

# MODELLIERUNG DER STÜNDLICHEN PHOTOVOLTAIK- UND WINDSTROMEINSPEISUNG IN EUROPA

Gerda SCHUBERT (\*)<sup>1</sup>

## Inhalt

Dieser Beitrag befasst sich mit der Modellierung der Stromerzeugung aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen. Um die Auswirkungen hoher Anteile fluktuierender Einspeisung auf den europäischen Strommarkt zu untersuchen, ist eine zeitlich hoch aufgelöste und räumlich umfassende Betrachtung nötig. Mit den entwickelten Modellen lassen sich auf Grundlage historischer Wetterdaten für alle Länder der EU27 sowie für Norwegen und die Schweiz stündliche Zeitreihen zur Stromerzeugung aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen generieren.

## Methodik

Mit einem Bottom-Up Ansatz wird auf Grundlage der technischen Eigenschaften unterschiedlicher Windkraft- und Photovoltaik-Referenzanlagen die Stromeinspeisung modelliert. Die Referenzanlagen können regionspezifisch definiert und gewichtet werden.

### ISI-PV Europe

Für die Modellierung stehen Einstrahlungs- und Temperaturdaten für die Jahre 2006 bis 2010 zur Verfügung. Im Modell genutzt werden Einstrahlungsdaten, die nach der Heliosat 2 Methode aus Satellitenbeobachtungen gewonnen werden (SoDa Web Service 2010). Die räumliche Auflösung beträgt  $0,25^\circ$  mal  $0,25^\circ$ , in Deutschland entspricht dies einem Gitter von etwa 17 km mal 27 km. Weiterhin stehen für den gleichen Zeitraum Temperaturdaten von Messstationen in Europa zu Verfügung (Meteomedia AG 2011).

Die Modellstruktur von ISI-PV Europe ist in Abbildung 1 links dargestellt. Zur Ermittlung der Einstrahlung auf Modulebene wird für jeden Gitterpunkt (Station) der Winkel, unter dem die Sonne auf das Modul scheint, berechnet. Dazu wird in einem ersten Schritt der Sonnenstand bestimmt, anschließend erfolgt die Berechnung der Einstrahlung auf Modulebene ( $G_{mod}$ ) für jede Stunde, Ausrichtung und Neigung. Im nächsten Schritt werden für die unterschiedlichen Montagearten unter Berücksichtigung der Außentemperatur ( $\vartheta_U$ ) die Modultemperaturen ( $\vartheta_M$ ) bestimmt. Auf Grundlage der Zwischenergebnisse erfolgt die Berechnung der Systemleistung unter Berücksichtigung von Einstrahlung und Modultemperatur, sowie der Auslastung des Wechselrichters. Die Systemleistungen der einzelnen Stationen werden anschließend gewichtet und für jeden Datenpunkt unter der Annahme einer installierten Leistung von einem Megawatt zusammengefasst. Die berechneten Zeitreihen werden zunächst zur Regionssumme für NUTS2-Regionen und anschließend unter der Vorgabe des Anteils der in der Region installierten Leistung zur Ländersumme zusammengefasst.

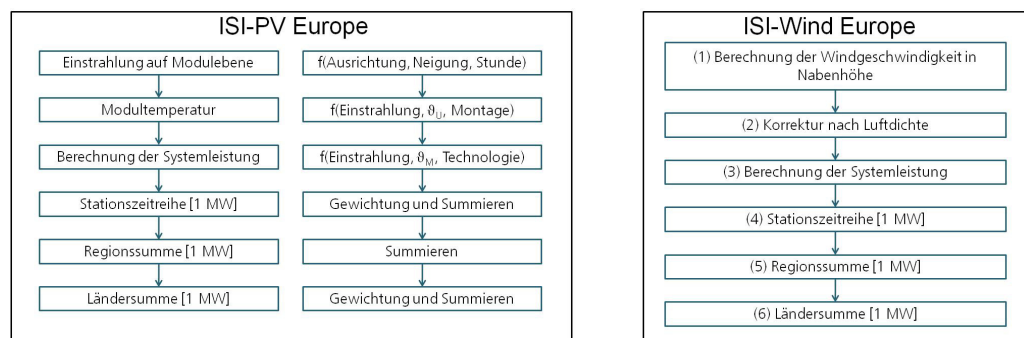


Abbildung 1 Modellstruktur ISI-PV Europe und ISI-Wind Europe

<sup>1</sup> Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe, Telefon +49 721 6809-358, Fax +49 721 6809-272, gerda.schubert@isi.fraunhofer.de, Webauftritt: <http://www.isi.fraunhofer.de>

## **ISI-Wind Europe**

Im Windmodell werden Wetterdaten zur Windgeschwindigkeit in zehn Metern Höhe in einer Auflösung von einem Knoten, zur Temperatur in zwei Metern Höhe in einer Auflösung von einem Kelvin und zum Luftdruck in einer Auflösung von 0,1 Hektopascal (hPa) für die Jahre 2006 bis 2010 (Meteomedia AG 2011) für insgesamt mehr als 3000 Wetterstationen genutzt. Für die Berechnung der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe sind die Tageszeit, die Jahreszeit, die Rauigkeitslänge und die stündliche atmosphärische Schichtung notwendig. Die Rauigkeitslängen werden auf Grundlage der Landnutzungen nach dem Corine Land Cover Datensatz (CLC, (ETC 2010)) und dem Global Land Cover Datensatz (GLC, (EEA 2008)) abgeschätzt. Der Zustand der Atmosphäre wird für jede Stunde anhand der VDI-Norm 3782 (VDI 2009) und der TA Luft (BMU 2002) bestimmt.

Die Modellstruktur von ISI-Wind Europe ist in Abbildung 1 rechts dargestellt. Für jede einzelne Wetterstation und jede Referenzanlage wird die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe mittels exponentieller Höhenkorrektur berechnet (1). Bei der Berechnung des Exponenten wird der Zustand der Atmosphäre mit der Obukhov-Länge<sup>2</sup> berücksichtigt (Foken 2006, 141). Die Obukhov-Länge wird dazu für jede Stunde auf Grundlage der Tages- und Jahreszeit, der herrschenden Windgeschwindigkeit und der Rauigkeitslänge der Umgebung nach VDI 3782 Blatt1 Anhang A (VDI 2009) und der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) (BMU 2002) abgeschätzt. Für leistungsgeregelte Anlagen wird anschließend noch eine Korrektur zur Berücksichtigung der Luftdichte (2) vorgenommen. Mit den errechneten Windgeschwindigkeiten wird die für die Referenzanlage hinterlegte relative Leistungskennlinie ausgelesen (3). Nach der Gewichtung der einzelnen Referenzanlagen wird die Stationszeitreihe für ein Megawatt installierter Leistung ermittelt (4). Im nächsten Schritt werden die Stationen innerhalb der einzelnen NUTS2-Regionen (5) und anschließend die Regionen innerhalb der einzelnen Länder gewichtet und aggregiert. Nach dieser Berechnung liegen für jedes Land stündliche Zeitreihen zur relativen Einspeisung vor. Die Zeitreihen stellen gleichermaßen die stündlich zur Verfügung stehende Leistung pro Megawatt installierter Leistung (6) dar.

## **Ergebnisse**

Zur Simulation der Auswirkungen der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien ist die Bereitstellung realistischer Daten zum zeitlichen Verlauf der Stromerzeugung aus fluktuierenden Erneuerbaren Energien neben den Daten zum Kraftwerkspark und zum zeitlichen Verlauf der Stromnachfrage ein zentraler Bestandteil. Die entwickelten Modelle dienen als Grundlage für die stundenscharfe Modellierung des europäischen Stromsystems und wurden unter anderem bereits zur Erstellung und Analyse von Langfristszenarien mit hohen Anteilen Erneuerbaren Energien für das europäische Stromsystem eingesetzt.

## **Literatur**

- BMU. 2002. „Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft-TA Luft)“. [http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund\\_24072002\\_IGI2501391.htm](http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_24072002_IGI2501391.htm) (Zugegriffen Januar 16, 2010).
- EEA. 2008. „Global land cover - 250m - Datasets — EEA“. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/global-land-cover-250m> (Zugegriffen November 22, 2010).
- ETC. 2010. „Corine land cover 2000 (CLC2000) 250 m - version 12/2009 - Datasets — EEA“. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-clc2000-250-m-version-12-2009> (Zugegriffen November 22, 2010).
- Foken, Thomas. 2006. *Angewandte Meteorologie: Mikrometeorologische Methoden*. 2. Aufl. Springer, Berlin.
- Meteomedia AG. 2011. *Meteorologischer Datensatz*. Gais, Schweiz.
- SoDa Web Service. 2010. „Stündliche Einstrahlungsdaten aus HC3hourDNI“.
- VDI. 2009. „VDI-Richtlinie: VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft Band 1“. In *VDI 3782 Blatt 1 Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Gaußsches Fahrenmodell zur Bestimmung von Immissionskenngrößen*, Düsseldorf: VDI-Verlag.

---

<sup>2</sup> Maß für die Stabilität der atmosphärischen Schichtung