

# Offshore Windenergie- und Meeresenergienutzung – Zusammenarbeit von Forschung und Wirtschaft

## 1. Offshore Wind- und Meeresenergie – ein Wirtschaftszweig entsteht

Die Offshore-Windenergie ist in Deutschland ein Kernstück der Energiewende. In Deutschland sieht das Energiekonzept für 2030 25 Gigawatt installierte Leistung auf dem Meer vor [BMWi, BMU, 2010]. Für Europa rechnet die EWEA in 2020 mit etwa 40 Gigawatt installierter Leistung – das ist eine Verzehnfachung im Vergleich zum Istzustand [EWEA, 2011]. Bei der Meeresenergie, womit hier Wellen- und Gezeitenkraftwerke gemeint sind, ist die technologische Entwicklung noch nicht so weit wie bei Offshore Windparks. Meeresenergieanlagen sind momentan im Prototypenstatus, der Bau kommerzieller Kraftwerke ist aber für die nächsten Jahre abzusehen.

Der geplante massive Aufbau von Offshore-Windparks ist keineswegs ein Selbstläufer sondern wird hart erarbeitet werden müssen. Die größte Herausforderung sind die extremen Umweltbedingungen, denen die Windparks und Meeresenergieanlagen ausgesetzt sind (s. *Abbildung 1*). Die verwendete Technologie muss diesen Bedingungen 20 Jahre lang standhalten. Und: Die Umweltbedingungen führen dazu, dass jeder technologische Fehler extrem hohe Kosten verursacht, da die Zugänglichkeit der Anlagen stark eingeschränkt ist und jede Reparatur extrem teuer ist und lange Ausfallzeiten mit sich bringt. Vor diesem Hintergrund ist die Reduzierung des Risikos von Designfehlern als eine ganz wichtige Herausforderung zu sehen.

Eine weitere große Herausforderung für die Zukunft ist die Reduzierung der Stromgestehungskosten. Im Vergleich zu Windenergie an Land ist die Nutzung von Wind, Wellen und Strömungen offshore momen-

tan erheblich teurer. Da sich die technologische Entwicklung noch am Anfang befindet, wird davon ausgegangen, dass noch erhebliches Potential für Kostensenkungen vorhanden ist [Crown Estate, 2012].

Die offshoresseitige Netzanbindung ist aktuell in Deutschland die größte Herausforderung für den zügigen Ausbau. Hier kommen technologische Herausforderungen, eine unzureichende Fertigungskapazität, Haftungsfragen und Finanzierungsschwierigkeiten zusammen. Mit der Neuregelung der Haftung [Bundestag, 2012] ist aber ein wichtiger Schritt getan. Der Transport des Stroms an Land kann in Zukunft zu einem weiteren Engpass werden, dem der vor kurzem vorgestellte Netzentwicklungsplan der Übertragungsnetzbetreiber [ÜNB, 2012] vorbeugen soll.

Betrachtet man die Stromgestehungskosten als die Gesamtkosten der Offshore-Windenergie, so entfällt etwa 1/3 davon auf die Windenergieanlage selber. 2/3 der Gesamtkosten entfallen aber auf Fundament, Tragstruktur, Wartung und Instandhaltung, Logistik, Installation, etc. All dies sind Bereiche, in denen fast kein spezifisches Know-how vorhanden ist und in denen die Industrie erst entstehen muss. Dazu gehört zum einen die Entwicklung der Technologien, aber auch der Aufbau von Produktions- und Logistikkapazitäten, etc. Besonders zu betonen ist die Herausforderung, hochqualifiziertes Personal für diese Aufgaben zu finden bzw. auszubilden. Die Verzehnfachung der installierten Leistung in den nächsten 8 Jahren braucht eine große Zahl hochqualifizierter Fachkräfte.

## 2. Die Rolle der Forschung

Die Entwicklung der Offshore-Windenergie steht noch ganz am Anfang. Bisher sind erst wenige Wind-



Fraunhofer IWES  
Dr. Bernhard Lange  
bernhard.lange@iwes.fraunhofer.de

Jochen Bard  
jochen.bard@iwes.fraunhofer.de

Michael Durstewitz  
Michael.Durstewitz@iwes.fraunhofer.de

EWE Offshore Service & Solutions GmbH  
Dr. Claus Burkhardt  
claus.burkhardt@ewe.de



Abbildung 1  
Der Windpark *alpha ventus* bei verschiedenen Wetterlagen – die extremen Umweltbedingungen offshore sind die größte Herausforderung  
© DOTI / BSH

parks gebaut worden, die Erfahrung mit der verwendeten Technologie beschränkt sich auf wenige Jahre. Der sehr geringen Erfahrung steht eine berechnete Lebensdauer von 20 Jahren gegenüber, mit der die Wirtschaftlichkeit der Windparks kalkuliert wird. Es ist offensichtlich, dass das technisch-wirtschaftliche Risiko reduziert werden muss. Hier hat die Forschung eine wichtige Aufgabe. Der Bau von Prüfständen für Blätter, Materialien, Tragstrukturen, Triebstränge, etc. sind ein Schritt in diese Richtung. Weniger offensichtlich, aber ebenso wichtig, ist die Verbesserung des Verständnisses der Umweltbedingungen, der sich darauf ableitenden Lasten und der daraus resultierenden Auslegung der Anlagen und ihrer Komponenten.

Forschung und Entwicklung sind Schlüsselfaktoren für die Senkung der Stromgestehungskosten. Sie ermöglichen zum einen eine Optimierung der verwendeten Technologie. Beispiele für solche Forschungsfragen sind so grundlegende Themen wie die optimale Anlagengröße, das Triebstrangkonzept, Materialien und Fertigungsmethoden für Rotorblätter, usw. Zum anderen bietet Forschung das Potential für grundlegende Innovationen, die zu großen Kostensenkungen führen können. Hier sind als Beispiel Gründung und Tragstruktur zu nennen, wo es noch sehr viele konkurrierende Konzepte gibt. Aber auch die Frage der Installationsmethodik und der Logistik des Betriebs beinhaltet noch erhebliches Innovations- und damit Kostensenkungspotential.

Als besondere Herausforderung muss gesehen werden, dass die Reduzierung von technischen Risiken durch langjährige Erfahrung natürlich der Einführung von Innovationen, z. B. zur Kostensenkung, entgegensteht. Wenn Versicherungen und Banken einen langjährigen ‚track-record‘ verlangen, ist es schwierig, Neuentwicklungen am Markt zu platzieren. Ohne solche Neuentwicklungen ist aber langfristig weder eine starke Kostensenkung zu erreichen noch eine Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.

Bei der Auflösung dieses Interessenkonfliktes kann Forschung eine wichtige Rolle spielen, da sie Erfahrung (track-record) teilweise durch Modellergebnisse und Simulationen ersetzen kann. Eine wichtige Rolle spielen hier auch Testfelder und Demonstrationsprojekte, die helfen können, technische Lösungen aus der Forschung in die Praxis zu überführen.

Um die Chancen zu nutzen, die sich aus Forschung, Entwicklung und Demonstration ergeben, ist eine Zusammenarbeit zwischen Forschung und Wirtschaft unabdingbar. Forschungsinstitutionen bieten unabhängig von einzelnen Unternehmen Wissen, Werkzeuge und Methoden sowie Forschungsinfrastruktur, die einzelne Firmen allein nicht aufbauen können. Durch eigene Vorlauforschung und durch den Transfer von Wissen aus der Grundlagenforschung in die Anwendung können sie Innovationen in die Unternehmen bringen. Hierfür ist aber eine vertrauensvolle und langjährige Zusammenarbeit Voraussetzung. Nur so können auch die für die Forschung unabding-

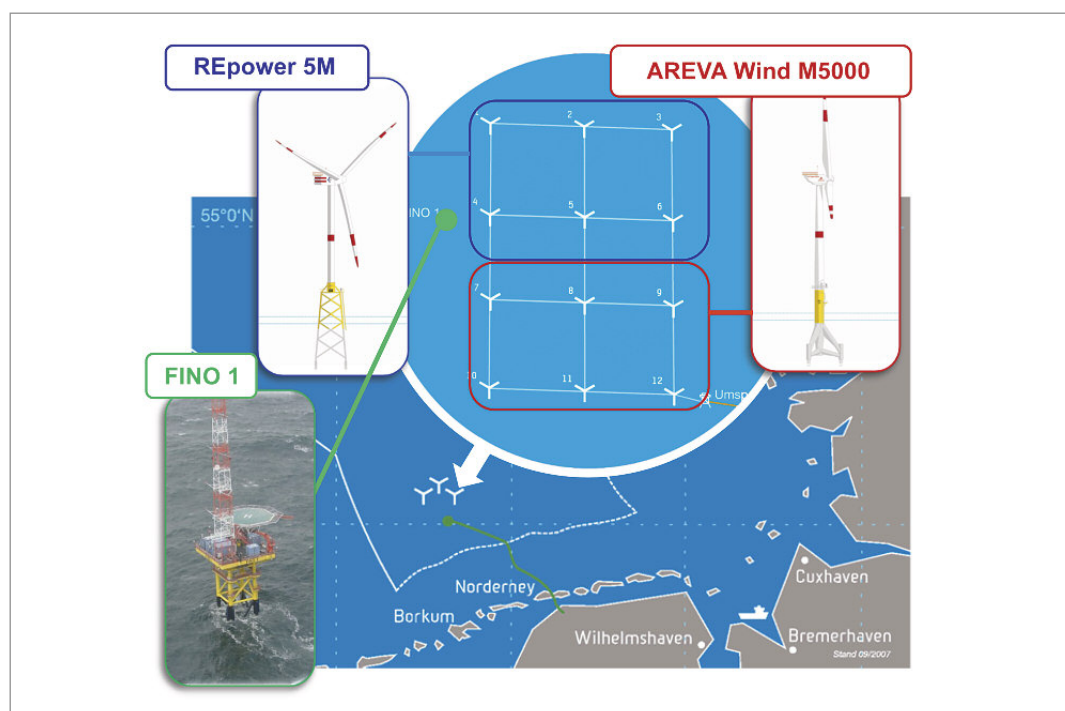


Abbildung 2  
alpha ventus  
© DOTI, FuE-Zentrum  
FH Kiel GmbH

baren realen Messdaten und die Praxiserfahrung in die Forschung eingebracht werden, denn diese sind nur in der Wirtschaft vorhanden.

### Beispiel alpha ventus und RAVE

Ein Beispiel für die Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie in der Offshore-Windenergie ist die Forschung am Testfeld alpha ventus der RAVE-Initiative (Research at alpha ventus). alpha ventus ist Deutschlands erster Offshore-Windpark (s. *Abbildung 2*). Er wurde 2009 fertiggestellt und befindet sich etwa 45 km nördlich der Insel Borkum bzw. 75 km vom nächsten Hafen entfernt. Die Wassertiefe beträgt dort etwa 30 Meter. Der Windpark besteht aus 12 Windenergieanlagen der Hersteller REpower und AREVA Wind mit je 5 MW Leistung. Die Betriebserfahrungen von alpha ventus in den ersten Betriebsjahren sind extrem positiv. Die Produktion lag in 2011 bei über 4400 Volllaststunden. Ebenso war die Verfügbarkeit der Anlagen im letzten Jahr mit 95% für einen Offshore-Windpark sehr hoch. Damit hat die neue 5MW Klasse von Offshore-Windenergieanlagen erfolgreich ihre Tauglichkeit auch unter extremen Offshore-Bedingungen bewiesen.

Um die Entwicklung der Offshore-Windenergie durch Forschung am Testfeld alpha ventus zu unterstützen wurde vom Bundesumweltministerium die Forschungsinitiative RAVE initiiert. RAVE umfasst insgesamt 33 laufende bzw. bereits abgeschlossene Forschungsprojekte, weitere sind in Vorbereitung. Etwa 50 Forschungspartner sind an RAVE beteiligt und etwa 200 Wissenschaftler in Deutschland involviert. Die Forschungsinitiative RAVE wurde vom BMU mit bisher 52 Millionen Euro gefördert. Das in RAVE bearbeitete Themenspektrum ist sehr breit, es reicht von Gründung und Tragstrukturen für Offshore-Windenergieanlagen über die Anlage selber über ökologische Begleitforschung und Akzeptanzforschung bis hin zur Netzintegration, also der Integration des Stroms in das Energieversorgungssystem. Das weltweit umfassendste Messprogramm an einem Offshore-Windpark hat beispiellose full scale in situ Daten geliefert, die eine solide Basis für die Entwicklung von realitätsnahen Modellen von Windkraftanlage und Windpark bilden. Die Vielzahl der Projekte und die Komplexität der Inhalte sprengen bei Weitem den Rahmen dieser Zusammenfassung. Für eine vollständige Darstellung sei auf die RAVE Webseite [www.rave-offshore.de](http://www.rave-offshore.de) verwiesen.

Die Ergebnisse der Forschung wurden auf der Konferenz „RAVE 2012“ vorgestellt und diskutiert. Die Präsentationen sind unter [www.RAVE2012.de](http://www.RAVE2012.de) öffentlich zugänglich. Neben der Erweiterung des Wissens zu grundlegenden und angewandten Fragen der Off-

shore-Windenergienutzung wurden auch Werkzeuge und Modelle für den direkten Einsatz in der Industrie entwickelt, wie z. B. zum Anlagen- und Gründungsdesign, zur Kolkbildung usw. Besonders wertvoll ist dabei, dass die Modelle mit weltweit einmaligen in situ Daten validiert wurden. Die beiden beteiligten Hersteller haben inzwischen basierend auf den Ergebnissen von RAVE ihre Anlagen weiterentwickelt und neue, größere Anlagentypen auf den Markt gebracht. Auch die Arbeiten der ökologischen Begleitforschung haben einen wichtigen Wissenszuwachs erbracht. Zum ersten Mal in Deutschland konnten die Auswirkungen von Bau und Betrieb von Offshore-Windparks untersucht werden. Basierend auf den neuen Ergebnissen wird das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) als Genehmigungsbehörde ihr Standarduntersuchungskonzept für die für die Genehmigung erforderlichen ökologischen Untersuchungen weiterentwickeln. Darüber hinaus hat sich in Deutschland eine international beachtete Forschungslandschaft für die Fragen der Offshore-Windenergienutzung gebildet, die in der Lage ist, die Industrie bei den anstehenden Herausforderungen zu unterstützen

Neben den konkreten Ergebnissen der Forschung wurden in RAVE auch eine Reihe wertvoller Erfahrungen gemacht. So wurde im Projekt immer wieder deutlich, dass die Schwierigkeiten von Offshore-Arbeiten sehr leicht unterschätzt werden. Die Wetterabhängigkeit und Logistik hat sowohl bei dem Bau des Windparks als auch bei Aufbau und Wartung der Forschungsmessungen zu Verzögerungen geführt. Es gab wetterbedingt starke Einschränkungen in der Erreichbarkeit der Anlagen. Generell ist deutlich geworden, dass die Infrastruktur an Schiffen und Personal noch nicht für die Aufgaben der Offshore-Windenergie gerüstet ist. Für Aufbau, Wartung und Instandhaltung des geplanten Ausbaus der Windenergie muss sich erst noch eine Industrie entwickeln, die die notwendigen Arbeiten ausführen kann.

Eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg der RAVE-Initiative sollte besonders erwähnt werden: die Zusammenarbeit aller Partner. Es besteht eine sehr enge Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Unternehmen – d. h. den beiden Anlagenherstellern und dem Windparkbetreiber – und den beteiligten Forschungsinstitutionen. Auch hier wurden die Schwierigkeiten und Herausforderungen insbesondere der Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie anfänglich unterschätzt. Trotz gemeinsamer Ziele ist es aber keine Selbstverständlichkeit, dass Wettbewerber, egal ob konkurrierende Forschungsinstitute oder Industrieunternehmen, eine gemeinsame Basis zur vertrauensvollen Zusammenarbeit entwickeln.



Abbildung 3  
Die Meeresströmungsturbine SEAGEN

Der Schlüssel zu einer vertrauensvollen Zusammenarbeit ist das gegenseitige Verständnis der jeweiligen Ziele und Randbedingungen und der Wille, Kompromisse einzugehen und Gemeinsamkeiten zu suchen. Dies ist nur mit einer kontinuierlichen, engen und langen Zusammenarbeit möglich, wie sie in RAVE im Koordinationsgremium stattgefunden hat. Zusätzlich wurde ein für Forschungsverhältnisse sehr umfangreiches Vertragswerk geschaffen und ein detailliertes Verfahren zur Akkreditierung von Forschern für sensible Daten ausgearbeitet.

Alle Beteiligten sind sich darüber im Klaren, dass die Entwicklung der Offshore-Windenergie und das Erreichen der Ziele der Energiewende im Alleingang nicht zu meistern sind. Hier wird zukünftig eine noch viel größere Zusammenarbeit sowohl zwischen Forschung und Industrie als auch von Unternehmen untereinander erforderlich sein. Die RAVE-Initiative hat gezeigt, dass dies zwar nicht immer einfach, aber letztlich doch möglich ist.

### Beispiel Gezeitenkraftwerke

Die Entwicklung der Gezeitenkraftwerke SEAFLOW und SEAGEN sind ein Beispiel für die Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie im Bereich der Meeresenergie. Die Meeresströmungsturbine SEAFLOW wurde 2003 nach ca. 8-jähriger Entwicklungszeit in Betrieb genommen. Der Prototyp wurde gemeinsam von ITPower/MCT (Anlagen- und Projektentwickler), der Universität Kassel (Forschung), dem ISET/Fraunhofer IWES (Forschung und Entwicklung), dem Getriebehersteller Jahnle-Kestermann und der Firma Seacore (Offshore-Installationen) entwickelt. Die Anlage hat einen Rotordurchmesser von

11 m, mit dem eine Nennleistung von 300 kW erreicht wird. Sie zeichnet sich durch Blattverstellung, drehzahlvariablen Betrieb und einen Rotorlift aus.

Anschließend wurde die Anlage zu der 1,2 MW-Doppelrotoranlage SEAGEN weiterentwickelt, die 2008 in Betrieb genommen wurde (s. *Abbildung 3*). Sie ist als Prototyp für kommerzielle Anlagen gedacht und besteht aus 2 Rotoren mit je 600 kW bei einem Rotordurchmesser von 16 m. Die Anlage erzeugt ca. 3500 MWh Strom pro Jahr, was ca. 2900 Volllaststunden entspricht.

Die zukünftige Planung der Firma MCT, die inzwischen zu Siemens gehört, geht davon aus, dass in Großbritannien bis 2015 Meeresströmungsanlagen mit 18 MW installierter Leistung errichtet werden, bis 2020 sollen es 100 MW sein.

Die Forschung und Entwicklung der Prototypen wurde durch parallele Forschungsprojekte von EU, UK und D unterstützt. Diese unterstützten die Entwicklungskosten der SEAFLOW Anlage von insgesamt ca. 5 Mio. € mit 50%. Die Forschungsarbeiten umfassten die Entwicklung des Gesamtsystems vom Konzept bis zum Prototyp. Dazu gehört z. B. die Erfassung und Charakterisierung der Umgebungsbedingungen wie Strömungsprofil, Wellen-Strömungs-Wechselwirkung, Turbulenz und Rotorumströmung, die Anlagenmodellierung mit dynamischen Simulationen und Lastberechnung, die Entwicklung der Anlagenregelung, der Pitchregelung und der Betriebsführung, die Netzanbindung und Netzintegration sowie das Monitoring und die Analyse des Testbetriebs. Im Gegensatz zu Offshore-Windenergie, wo die Anlagenentwicklung im Wesentlichen von der Industrie

durchgeführt wird, wurde bei der Entwicklung von SEAFLOW und SEAGEN das Gesamtsystem vom Konzept bis zum Prototypen, der errichtet wurde, gemeinsam von Industrie und Forschung erarbeitet. Eine entscheidende Strategie bei der Entwicklung dieses innovativen neuen Systems war es, verschiedene Lösungen aus anderen Branchen insbesondere Offshore-Wind, -Wasserkraft sowie Offshore-Öl und -Gas zu nutzen. Dieses Know-how wurde von den verschiedenen Partnern in das Projekt eingebracht. Eine besondere Herausforderung ist bei einer solchen integrierten F&E die Vereinbarung über die IP Rechte der entwickelten Technologie. Dies ist in diesem Projekt durch eine sorgfältig differenzierte Rechteverteilung an der generierten IP gelöst worden. Dabei hat sich eine Aufteilung zwischen Forschung und Industrie als hilfreich erwiesen, bei der die Forschung das IP Recht an dem Methoden-Know-how erhält, während die Industrie die anlagenspezifische IP hält.

## Fazit und Ausblick

Die Offshore-Wind- und -Meeresenergienutzung hat als neuer Industriezweig noch viele Herausforderungen vor sich, wobei die Reduzierung des technischen Risikos und der Stromgestehungskosten besonders zu nennen sind. Dies erfordert gleichzeitig den Einsatz von bewährter Technologie zur Risikominimierung und von neuen, innovativen Lösungen zur Kostenreduktion. Forschung kann einen wichtigen Beitrag zur Lösung dieses scheinbaren Widerspruchs leisten. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschungsinstitutionen und Industrie ist aber eine Voraussetzung dafür. Die Herausforderungen einer solchen Zusammenarbeit im Zusammenhang mit realen Offshore-Installationen mit einem Investitionsvolumen im dreistelligen Millionenbereich sollte nicht unterschätzt werden. Die Zusammenarbeit sollte ebenso sorgfältig geplant werden, wie die Projekte selber, wobei ein Hauptziel darin bestehen sollte zunächst gegenseitiges Verständnis und dann Vertrauen aufzubauen.

Auch in Zukunft wird Forschung, Entwicklung und Demonstration an realen Offshore-Standorten unabdingbar für die Weiterentwicklung der Offshore-Windenergie sein. Schon jetzt stellt alpha ventus nicht mehr den neuesten Stand der Technik dar – z. B. haben beide Anlagenhersteller bereits neue Nachfolgemodelle entwickelt. Neue Standorte für die Testfeldforschung sind daher notwendig, um der Industrie die Möglichkeit zu geben, kontinuierlich die neuesten technologischen Entwicklungen zu testen und zu demonstrieren, um innovative Konzepte zu unterstützen und um den Forschern die Möglichkeit zu geben, die Ergebnisse zu erzielen, die für die Zukunft notwendig sind. Dazu gehört auch eine ver-

stärkte Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie, aber auch innerhalb der Branche. RAVE kann als erster Schritt dahin gesehen werden.

Sowohl Industrie als auch Forschung agieren international bzw. global. Ein global agierendes Unternehmen wird seinen Bedarf an Forschung, Entwicklung und Demonstration international decken. Auch bei großen Forschungsinstitutionen ist die Tendenz festzustellen, Forschungsleistungen international anzubieten. Demgegenüber ist die Forschungsförderung meist national ausgerichtet, abgesehen von der vergleichsweise kleinen Forschungsförderung der EU. Dies führt z. B. dazu, dass in Europa in mehreren Ländern unabhängig voneinander Testfelder für Offshore-Windenergie eingerichtet werden. Hier besteht Bedarf zumindest an größerer Koordination oder sogar Kooperation.

## Literatur

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. 2010 ([http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept\\_bundesregierung.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung.pdf))

European Wind Energy Association (EWEA): Wind in our Sails. 2011 ([http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Offshore\\_Report.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Offshore_Report.pdf))

Crown Estate: Offshore Wind Cost Reduction – Pathways Study. 2012 (<http://www.thecrownestate.co.uk/media/305094/Offshore%20wind%20cost%20reduction%20pathways%20study.pdf>)

Deutscher Bundestag: Drittes Gesetz zur Neuregelung energiewirtschaftsrechtlicher Vorschriften. 2012 (<http://dipbt.bundestag.de/extrakt/ba/WP17/470/47090.html>)

50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH (ÜNB): Netzentwicklungsplan Strom 2012. 2. Überarbeiteter Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber. 2012 (<http://www.netzentwicklungsplan.de/content/netzentwicklungsplan-2012-2-entwurf>)

Fraunhofer Institute für Windenergie und Energiesystemtechnik (Fraunhofer IWES): Windenergie Report Deutschland 2011. 2012 ([http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/bilder/upload/Windreport\\_2011\\_de.pdf](http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/bilder/upload/Windreport_2011_de.pdf))