

# WINDAUSBAUSZENARIEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG GESELLSCHAFTLICHER UND ÖKOLOGISCHER RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE SIMULATION DES DEUTSCHEN ENERGIESYSTEMS BIS 2050

Marion CHRIST<sup>1</sup>, Martin SOETHE<sup>1</sup>, Melanie DEGEL<sup>2</sup>

## Inhalt

Gegenwärtige Energiesystemmodelle zur Simulation des zukünftigen Energiesystems beruhen überwiegend auf technischen und ökonomischen Kriterien, wobei zunehmend zusätzlich soziale, ökologische und politische Faktoren Bedeutung bei der Entwicklung von Energiesystemen gewinnen [1, 2]. Dies zeigt sich vor allem bei den aktuellen Entwicklungen der gesellschaftlichen Akzeptanz von Windenergie und Netzausbau [3, 4]. Gegenstand des im Folgenden vorgestellten Forschungsprojektes VerNetzen ist daher die Integration gesellschaftlicher Akzeptanz in die Modellierung, und die sich daraus ergebenden Effekte auf die Verteilung der Windenergieleistung und den Netzausbau. Ziel ist die methodische Integration sozial-ökologischer Faktoren gesellschaftlicher Akzeptanz in ein Strommarktmodell durch die Entwicklung von Ausbauszenarien bis 2050. Basis bilden qualitative Ergebnisse der Sozialforschung heutiger lokaler Akzeptanzprobleme und quantitative ökonomische und technische Daten beim Windenergie- und beim Netzausbau. Der im Projekt verwendete Akzeptanzbegriff umfasst sowohl aktiven als auch passiven Widerstand bzw. Engagement für die Umsetzung von Ausbauprojekten. Ziel der Modellierung ist eine 100 % erneuerbare Stromversorgung bis 2050, simuliert mit dem Simulationsmodell renpass (renewable energy pathways simulation system) [5]. renpass ist ein vollständiges open source Modell, das an der Europa Universität Flensburg entwickelt wurde [6].

## Methodik

Grundlage der methodischen Entwicklung bildet der Aufbau einer georeferenzierten Datenbank. Diese beinhaltet Informationen zum deutschen Stromnetz und Kraftwerkspark, Strukturdaten zu Landschaft, Siedlungen, Naturschutzgebieten sowie regionalstatistische Daten zu Bevölkerung, Einkommen, Tourismus und Landnutzung bis zur kommunalen Ebene [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Die Verwaltung der Datenbank erfolgt auf Basis von PostgreSQL. Zusätzlich ermöglicht die Verwendung von PostGIS eine räumliche Darstellung und die Anwendung geometrischer Operationen.

Mit dem Ziel einer hoch aufgeschlüsselten regionalen Verteilung zukünftiger Windenergieanlagen in Deutschland wurde eine detaillierte Weißflächenkartierung (bebaubare Flächen) durchgeführt. Das Vorgehen zur präzisen Bestimmung der Weißflächen ist angelehnt an das Verfahren der Potenzialstudie des Deutschen Umweltbundamts [15]. Anhand festgelegter Abstandsregelungen und Schallemissionswerte der zur Modellierung eingesetzten Windenergieanlagen werden ungeeignete Flächen von der verfügbaren Landesfläche abgezogen. Auf diese Weise kann für jede Region eine maximal bebaubare Fläche geometrisch ermittelt werden.

Mittels eigener im Forschungsprojekt durchgeführter qualitativer Untersuchungen in Form von Fokusgruppen und Experteninterviews sowie der Untersuchung zahlreicher Ausbauprojekte hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen Akzeptanz wurden Schlüsselfaktoren zur Akzeptanz von Windenergie und Netzausbau festgelegt [16]. Im Bereich Wind sind die für die Szenarioentwicklung genutzten Faktoren Flächenanteile und Einwohneranzahl auf Landkreisebene. Aus der bebauten Windfläche und der Einwohnerdichte pro Landkreis wird die Belastung pro Landkreis ermittelt.

---

<sup>1</sup> Europa-Universität Flensburg, Munketoft 3b, 24937 Flensburg, Fax: +49 461 805 2532,  
{Tel.: +49 461 805 2540, [marion.christ@uni-flensburg.de](mailto:marion.christ@uni-flensburg.de)},  
{Tel.: +49 461 805 3010, [martin.soethe@uni-flensburg.de](mailto:martin.soethe@uni-flensburg.de)},  
[www.uni-flensburg.de/eum](http://www.uni-flensburg.de/eum)

<sup>2</sup> Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Schopenhauerstraße 26, 14129 Berlin,  
Tel.: +49 30803088-22 bzw. Fax: +49 30803088-88, [m.degel@izt.de](mailto:m.degel@izt.de), [www.izt.de](http://www.izt.de)

Diese Größe kann in das Modell integriert werden. Im Bereich Netz sind dies Widerstands- und Engagementrate, entwickelt aus 12 untersuchten Fallbeispielen von Vorhaben im deutschen Netzausbau. Hiermit wird für die Modellierung eine Verzögerungszeit für Trassenabschnitte ermittelt [17].

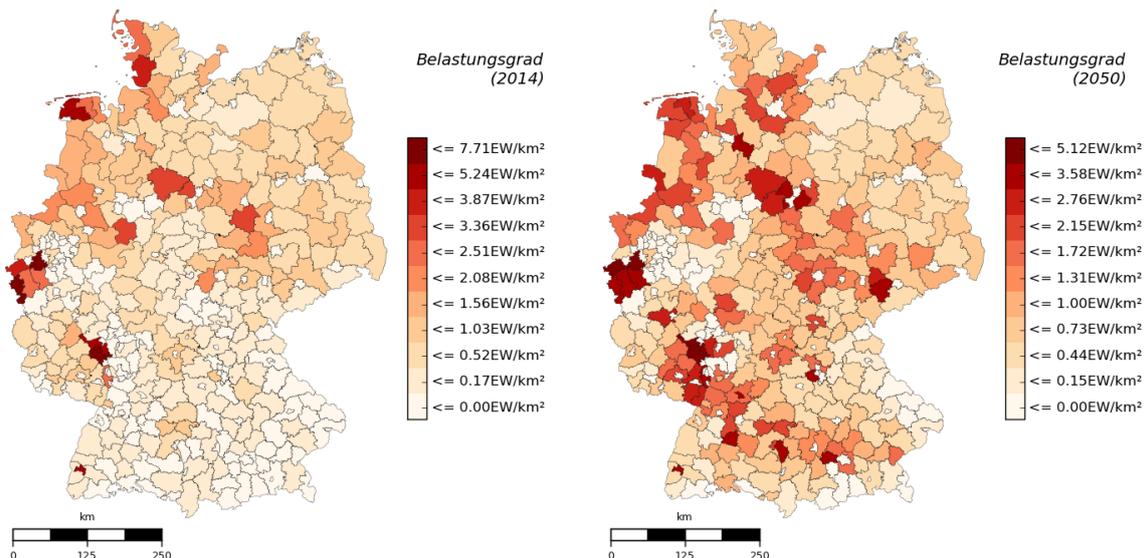
Die Verwendung der zuvor beschriebenen Dimensionen der Akzeptanz in der Modellierung wird nun beispielhaft für die Verteilung der Windenergieleistung zur Szenarioentwicklung skizziert. Die Belastung ist eine rechnerische Größe mit der Einheit Einwohner je Quadratkilometer. Sie ist abhängig von der Weißfläche bzw. der bebauten Windfläche im Verhältnis zur gesamten Landkreisfläche und der Einwohnerdichte und kann für alle Landkreise berechnet werden. Auf Basis der Untersuchungen heutiger Problemregionen im Bereich Windenergie wurde die Belastung in den entwickelten Szenarien in allen Landkreisen auf 20 % des Maximalwertes begrenzt. Aktuell liegt die so ermittelte Belastung in 87 % aller deutschen Landkreise unter 10 % ihres Maximalwertes. Neben dieser generellen Begrenzung werden weitere spezifische Reduktionen der Belastung auf Basis ökologischer Faktoren durchgeführt. Diese basieren auf qualitativen Untersuchungen, die verstärkt Hinweise aufzeigen, dass Naturparke Teil aktiven Widerstands gegen Windausbau sind. In der Modellierung werden deshalb neben Naturschutzgebieten (die i.d.R. nicht bebaut werden dürfen) zusätzlich Naturparkflächen ausgeschlossen, so dass der Maximalwert der Belastung in Landkreisen mit hohen Naturparkflächenanteilen nochmals reduziert wird.

Diese Methodik ist die Grundlage des in python geschriebenen Algorithmus. In der Simulation werden, Stark- und Schwachwindanlagen abhängig von den regionalen Windgeschwindigkeiten anlagenscharf auf den Weißflächen ausgebaut bis keine weiteren Flächen verfügbar sind. Die beanspruchte Fläche wird anhand des Rotordurchmessers bestimmt. Dem Ausbualgorithmus zur Modellierung der Windenergieszenarien bis 2050 wird die auszubauende Kapazität vorgegeben. Dieser baut Windenergieanlagen regional anlagenscharf aus, dabei wird ökonomisch effizient in Regionen mit höheren Volllaststundenzahlen schneller ausgebaut, so dass dort ein höherer Anteil pro Jahr installiert wird. Anhand der integrierten Akzeptanzdimension ist der Ausbau in einem Landkreis zusätzlich durch den Maximalwert der Belastung begrenzt, ist dieser erreicht, kann nicht weiter ausgebaut werden.

Für die Erstellung der Ergebnisse wurden ausschließlich offen zur Verfügung stehende Daten (open data) und open source Software verwendet.

## Ergebnisse

Die Graphik zeigt den regionalen Belastungsgrad von heute (2014) und im Jahr 2050 bei einem Ausbau von 50,8 GW [18] Windenergie an Land für Deutschland für ein Beispielszenario.



**Abbildung 1:** Belastungsgrad in Einwohner je  $\text{km}^2$  Kreisfläche für 2014 und 2050 bei einem Ausbau von 50,8 GW Windleistung an Land im Jahr 2050. Grundlage für die regionale Verteilung sind zur Verfügung stehende Weißflächen (exklusive Naturparke), regionale Volllaststunden und Belastungsobergrenzen (10 % der Maximalbelastung).

## Literatur

- [1] RETD, RE-ASSUME - A Decision Maker's Guide to Evaluating Energy Scenarios, Modeling, and Assumptions. IEA - Renewable Energy Technology Deployment, 2013.
- [2] Dieckhoff et. al, Zur Interpretation von Energieszenarien (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft). acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V., 2014.
- [3] S. M. Hammami, S. chtourou und A. Triki, Identifying the determinants of community acceptance of renewable energy technologies: The case study of a wind energy project from Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 54, pp. 151-160, 2015.
- [4] P. Enevoldsen und B. K. Sovacool, Examining the social acceptance of wind energy: Practical guidelines for onshore wind project development in France. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 53, pp. 178-184, 2015.
- [5] F. Wiese, G. Bökenkamp, C. Wingenbach und O. Hohmeyer, An open source energy system simulation model as an instrument for public participation in the development of strategies for a sustainable future. *WIREs Energy Environment*, pp. 490-504, 2014.
- [6] F. Wiese, renpass - Renewable Energy Pathways Simulation System - Open source as an approach to meet challenges in energy modeling. Doktorarbeit. Europa-Universität Flensburg, 2015.
- [7] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Digitales Landschaftsmodell 1:250000 (AAA-Modellierung) DLM 250 (AAA). 2014. [Online]. <http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/dlm250.pdf>. [Zugriff am 18 03 2015].
- [8] Bundesamt für Naturschutz, WFS Layer der Schutzgebiete von Deutschland. 2015. [Online]. <http://geodienste.bfn.de/wfs/schutzgebiete>. [Zugriff am 18 03 2015].
- [9] Bundesnetzagentur, Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur. 2014. [Online]. [http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html). [Zugriff am 23 03 2015].
- [10] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., EEG Anlagenregister Nov. 2014. 2014. [Online]. [http://www.energymap.info/download/eeg\\_anlagenregister\\_2014.11.utf8.csv.zip](http://www.energymap.info/download/eeg_anlagenregister_2014.11.utf8.csv.zip). [Zugriff am 18 03 2015].
- [11] European Environment Agency, Corine Land Cover 2006 seamless vector data V-3. 2014. [Online]. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/natura-5#tab-gis-data>. [Zugriff am 18 03 2015].
- [12] European Environment Agency, Natura 200 data - the European network of protected sites. 2014. [Online]. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/natura-5#tab-gis-data>. [Zugriff am 18 03 2015].
- [13] OpenStreetMap.org, Geofabrik G. Karlsruhe. 2015. [Online]. <http://download.geofabrik.de/europe/germany-latest.osm.pbf>. [Zugriff am 18 03 2015].
- [14] Regionaldatenbank Deutschland, Datensätze der statistischen Ämter des Bundes und der Länder. 2014. [Online]. <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/logon>. [Zugriff am 18 03 2015].
- [15] I. Lütkehus, H. Salecker und K. Adlunger, Potenzial der Windenergie an Land. Umwelt Bundes Amt, 2013.
- [16] W.-D. Bunke, M. Christ und M. Degel, VerNetzen: Sozial-ökologische und technisch-ökonomische Modellierung von Entwicklungspfaden der Energiewende. Tagungsband: Bundesnetzagentur Wissenschaftsdialog 2014 Technologie, Landschaft und Kommunikation, Wirtschaft, pp. 107-125, 2015.
- [17] M. Degel und M. Christ, VerNetzen: Sozial-ökologische und technisch-ökonomische Modellierung von Entwicklungspfaden der Energiewende. Tagungsband: FONA Statuskonferenz des BMBF zur Fördermaßnahme Umwelt- und gesellschaftsverträgliche Transformation des Energiesystems, p. 197ff, September 2015.
- [18] J. Nitsch et. al, Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. BMU, 2012.