

Expose für Masterarbeit:

Planet-wide diffuse and direct irradiation retrieval using geostationary satellites

Leitung:

Prof. Dr. J. Bendix

bendix@staff.uni-marburg.de
+49 6421 28-24266

Philipps-Universität Marburg
Masterarbeit

Autor:

B.Sc. Daniel Lee

Matrikelnummer: 2194295

Hauptfach: Geographie (M.Sc.)

Nebenfach: Informatik

Lee@isi-solutions.org

+49 176 612 77269

Friedrich-Naumann-Str. 11
35037 Marburg

1 Einleitung: Solareinstrahlung und Satelliten

Sonnenlicht ist, auf direkte oder indirekte Weise, bestimmend für fast sämtliche Prozesse auf der Erde. Qualitativ hochwertige Daten zur Sonneneinstrahlung werden in der Ökologie (Jacobson, Seaver, and Jiashen Tang 2011), der Agrarwirtschaft und Hydrologie (Otkin et al. 2005) sowie in der Energieplanung verwendet (Huld et al. 2010). Sie werden auch benötigt um das Klima zu überwachen, Klimamodelle zu validieren und das Wetter vorherzusagen (Mueller, Trentmann, Stöckli, et al. 2011). Ebenso beeinflusst Sonneneinstrahlung maßgeblich Zirkulationsmuster und dadurch den Stofftransport auf der Erde (World Radiation Monitoring Center – Baseline Surface Radiation Network 2012).

Sonneneinstrahlung ist aufgrund ihrer raumzeitlich hohen Variabilität sehr schwer zu erfassen. Veränderungen im Zustand der Atmosphäre können schnell auftreten und die Menge der einfallenden Strahlung kurzzeitig stark beeinflussen (Hammer 2001). Für Anwendungen, die räumlich kontinuierliche Daten benötigen, erschwert dies die Übertragung von Punktmessungen auf die Fläche.

Ein zusätzliches Problem ist der hohe Aufwand, der mit der bodengestützten Messung von Solareinstrahlung verbunden ist. Messgeräte für Sonneneinstrahlung, Pyranometer, sind im Vergleich mit manchen anderen Instrumenten teuer und müssen häufig gewartet werden. Zudem wird die gemessene Globalstrahlung nur selten in ihre diffusen und direkten Komponenten aufgeteilt, sodass die resultierenden Daten für viele Anwendungen unbrauchbar sind (World Radiation Data Centre 2012).

Um homogene Datensätze der essentiellen Klimavariablen mit hoher Qualität international verfügbar zu machen (Global Climate Observing System 2011) ist es notwendig, flächendeckende Sonneneinstrahlungsdaten nach einem einheitlichen Verfahren zu erstellen. Dafür bieten sich Satelliten an. Geostationäre Satelliten liefern lange, homogene Zeitreihen von Erdbeobachtungen. Sie erfassen mit einem Sensor ihr komplettes Sichtfeld, wodurch Kalibrierungen für jeden einzelnen Standort überflüssig werden. Dadurch eignen sie sich hervorragend um langjährige Zeitreihen von Solareinstrahlungsdaten zu produzieren (Mueller, Trentmann, Stöckli, et al. 2011).

2 Fragestellung und Zielsetzung

Es wurden bereits mehrere Arbeiten in diesem Bereich durchgeführt. Bereits in den frühen 1980ern wurde z. B. ein Energiebilanzmodell verwendet um aus geostationären Satellitenmessungen Globalstrahlung am Boden zu ermitteln (Diak, Gautier, and Masse 1982). Operationale Anwendungen, die einfache physikalische Modelle benutzten um Einstrahlung aus geostationären Satellitenbildern zu ermitteln, erfolgten z. B. durch (Diak, Bland, and Mecikaski 1996). Die Ergebnisse dieser älteren Methoden sind jedoch für viele Fragestellungen zu ungenau. Ebenso wenig haben sie zur Herstellung von globalen, engmaschig aufgelösten und qualitativ hochwertigen Datensätzen geführt.

Neuere Verfahren haben vielversprechendere Ergebnisse produziert. Das Surface Radiation Budget (SRB) Produkt von NASA/GEWEX enthält Angaben zur Globalstrahlung von 1983-2007 mit einer Auflösung von $1 \times 1^\circ$ für die ganze Erde. Für das Produkt wird eine komplexe, vielseitige Bandbreite an Modellergebnissen, Bodenmessungen und Satellitendaten herangezogen (Stackhouse 2011). Diese Daten werden weiterhin mit höherer Genauigkeit und Auflösung im Laufe des Fast Longwave and Shortwave Radiative Fluxes (FLASHFlux) Projekts fortgeschrieben (Gupta et al. 2010). Leider sind aber auch diese Ergebnisse für viele Anwendungen durch ihre Ungenauigkeit und die fehlende

Unterscheidung zwischen diffuser und direkter Strahlung ungeeignet (Kratz et al. 2010).

Eine ältere Methode, Heliosat, erweist sich als operational besser einsetzbar durch die Einfachheit des Algorithmus (Cano et al. 1986). Weitere Verbesserungen des Modells haben sehr gute Ergebnisse erzielt, deren Genauigkeit vergleichbar ist mit Ergebnissen aus wesentlich komplexeren Modellen, die viel höhere Anforderungen an Eingangsdaten haben (Hammer 2001). Schließlich konnte diese Methode dieser Algorithmus durch den Einsatz eines relativ einfachen Strahlungstransfermodells weiter verbessert werden, wobei der erforderliche Rechenaufwand mithilfe eines Lookup-Tables (LUT) reduziert wird (Mueller, Trentmann, Stöckli, et al. 2011). Das MAGICCSOL-Verfahren erweist sich als die bisher leistungsstärkste und genaueste Methode um aus geostationären Satelliten sowohl direkte als auch diffuse Einstrahlung zu ermitteln (Posselt et al. 2011).

Da das MAGICCSOL-Verfahren lediglich Daten aus dem visuellen Kanal benötigt, kann es bei jedem bestehenden geostationären Satelliten eingesetzt werden. Diese Flexibilität ermöglicht es auch ältere Satellitendaten zu benutzen um langjährige Zeitreihen zu erstellen. Dennoch wurde diese Methode bislang lediglich für die Meteosat-Satelliten verwendet.

Das Ziel der vorgeschlagenen Masterarbeit ist es, einen einheitlichen, globalen Datensatz der diffusen und direkten Einstrahlung zu produzieren. Das MAGICCSOL-Verfahren wurde aufgrund seiner Robustheit, seiner raumzeitlich hohen Verfügbarkeit und seinen vergleichbar geringen Datenanforderungen gewählt. Dabei sollen Daten für einen Monat für den gesamten Globus erstellt werden. Die Eingangsdaten sollen eine hohe Qualität besitzen und für einen möglichst langen Zeitraum verfügbar sein, sodass die Möglichkeit besteht, bei guten Ergebnissen mit der im Laufe der Arbeit entwickelten Software längere Zeitreihen zu erstellen. Abschließend sollen die Daten im Verhältnis mit vergleichbaren, globalen Datensätzen validiert werden um deren Qualität quantitativ zu erfassen.

3 Methoden und Datenquellen

Die folgende Zusammenfassung der MAGICCSOL-Methode kann eingehender in der Beschreibung von (Mueller, Trentmann, Träger-Chatterjee, et al. 2011) nachgelesen werden.

MAGICCSOL basiert auf dem Heliosat-Verfahren (Cano et al. 1986). Als Eingangsdaten werden lediglich georeferenzierte, panchromatische Satellitenaufnahmen mit Zeitstempel benötigt. Die Sonneneinstrahlung wird mithilfe eines Strahlungstransfermodells bestimmt und nach dem Strahlungseinfallswinkel und der vorherrschenden Bewölkung angepasst (Mayer and Kylling 2005). Dabei wird die Sonnenhöhe normiert und für die Entfernung zwischen Sonne und Erde korrigiert, um Helligkeitsunterschiede, die durch diese Faktoren entstehen, auszugleichen. Damit das Verfahren für alle geostationären Satelliten funktioniert und um Alterungseffekte in der Sensorik zu entfernen, wird eine Selbstkalibrierung der Messungen vorgenommen. Als Mindestreflektanz wird das 5%-Perzentil der beobachteten Pixel angenommen. Maximale Reflektanz wird als das 95%-Perzentil der beobachteten Pixel angenommen. Wenn ein Bereich im Sichtfeld des Satelliten liegt, der durchgehend bewölkt ist, kann dieser statt der gesamten Aufnahme zur Kalibrierung herangezogen werden um Rechenzeit zu sparen. Diese Selbstkalibrierung wird monatlich für alle Messungen möglichst zum Sonnenhöchststand für das Betrachtungsfeld des Satelliten vorgenommen.

Die Bewölkung, die vom Strahlungstransfermodell benötigt wird, wird aus der effektiven Wolkenalbedo bestimmt. Die effektive Wolkenalbedo wird als das Verhältnis zwischen der Reflektanz eines Pixels bei klarem Himmel und der tatsächlichen Reflektanz verstanden.

Je heller das Pixel ist, relativ zur Helligkeit bei klarem Himmel, desto stärker wird die Bewölkung angenommen. Zu diesem Zweck wird für jedes Pixel ein Mindestwert aus den sieben vorangegangenen Tagen bestimmt, der einen wolkenfreien Himmel darstellen soll. Hellere Reflektanz impliziert eine Wolkendecke und zieht Strahlung ab, die am Boden ankäme. So können schnelle Unterschiede in der wolkenfreien Albedo durch veränderte Bodenbedeckung kompensiert werden. Die zugrunde liegende Annahme ist, dass von sieben Tagen der Himmel zu mindestens einem Zeitpunkt klar ist. Dies ist meist auch der Fall, jedoch nicht immer.

Die am Boden eintreffende Strahlung wird bei Schnee anders berechnet. Ist die Albedo des erfassten Pixels konsistent sehr hoch, so wird angenommen, dass dies durch Schnee verursacht wurde. In diesem Fall wird eine höhere Spannweite an Werten für den Wolkenindex zugelassen, die als Teilwolkenbedeckung gelten, sodass die Reflektion vom Schnee auch mitberücksichtigt wird.

Die effektive Wolkenalbedo fließt in eine empirisch bestimmte Formel zur Ermittlung der direkten Einstrahlung und Globalstrahlung ein. Dabei werden Werte aus dem Strahlungstransfermodell, die in einer LUT hinterlegt sind, nachgeschlagen, gegebenenfalls interpoliert und eingesetzt.

Um diese Methode in der vorgeschlagenen Arbeit zu implementieren wird ein Interface für die MAGIC-Software benötigt, die automatisiert die jeweiligen Satellitenformate in das benötigte Format (netCDF) konvertiert. Diese Ausgangsdaten sollen im Programm durch den MAGIC-Code bearbeitet werden um einen kompletten Monat an Strahlungsdaten zu erstellen. Nach der Validierung und Evaluierung der Ergebnisse kann ein Zusatzmodul implementiert werden, das automatisch aus allen verfügbaren Daten einen einzigen Datensatz für jeden angeforderten Zeitpunkt produziert.

Als Programmiersprache für diese Module wird Python vorgeschlagen, da diese Sprache eine hohe Flexibilität, viele geographische Bibliotheken und viele Schnittstellen zu anderen Sprachen, Programmen und Datenbanken besitzt. Zusätzliche Programmteile in C, C++, Java und Fortran werden in das zu entwickelnde Programm eingebettet.

Als Eingangsdaten wird ein durchgehender Monat an Daten im visuellen Kanal von allen verfügbaren geostationären Satelliten benötigt. Der Autor beabsichtigt, Daten von GOES, Meteosat, MTSAT und INSAT zu verwenden. Bei Datenverfügbarkeit werden zusätzlich noch Feng-Yun-Daten herangezogen.

Nach der Erstellung des globalen Datensatzes werden die Daten mit ähnlichen globalen Datensätzen (ISCCP, GEWEX und ERA-Interim) verglichen und durch Stationsmessungen des BSRN-Netzwerks validiert.

4 Vorläufige Gliederung

- 1 Introduction
 - 1.1 Requirements for ECVs (Essential Climate Variables)
 - 1.2 Research intent
- 2 Previous research
 - 2.1 Measurements
 - 2.1.1 Ground based measurements
 - 2.1.2 Satellite based retrieval
 - 2.1.3 Model simulation
 - 2.2 Available data
 - 2.2.1 Ground based data sets
 - 2.2.2 Satellite based data sets
 - 2.2.3 Model based data sets
- 3 Methods and Data
 - 3.1 Base data sources and satellite peculiarities
 - 3.2 Validation data sources and peculiarities
 - 3.3 Format conversion
 - 3.4 MAGIC SOL
 - 3.5 Validation techniques
- 4 Results
- 5 Discussion
 - 5.1 Comparison to other data sets
 - 5.2 Feasibility of expanding temporal coverage
 - 5.3 Feasibility of expanding spatial coverage
 - 5.4 Future data availability
- 6 Conclusions
 - 6.1 Possibilities of improvement
 - 6.1.1 Cross-calibration to homogenize data
 - 6.1.2 Updates to atmospheric values in MAGIC LUTs
 - 6.2 Practical uses
- 7 Appendix
 - 7.1 Source codes
 - 7.2 Resultant data

Bibliographie

- Cano, D., J.M. Monget, M. Albuissou, H. Guillard, N. Regas, and L. Wald. 1986. "A Method for the Determination of the Global Solar Radiation from Meteorological Satellite Data." *Solar Energy* 37 (1): 31–39. doi:10.1016/0038-092X(86)90104-0.
- Diak, George R., William L. Bland, and John Mecikaski. 1996. "A Note on First Estimates of Surface Insolation from GOES-8 Visible Satellite Data." *Agricultural and Forest Meteorology* 82 (1–4) (December): 219–226. doi:10.1016/0168-1923(96)02331-3.
- Diak, George R., Catherine Gautier, and Serge Masse. 1982. "An Operational System for Mapping Insolation from Goes Satellite Data." *Solar Energy* 28 (5): 371–376. doi:10.1016/0038-092X(82)90254-7.
- Global Climate Observing System. 2011. "GCOS Essential Climate Variables." *World Meteorological Organization* (June 8). 2011. <http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/index.php?name=EssentialClimateVariables>.
- Gupta, Shashi K., David P. Kratz, Paul W. Stackhouse, Anne C. Wilber, Taiping Zhang, and Victor E. Sothcott. 2010. "Improvement of Surface Longwave Flux Algorithms Used in CERES Processing." *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 49 (7) (July): 1579–1589. doi:10.1175/2010JAMC2463.1.
- Hammer, Annette. 2001. "Anwendungsspezifische Solarstrahlungsinformationen aus Meteosat-Daten". Oldenburg: Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg. http://oops.uni-oldenburg.de/frontdoor.php?source_opus=347.
- Huld, Thomas, Ralph Gottschalg, Hans Georg Beyer, and Marko Topič. 2010. "Mapping the Performance of PV Modules, Effects of Module Type and Data Averaging." *Solar Energy* 84 (2) (February): 324–338. doi:10.1016/j.solener.2009.12.002.
- Jacobson, Larry, Alan Seaver, and Jiashen Tang. 2011. "AstroCalc4R: Software to Calculate Solar Zenith Angle; Time at Sunrise, Local Noon and Sunset; and Photosynthetically Available Radiation Based on Date, Time and Location." *Northeast Fisheries Science Center Reference Document* 11 (14) (August): 10.
- Kratz, David P., Shashi K. Gupta, Anne C. Wilber, and Victor E. Sothcott. 2010. "Validation of the CERES Edition 2B Surface-Only Flux Algorithms." *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 49 (1) (January): 164–180. doi:10.1175/2009JAMC2246.1.
- Mayer, B., and A. Kylling. 2005. "Technical Note: The libRadtran Software Package for Radiative Transfer Calculations - Description and Examples of Use." *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 5 (2): 1319–1381.
- Mueller, Richard, Jörg Trentmann, Reto Stöckli, and Rebekka Posselt. 2011. "Meteosat (MVIRI) Solar Surface Irradiance and Effective Cloud Albedo Climate Data Sets." *EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring, Algorithm Theoretical Baseline Document* 1.1 (January 25): 1–41.
- Mueller, Richard, Jörg Trentmann, Christine Träger-Chatterjee, Rebekka Posselt, and Reto Stöckli. 2011. "The Role of the Effective Cloud Albedo for Climate Monitoring and Analysis." *Remote Sensing* 3 (11) (October 25): 2305–2320. doi:10.3390/rs3112305.
- Otkin, J. A., M. C. Anderson, J. R. Mecikalski, and G. R. Diak. 2005. "Validation of GOES-based Insolation Estimates Using Data from the US Climate Reference Network." *Journal of Hydrometeorology* 6 (4): 460–475.
- Posselt, R., R. Müller, J. Trentmann, and R. Stöckli. 2011. "Meteosat (MVIRI) Solar Surface Irradiance and Effective Cloud Albedo Climate Data Sets." *EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring, Validation Report* 1.1 (January 26): 1–51.

- Stackhouse, Paul W. 2011. "Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) Release 6.0 Methodology." *Atmospheric Science Data Center, National Aeronautics and Space Administration* 3.0 (April 19): 1–54. 2012.
- World Radiation Data Centre. 2012. "WRDC Database." *Voeikov Main Geophysical Observatory*. 2012. <http://wrdc.mgo.rssi.ru/>.
- World Radiation Monitoring Center – Baseline Surface Radiation Network. 2012. "Project Background." *Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research*. 2012. <http://www.bsrn.awi.de/en/project/background/>.