

Windenergie als Motor der europäischen Energiewende



Fraunhofer IEE
Prof. Dr. Kurt Rohrig
kurt.rohrig@iee.fraunhofer.de

DLR
Dr. Thomas Gerz
thomas.gerz@dlr.de

Sarina Keller
sarina.keller@dlr.de

IZES
Jan Hildebrand
hildebrand@izes.de

UFZ
Katja Bunzel
katja.bunzel@ufz.de

Felix Reutter
felix.reutter@ufz.de

ZSW
Dr. Frank Musiol
frank.musiol@zsw-bw.de

Andreas Rettenmeier
andreas.reettenmeier@zsw-bw.de

Einleitung

Das Erreichen der Klimaschutzziele erfordert eine CO₂-freie Energiebereitstellung für alle Sektoren: Strom, Wärme und Verkehr. Durch die Sektorenkopplung wird der Strombedarf aus erneuerbaren Energien noch enorm zunehmen. Die Windenergie trägt den größten Anteil zur klimaschonenden Energieversorgung in Deutschland bei und muss daher weiter ausgebaut werden. 2019 ist der Ausbau jedoch nahezu zum Erliegen gekommen.

Dieser Beitrag soll aufzeigen, welche technischen und institutionellen Lösungen helfen können, um die Entwicklung der Windenergie wieder zu beschleunigen. Dabei werden die Aspekte der Versorgungssicherheit gleichermaßen betrachtet wie die Akzeptanz und der Natur- und Artenschutz. Die besondere Rolle der EU bei der Entwicklung der Windenergie wird anhand von großen Forschungs-Programmen und den Zielen des SET-Plan aufgezeigt.

Die Entwicklung der Windenergie

Die Windenergie stellt das Rückgrat der erneuerbaren Energieversorgung dar. Sie basiert auf einer ausgereiften Technologie und besitzt in Deutschland und Europa enorme Potenziale. Aktuelle Studien zu den Erfordernissen und Herausforderungen der Energiewende zeigen auf, dass in Deutschland ca. 900 TWh Strom aus erneuerbaren Energiequellen bereitgestellt werden muss. Um diese Größenordnung zu erreichen, müssen 200 GW Wind-Leistung und 200 GW PV-Leistung bis 2050 in Betrieb sein. Analysen und Studien aus der nahen Vergangenheit haben gezeigt, dass das Flächenpotenzial, das konfliktfrei in Deutschland zur Verfügung steht, und die dort bestehenden Windverhältnisse ausreichen, um diese Ziele zu realisieren.

Im Jahr 2019 wurde mit knapp 1 GW so wenig Windleistung an Land installiert wie zuletzt vor 20 Jahren. Damit steht die Windbranche vor einer gewaltigen Herausforderung und die Politik und Gesellschaft in Deutschland muss sich fragen, ob die Klimaschutzziele noch erreicht werden können. Gerade die Windenergie an Land sieht sich zunehmend Hemmnissen und Widerständen

ausgesetzt, die den dringend erforderlichen Zubau neuer Windparks unmöglich machen. Besonders zu nennen sind hier Genehmigungsverfahren, Flugsicherung, Denkmalschutz, Wetterradar, Artenschutz, Flächenverfügbarkeit, militärische Belange und die mangelnde Unterstützung seitens der Politik.

Herausforderung Akzeptanz

Die Energiewende erfährt eine breite Zustimmung in der Bevölkerung. Naturschutzfachliche Anforderungen werden zwar zunehmend bei der Planung und dem Betrieb von Windenergieanlagen berücksichtigt, insbesondere auf regionaler und lokaler Ebene besteht jedoch teilweise immer noch Konfliktpotenzial. So werden Naturschutzanliegen oft als Argumente von unterschiedlichen Akteuren gegen konkrete Projekte vor Ort genutzt. Zentrale Bedeutung kommt daher zukünftig technischen Vermeidungsmaßnahmen zu, die in der Lage sind, Vögel und Fledermäuse besser vor Kollisionen zu schützen. Schwerpunkt des Projekts „NatForWINDSENT“ am WindForS-Windenergiefeld sind deshalb u. a. Vogelerkennungssysteme, die bei Detektion geschützter Arten rechtzeitig geeignete Maßnahmen wie das Austrudeln der Anlagen auslösen.

Der aktuelle Forschungsstand zur Akzeptanz von Windenergieanlagen anhand von Entscheidungsexperimenten, Befragungen in der Allgemeinbevölkerung oder unter Anwohner*innen von bestehenden Anlagen zeigt, dass die gemessene Akzeptanzaussage das Ergebnis komplexer Zusammenhänge mehrerer Akzeptanzfaktoren darstellt. Zu den Faktoren zählen neben den Veränderungen des Landschaftsbildes auch weitere visuelle Implikationen durch die Befuerung, sowie Schallwirkungen (Lärm und Infraschall). Ebenso die zugeschriebenen Umweltwirkungen, z. B. Auswirkungen auf die Vogelwelt der Landschaft (Avifauna) und die Recycling-Problematik, gehen in die Akzeptanzbewertung ein. Ein weiterer Faktor, in dem diese verschiedenen Aspekte adressiert werden, sind die rahmenden Kommunikations- und Beteiligungsprozesse.

Das im Forschungsvorhaben „EE-Monitor“ entwickelte systematische, mehrteilige Monitoringkonzept ermöglicht es erstmals, deutschlandweit bestimmte Auswirkungen des EE-Ausbaus auf Natur und Landschaft abzubilden.

Zudem wurde im Juni 2019 die interaktive WebGIS-Anwendung „EE-Monitor“ freigeschaltet mit deren Hilfe kartographisch die zeitliche und räumliche Entwicklung der erneuerbaren Energien im Strombereich in den vergangenen 30 Jahren in Deutschland nachvollzogen werden kann. Sie ermöglicht dem interessierten Nutzer eine virtuelle Reise in die Vergangenheit der erneuerbaren Energien. Jeder kann auf unkomplizierte Art und Weise den Ausbau der erneuerbaren Energien zu Stromerzeugung in einer bestimmten Region oder einem Bundesland in Erfahrung bringen. Die WebGIS-Anwendung sorgt für hohe Transparenz über den räumlichen und zeitlichen Ausbau der erneuerbaren Energien und trägt so zur Akzeptanz für die Energiewende bei (► *Abbildung 1*).

Schallemissionen von Windenergieanlagen (WEA) sind ein wichtiger Faktor bei der Genehmigung von Windparkprojekten. Hier wurden in den letzten Jahren große Fortschritte zur Erfassung, Klassifizierung und zur Eindämmung der Geräuschbelästigung gemacht. Die Forschung und Entwicklung im Windenergiesektor hat hier für eine wesentliche Verbesserung dieser Problematik gesorgt. Für die Ermittlung von Unterschieden der Schallimmission in bewohntem Gebiet bei verschiedenen meteorologischen Bedingungen wird die Schallausbreitung von der Quelle bis zum Immissionsort unter topografischen und meteorologischen Einflüssen bestimmt. Beispielsweise konnte das periodisch

wiederkehrende Geräuschsignal einer WEA auf einem Hügel in 950 m Entfernung im Tal erkannt werden. Der hörbare WEA-Lärm folgt einem Tagesgang und ist von Geräuschen des Hintergrunds unterscheidbar und auch die Abhängigkeit des Geräuschpegels vom Wind (Richtung und Betrag) und der atmosphärischen Schichtung ist fallweise nachweisbar. Daraus wurden weitere Schritte generiert, wie die Klassifizierung der Situationen nach höherer/neutraler/niedrigerer Geräuschbelastung und die Erarbeitung von Vorschlägen für den WEA-Betrieb abhängig vom (vorhergesagten) Wetter.

Ziel des laufenden Forschungsprojekts Inter-Wind (kurz für: Interdisziplinäre Analyse und Minderungsansätze, FKZ 03EE2023A-D, BMWi) ist es zu verstehen, welche Faktoren bei der Belästigung durch Anlagengeräusche zusammenspielen – und aus diesem Wissen Verbesserungsansätze abzuleiten. Untersucht wird, wie Meteorologie und geologischer Untergrund bei der Schall- und Bodenbewegungsausbreitung zusammenwirken, wie Geräusche von Windenergieanlagen von den Menschen wahrgenommen und beurteilt werden, welche Faktoren die Wahrnehmung beeinflussen und welche Maßnahmen bei bestimmten Wetterlagen als entlastend empfunden werden. Aufbauend auf den Erfahrungen eines Vorgängervorhabens TremAc (FKZ 0325839A-F, BMWi) werden Befragungen und Messungen meteorologischer, akustischer sowie seismischer Größen durchgeführt. Eine gezielte Erprobung von technischen Minderungsmaßnahmen wird zunächst auf dem WindForS Testfeld WINSENT stattfinden und deren Übertragbarkeit auf die zwei im Vorhaben beteiligten Windparks erprobt.

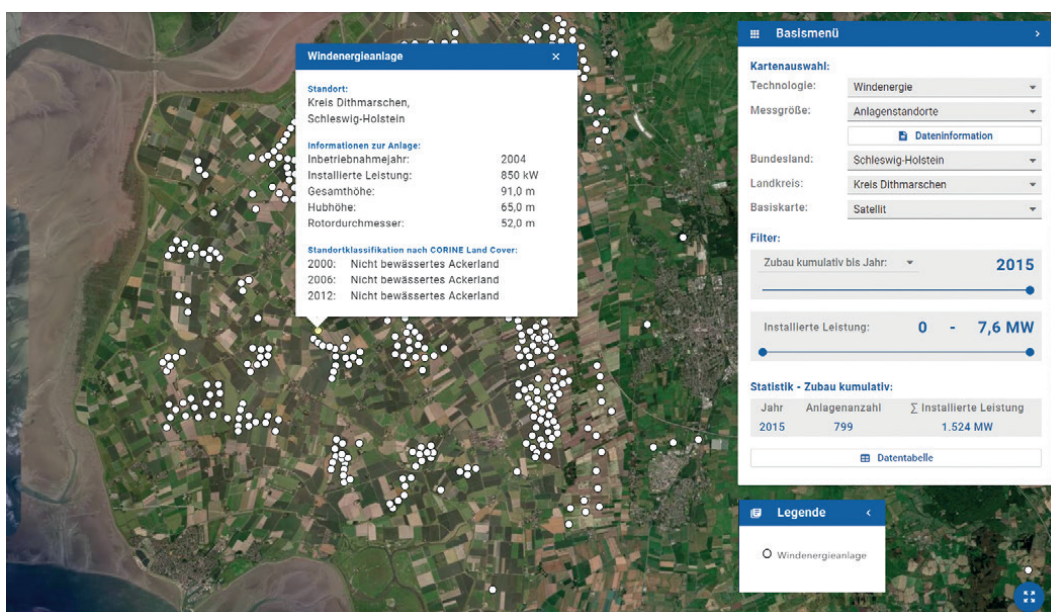


Abbildung 1
Monitoring der EE-Entwicklung in Deutschland:
 WebGIS-Anwendung „EE-Monitor“ (Screenshot)

(Quelle: <https://www.ufz.de/ee-monitor-app/webgis>)

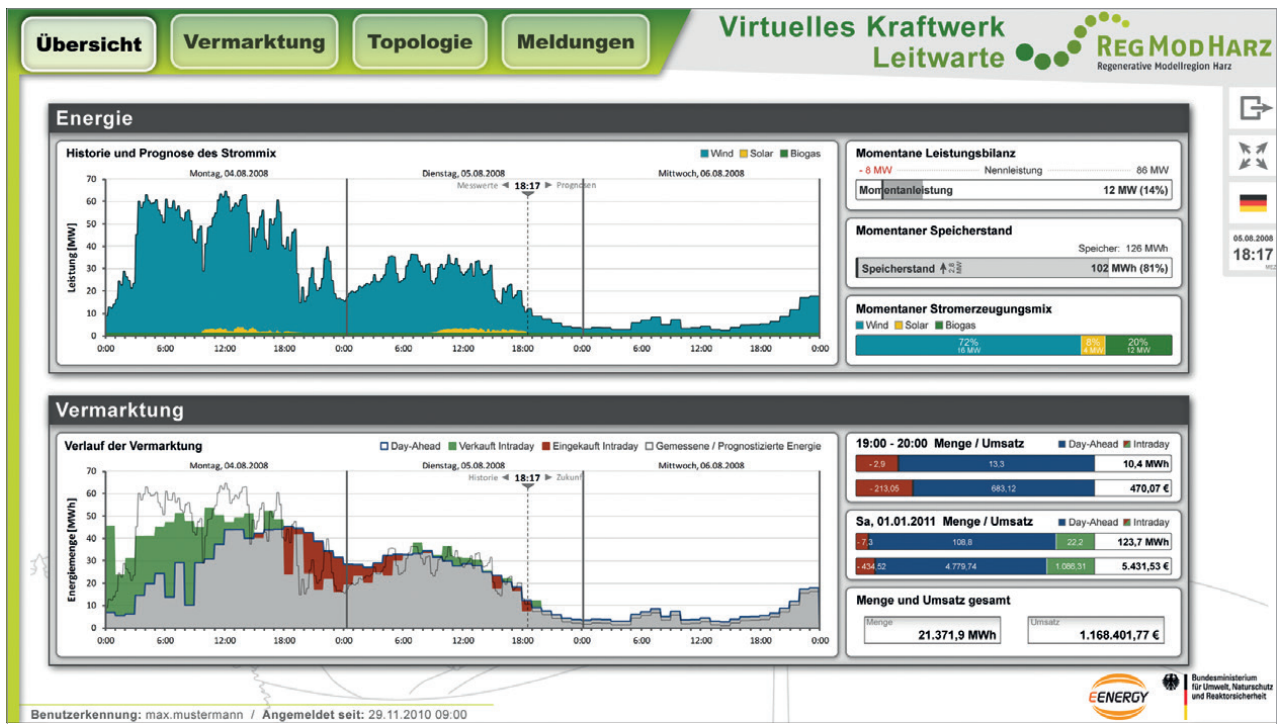


Abbildung 2
Virtuelles Kraftwerk
der Regenerativen
Modellregion Harz

Neben den notwendigen konkreten technologischen Optimierungen ist es für die Akzeptanzbildung von Belang, ob und wie diese Verbesserungen wahrgenommen und bewertet werden, in diesem Zusammenhang spielt die Kommunikation darüber eine wichtige Rolle. Im Rahmen des aktuellen Forschungsvorhabens „Operationalisierung des Klimaschutzes im Bereich des Ausbaus der erneuerbaren Energien – Strategien für akzeptable Lösungen von Ort (FKZI 3718 43 106 0, UBA)“ wird ein Werkzeug entwickelt, das insbesondere kleine Kommunen im ländlichen Raum dabei unterstützen soll, Konflikte um erneuerbare Energieanlagen zu begrenzen, handlungsfähig zu bleiben und akzeptable Lösungen vor Ort zu finden. Zielgruppe des Handlungsmodells sind Bürgermeisterinnen und Bürgermeister (Verwaltungsspitzen), insbesondere Ehrenamtliche in kleinen Gemeinden. Mit dem praktisch nutzbaren digitalen Tool „Akzeptable Lösungen für Gemeinden finden“ in Form eines „Scrolly tellings“ (interaktives multimediales Storytelling-Format) erhalten die kommunalen Zielgruppen konkrete Handlungsempfehlungen für den Umgang mit Konflikten um Windenergieanlagen.

Hinsichtlich der benötigten Ausbaudimensionen von Windenergie zur Erreichung der gesteckten Ziele bedarf es umso mehr der gesellschaftlichen Akzeptanz auf allen Ebenen, sowohl im politischen Raum als auch bei den lokalen Anwohnenden. Um diese zu erreichen, müssen alle dargestellten Akzeptanzfaktoren adressiert werden, dazu bedarf es technischer Optimierungen sowie auch Kommunikation und Beteiligung gleichermaßen.

Erneuerbare Energie im Kraftwerksmaßstab

Die Transformation des Energieversorgungssystems befindet sich in einer neuen Phase. Die erneuerbaren Energien haben eine systembestimmende Größenordnung erreicht und die Kopplung der Energiesektoren Strom, Wärme und Verkehr hat begonnen. Um eine sichere Energieversorgung weiterhin zu gewährleisten, müssen Lösungen gefunden werden, welche die kurzfristigen, regionalen Fluktuationen der Einspeisung verringern.

Um Bedarf und Angebot jederzeit in Übereinstimmung zu bringen, kommen prinzipiell diese drei Wege in Frage:

- Speichertechnologien, die aktuelle Überangebote für spätere Bedarfe speichern
- Koordiniertes Zusammenspiel verschiedener regenerativer Energiequellen, die so ihre zeitweisen Über- und Unterangebote gegenseitig ausgleichen
- Lastmanagement, bei dem verschiebbare Lasten zu Zeitpunkten höheren Angebots verschoben werden

Die Koordination dieser unterschiedlich agierenden Komponenten erfolgt durch den informationstechnischen Zusammenschluss und die Steuerung über ein Energiemanagementsystem. Diese so genannten Virtuellen Kraftwerke (VK) bieten neue Möglichkeiten, Energie bedarfsgerecht bereitzustellen und die Verbraucher zu flexibilisieren (► *Abbildung 2*). Es ist aber nicht nur erforderlich, den Energiebedarf

jederzeit zu decken, sondern auch den Betrieb des Netzes aktiv zu unterstützen. Die Energiewirtschaft bezeichnet diese Eigenschaft als Kraftwerkseigenschaft. Der Begriff Kraftwerkseigenschaft für regenerative Energieanlagen deutet an, dass die Erzeugung planbar, kontrollierbar und zuverlässig entsprechend den Anforderungen der Energieversorgung sein muss und dass die Anlagen das elektrische Netz bei Störungen stützen müssen. Diese Fähigkeiten basieren auf der Steuerung der Wirk- und Blindleistung der Anlagen sowie auf dem Verhalten bei Netzstörungen wie z. B. dem Fault-Ride-Through-Verhalten. Diese Maßnahmen zum Erhalt der Netzstabilität werden als Systemdienstleistungen bezeichnet.

Die besondere Bedeutung von Virtuellen Kraftwerken wird besonders deutlich, wenn man die Entwicklung der erneuerbaren Energien in den nächsten drei Dekaden betrachtet. Sind heute ca. 2 Mio. Wind- und PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 110 GW in Betrieb, werden es 2050 weit mehr als 5 Mio. Anlagen mit einer Gesamtleistung von 400 GW sein. Diese Anlagen sind dann vollständig für die Versorgungssicherheit und die Systemstabilität verantwortlich und müssen in diesem Sinne zuverlässig, planbar und steuerbar sein.

Die Virtuellen Kraftwerke bieten dabei die folgenden Eigenschaften zur Erfüllung der Versorgungsaufgaben:

- Fahrplanteue: durch internen automatisierten Redispatch
- Risikoreduzierung: über Ausgleichseffekte durch Aggregation erneuerbarer Energien
- Marktzugang: für beliebige Anlagen (Brücke zw. Smart-Grid / -Market)
- Skalierbarkeit durch Aggregation: beliebige Anlagentypen, -leistung, -anzahl
- Standardisierte Protokolle: für eine effiziente Kommunikationsarchitektur
- Spartenübergreifendes Energiemanagement: Strom, Gas, Wärme, Verkehr, Wasser

Sichere Energieversorgung durch Systemdienstleistungen

Technisch können schon heute die meisten EE-Anlagen und vor allen Windenergieanlagen Regelleistung bereitstellen. Die Anlagen sind im Vergleich zu thermischen Großkraftwerken sehr reaktionsschnell. Im Unterschied zu konventionellen Quellen stehen jedoch die wichtigsten erneuerbaren Energieträger Sonne und Wind nicht kontinuierlich zur Verfügung, sondern sind vom Wettergeschehen abhängig. Die Bereitstellung von Regelleistung kann nur dann erfolgen, wenn genügend Wind bzw. Sonne über

einen definierten Zeitraum vorhanden ist. Die Regelleistung muss daher von einem vierteiligen, zeitlich variablen Mix von Anlagen bereitgestellt werden. Um die mögliche Regelleistungsbereitstellung durch die einzelnen Anlagen und den Regelleistungsbedarf dynamisch berechnen zu können, sind hochpräzise Einspeiseprognosen mit Angabe von Vertrauensbereichen notwendig. Genaue Prognosen sind auch für die Angebotserstellung von Wind- und Photovoltaikparks am Regelleistungsmarkt entscheidend, da durch sie das Angebot bei gleicher Zuverlässigkeit gesteigert werden kann. Windparks können in Zukunft mit Hilfe von probabilistischen Prognosen genauso zuverlässig Regelleistung bereitstellen wie bisherige Anbieter.

EU-Projekte und europäische Programme

Die Europäische Kommission beschreibt ihre Ziele zur Dekarbonisierung der Energieversorgung im „European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan)“. Der Windenergie wird hier ein gewichtiger Teil der zukünftigen Energieversorgung Europas zugeschrieben und im Rahmen der Europäischen Forschungsförderung sind in den letzten Jahren eine Vielzahl großer Projekte zur Weiterentwicklung und Implementierung der Windenergie-Technologie durchgeführt worden. Insgesamt sind im SET-Plan 1090 Mio. Euro für diese Aktivitäten vorgesehen. Eine wichtige Rolle spielt hier die European Energy Research Alliance (EERA) und ihre Joint Programs. So haben das Joint Program Wind Energy und seine Partner eine Reihe wegweisender Projekte initiiert und durchgeführt. Zu nennen ist hier vor allen das Vorhaben IRPWIND, das mit einem Konsortium aus 24 Forschungsinstituten und Universitäten sich das Ziel vorgenommen hat, eine bessere Integration der europäischen Forschungsaktivitäten im Bereich der Windenergieforschung zu fördern, um den Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft zu beschleunigen und die Wettbewerbsfähigkeit Europas zu erhalten und zu steigern.

Weitere relevante FuE-Projekte in diesem Rahmen sind:

- Avatar – die Verbesserung der Aerodynamik von Rotorblättern
- EERA-DTOC – die Entwicklung von Design-Tools für Offshore-Windparks
- Innwind.eu – die Entwicklung einer 10–20 MW Offshore-WEA
- NEWA – die Entwicklung des neuen Europäischen Windatlas
- Life50+ - die Weiterentwicklung der Technologien für schwimmende Offshore-WEA

Zusammenfassung

Die Windenergie liefert den Hauptanteil der erneuerbaren Energien im Strombereich – und ist der Motor der deutschen und europäischen Energiewende. Durch eine Vielzahl von Hemmnissen ist der Zubau in Deutschland in den letzten Jahren jedoch zum Erliegen gekommen. Die mangelnde Akzeptanz hat vielfältige Gründe und kann durch gezielte Forschung und Entwicklung verbessert werden (Artenschutz, Lärm, Landschaftsbild). Einige Hemmnisse liegen bei Gesetzen und Regeln, die die Politik ändern kann und muss.

Virtuelle Kraftwerke managen Wind- und PV-Parks im Kraftwerksmaßstab und sind das Werkzeug der zukünftigen Energieversorgung. Mit der vorausschauenden Steuerung und der Koordination von einer Vielzahl von EE-Anlagen, Speichern und Verbrauchern lässt sich eine zuverlässige Energieversorgung auch in Zukunft realisieren und der Einsatz von konventionellen Kraftwerken auf ein Minimum reduzieren.

Die effiziente und nachhaltige Nutzung der Windenergie kann nur durch eine enge Zusammenarbeit auf EU-Ebene vorangebracht werden. Der SET-Plan beschreibt die europäischen Ziele für die Weiterentwicklung der Windenergie und hat durch große EU-Projekte die Technologieentwicklung bis zur Anwendung gezielt gefördert.