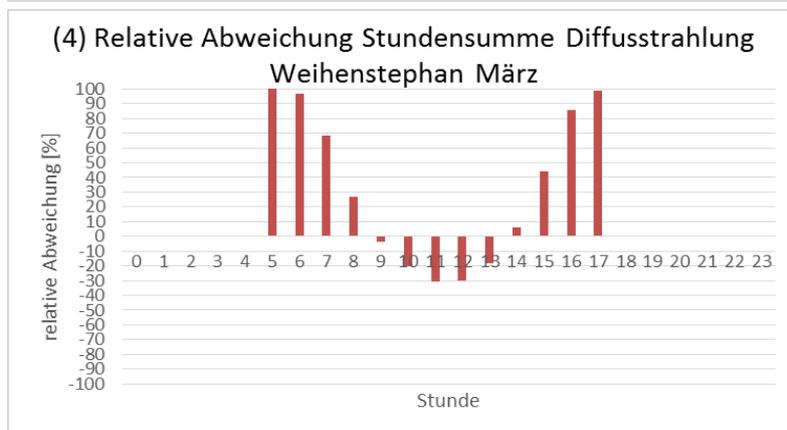
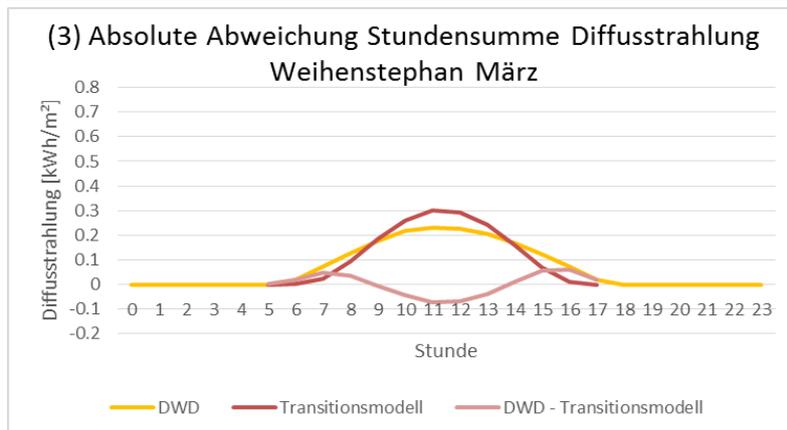
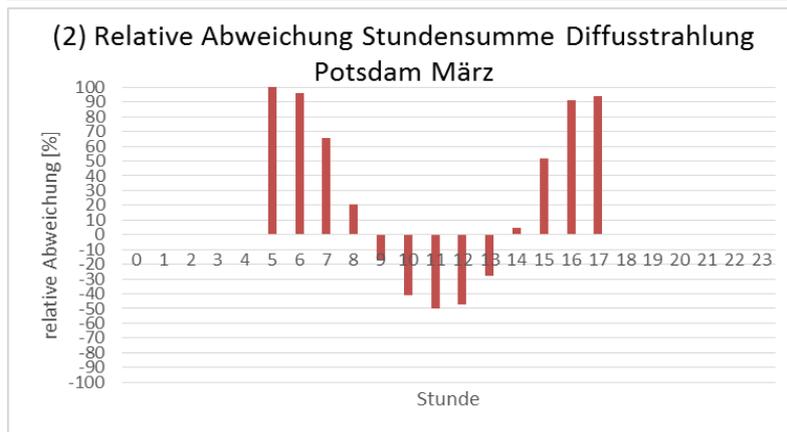
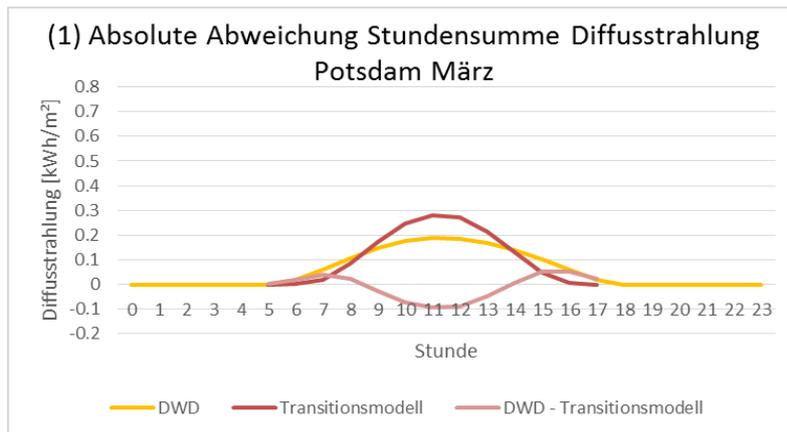


Abbildung 81 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für März: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

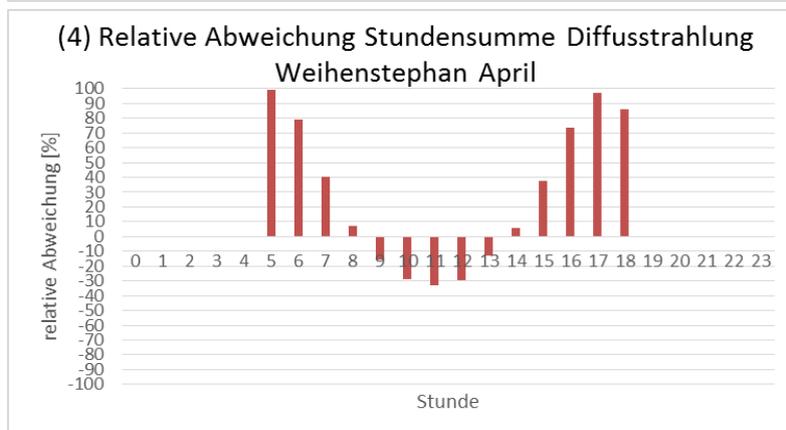
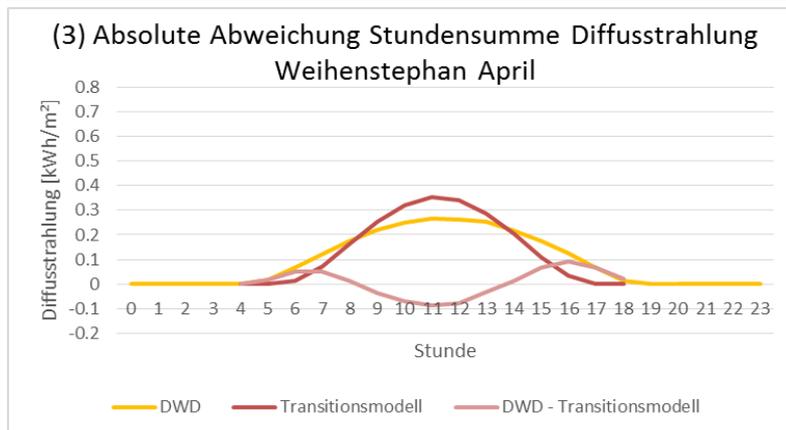
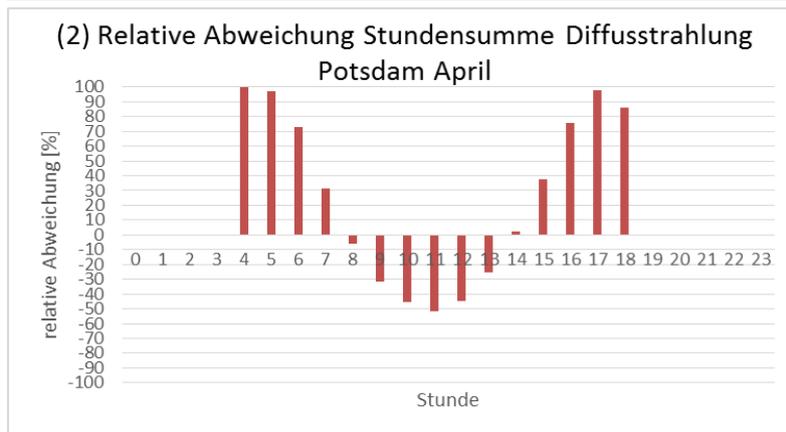
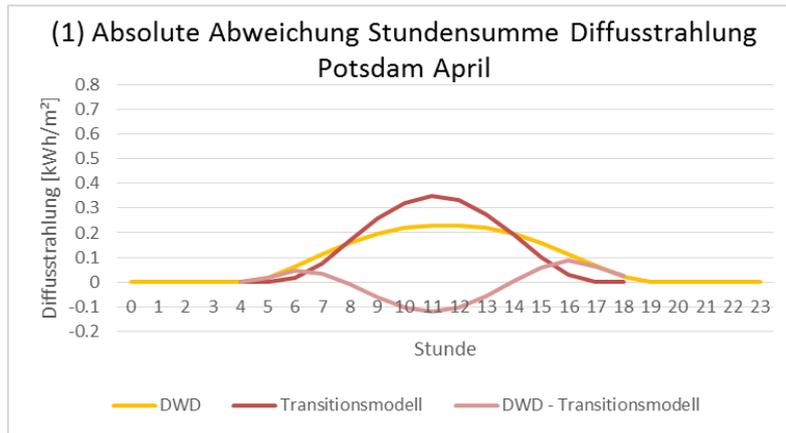


Abbildung 82 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für April: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

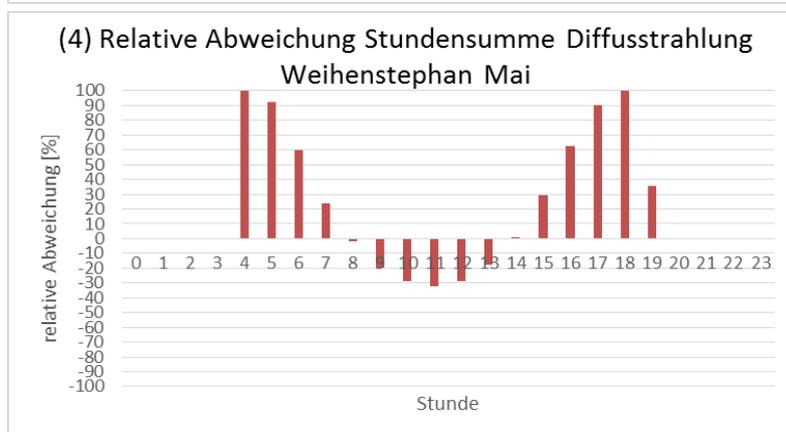
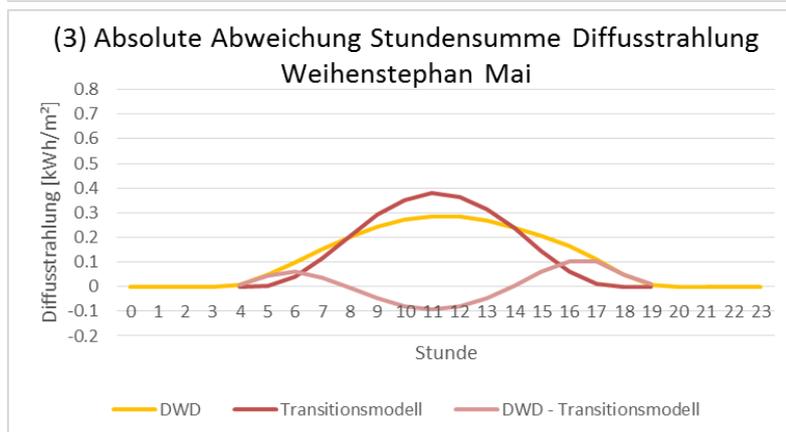
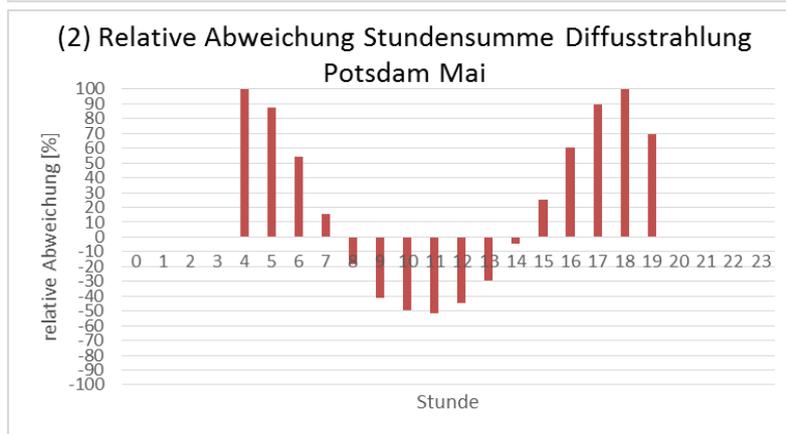
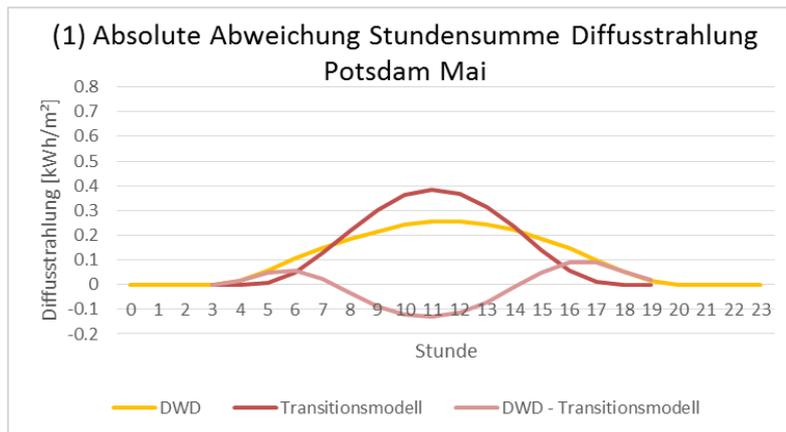


Abbildung 83 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Mai: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

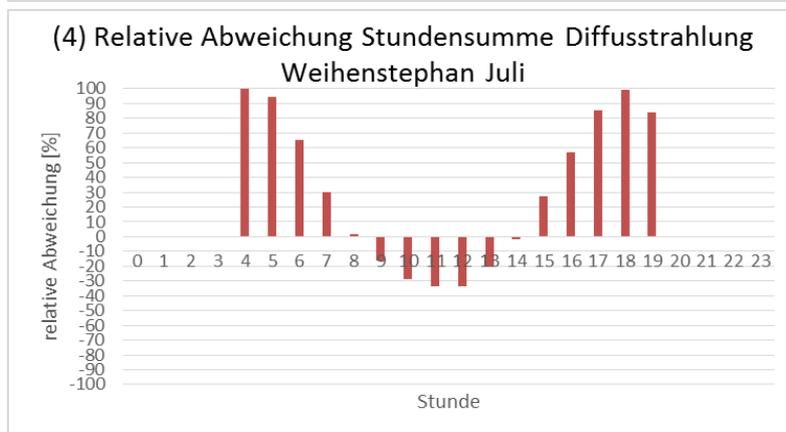
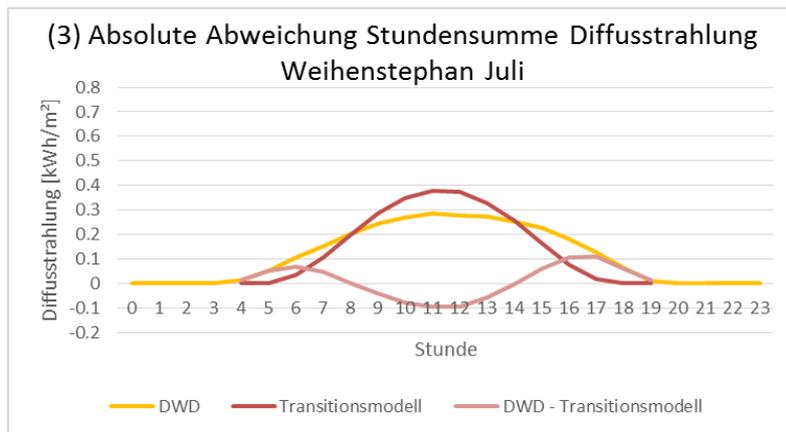
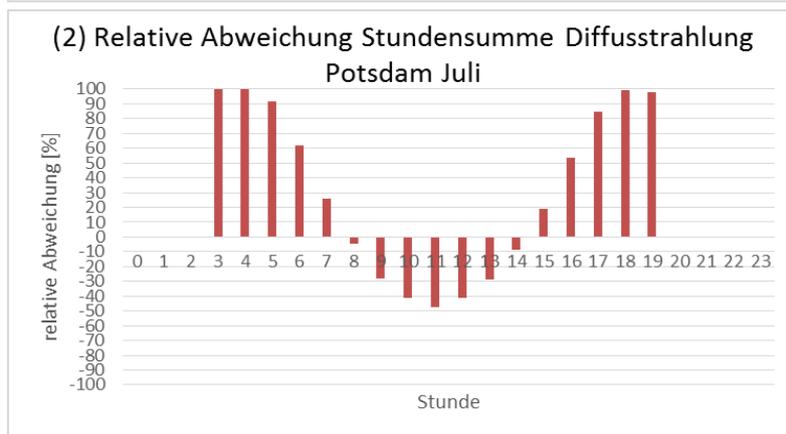
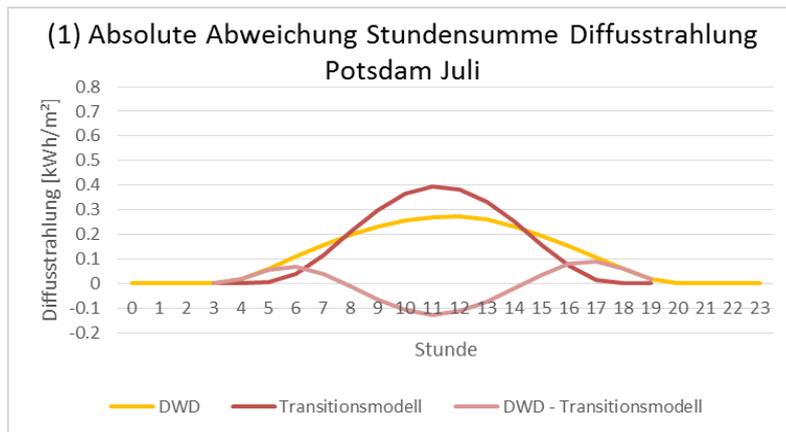


Abbildung 84 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Juli: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

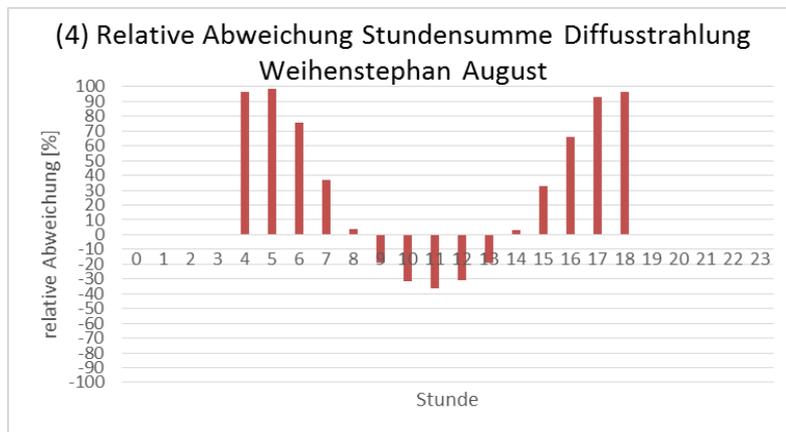
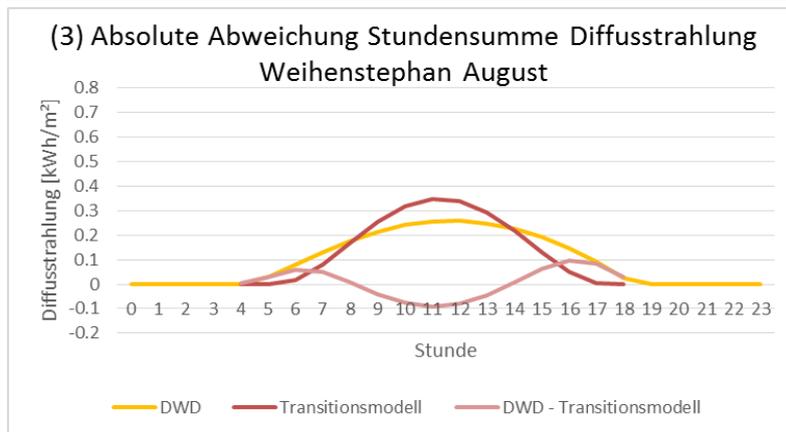
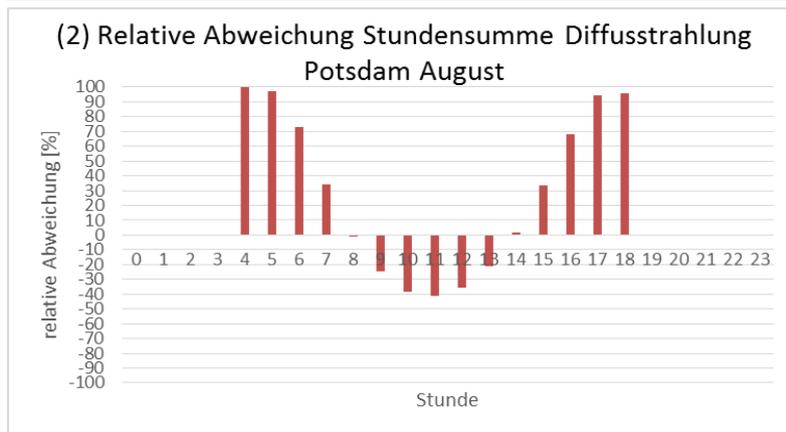
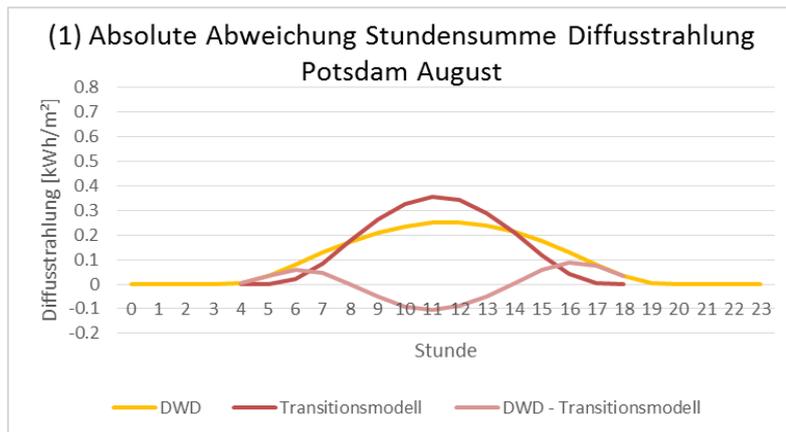


Abbildung 85 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für August: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

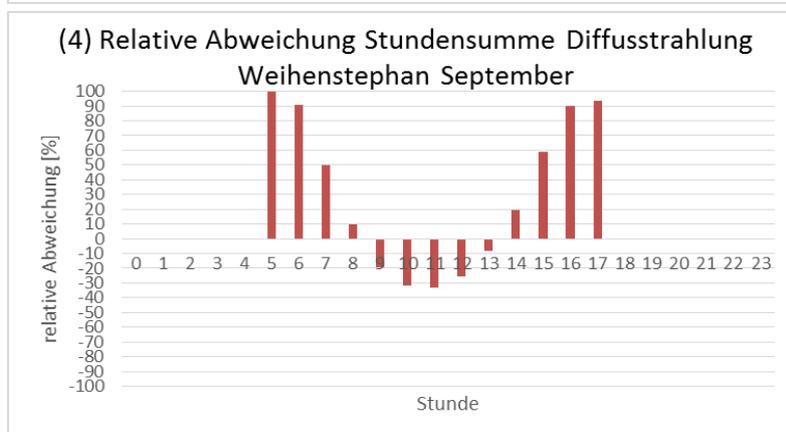
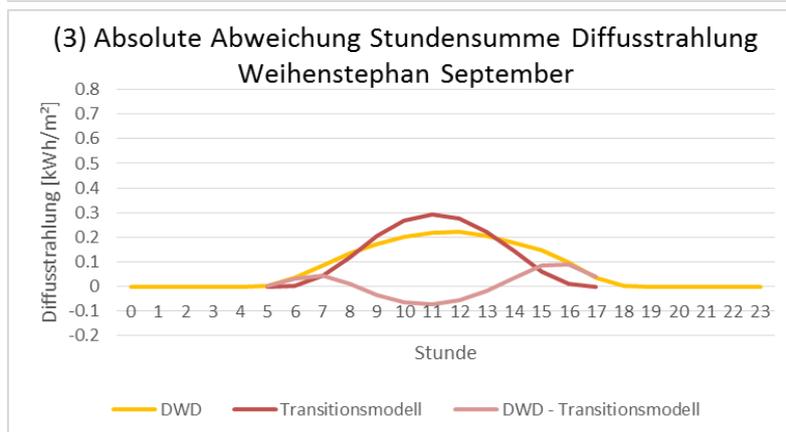
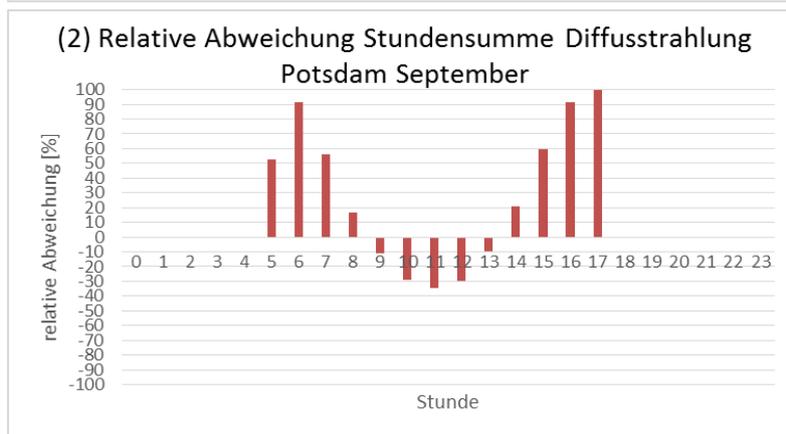
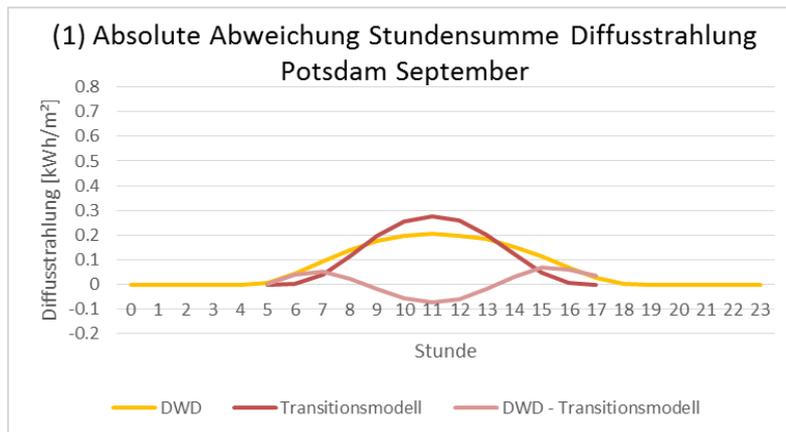


Abbildung 86 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für September: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

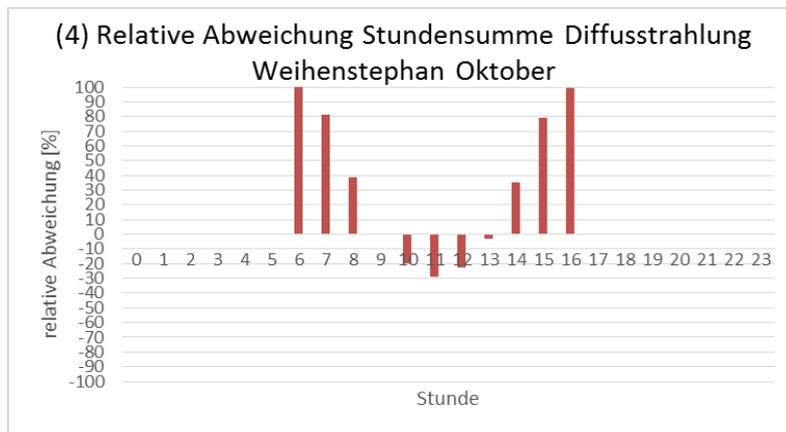
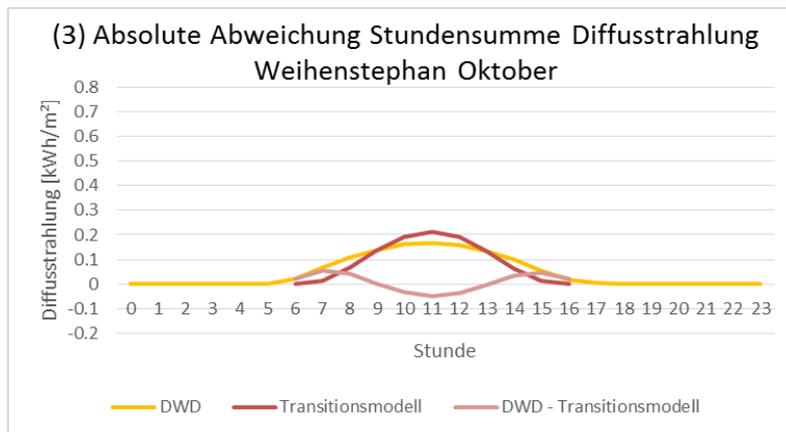
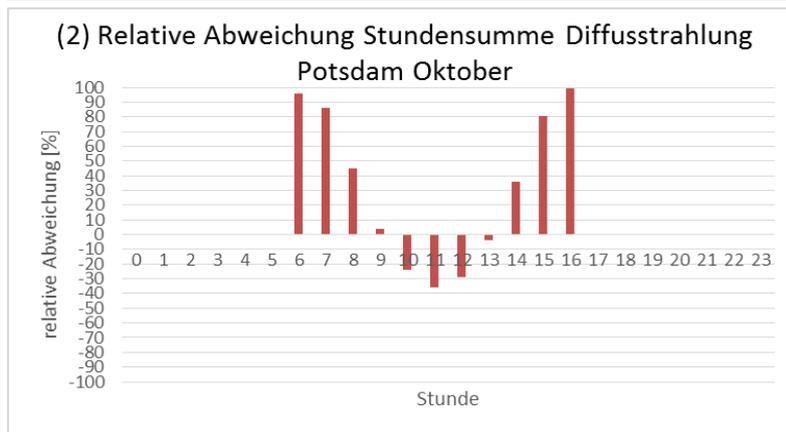
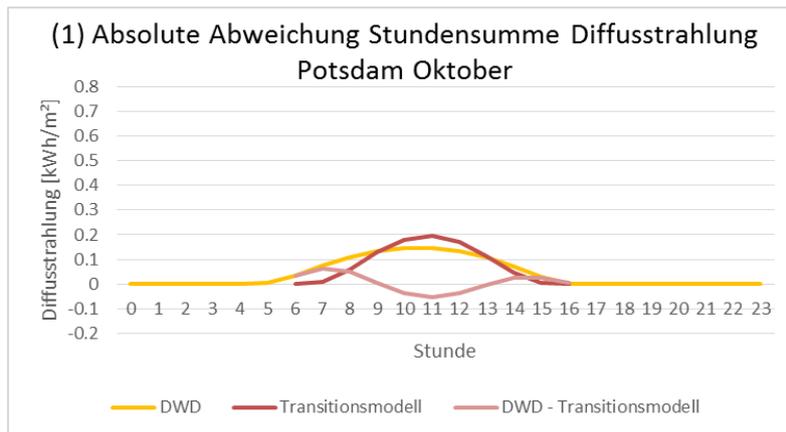


Abbildung 87 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Oktober: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

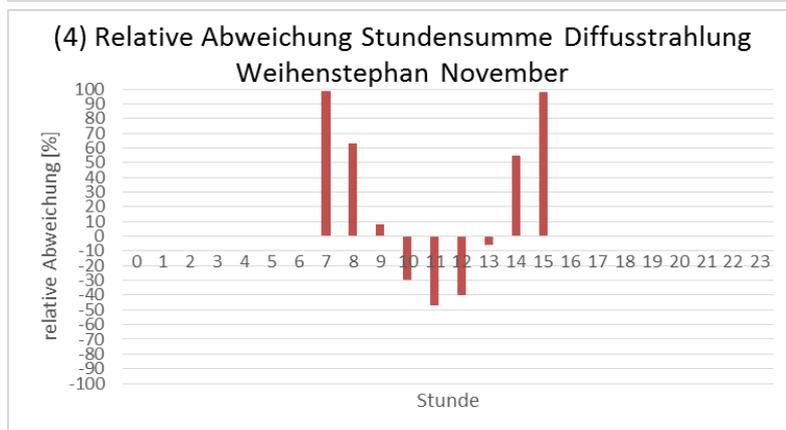
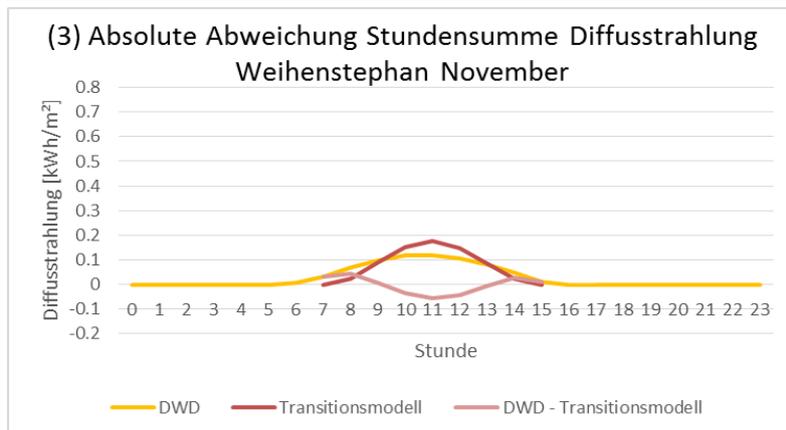
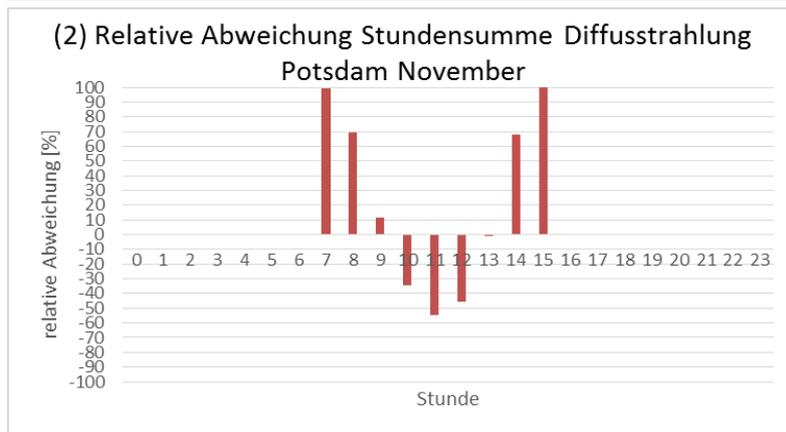
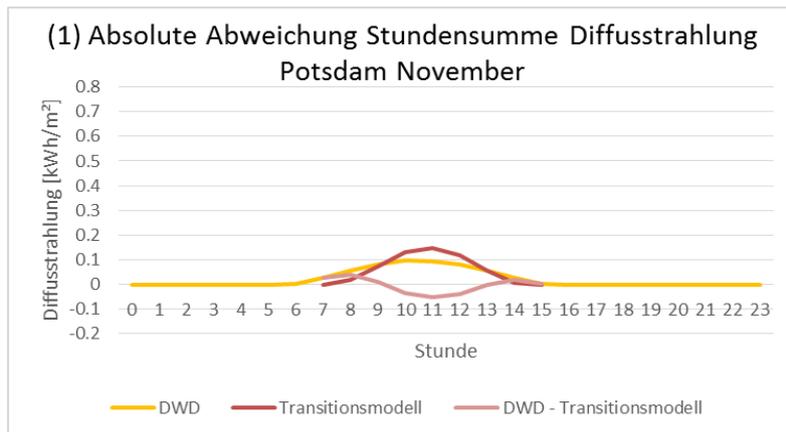


Abbildung 88 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für November: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)

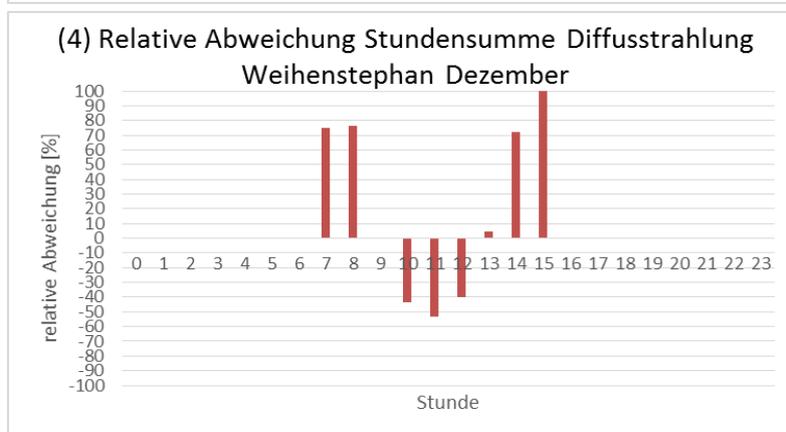
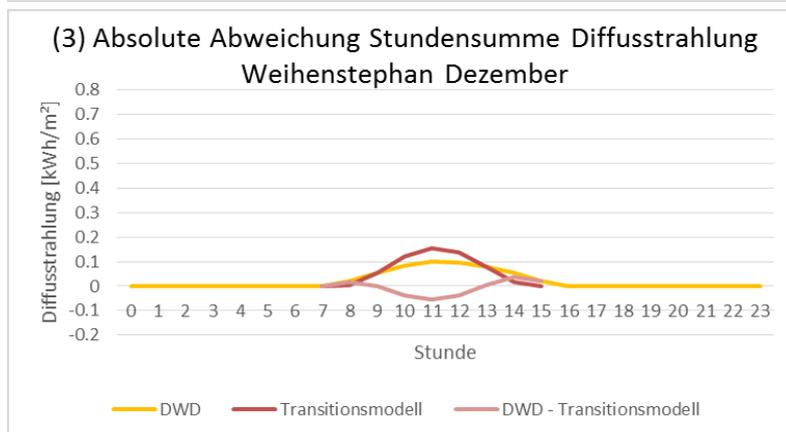
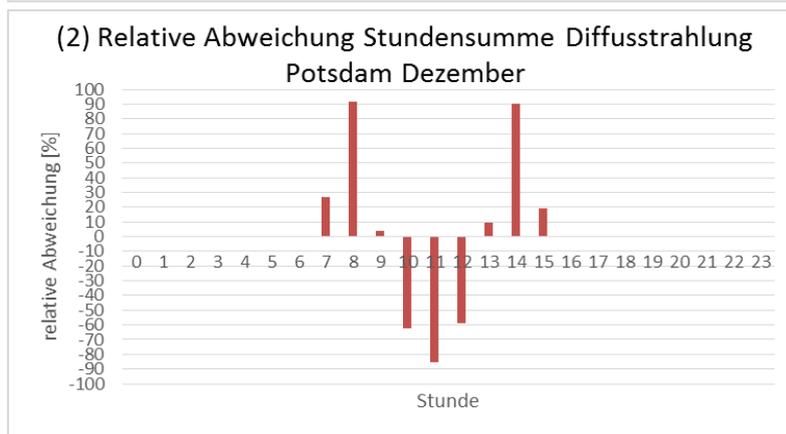
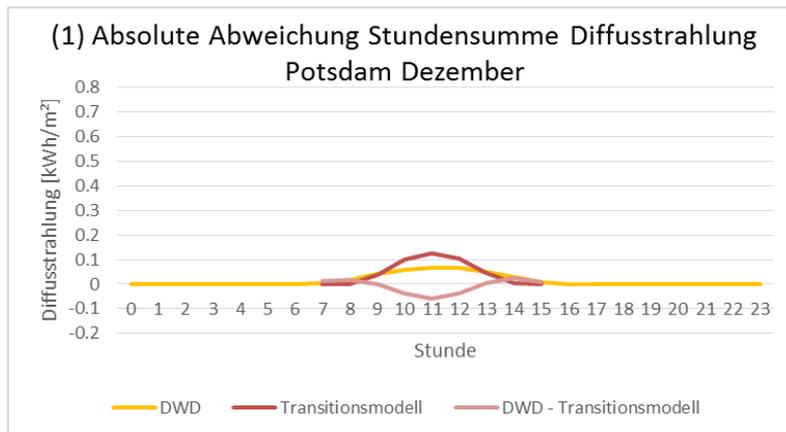


Abbildung 89 Durchschnittliche stündliche Abweichungen der Diffusstrahlungswerte zwischen DWD und Transitionsmodell für Dezember: Absolute Abweichungen für Potsdam (1), relative Abweichungen für Potsdam (2), absolute Abweichungen für Weihenstephan (3), relative Abweichungen für Weihenstephan (4)