

Möglichkeiten der Erdbeobachtung für die Energiewirtschaft

Die satelliten-basierte Erdbeobachtung bietet mit ihren flächendeckenden Messungen verschiedener Umweltparameter eine Vielzahl von Anknüpfungspunkten mit der Energiemeteorologie als der Schnittstelle von Energieforschung und Meteorologie. Anwendungsbeispiele gibt es in den Bereichen Exploration, Windenergie, Ozeanenergie, Wasserkraft, Solarenergie, Biomassenutzung, im Gebäudesektor und im Bereich der Energieeffizienz. Gemeinsames Kriterium aller Anwendungen ist deren Abhängigkeit von verschiedenen Umweltparametern wie es z. B. bei den Energieressourcen der erneuerbaren Energien, bei der Exploration von Energieträgern, dem Energieverbrauch oder bei Steuerungsgrößen z. B. in der Gebäudetechnik der Fall ist.

Die Erdbeobachtung kann die relevanten Umweltparameter entweder direkt messen oder vorgelagerte Parameter, die diese Umweltparameter beeinflussen. Im letzteren Fall ist eine physikalische Modellbildung nötig, um den interessierenden Umweltparameter aus der gemessenen Größe und evt. Zusatzdaten abzuleiten. Des Weiteren liegen die Erdbeobachtungsmessungen i. A. zwar flächendeckend vor, aller-

dings ergeben sich trotzdem häufig Lücken in der räumlichen und/oder zeitlichen Abdeckung. In einem solchen Fall können die gemessenen Größen über die Methoden der Datenassimilation in ein physikalisches Modell (z. B. ein Wettermodell) integriert und so eine in Raum und Zeit kontinuierliche Information bereitgestellt werden. Und in einer dritten Variante können Satellitenmessungen zur Entwicklung und Validierung physikalischer Modelle in der Energiemeteorologie eingesetzt werden.

Solche Informationen zu Umweltparametern sind auf verschiedenen Zeitskalen erforderlich (Abb. 1). Es zeigt sich, dass historische Langzeitserien für Planungszwecke in Politikberatung, Potenzialabschätzung, Ressourcen-Kartierung und aber auch in der Projektentwicklung und Investment-Entscheidung z. B. durch Standortgutachten genutzt werden. Daneben werden Messungen in naher Echtzeit für das Anlagenmonitoring und die Betriebsüberwachung und Prognosen mit einem Zeithorizont von Stunden bis Tagen für eine optimierte Betriebsführung, die Lastprognose, die Garantie der Netzstabilität des Elektrizitätsnetzes und den Energiehandel eingesetzt.

M. Schroedter-Homscheidt
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
 DLR
 Marion.Schroedter-Homscheidt@dlr.de

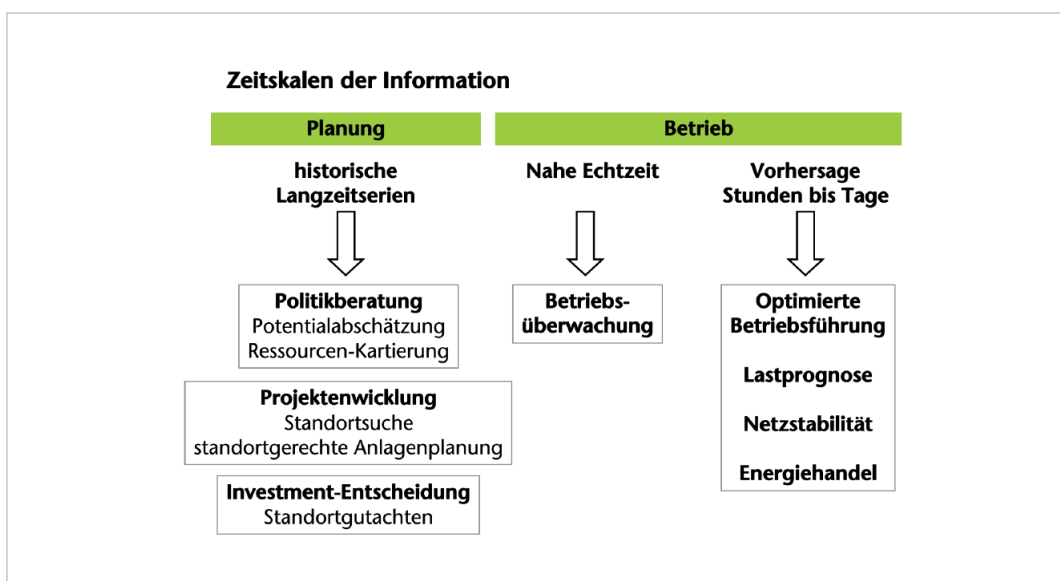


Abbildung 1
 Zeitskalen der für verschiedene Anwendungen benötigten Information

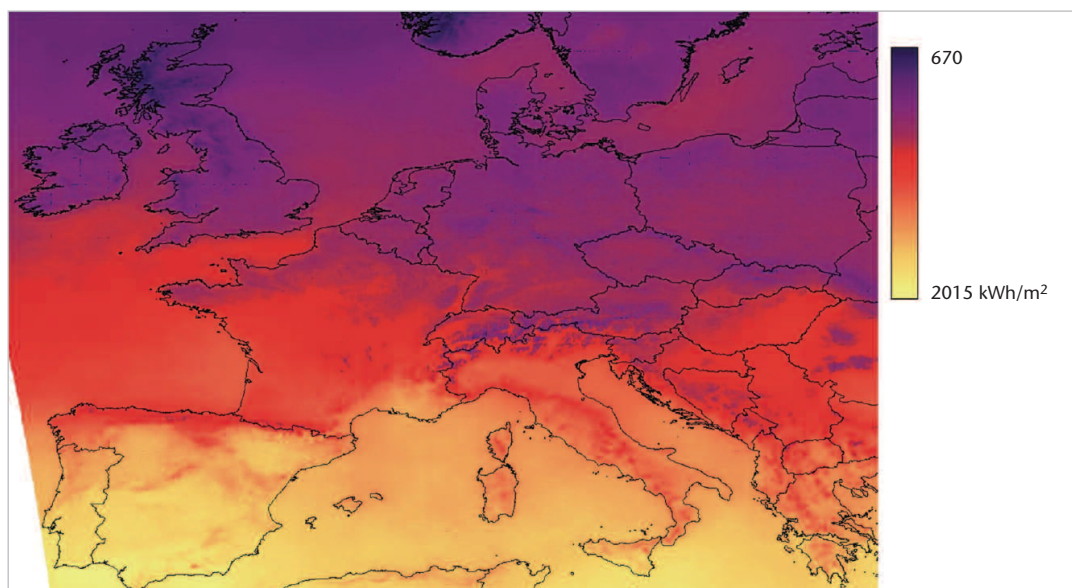
Anwendungsbeispiele für den Einsatz der Erdbeobachtung in der Energiewirtschaft

Viele der im Folgenden genannten Beispiele stammen aus Projekten des Earth Observation Market Development Programms der European Space Agency. In diesen Projekten werden konkrete Anwendungsfälle in Kooperation mit Endnutzern analysiert, integrierte Prozessierungsketten als Prototypen aufgebaut, Beispielprodukte erstellt und diese am Markt getestet.

Beispiele für relevante und mit dem Satelliten direkt beobachtbare Umweltparameter sind z. B.

- Die Kartierung von Eisbergen im Nordatlantik für die Routenplanung von Transportschiffen etwa für Erdöltanker
- Die Beobachtung von Wind- und Strömungsverhältnissen etwa im Golf von Mexiko oder der Nordsee für die Offshore-Öl-Exploration
- Die oberflächennahe Windgeschwindigkeit zusammen mit dem Wellengang (Stärke und Richtung der Dünung zusammen mit der signifikanten Wellenhöhe) für die Belastungsmodellierung von Offshore-Windkraftanlagen
- Digitale Höhenmodelle und Landnutzungskartierungen für die Beschreibung der Oberflächenrauigkeit in Modellen für die Bestimmung des bodennahen Windenergiepotenzials an Onshore-Standorten von Windkraftanlagen
- Höhenmodelle, Landnutzungskartierungen, Schneebedeckung, Flussverläufe und Niederschlagsverhältnisse als Grundlage für die Modellierung und das Monitoring von Wasserkraftressourcen
- Die Wolken-, Aerosol- und Wasserdampfverteilung in der Atmosphäre für die Bestimmung der oberflächennahen solaren Einstrahlung als der Ressource für Solaranlagen
- Die Schneebedeckung für die Betriebsüberwachung und Lastberechnung von Photovoltaikanlagen in schneereichen Regionen
- Solare Einstrahlung, Landnutzungs-klassifikationen, Höhenmodelle und Hangneigung für die Definition geeigneter Standorte für solare Kraftwerke bzw. von Ausschlussgebieten für die Standortplanung
- Vegetationsparameter wie den Normal Differential Vegetation Index (NDVI) oder den Blattflächenindex zusammen mit Landnutzungs-klassifikationen für ein dynamisches Monitoring von Biomassepotenzialen
- Solare Einstrahlung als ein Eingabeparameter für die Lastprognose in der Stromversorgung
- Wolkenverteilungen als Input für Wind- und Solarleistungsvorhersage zur Integration von Wind- und Sonnenenergie in das vorhandene Stromnetz

Abbildung 2
Jahressumme der
Globalstrahlung 2004
für den Europäischen
Raum, abgeleitet aus
den Meteosat-
Satelliten



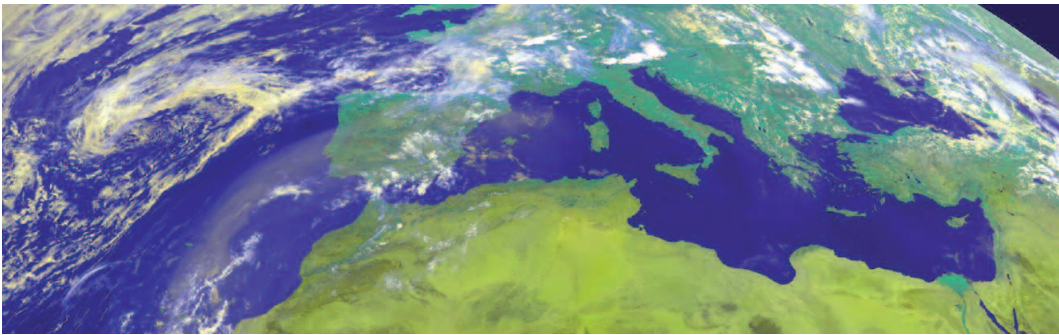


Abbildung 3
 Wolken und Aerosole
 vom Satelliten aus
 betrachtet (MSG,
 23. Juli 2004,
 12 UTC)

- Wolken, Einstrahlung und Lufttemperaturen für das Gebäudemanagement und die Kühlungs- und Heizungssteuerung energieeffizienter Gebäude

Ergebnisse und aktueller Forschungsbedarf für die Solarenergie

Das Ziel ist die Ableitung der globalen oder direkten Einstrahlung am Erdboden aus Erdbeobachtungsmessungen. *Abb. 2* zeigt ein Beispiel aus der Ressourcenkartierung für Planungszwecke für die Globalstrahlung. Die solare Einstrahlung am Erdboden wird v. a. durch die Wolkenverteilung und die atmosphärischen Aerosolpartikel beeinflusst. *Abb. 3* zeigt eine Satellitenaufnahme für den 23. Juli 2004, eingefärbt als Farbkomposit, um ein dem vertrauten Bild einer Digitalkamera möglichst ähnliches Bild zu erhalten. Dahinter steht allerdings eine multispektrale Messung mit mehreren Einzelmessungen jeweils im sichtbaren und infraroten Spektralbereich, deren einzelne Bestandteile die RGB-Komponenten dieses Bilds bilden. Auffällig sind verschiedene Wolkensysteme über dem Nordatlantik und dem europäischen Kontinent.

Hohe Wolken sind als bläuliche Schleier erkennbar, tiefe Wolken als leicht ockerfarbene Wolken, und dicke Wolken der mittleren Atmosphärenschicht sind weiß dargestellt.

Auffällig ist ebenfalls ein bräunlicher Schleier, der sich vom Atlantik über Spanien bis ins Mittelmeer zieht. Dieser ist eine ‚Aerosolwolke‘, d. h. eine Ansammlung von Staubpartikeln, die

vom Wind in der Sahara aufgewirbelt wurden und anschließend in der Atmosphäre entsprechend der Windverhältnisse transportiert werden. Für die Bestimmung der solaren Einstrahlung sind solche Aerosolkonzentration durchaus relevant, da sie oftmals die verfügbare Direktstrahlung z. B. für konzentrierende Solar-kraftwerke um bis zu 50 % und die für die Photovoltaik genutzte globale Einstrahlung um bis zu 5 % reduzieren.

In schneereichen Regionen benötigt die automatisierte Überwachung von Photovoltaikanlagen zusätzlich zur solaren Einstrahlung für die Ertragsberechnung auch weitere Information zur lokalen Schneebedeckung, um die Fehlalarmrate zu senken. Denn ein Ertragsausfall durch schneebedeckte Photovoltaikmodule bei gleichzeitig hoher solarer Einstrahlung an Wintertagen sollte korrekt als ein durch Schnee verursachter ‚Defekt‘ klassifiziert werden. Eine umgehende Wartung ist in solchen Fällen nicht nötig und es darf kein Alarm an eine Wartungsfirma wegen eines unbekanntem Ertragsausfalls an der Solaranlage ausgegeben werden. *Abb. 4* zeigt ein Beispiel einer europäischen Schneekartierung in einer 1km-Auflösung für den 2. März 2006.

Forschungsbedarf

Der Stand der Technik für die Bestimmung der solaren Einstrahlung basierend auf Satellitenmessungen hat für tägliche oder monatliche Mittelwerte eine zufrieden stellende Genauigkeit erreicht (*Tab. 1*). Die Anlagenüberwachung und die Simulation großer solarer Kraftwerke jedoch benötigen auch exakte Stundenwerte bzw. eine korrekte Häufigkeitsverteilung der Stundenwerte. Hier besteht noch aktueller Forschungsbedarf und die Einflussparameter

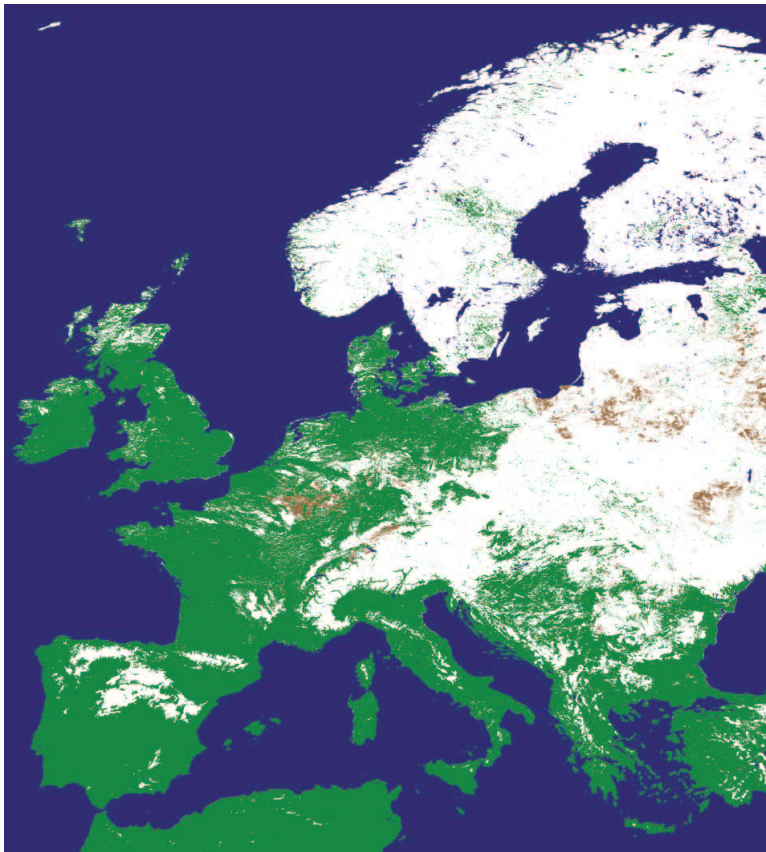


Abbildung 4
Europäische Schnee-
kartierung basierend
auf dem NOAA-
AVHRR-Instrument für
den 2. März 2006
(Schnee weiß, schnee-
freier Boden grün,
nicht kartiert braun)

Tabelle 1
Genauigkeit von
stündlichen, täglichen
und monatlichen
Werten von Global-
strahlung und Direkt-
strahlung – die
Angaben entstammen
einer Synopsis aus
verschiedenen
Validierungsstudien.

Wolkenbedeckung, Wolkenhöhe, Schnee und Aerosolkonzentration sollten in wesentlich besser aufgelöster und genauerer Form vorliegen als sie in heutigen Wettermodellen oder Messungen routinemäßig verfügbar sind.

Des Weiteren ist für die erfolgreiche Integration eines zunehmenden Anteils solarer Energie in Mittel- und v. a. Südeuropa in die existierende Stromversorgung eine verbesserte Prognose der solaren Einstrahlung nötig. Der heutige Bedarf an exakter Windleistungsprognose ist auch für den Bereich der Solarenergie in wenigen Jahren absehbar. Allerdings steht die positionsgenaue Wolkenvorhersage bisher nicht im Fokus der Wetterdienste und stellt auch methodisch ein

sehr komplexes Problem dar. Eine regelmäßige Ergänzung der Wetterprognose mit aktuellen Beobachtungen der Wolkenverteilungen (Nowcasting) unter Nutzung von Methoden der Datenassimilation erscheint als ein viel versprechender Weg.

Außerdem sind in den derzeitigen Wetterprognosen keine Aerosolprognosen enthalten, d. h., eine wesentliche Einflussgröße ist in den Prognosen nicht enthalten. Hierzu wurde in den letzten Jahren die Kopplung der existierenden Aerosolprognosekapazität aus dem Bereich der Luftqualität und der Gesundheitsvorsorge mit der Wetterprognose begonnen (Breitkreuz, 2007).

Gedanken zum Verhältnis von satelliten- und bodengebundener Erdbeobachtung

Unter Erdbeobachtung werden neben den satellitenbasierten Beobachtungen die klassischen, am Boden durchgeführten Messungen von Umweltparametern verstanden. Im Fall der Solarenergie handelt es sich neben den Schneebeobachtungen im Wesentlichen um satellitenbasierte Messungen der Einstrahlung und um bodengestützte Messinstrumente für Global- und Direktstrahlung. Es stellt sich nun die Frage, wann welches Messsystem seine Stärken hat.

Die Bodenmessungen sind i. A. genauer als die aus der Entfernung vorgenommene Satellitenmessung, haben aber nur eine begrenzte räumliche Repräsentativität. *Abb. 5* zeigt beispielhaft eine Deutschlandkarte der räumlichen Distanz zur nächsten Globalstrahlungsbodenmessung des Deutschen Wetterdiensts. Gelbe Farbtöne

	Stundenwerte (RMSE)	Tageswerte (RMSE)	Monatswerte (RMSE)
Globalstrahlung	bis 15%	~ 10%	~ 5%
Direktstrahlung	~ 35%	~ 20%	~ 15%

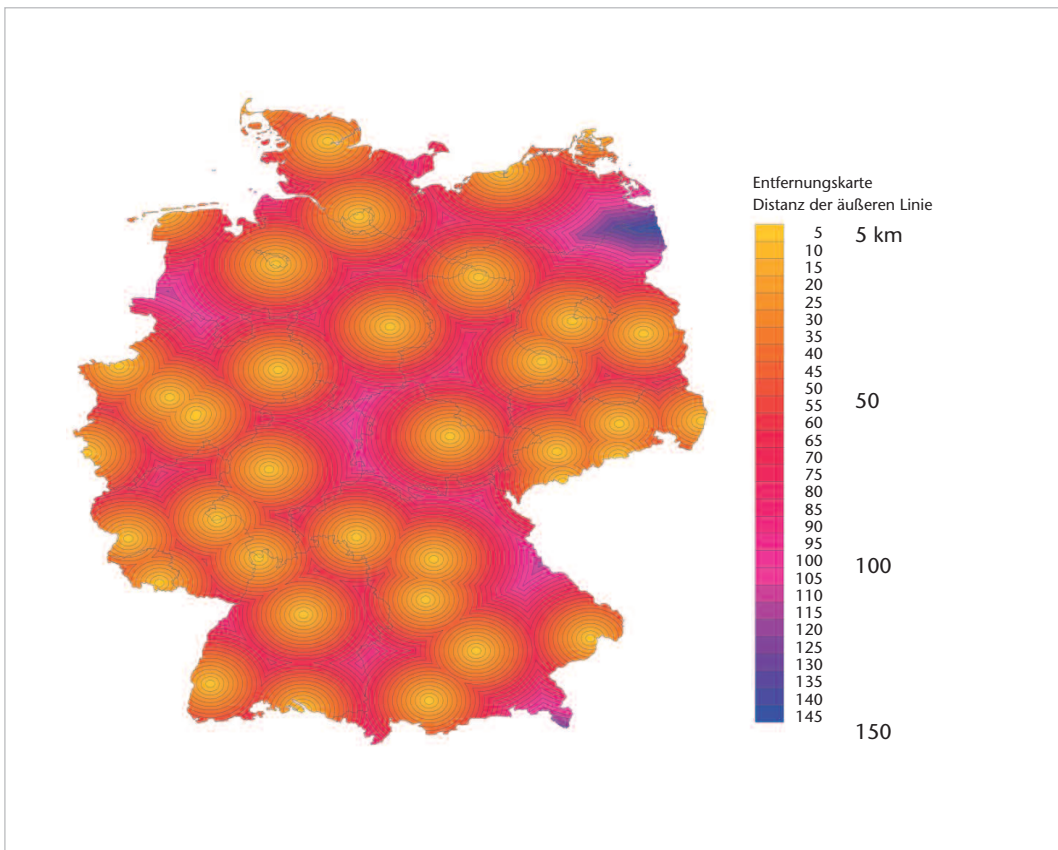


Abbildung 5
Räumliche Entfernung
jedes beliebigen
Punkts in Deutschland
zur nächstgelegenen,
die Globalstrahlung
messende Boden-
station des DWD

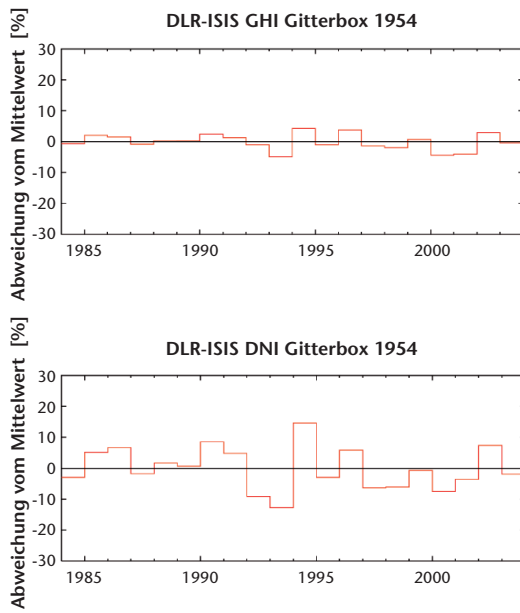
entsprechen Regionen in der Nähe einer Station, während rötliche und violette Farbtöne größere Entfernungen anzeigen. Aus Untersuchungen, z. B. [4], [3], ist bekannt, dass in Deutschland und der Schweiz Bodenmessungen der Globalstrahlung in einem Umkreis von bis zu 20 km im Vergleich zum Satelliten genauer und repräsentativer sind. Ist ein Punkt mehr als 20 km von der nächsten Bodenstation entfernt, so ist die Satellitenmessung an diesem Punkt genauer als die Übernahme der Information von der zu weit entfernt liegenden Bodenstation. Es muss des Weiteren noch beachtet werden, dass 20 km ein mittlerer statistischer Wert für Deutschland darstellt. Örtliche Variationen infolge lokalklimatologischer Verhältnisse (z. B. Nebelbildung, Stadt-Umland-Effekte oder Staubewölkung) sind dabei noch nicht berücksichtigt. Diese reduzieren die räumliche Repräsentativität von Bodenmessungen weiterhin.

Des Weiteren werden für die Standortdefinition und Kraftwerkssimulation langjährige Zeitserien benötigt. Diese liegen in Form von Boden-

messungen i. A. am interessierenden Ort nicht vor und es ist unmöglich zuerst 5-10 Jahre zu messen und solange mit der weiteren Projektentwicklung zu warten. Entsprechend *Abb. 5* ist die nächstgelegene meteorologische Station nur sehr eingeschränkt repräsentativ.

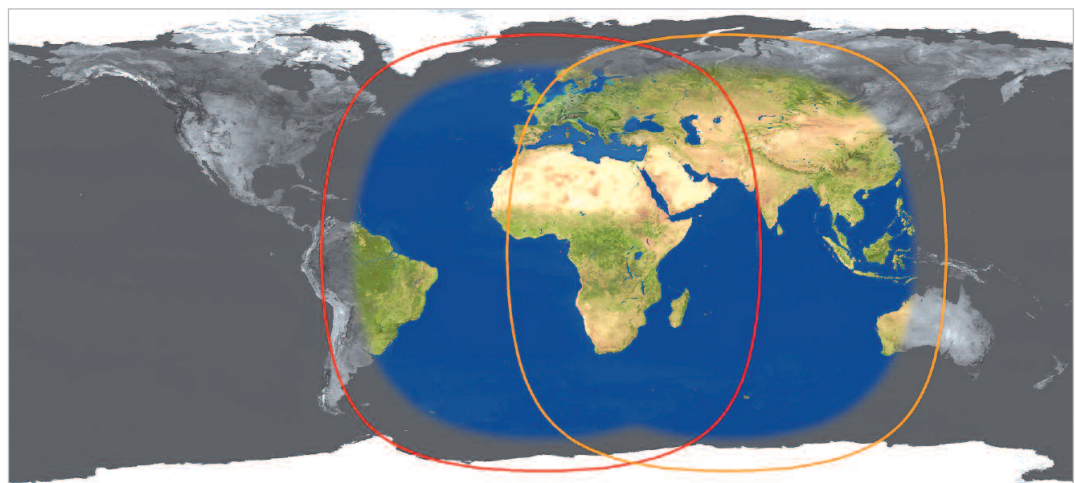
Vom Satelliten dagegen stehen bis zu 20-jährige Zeitserien zur Verfügung. Eine Auswertung von auf den Meteosat-Satelliten basierenden Zeitreihen zeigt für ein Beispiel in Australien (ISCCP Gitterbox 1954), dass die Einzeljahressummen im Mittel 3% Abweichung vom langjährigen Mittel für die Globalstrahlung aufweisen und dies in einzelnen Jahren bis zu 9% beträgt [2]. Würde man nun an diesem Standort nur für 1 Jahr messen, so beträgt die Unsicherheit dieser Jahressumme auch bei einer perfekt überwachten und durchgeführten Bodenmessung trotzdem 9%. Für die Direktstrahlung in dieser Region ergibt sich eine mittlere Abweichung von 8% vom langjährigen Mittel und bis zu 28% in einzelnen Jahren. Ausgewertet wurden Daten von 1984 bis 2004.

Abbildung 6
Abweichung vom langjährigen Mittelwert der Globalstrahlung (oben) bzw. der Direktstrahlung (unten) für ein Beispiel in Australien (ISCCP Gitterbox 1954)



Infolge der Notwendigkeit langjähriger Strahlungszeitserien wurde am DLR die SOLEMI-Datenbank aufgebaut (www.solemi.de). Sie enthält über Europa, Afrika und dem Mittleren Osten (linker Sichtkreis in *Abb. 7*) Satellitenmessungen in stündlicher Auflösung seit 1983 und in einer räumlichen Auflösung von 2,5 km. Für Asien und Teilen Australiens stehen ebenfalls Daten in stündlicher Auflösung seit 1998 zur Verfügung (rechter Sichtkreis in *Abb. 7*).

Abbildung 7
Abdeckung der SOLEMI-Datenbank für die Bestimmung von Langzeitreihen der Global- und Direktstrahlung



Zusammenfassung

Die präsentierten Anwendungsbeispiele zeigen einen Ausschnitt aus der Vielzahl an Anknüpfungspunkten der Erdbeobachtung zur Energiemeteorologie. Diese umfassen sowohl die klassische Energieversorgung/-erzeugung im Bereich der Exploration und der Lastprognose als auch insbesondere die erneuerbaren Energien mit ihrer stärkeren Abhängigkeit von Umweltparametern aus dem Bereich der Meteorologie und der allgemeinen Geowissenschaften.

Bei jedem Anwendungsbeispiel zeigen sich, dass im Detail die heutigen Beobachtungssysteme und Prognosemethoden um ‚Energiespezifika‘ erweitert und somit an die spezifischen Anforderungen angepasst werden müssen. Dies ist i. A. möglich, erfordert jedoch eine enge Kooperation zwischen Forschungs- und Praxispartnern aus der Industrie. Das von der European Space Agency initiierte Earth Observation Market Development Programm mit der Kombination aus Schnittstellendefinition und -aufbau und Markttests konkreter Produkte ist hier sehr erfolgreich und kann ein Beispiel auch für nationale Projekte darstellen.

Literatur

- [1] Breitzkreuz, H., M. Schroedter-Homscheidt, T. Holzer-Popp, A case study to prepare for the utilization of aerosol forecasts in solar energy industries, Solar Energy, doi:10.1016/j.solener.2007.01.009, in press, 2007.

- [2] Lohmann, S., Langzeitvariabilität der globalen und direkten Solarstrahlung für Solarenergieanwendungen, München, Univ., Diss., urn:nbn:de:bvb:19-57120, Archivserver der deutschen Nationalbibliothek, 2006.

- [3] Schroedter-Homscheidt, M., S. Bofinger, H. Breitzkreuz, G. Heilscher, S. Stettler, Usage of Earth Observation for solar energy market development – lessons learnt, Proc. ISEC 2006, Denver, 2006.

- [4] Zelenka A., R. Perez, R. Seals, and D. Renné, 1999. Effective accuracy of satellite-derived hourly irradiances. Theor. Appl. Climatol. 62, pp. 199-207.