

# WINDENERGIE

VOM UNSTETEN WIND ZUR STABILEN ENERGIEVERSORGUNG





Copyright: pixabay\_CCO\_pinnwheel-993017

# FORSCHUNG UND ANWENDUNG

## WINDENERGIENUTZUNG – umweltgerecht, sicher und wirtschaftlich

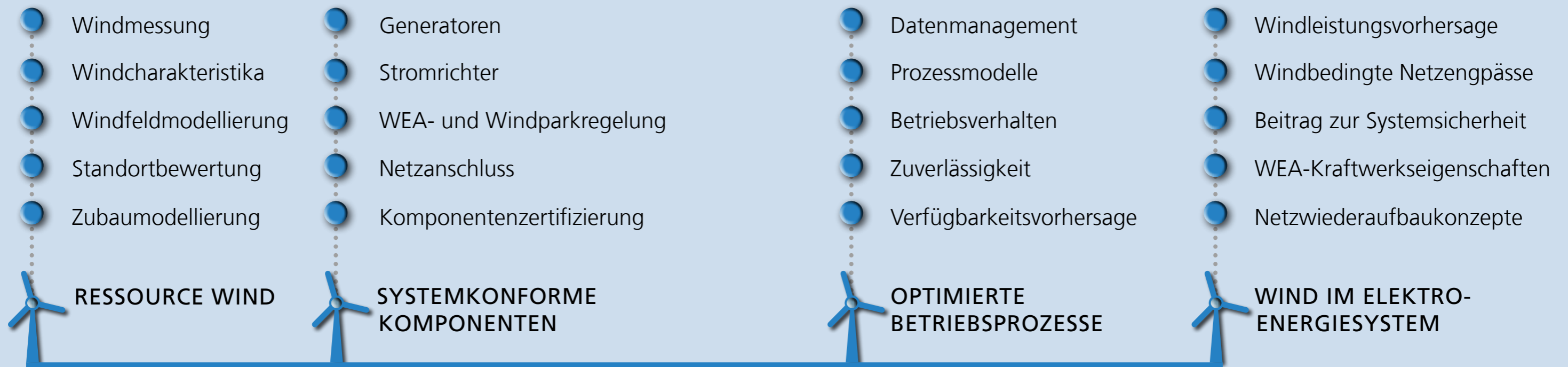
Die zunehmende dezentrale Stromerzeugung mit kleinen Einheiten erfordert ein grundsätzliches Umdenken bei der Planung und beim Betrieb des zukünftigen Energieversorgungssystems und seiner Bestandteile.

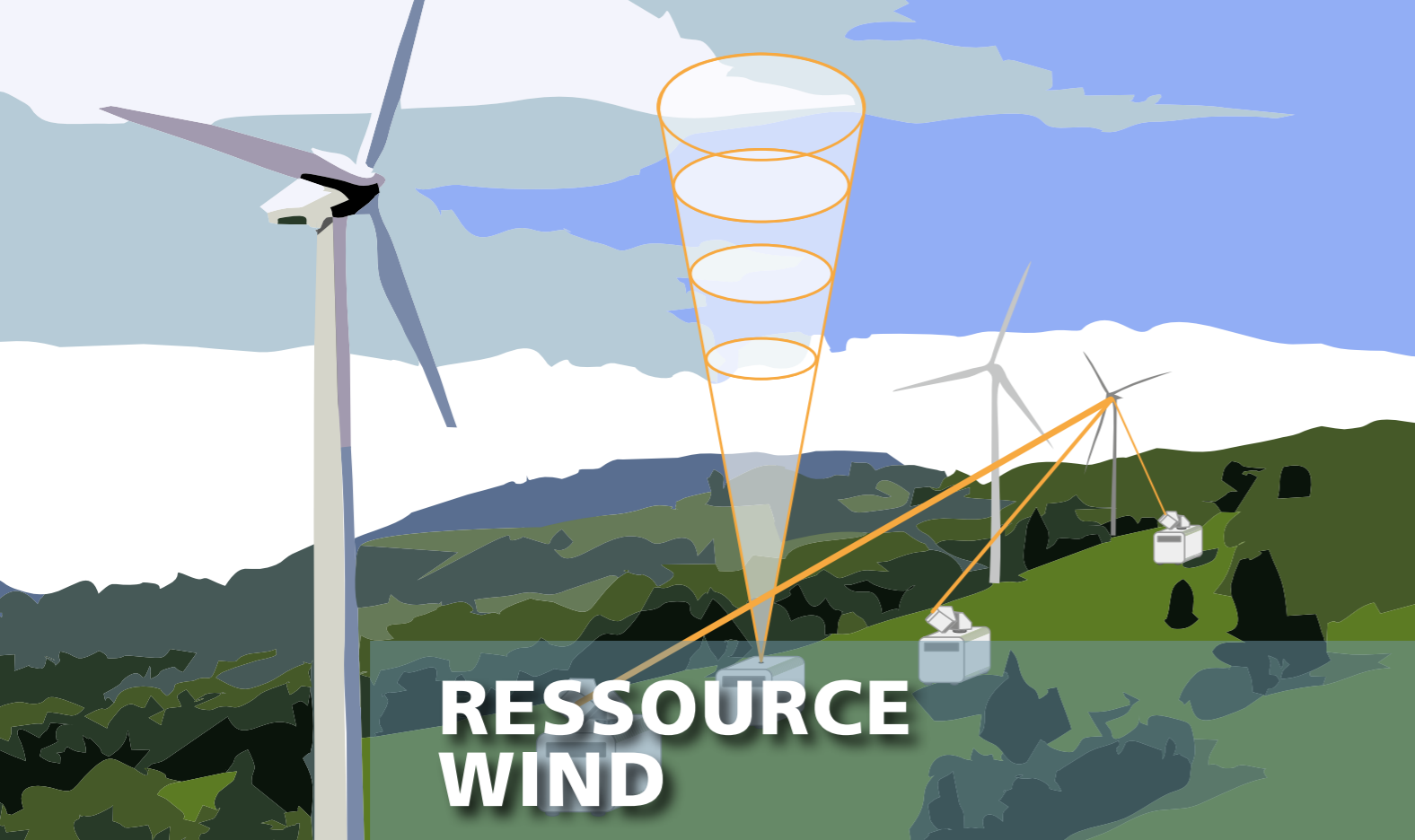
Mit modernen Methoden aus der Wissenschaft und Forschung tragen wir dazu bei, dass Windstrom effizient und umweltfreundlich erzeugt wird und die zukünftige Energieversorgung stabil und sicher bleibt.

Dafür entwickeln wir praxisorientierte Werkzeuge und Lösungen zu diesen vier Schwerpunkten:

- Ressource Wind als antreibende Kraft und gleichzeitig größte mechanische Belastung
- Komponenten des elektrischen Systems, die die hohen Anforderungen des Netzes erfüllen müssen
- Betriebsprozesse mit ihren Optimierungs- und Einsparpotenzialen
- Auswirkungen der Windenergie auf die Stabilität des Elektroenergiesystems

# FÜR EINE STABILE ENERGIEVERSORGUNG MIT WINDENERGIE





# RESSOURCE WIND

## Windmesstechnik, Lidar-Technologien

- Entwicklung neuer Lidar-Technologien, insbesondere Multi-Lidar
- Qualifizierung neuer Messtechnik für die Ressourcen- und Standortbewertung
- Reduzierung von Messunsicherheiten

## Charakteristika der Windströmung

- Zeitliche und geographische Variationen in verschiedenen Höhen
- Wettereinflüsse auf Messergebnisse und Messstrategien
- Langzeitabgleich sehr kurzer Messkampagnen

## Windbedingungen an komplexen Standorten

- Simulation der Windströmung mit verschiedenen CFD-Modellen
- Lidar-Messungen und Korrekturfaktoren im komplexen Gelände
- Durchführung von Lidar-Messungen und Anwendung eigener Korrekturverfahren

## Modellierung der Windenergie im zukünftigen Energieversorgungssystem

- Abbildung technischer und regulatorischer Entwicklungen
- Zukunftsszenarien für die Entwicklung des zukünftigen Energiesystems
- Modellentwicklung für ein umfassendes Energiesystem

## Messkampagnen für Ertragsgutachten und Performance Assessment

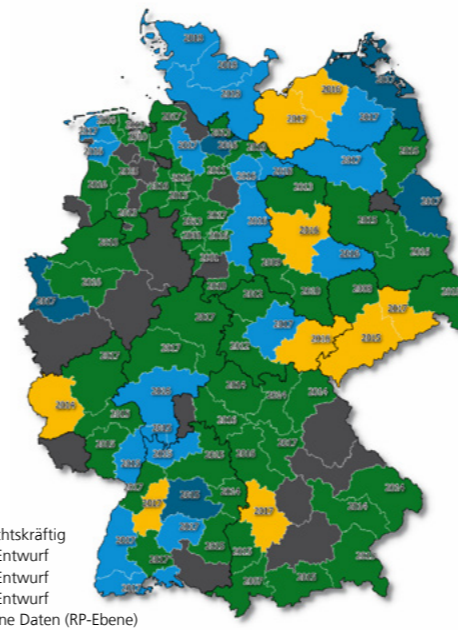
- Durchführung von Lidar-Windmesskampagnen
- Identifizierung geeigneter Messstandorte mit geringen Unsicherheiten
- Optimierte Messkampagnen durch an den Standort angepasste Messstrategien

## Sensortests vom Proof-of-Concept bis zur Qualifizierung für die Anwendung

- 200 m hoher IEC-konformer Referenzmast im Mittelgebirge
- Verifizierung von Lidar-Neuentwicklungen und Multi-Lidar-Systemen

## GIS-Analysen im Kontext Windenergie

- Potenzialanalysen unter variablen Annahmen und Randbedingungen
- Ermittlung der installierbaren Leistung auf Flächen für die Windenergienutzung
- Bewertung von Windflächen mit unterschiedlichen Parametrisierungen



Copyright: Klaus Otto

## Qualifizierte Messdaten für Wissenschaft und Forschung

- Langjährige Zeitreihen vom 200 m hohen Messmast in Nordhessen
- 40 meteorologische Sensoren, davon 20 Windsensoren verteilt auf 13 Messhöhen



Foto: Uwe Krengel

## SYSTEMKONFORME KOMPONENTEN

### Elektrische Maschinen

- Elektromagnetische Auslegung innovativer Generatorkonzepte
- Dynamische Regelung magnetischer Kräfte am Rotor
- Leistungsoptimierung im Teillastbereich durch Segmentierung
- Massenreduktion durch neue Generatorkonzepte

### Leistungselektronik

- Hochkompakte SiC-Stromrichter
- Galvanisch getrennte Hochsetzsteller
- Topologieuntersuchungen für NS-, MS- und HGÜ Anbindungskonzepte
- Instantane Leistungsbereitstellung
- Hardware-in-the-loop Entwicklungen

### Regelungskonzepte

- Netzstützende Regelungsverfahren
- Ausregeln der Wechselwirkungen zwischen Antriebsstrang und Netz
- Modellbasierte Optimierung der Regelalgorithmen
- Verteilte Regelungen zur Steigerung der Effizienz im Teillastbereich und Erhöhung der Verfügbarkeit

### Netzkompatibilität

- Technisch-ökonomische Optimierung der Netzanbindung
- Oberschwingungsausbreitung im Windparknetz
- Oberschwingungsmessverfahren

### Generatorentwicklung

- Elektromagnetische Auslegung von WEA-Generatoren
- Ansteuerung und Regelung von Generatoren
- Elektrische Systemauslegung vom Generator bis zum Netzanschluss
- Aktive Schwingungsdämpfung

### Stromrichterentwicklung

- Netzanbindungskonzepte für NS, MS und HGÜ
- Optimierte Leistungsdichte und Performance durch angepasste Topologien
- Prüfstände zur Verlustleistungsbestimmung von Halbleitern und magnetischen Komponenten
- Prototypenentwicklung und -bau

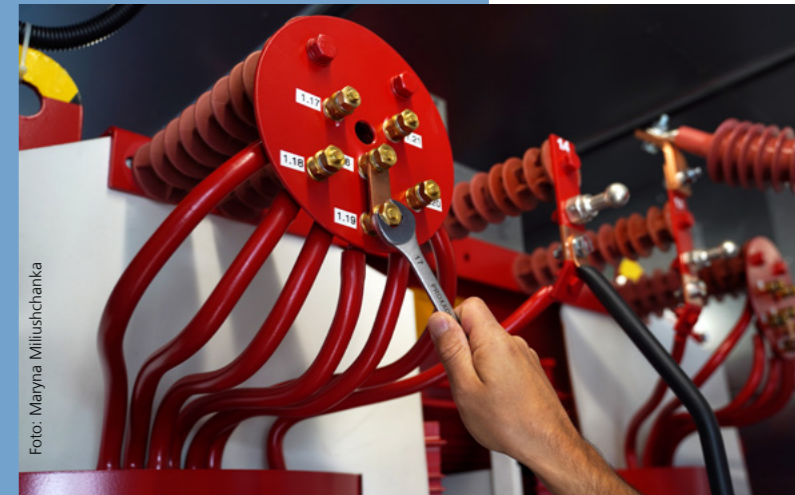
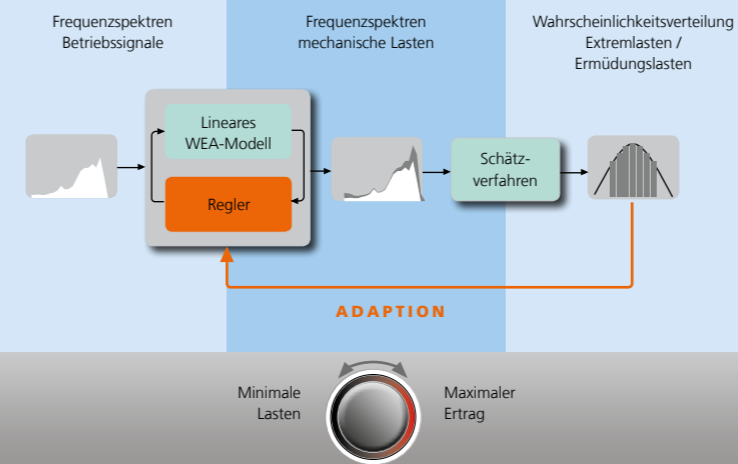


Foto: Mayna Milushchanka

### Anlagenregelung

- Softwaretools für die Reglerkonzipierung und Auslegung
- Regleroptimierung bzgl. Lastreduktion und Ertragssteigerung
- Aktive Schwingungsdämpfung des Turms
- Modellvalidierung mit Modalanalyse von Betriebsdaten
- Modellbildung nach WECC und IEC

### Nachweis der Netzkompatibilität

- Akkreditierte Messungen der elektrischen Eigenschaften im Prüflabor und vor Ort
- Modellbildung und -simulation der elektrischen Eigenschaften von Einzelanlagen und Parks



## OPTIMIERTE BETRIEBSPROZESSE

### Daten- und Prozessmodelle

- Definition sinnvoller Metadaten, Messgrößen und Kennwerte
- Harmonisierung von Begriffen, Verknüpfen von Datenströmen
- Automatisierung und Digitalisierung im Datenhandling
- Datengetriebene Methoden zur Prozessoptimierung

### Einflussgrößen auf Betrieb und Zuverlässigkeit

- Wechselwirkungen zwischen WEA-Komponenten und Netz sowie zwischen einzelnen WEA im Park
- Ableitung und Bemessung von Stressfaktoren
- Simulation und Optimierung von Instandhaltungs-Prozessen
- Online-Überwachung großer Datenmengen

### Zuverlässigkeitsuntersuchungen

- Unternehmensübergreifende Datenbank WInD-Pool
- RAMS-Analysen und Kennwerte auf Komponentenebene
- Stressfaktoren und kombinierte Lebensdauermerkmale
- Zuverlässigkeitsfunktionen und -modelle

### Betriebsüberwachung und -bewertung

- Analyse von Betriebsdaten mit WInD-Pool-Technik
- Automatisiertes Performance-Monitoring
- Identifikation und Bewertung von Schwachstellen

### Betriebsoptimierung

- Anpassung von Managementsystemen an geeignete Normen
- Benchmarking mit vergleichbaren WEA-Typen
- Angepasstes, automatisiertes Reporting
- Optimierte Einsatzplanung und -steuerung für Windparks

### Instandhaltungsoptimierung

- Automatisierte Anomalieerkennung aus SCADA-Daten
- Empfehlung günstigster Zeiträume für präventiven Service
- Prognose des Ausfallverhaltens und des optimalen Tauschtages

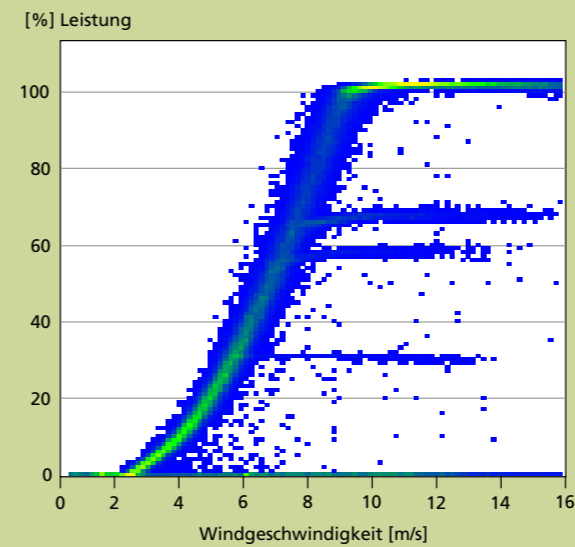




Foto: Fraunhofer IEE | Pavo Blofisd

# WIND IM ELEKTRO-ENERGIESYSTEM

## Windbedingte Einflüsse

- Kalibrierverfahren für Prognosen auf Basis von Echtzeit-Windmessungen
- Klassifikation von Windereignissen wie Stürme, Vereisung und Flauten
- Multi-Modell-Prognose zur genaueren Vorhersage von Extremereignissen

## Analysen von Echtzeitmessungen

- Räumliche Statistik zur Harmonisierung von Stammdaten
- Stochastik und Probabilistik zur Modellierung von Prognoserisiken
- Machine-Learning Verfahren zur Detektion von Betriebszuständen, Anomalien und Datenfehlern

## Systemdienstleistungen durch Windenergieanlagen

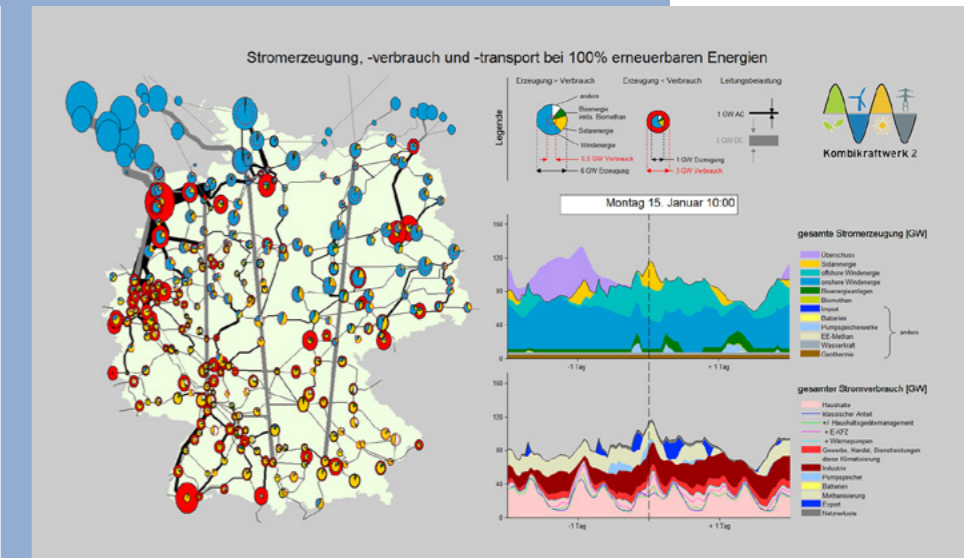
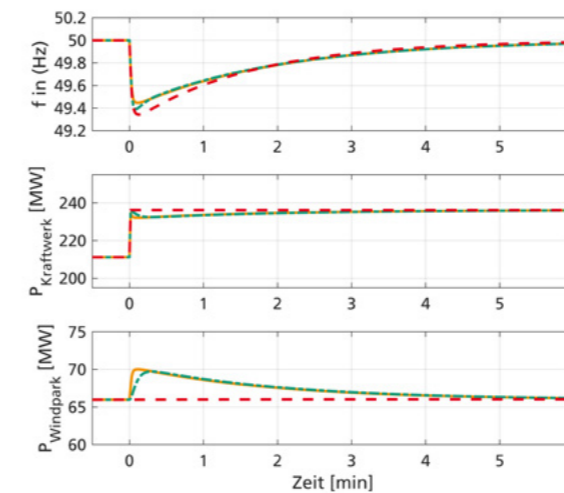
- Ermittlung des Windpotenzials im Rahmen der Regelleistungsbereitstellung
- Dynamische Bemessung der windinduzierten Regelleistung
- Leistungsregelung von Windparks mit Großspeichern
- Bereitstellung von Flexibilitäten (P, Q) durch Windenergie
- Entwicklung von Beiträgen zum Netzwiederaufbau

## Unterstützung des witterungsbedingten Freileiterbetriebs

- Potentialabschätzungen auf Basis meteorologisch bedingter Kapazitätsberechnungen
- Identifikation meteorologisch bedingter Engpassstellen («Hot-Spots»)
- Bereitstellung von Windmeseinrichtungen und Messkampagnen
- Module zur Filterung und Ersatzwertbildung fehlerhafter Windmesswerte

## Bereitstellung von Windleistungsprognosen für

- Windparks bzw. Netzanschlusspunkte
- Windparkportfolien in der Direktvermarktung
- Netzverknüpfungspunkte zur vorausschauenden Netzberechnung
- Übertragungsnetze und Verteilnetze (Redispatch 2.0)
- Szenario-Netzberechnung und Stromhandel



## Module und Services zur SDL-Bereitstellung

- für Leitsysteme
- für die Regelleistungsbereitstellung
- für die Spannungs- und Frequenzhaltung
- für den Netzwiederaufbau mittels Windenergieanlagen
- für die Optimierung der Einspeisung virtueller Kraftwerke mit Wind und Großspeichern
- für die Unterstützung bei der Präqualifikation zur Bereitstellung von Regelleistung

# Komplementäres Know-how für die Nutzung der Windenergie



## **Berthold Hahn**

Koordinator Windenergie  
Telefon: +49 561 7294-229  
E-Mail: [berthold.hahn@iee.fraunhofer.de](mailto:berthold.hahn@iee.fraunhofer.de)

## **Fraunhofer IEE**

Königstor 59 | 34119 Kassel

Das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE in Kassel forscht für die Transformation der Energiesysteme. Es entwickelt Lösungen für technische und wirtschaftliche Herausforderungen, um die Kosten für die Nutzung erneuerbarer Energien weiter zu senken, die Versorgung trotz volatiler Erzeugung zu sichern, die Netzstabilität auf hohem Niveau zu gewährleisten und die Energiewende zu einem wirtschaftlichen Erfolg zu führen.

Im Bereich der Windenergie untersucht das Fraunhofer IEE den Herausforderungen in der Planung, der Entwicklung und der Bewirtschaftung des zukünftigen Energieversorgungssystems sowie der Entwicklung und dem Test neuer Komponenten der zugehörigen Systemtechnik. Viele dieser Herausforderungen betreffen das Zusammenspiel aller Komponenten im Gesamtsystem und können nicht allein durch die losgelöste Weiterentwicklung einer einzelnen Technologie gemeistert werden.

Aus diesem Grund widmet sich das Fraunhofer IEE aus einer Systemperspektive den Entwicklungsbedarfen, die sich an die einzelnen Techniken, Technologien und Komponenten eines zukünftigen Energieversorgungssystems richten.

Das Institut verfügt über ein breites Know-how-Spektrum aus verschiedenen Themenfeldern der Energiesystemtechnik und Energiewirtschaft, um Forschungsfragen gezielt zu beantworten und passgenaue Lösungen für die Anwendung zu entwickeln.



[iee.fraunhofer.de/  
wind](http://iee.fraunhofer.de/wind)