

Erfassung solarer Strahlung

Eine Meteosat-Anwendung

F. Otterbach, D. Schulze-Kegel, F. D. Heidt

Universität GH Siegen, Fachgebiet Bauphysik und Solarenergie

Zahlreiche moderne Solarenergie- und klimatologische Anwendungen erfordern Zugang zu geographisch lückenlosen Solarstrahlungsdaten. Seit vielen Jahren existiert in Europa ein Strahlungsmeßnetz aus Bodenstationen. Aufgrund der hohen Betriebskosten beträgt der mittlere Abstand zwischen den einzelnen Stationen für Europa über 100 km. Die räumliche Auflösung kann dadurch erhöht werden, daß zwischen den Stationen nach verschiedenen Algorithmen räumlich interpoliert wird. Bei einer gewünschten zeitlichen Auflösung von einer Stunde ist die Genauigkeit der so erhaltenen Daten jedoch relativ gering, da Inhomogenitäten in der Wolkenstruktur nicht berücksichtigt werden können.

Eine weitere Quelle für Strahlungsdaten bieten die Bildinformationen der fünf zur Zeit operationell betriebenen geostationären Satelliten, die sich auf verschiedenen Längengraden in etwa 36.000 km Höhe über dem Äquator befinden. Mit ihnen können relativ kostengünstig für einen gleichbleibenden Erdausschnitt halbstündliche Strahlungsdaten in verschiedenen Spektralbereichen empfangen werden.

Die in diesem Vorhaben benutzten Bilder stammen vom europäischen Wettersatelliten METEOSAT, der sich über dem Golf von Guinea am 0°-Meridian befindet. Im sichtbaren Spektralbereich (VIS: 0,5-0,9 µm) tastet das Radiometersystem die von Erdoberfläche und Wolken reflektierte Strahlung punktweise ab. Die räumliche Auflösung am Nadirpunkt des Satelliten beträgt dabei 2,5 × 2,5 km². Da die Bildpunktgröße mit zunehmendem Zenitwinkel des Satelliten wächst, beträgt die räumliche Auflösung für Mitteleuropa ca. 3 × 4,5 km² pro Pixel. Damit stehen für Deutschland etwa 27.000 Meßpunkte zur Erfassung der Globalstrahlung zur Verfügung.

Nach einigen Aufbereitungsschritten (Kontrastverstärkung, Eintragung von Landmarken) werden die Bilder im WEFAX-Format (Weather FACSimile) an die Empfangsstationen gesendet, so daß die Daten bereits 5-9 Minuten nach der Abtastung des Erdausschnitts den Nutzern zur Verfügung stehen.

Auswertungsverfahren

Es existieren mehrere statistische Verfahren zur Bestimmung von Einstrahlungsdaten aus Satellitenbildern (Zelenka et al., 1992). Diesen Verfahren liegt zu Grunde, daß die Bodeneinstrahlung durch die atmosphärische Transmission und damit in erster Näherung durch die Bewölkung bestimmt wird. Letztere kann im

sichtbaren Spektralbereich gemessen werden, da Wolken eine höhere Rückstreuung als Landoberflächen aufweisen. Schwierigkeiten bereitet lediglich die Erkennung von Schnee, da dieser ebenfalls relativ hohe Rückstreuwerte liefert.

Mit zunehmender Bewölkung vermindert sich die Einstrahlung am Boden. Aus den Satellitenbildern muß daher eine Größe abgeleitet werden, die die Bewölkungsverhältnisse möglichst genau beschreibt. Dieser Bewölkungsparameter kann dann direkt mit der Bodeneinstrahlung verknüpft werden, wobei der funktionale Zu-

sammenhang zuvor über eine Regression mit Bodenmeßwerten bestimmt wird. Im beschriebenen Projekt werden die Globalstrahlungskarten durch Auswertung der Satellitenbilder mit Hilfe des von der École Nationale Supérieure des Mines de Paris (ENSMP, Sophia-Antipolis, Frankreich) entwickelten HELIOSAT-Verfahrens erstellt (Cano 1982).

Dieses statistische Verfahren ist seit einigen Jahren erprobt, und es lagen bereits zu Projektbeginn entsprechende positive Erfahrungen aus verschiedenen Instituten vor (Schweizerische Meteorologische Anstalt, Zelenka 1992). In der angewendeten HELIOSAT-Methode werden die Satellitenbilder des VIS-Kanals zunächst mit Hilfe einer Sonnenstands- und Atmosphärenkorrektur zu normierten Rückstreuwerten (Albedowerten) umgerechnet, die die unterschiedliche Länge des Strahlungswegs durch die Atmosphäre berücksichtigen. Aus einer Reihe derart normierter Bilder läßt sich

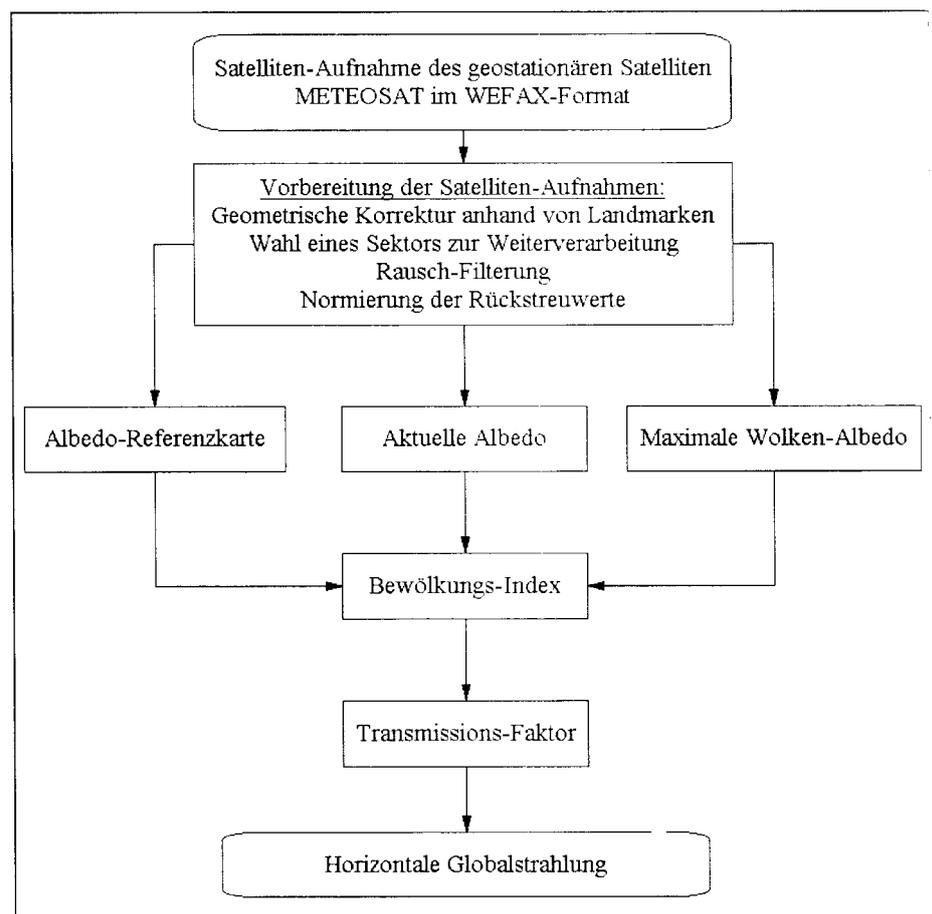


Abb. 1: Synoptisches Schema der Heliosat-Methode

(alle Fotos: GH Siegen)

durch Ausfiltern der bewölkten Werte eine Referenzkarte des unbewölkten Bodensignals konstruieren. Mit Hilfe eines inversen Prozesses wird einmalig ein maximales Wolkensignal bestimmt. Durch Vergleich eines normierten Bildes mit dieser Referenzkarte können Wolken lokalisiert und für jeden Bildpunkt ein Bewölkungsindex berechnet werden. Über eine statistisch gewonnene lineare Beziehung wird dieser Index, der die prozentuale Bewölkung pro Bildpunkt angibt, mit dem atmosphärischen Transmissionsfaktor verknüpft. Daraus wird schließlich bei bekannter extraterrestrischer solarer Einstrahlung die Globalstrahlung in Bodenhöhe berechnet. Um die saisonbedingten Variationen des Bodensignals zu berücksichtigen, wird die Referenzkarte im Verlauf der routinemäßigen Verarbeitung durch gewichtete Mittelung des gegenwärtigen Rückstreuwwerts eines wolkenfreien Bildpunktes mit dem vorher an diesem Punkt bestimmten Bodensignal aktualisiert.

Software zur Strahlungsanalyse

Die grundlegende Software zur Strahlungsanalyse stammt von der

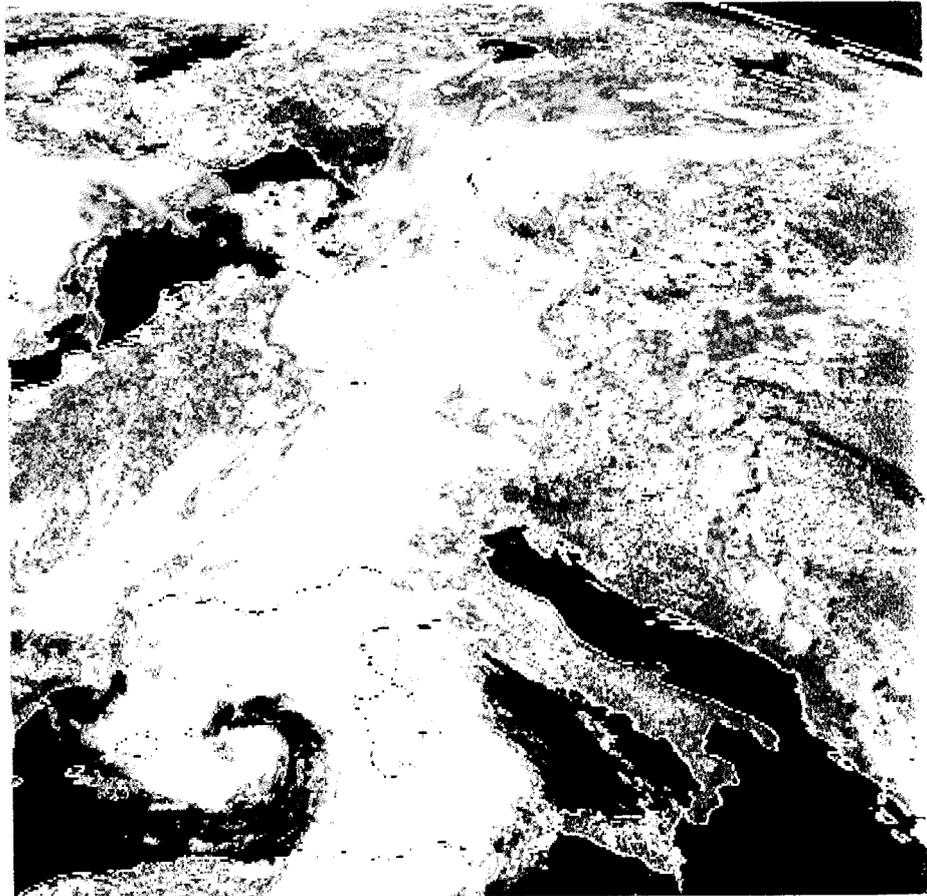


Abb. 2: Original METEOSAT-Aufnahme (Falsch-Farben-Darstellung)

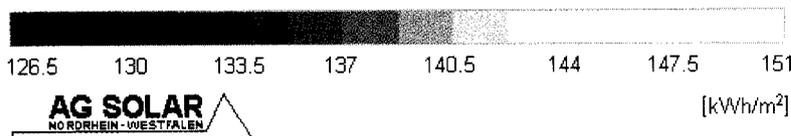
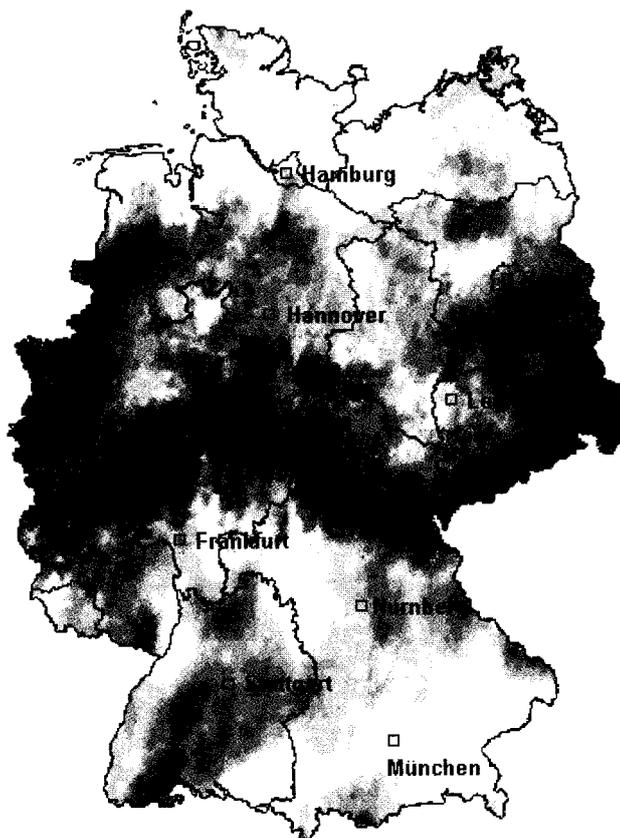


Abb. 3: Monatssumme der Globalstrahlung in Deutschland für Mai 1996

ENSMP (Diabaté et al 1988). Nach einer Fehlerbereinigung konnte die Software derart erweitert werden daß eine automatische Auswertung von Stunden- und Tagessummen sowie der Monatsmittel der Tagessummen mit einer Auflösung von 1 Wh/m² pro Bildpunkt möglich wurde.

Seit März 1994 werden in Siegen für den Ausschnitt Mitteleuropa zwischen 8:38 Uhr und 15:38 Uhr halbstündlich Bilder des VIS-Kanal gespeichert. Daraus werden nach dem oben genannten Verfahren Stunden- und Tagessummen der Globalstrahlung bestimmt. Am jeweiligen Monatsende wird das Monatsmittel der Tagessummen für jeden Bildpunkt berechnet.

Zur Darstellung der Strahlungsdaten wurde eine Software entwickelt die den gewählten Ausschnitt des METEOSAT-Bildes in eine flächengetreue Strahlungskartierung umwandelt. Die exakte Umrechnung der Bildpunktkoordinaten des METEOSAT-Bildes (Abb. 2) in die Abbildungskoordinaten der flächengetreuen Abbildung erfordert folgende Schritte: Unter Berücksichtigung der Erde als Rotationsellipsoid werden aus den METEOSAT-Bildkoordinaten Zeile und Spalte für jeden Bildpunkt zunächst die Beobachtungswinkel des Satelliten berechnet und darauf

dann die geographischen Koordinaten Längen- und Breitengrad bestimmt. Mit Hilfe der frei wählbaren Ausschnittsgrenzen können die Abbildungskordinaten einer polarstereographischen Projektion bestimmt und die Globalstrahlungswerte an den entsprechenden Koordinaten eingetragen werden.

Zur besseren Darstellung wurde die polarstereographische Projektion der Globalstrahlungswerte exakt auf einer dem Projektionsmaßstab angepaßten Landkarte abgebildet. Wahlweise können geographische Informationen wie Ländergrenzen, Städte oder Flüsse in diese Karte übernommen werden (Abb. 3)

Zur ersten vorläufigen Validierung der HELIOSAT-Methode für Deutschland wurden Strahlungsdaten aus Pyranometermessungen herangezogen. Im Zeitraum Juni 1994 bis Mai 1995 wurden Stunden- und Tagessummen der Globalstrahlung von 11 Meßstationen des Deutschen Wetterdienstes aufbereitet. Ein Vergleich der für die Monatskarten (Abb. 3) verwendeten Mittel der Tagessummen zwischen den satellitengestützten Werten nach dem HELIOSAT-Verfahren und den Bodenmeßdaten ergab eine Abweichung von 9,8 %. In Anbetracht des Fehlers von Pyranometermessungen von mindestens 3 % zeigt das HELIOSAT-Verfahren bereits akzeptable Schätzungen der Globalstrahlung. Eine Anpassung der Korrelationskoeffizienten zwischen Transmissionsfaktor und Bewölkungsindex wird zu einer weiteren Verbesserung führen.

Das Anwendungsspektrum

Das Spektrum der möglichen Anwendungen der HELIOSAT-Strahlungskartierungen reicht von wissenschaftlichen Untersuchungen über ingenieurtechnische Planungen bis hin zur Nutzung in Informationssystemen.

Durch die sehr hohe räumliche Auflösung können die Daten zur Verfeinerung vorhandener Strahlungskartierungen, wie z.B. der Test-Referenz-Jahre, dienen und stellen für Länder ohne Strahlungsmeßnetz (Nordafrika, Mittelmeerländer) eine grundlegende Datenbasis dar. Sie können zur besseren Auslegung und Planung von thermischen und photovoltaischen Anlagen eingesetzt werden.

Beispiele für mitteleuropäische Länder sind passiv-solare Baumaßnahmen, solare Brauchwassererwärmung und aufgrund der hohen räumlichen Auflösung eine gezielte Standortwahl von photovoltaischen Verbundanlagen. In mittelmeeischen und afrikanischen Ländern können

die Daten als Grundlage für solare Trocknungs- oder Entsalzungsanlagen und als Auslegungsbasis für Solarkocher genutzt werden. Durch eine gute zeitliche Auflösung können die Daten weiterhin zur dynamischen Simulation von Solaranlagen oder zu Untersuchungen zur räumlichen Fluktuation der Globalstrahlung herangezogen werden. Die detaillierten Strahlungskartierungen können ebenfalls in den verschiedensten Medien veröffentlicht werden, da sie für die Öffentlichkeit, vor allem für Besitzer von Solaranlagen, von Interesse sind.

Durch die nahezu 'on-line'-Auswertung wäre eine Verbreitung der aktuellen Strahlungsdaten durch Zeitung oder Fernsehen, vergleichbar mit dem Wetterbericht, denkbar.

Mittlerweile besteht eine Windows-Software, die neben der oben genannten flächentreuen Projektion eine einfache Darstellung und Handhabung der Strahlungsdaten ermöglicht. Globalstrahlungswerte können per Mausclick aus den Kartierungen extrahiert werden. Zusätzlich können aufeinanderfolgende Karten mit Stundensummen der Globalstrahlung als Film abgespielt werden.

Ausblick

Weitere Forschungsarbeiten können jedoch erst bei entsprechender Resonanz durchgeführt werden. Neben der Aufteilung der Globalstrahlung in einen direkten und diffusen Anteil sowie der Berechnung der Strahlung auf geneigte Flächen wäre eine kurzzeitige Strahlungsvorhersage durch Berechnung von Wolkenzug-Vektoren aus vorhergehenden Aufnahmen möglich.

Falls Ihr Interesse durch diesen Bericht geweckt wurde, nehmen Sie doch bitte Kontakt mit uns auf. Wir senden Ihnen neben weiteren Informationen ein Exemplar der oben genannten Software mit einigen Strahlungskarten zu. Eine Rückantwort wird uns zusätzlich helfen, die Richtung der weiteren Forschungsarbeiten festzulegen.

Literatur

- /1/ D. Schulze-Kegel, F.D. Heidt (1995) Mapping of Global Radiation with Meteosat, Universität GH Siegen, (Beitrag zum ISES Solar World Congress 1995, erscheint 1996 in 'Solar Energy').
- /2/ F. Otterbach, D. Schulze-Kegel, F.D. Heidt (1996) Satellite Derived Global Irradiation versus Ground Based Measurements, Universität GH Siegen (Beitrag zur Euro-Sun 1996).
- /3/ D. Schulze-Kegel, F. Otterbach, F.D. Heidt (1996) Erfassung sola-

rer Strahlung mit Meteosat, Universität GH Siegen, März 1996.

- /4/ D. Cano (1982) Etude de l'enneuagement par analyse de séquences d'images de satellites: Application a l'évaluation du rayonnement solaire global au sol. These 3ème Cycle, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications.
- /5/ L. Diabaté, G. Moussu, L. Wald (1988) An operational tool for the fine-scale mapping of the incident solar radiation using satellite images: the Heliosat station. Solar '88, Proc. ASSES Annual Meeting, June 1988, Cambridge MA, Coleman MJ Ed., pp 11-17.
- /6/ A. Zelenka (1992) Estimating monthly average daily insolation with SDUS-based Heliosat system: Experiences and results from one year of operations. Proc. 9th Meteosat Scientific User's Meeting, Locarno, EUMETSAT Publ. #EUM P11, pp. 109-114.
- /7/ A. Zelenka, G. Czeplak, V. D'Agostino, W. Josefsson, E. Maxwell, R. Perez (1992) Techniques for Supplementing Solar Radiation Network Data. Draft Final Report Task 9, Subtask 9D, Solar Heating and Colling Programme, International Energy Agency.

Anzeige



Warmwasser Solaranlagen

Kompaktsysteme
Schwerkraftsysteme
Zwangsumlaufsysteme
Kollektoren und Boiler einzeln
Steuerungen und Zubehör
Internationale Vertretungen

wir suchen ab sofort



- Sanitär- Installateure
- Handelsvertreter
- Großhandelsfirmen
- Baumärkte

in ganz
Deutschland, Österreich, Schweiz und Italien,
welche unsere Produkte vertreiben möchten.

Bitte richten Sie Ihre schriftliche Anfrage an:
SUN SHINE Solaranlagen
Italien - 39042 BRIXEN - Plosestraße 38
Tel. (Durchwahl aus D/CH 0039 - A 40) 472/835575 - Fax 837656