
Methodenvorschlag zur Berechnung der Sonneneinstrahlung für Prognosen

Larissa Hille

Methodenvorschlag zur Berechnung der Sonneneinstrahlung für Prognosen

Mathematische Verfahren für die
ingenieurtechnische Anwendung

Larissa Hille
Bielefeld, Deutschland

ISBN 978-3-658-43175-4 ISBN 978-3-658-43176-1 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-43176-1>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2024

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Daniel Froehlich

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Das Papier dieses Produkts ist recyclebar.

Vorwort

In diesem Buch werden zwei neue Verfahren vorgestellt, die es ermöglichen, die Sonneneinstrahlung auf der Erde exakter und schneller zu berechnen. Das Verfahren zur Berechnung diffuser Strahlung verwendet Informationen über die Konzentrationen atmosphärischer Partikel und die Sonnenposition, um die Verteilung der Strahlung in der Erdatmosphäre zu bestimmen. Sein Vorteil gegenüber anderen für solche Berechnungen einsetzbaren Verfahren ist, dass es Teile der berechneten Lösungen wiederverwenden kann und deshalb nach einer gewissen Anlaufzeit sehr schnell wird. Das zweite Verfahren ist eine schnelle und exakte Berechnung der Sonnenposition.

Beide Verfahren wurden mithilfe von Excel-Tabellen getestet. Diese können auf der Internetseite des Springer-Verlags zu diesem Buch heruntergeladen werden.

Mit dieser Veröffentlichung möchte ich Menschen erreichen, die sich mit der Erstellung von Leistungsprognosen für Photovoltaikanlagen und mit der Berechnung von Wetterprognosen befassen. Ich möchte helfen, die Genauigkeit der Prognosen für die Solarenergie zu erhöhen, um eine effizientere Nutzung der erneuerbaren Energie zu ermöglichen. Außerdem hoffe ich, dass meine Verfahren zur Verbesserung von Wettermodellen beitragen können.

Ich möchte mich in diesem Vorwort bei Menschen bedanken, die mir bei meiner Arbeit an diesem Projekt geholfen haben. An erster Stelle möchte ich meinen Mann Armin erwähnen, der ein tiefes Verständnis für Physik und Technik besitzt und mir bei vielen Fragen mit einer Erklärung oder mit einem Buch aus seiner umfassenden Fachbüchersammlung helfen konnte und der außerdem in der Zeit, in der ich an meinem Projekt gearbeitet habe, den Großteil der Hausarbeiten übernahm. Ich danke meiner Tochter Marina, die ihrem Vater hilft und mit mir zusammen Sport macht. Ich bedanke mich bei meiner Tochter Alexandra und allen Kindern und Erwachsenen, die 2019 für Fridays for Future auf die Straße gingen, weil sie mich dazu bewegt haben, eine Ideensuche gegen den Klimawandel zu starten. Ebenso bedanke ich mich bei meinem Bruder Gilani für das Einrichten eines Laptops. Ich danke dem Springer-Verlag und seinen Mitarbeitern für das Interesse an diesem Buch. Insbesondere danke ich dem Cheflektor für Energie und Umwelttechnik Dr. Daniel Fröhlich, weil sein Rat zu einer weiteren Recherche dazu

führte, dass sich mein ursprüngliches Konzept verbessert hat. Ich bedanke mich bei meinem Freund und ehemaligen Kollegen Jan Klingel, der mir beim Erstellen von Skripten zum Sortieren von Simulationsergebnissen geholfen hat.

Bielefeld
26.07.2023

Larissa Hille

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Entwicklung der optischen Forschung	1
1.2	Zum Problem der Berechnung von Strahlungsverteilungen	4
1.3	Grundlegende Begriffe der Strahlungsübertragung	5
1.3.1	Streuung und Absorption	6
1.3.2	Raumwinkel	6
1.3.3	Strahlungsgrößen	7
	Literatur	8
 Teil I Berechnen diffuser Strahlung		
2	Optische Tiefe in einer nicht homogenen Umgebung	11
2.1	Auslöschen der Strahlung in der Erdatmosphäre	12
2.1.1	Struktur der Erdatmosphäre	12
2.1.2	Zusammensetzung der Erdatmosphäre	13
2.1.3	Absorption der Sonnenstrahlung in der Erdatmosphäre	14
2.2	Wirkungsquerschnitte	16
2.3	Auslöschen des Lichts einer Punktlichtquelle	18
2.4	Modellfunktionen für Anzahldichte und Wirkungsquerschnitte	21
2.5	Optische Tiefe in einer kugelrunden Atmosphäre	24
2.5.1	Polynomielle Approximation	27
2.5.2	Berechnen des Integrals für die optische Tiefe	31
2.5.2.1	Erster Fall: Lineare Abhängigkeit von der horizontalen Position	34
2.5.2.2	Zweiter Fall: Quadratische Abhängigkeit von der horizontalen Position	37
2.6	Optische Tiefe in einer ebenen Atmosphäre	40
2.7	Extinktion direkter Sonnenstrahlung	45

2.8	Eigenschaften der Modellfunktionen	50
2.8.1	Ortsabhängigkeit einer Modellfunktion	51
2.8.2	Kombinieren mehrerer Modellfunktionen	53
2.8.3	Berechnen der optischen Tiefe mithilfe von Standardstrecken	58
	Literatur	63
3	Mehrfachstreuung	65
3.1	Einfache Streuung	66
3.1.1	Rayleigh-Streuung	67
3.1.2	Mie-Streuung	70
3.1.3	Lichtstreuung an Eiskristallen und Aerosolpartikeln	76
3.2	Elliptisch polarisierte Wellen und natürliches Licht	76
3.3	Verteilen der Leistung bei einer einfachen Streuung	77
3.3.1	Leistungsverteilung bei Mie-Streuung	78
3.3.1.1	Verteilen der Leistung bei Rayleigh-Streuung	82
3.4	Lichtstreuung in einem gleichmäßigen Nebel	83
3.4.1	Koordinatensysteme	84
3.4.2	Verteilungsfunktionen für die Wahl einer Streurichtung	86
3.4.2.1	Berechnen von Verteilungsfunktionen	87
3.4.3	Monte-Carlo-Simulation der Lichtstreuung	89
3.4.3.1	Startbedingungen	89
3.4.3.2	Wahl einer Streuebene	90
3.4.3.3	Wahl eines Streuwinkels	90
3.4.3.4	Polarisieren des Streulichts	90
3.4.3.5	Aktualisieren der Umrechnungsmatrix	91
3.4.3.6	Wahl des nächsten Streuzentrums	92
3.4.3.7	Wechsel zum nächsten Streuzentrum	92
3.4.3.8	Berechnen der Entfernung vom Mittelpunkt	93
3.4.3.9	Auswerten des Versuchs	93
3.4.3.10	Protokollieren der Ergebnisse	97
3.4.3.11	Vergrößern des Zielradius	99
3.4.3.12	Prüfen der Endbedingungen	99
3.4.4	Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation	100
3.5	Mehrfache Streuung in einer nicht homogenen Umgebung	105
3.5.1	Koordinatensystem zur Berechnung der optischen Tiefe	106
3.5.2	Veränderung der Anzahldichte	107
3.5.3	Funktion zur Berechnung der optischen Tiefe	107
3.5.4	Entfernung zwischen zwei Streuzentren in einer nicht homogenen Umgebung	109

3.5.5	Wahl einer Streurichtung bei wechselnden Mischverhältnissen der Teilchen	114
3.5.6	Durchführen einer Simulation	115
	Literatur	120
4	Berechnung der Strahlungsintensität	121
4.1	Strahlungsintensität an der Grenze einer Atmosphärenschicht	122
4.1.1	Koordinatensysteme	123
4.1.2	Energieflussdichte der einfallenden Strahlung	125
4.1.2.1	Transmissionsgrad des Weges von der Schichtgrenze zum ersten Streupunkt	126
4.1.2.2	Einfallender Strahlungsfluss	128
4.1.2.3	Approximation des Transmissionsgrades mit einer polynomiellen Funktion	130
4.1.2.4	Approximation der Strahlungsintensität mit einer linearen Funktion	133
4.1.3	Streustrahlung aus einem kleinen Volumen	134
4.1.3.1	Energieaufnahme aus der einfallenden Strahlung	134
4.1.3.1.1	Energieflussdichte der einfallenden Strahlung	135
4.1.3.1.2	Energieaufnahme aus dem einfallenden Strahlungsfluss	136
4.1.3.2	Interpolieren der Simulationsergebnisse	139
4.1.3.3	Identifizieren passender Statistiken	142
4.1.3.4	Intensität der mehrfach gestreuten Strahlung aus einem kleinen Volumen	148
4.1.3.5	Intensität der einfach gestreuten Strahlung aus einem kleinen Volumen	149
4.1.4	Intensität der mehrfach gestreuten Strahlung	150
4.1.4.1	Aufteilen des Volumens in Integrationsgebiete	150
4.1.4.2	Volumenintegral zur Berechnung der Strahlungsintensität	152
4.1.4.3	Rückführung auf einfache Volumenintegrale	154
4.1.4.4	Berechnen des Volumenintegrals	160
4.1.5	Intensität der einfach gestreuten Strahlung	168
4.1.6	Beispielrechnung	171
4.1.7	Variieren der Einfallsrichtung	176
4.2	Anwendbarkeit des Verfahrens zum Berechnen atmosphärischer Strahlung	179
	Literatur	179

Teil II Bahndynamik

5 Berechnen der Sonnenposition	183
5.1 Bahndynamik der Erde	184
5.1.1 Erdbahn	184
5.2 Fläche eines Ellipsensektors	186
5.2.1 Berechnen des Integrals für die Fläche eines Ellipsensektors	189
5.2.2 Nutzen der Formel für astronomische Berechnungen	191
5.3 Position der Erde auf der Erdbahn	192
5.4 Sonnenstandsberechnung	197
Literatur	203