BWE

Bundesverband WindEnergie

A bis Z

Fakten zur Windenergie

Von A wie Arbeitsplätze
bis Z wie Ziele der Energieversorgung

www.wind-energie.de

Inhalt

Vorwort 4
Akzeptanz – Erfolgsfaktor der Windenergie 6
Arbeitsplätze – Windenergie als Jobmotor in Deutschland 7
Bürgerbeteiligungen – Windparks in regionaler Hand 8
Direktvermarktung 10
Effizienz – mit großen Schritten zum Erfolg 12
Einspeisemanagement 13
Elektromobilität – Wind macht mobil 14
Energiebilanzen von Windenergieanlagen 15
Energieertrag von Windenergieanlagen 16
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) – deutscher Exportschlager 17
EEG-Umlage – Entstehung und Zusammensetzung 18
Export – Windenergie made in Germany 19
Externe Kosten – was Strom wirklich kostet 20
Genehmigung von Windenergieanlagen 21
Gewerbesteuer – mehr Geld für Kommunen 22
Hindernisbefeuerung – gut zu sehen 23
Infraschall – das harmlose Schreckgespenst 24
Kleinwindanlagen – eigener Strom für alle 25
Klimafolgen und Klimaschutz – Rettungsanker Erneuerbare Energien 26
Landschaftsbild – Veränderung mit Weitsicht 28
Leistung der Windenergieanlagen 29
Netzausbau, Netzumbau und Systemtransformation 30
Offshore – Signal auf Grün 32
Onshore – Windenergie an Land 33
Potenzial der Windenergie 34
Recycling von Windenergieanlagen 35
Regionale Wirtschaftsimpulse – Gewinn für alle 36
Repowering – Windenergie an Land 37
Rohstoffe 38
Rückbau von Windenergieanlagen 39
Schallentwicklung 40
Schattenwurf und Diskoeffekt 41
Sicherheit von Windenergieanlagen 42
Speichertechnologien – der Ausgleich für das Netz der Zukunft 43
Strompreis 46
Systemdienstleistungen und Netzstabilität 47
Technik – Hightech made in Germany 49
Technik – wie funktioniert ein Windrad? 50
Technik – Komponenten einer Windenergieanlage 52
Tourismus – voller Energie und Weitblick 54
Umweltverbände: Windkraft – ja bitte! 55
Vergütung der Windenergie 56
Vergütungsmodelle – erfolgreiches Mindestpreissystem 57
Vogel- und Fledermausschutz – Langzeitstudien geben Sicherheit 58
Wind im Forst 59
Ziele – national und international 60
Quellenverzeichnis 61
Impressum 66

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

die Energiewende schreitet voran: Bald 30 Prozent am Strommarkt tragen die Erneuerbaren Energien. Was vor wenigen Jahren noch viele für unvorstellbar hielten, ist heute Realität. In wenigen Jahren sind auch die letzten neun Atomkraftwerke in Deutschland abgeschaltet und der Umbau zu einem dezentralen regenerativen Stromsystem scheint endgültig eingeläutet.

Derzeit produzieren fast 25.000 Windenergieanlagen sauberen und preiswerten Strom für Millionen Haushalte, Gewerbebetriebe und die Industrie. Hinzu kommen zigtausende Solaranlagen auf den Dächern und viele Biogasanlagen im ländlichen Raum. Auch Wasserkraft und Geothermie leisten im Energiemix der Zukunft ihren Beitrag für eine stabile und klimaschonende Stromversorgung. Und: Die Energieerzeugung rückt mit der Energiewende wieder näher an die Menschen. Diese Dezentralität moderner, erneuerbarer Energiesysteme holt auch die Wertschöpfung zurück in die Fläche und lässt insbesondere ehemals strukturschwache Regionen an Attraktivität gewinnen.

Mit über 38 Gigawatt installierter Leistung ist die Windenergie der Motor der Energiewende. 138.000 Arbeitsplätze und eine Wertschöpfung von jährlich 14,48 Milliarden Euro lassen sie zu einer der aufstrebenden Zukunftsbranchen Deutschlands werden. Die Windenergie deckt heute bereits rund 10 Prozent des Stromverbrauchs in unserem Land.

Uns ist es wichtig, dass bei der Energiewende der gesamte Energiesektor in den Blick genommen wird. Der Zubau der Windenergie lässt sich sinnvoll in alle Sektoren integrieren. Viele Unternehmen unserer Branche sind bereits mit Pilotanlagen in den Bereichen Mobilität und Wärme aktiv und beweisen so, dass die Herausforderungen eines auf Sonne und Wind basierenden neuen Energiemarktes zu lösen sind. Zudem senkt ein Umschwenken auf die Erneuerbaren unsere Abhängigkeit von Energieimporten aus Krisenstaaten.

Trotz all dieser großen Erfolge produzieren auch weiterhin über 130 Kohlekraftwerke, die teilweise bereits länger als 40 Jahre am Netz sind, klimaschädlich Energie. Die Energiewende benötigt daher klare Rahmenbedingungen und eine konsequente Abkehr von fossilen Erzeugungstechnologien. Es macht keinen Sinn, über Kapazitätsmärkte zu sprechen, wenn massive fossile Überkapazitäten den Börsenpreis verzerren und den Markt zerstören. Wenn wir über das Strommarktdesign der Zukunft sprechen, gilt es Antworten zu formulieren, wie der Markt von diesen fossilen Überkapazitäten befreit werden kann, wie künftig Versorgungssicherheit organisiert wird und welchen Beitrag flexible Lösungen und dezentrale Speicher leisten können.

Mit der Neuauflage unserer „A bis Z“ liefern wir wertvolle Fakten und Argumente für die Windenergie – von Arbeitsplätzen über den Netzausbau bis zum Vogelschutz. Wir öffnen mit diesem kurzen Streifzug durch die Welt der Windenergie die Tür, um eine wegweisende Zukunftsbranche besser kennenzulernen. Der Bundesverband WindEnergie mit seinen über 20.000 Mitgliedern lädt Sie ein, sich zu informieren und die Energiewende mitzugestalten.

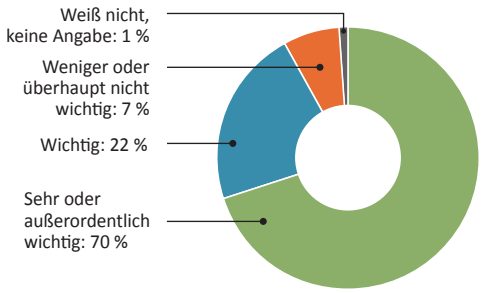
Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen

Präsident des
Bundesverband WindEnergie e. V.

A Akzeptanz – Erfolgsfaktor der Windenergie

94 Prozent der Deutschen unterstützen den verstärkten Ausbau Erneuerbarer Energien

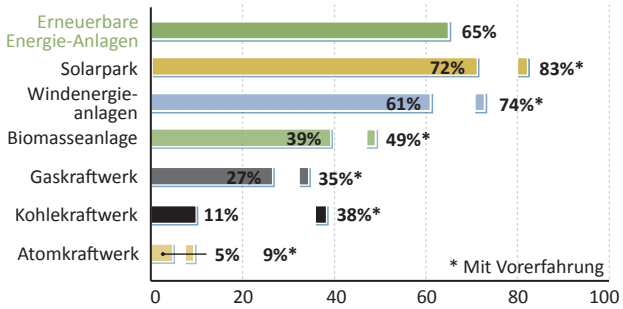
„Nutzung und Ausbau Erneuerbarer Energien sind ..."



Quelle: Umfrage von TNS Emnid im Auftrag der Agentur für Erneuerbare Energien, 1.015 Befragte, Stand: 10/2014

Zustimmung zu Stromerzeugungsanlagen in der Umgebung des eigenen Wohnorts

Zur Stromerzeugung in der Nachbarschaft fänden sehr gut bzw. gut ...



Mit Vorerfahrung steigt die Akzeptanz für Erneuerbare Energien

Quelle: Umfrage von TNS Emnid, 1.015 Befragte, im Auftrag der Agentur für Erneuerbare Energien. Stand: 10/2014

Die große Mehrheit der Bevölkerung steht der Windenergie außerordentlich positiv gegenüber. Unabhängige Umfragen führender Meinungsforschungsinstitute belegen einen breiten Zuspruch für den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Dennoch gehen die Meinungen beim Thema Sozialverträglichkeit von Windenergieanlagen (WEA) auseinander.

Ginge es nach dem Wunsch der Bevölkerung, würde die Energieversorgung der nächsten Jahrzehnte vor allem von Sonne und Wind gesichert. Eine repräsentative Umfrage von TNS Emnid im Auftrag der Agentur für Erneuerbare Energien aus dem Jahr 2014 zeigt die hohe Zustimmung der Bevölkerung. Hiernach befürworten 92 Prozent der Bundesbürger den verstärkten Ausbau regenerativer Energieträger.[1]

Wichtige Gründe sind neben der Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen wie Kohle, Öl und Gas zudem die positiven Auswirkungen auf Umwelt und ↗ Klimaschutz, die Schaffung von ↗ Arbeitsplätzen sowie langfristig sinkende Energiepreise. Auch mit Sicht auf kommende Generationen erweisen sich die Erneuerbare-Energien-Technologien zukunftsfähiger als konventionelle Energieträger.

Das sogenannte NIMBY-Phänomen („Not In My BackYard") ist bei Erneuerbaren Energieanlagen deutlich geringer ausgeprägt als bei konventionellen Kraftwerken. Eine große Mehrheit der Bundesbürger spricht sich für den Ausbau der Windenergie aus. Die TNS Emnid-Studie zeigt, dass die Zustimmung für Windenergieanlagen in der Nachbarschaft insbesondere bei denjenigen Anwohnern hoch ist, die bereits Vorerfahrung mit Windrädern in ihrer Umgebung haben. So finden 74 Prozent der Befragten, die in der Nähe eines Windparks leben, Windenergieanlagen in direkter Nachbarschaft sehr gut bzw. gut. Bei den Befragten ohne persönliche Vorerfahrung liegt die Zustimmung bei 61 Prozent.[2] Diese Zahlen zeigen: Je dezentraler die Technologie, desto höher die Akzeptanz vor Ort. Besonders hoch ist die Akzeptanz von WEA überall dort, wo die anwohnenden Bürger an Bürgerwindparks direkt beteiligt sind – und damit auch am Gewinn.

Dennoch gibt es an einzelnen Standorten Ablehnung aus der Bevölkerung gegen die Errichtung von WEA. Die Ursachen sind vielfältig. Für den zukünftigen Ausbau der Erneuerbaren Energien wird das Erreichen einer hohen Akzeptanz vor Ort eine der entscheidenden Herausforderungen sein. ↗ Bürgerbeteiligung spielt hierbei eine zentrale Rolle, denn das Einbinden der ortsansässigen Bevölkerung in einer frühen Phase der Planung sichert den Projekten eine breite Unterstützung und hilft, Vorurteile abzubauen.

[1] [A1] AEE (2014)

[2] [A1] AEE (2014)

Arbeitsplätze – Windenergie als Jobmotor in Deutschland

A

Rund 371.000 Arbeitsplätze zählte die Branche der Erneuerbaren Energien im Jahr 2013.[3] Die Windenergie leistete hierbei den größten Beitrag mit fast 138.000 Beschäftigten im Onshore- und Offshore-Bereich. Das Branchenziel der Erneuerbaren liegt sogar bei mindestens 500.000 Jobs bis zum Jahr 2020.[4]

Hersteller, Service-Dienstleister, Planungsbüros, Sachverständige und Gutachter leben von der sauberen Energie. Ebenso die Zulieferfirmen, zu denen vielfach alteingesessene Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau, der Metallindustrie und der Elektrobranche gehören. Durch die Erneuerbaren Energien entstehen sichere Arbeitsplätze, zudem wird die Wirtschaftskraft oftmals strukturschwacher Regionen, in denen sich die Branche überwiegend ansiedelt, auf nachhaltige Weise gestärkt.

Eine im Jahr 2014 im Auftrag des BWE vom DIW Econ durchgeführte Untersuchung zu der ökonomischen Bedeutung der Windenergiebranche ergab, dass der positive Beschäftigungseffekt in der Windenergie aktuell zum größten Teil bei der Herstellung neuer Windenergieanlagen erzielt wird.[5] Die Nachfrage aus dem Ausland ermöglicht zudem hohe ↗ Exportzahlen für Produkte der deutschen Windindustrie. Ein stabiler heimischer Markt ist hierbei notwendige Voraussetzung für ein erfolgreiches Bestehen am internationalen Markt und die Sicherung der Arbeitsplätze in Deutschland.

Um der hohen Nachfrage nach qualifiziertem Nachwuchs im Bereich der Erneuerbaren Energien gerecht zu werden, haben sich maßgeschneiderte Qualifizierungsangebote von der Aus- und Weiterbildung zum Servicetechniker für Windenergieanlagen bis hin zum Masterstudiengang für Ingenieure etabliert. Aktuell gibt es rund 380 Studiengänge, die entweder vollständig auf Erneuerbare Energien ausgerichtet sind oder deutliche Schwerpunkte in diesem Bereich setzen.[6]

[3] [A10] GWS (2014), S.23

[4] [A11] AEE (2014), S. 2

[5] [A12] DIW Econ (2014), S. 12

[6] [A13] WiLA Bonn (2014)

B Bürgerbeteiligungen – Windparks in regionaler Hand

Ob Privatpersonen, Gewerbebetriebe oder Energieversorger, Genossenschaften oder Gesellschaftsformen wie die GmbH – die Betreiberstruktur deutscher Windparks ist vielfältig. Als besonders erfolgreich hat sich bisher das Modell der Bürgerbeteiligungen erwiesen.

Windparkprojekte sind durch verhältnismäßig hohe Anfangsinvestitionen gekennzeichnet. Für Einzelpersonen sind sie daher nur relativ schwer umzusetzen. Das Engagement vieler Akteure vor Ort und der Zusammenschluss von finanziellen Mitteln, Know-how und Zeit ermöglichen es jedoch, dass gemeinschaftlich Ideen verwirklicht werden können, frei nach dem Motto: „Gemeinsam mehr erreichen". Die Menschen in den Kommunen können mit Gemeinschaftsprojekten die Erneuerbaren Energien in ihrer Region stärken und lokal ↗ Klimaschutzziele voranbringen.

Bürgerwindparks werden idealerweise in enger Zusammenarbeit zwischen den Initiatoren, den beteiligten Gemeinden und der anwohnenden Bevölkerung verwirklicht. Niedrige Mindestbeteiligungssummen für Anwohner, ihre bevorzugte Berücksichtigung bei der Zuteilung von Kommanditanteilen oder auch Pachtzahlungen an Grundstückseigentümer erhöhen die ↗ Akzeptanz. Auch Eigentümer von Grundstücken, die nicht Anlagenstandorte sind, aber in räumlicher Nähe liegen oder für Zuwegungen und Kabeltrassen benötigt werden, können so eingebunden werden. Dies sorgt für eine hohe ↗ regionale Teilhabe.

So profitieren die Bürger auch finanziell vom sauberen Ertrag „ihres" Windparks. Den Gemeinden bieten diese Windparks zusätzliche Einnahmequellen durch ↗ Gewerbesteuern – und damit neuen finanziellen Spielraum.

In Norddeutschland sind von Bürgern initiierte Windparks in vielen Landstrichen die Regel, so zum Beispiel in Nordfriesland, dem nördlichsten Landkreis Deutschlands. Mitte der Neunzigerjahre wurden hier die ersten Windparks mit Bürgerbeteiligung errichtet. Die Initiatoren begannen mit der Suche nach geeigneten Flächen für die Bürgerprojekte und gaben verschiedene Gutachten in Auftrag. Die Standorte sollten möglichst geringe Auswirkungen durch ↗ Schall und ↗ Schattenwurf hervorbringen. In der Konsequenz trug dies dazu bei, dass die Akzeptanz für die Windparks vor Ort erheblich verbessert werden konnte. Heute sind in Nordfriesland 90 Prozent der Windparks als Bürgerbeteiligungen organisiert.[7]

Definition eines Bürgerwindparks (gemäß Beschluss des BWE-Bürgerwindbeirates vom 24.09.2014)

- Das Projekt richtet sich vorrangig an die lokale Bevölkerung.
- Jeder Bürger/Anwohner kann sich beteiligen.
- Die Beteiligung ist auch mit relativ niedrigen Beträgen möglich.
- Die Beteiligung wird öffentlich allen Bürgern der Nachbarschaft/Gemeinde/Region angeboten.
- Kein Bürger kann – ohne triftigen Grund – von einer Beteiligung ausgeschlossen werden.
- Die Entscheidungskompetenz bleibt vor Ort bei den Beteiligten.
- Kein einzelner Anleger kann die Gesellschaft dominieren.

Im Sommer 2013 wurde von Bundestag und Bundesrat das Kapitalanlagegesetzbuch (KAGB) im Zusammenhang mit dem AIFM-Umsetzungsgesetz (AIFM-UmsG) verabschiedet. Das AIFM-UmsG überführt die europäische Richtlinie über alternative Investmentfondsmanager (AIFM-RL) in deutsches Recht. Ziel ist es, ein in sich geschlossenes Regelwerk für Investmentfonds und ihre Manager zu schaffen und dabei den Anlegerschutz zu stärken. Von den Regelungen des KAGB sind auch Bürgerenergieprojekte nicht unerheblich betroffen. Ob und in welchem Maße die Regelungen des KAGB für Bürgerbeteiligungsmodelle gelten, hängt unter anderem von der Wahl der Finanzierung und der Gesellschaftsform ab.

[7] [B1] windcomm schleswig-holstein (2012)

D Direktvermarktung

Mit dem steigenden Anteil der Windenergie am deutschen Strommix spielt die Integration des Windstroms eine zunehmend wichtige Rolle.

Die seit 2012 im ↗ Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)[8] verankerte optionale Direktvermarktung wurde im Bereich der Windenergie gut angenommen. Hiernach bekommt der Anlagenbetreiber nicht mehr eine festgesetzte Einspeisevergütung, sondern einen Aufschlag („Marktprämie“) auf den Strombörsenpreis, der im Wesentlichen die Differenz zwischen Börsenpreis und festgesetzter Einspeisevergütung abbildet. Bis zum 1. August 2014 wurden rund 80 Prozent des Windstroms in der Direktvermarktung gehandelt.[9] Für die Vermarktung beauftragt der Anlagenbetreiber im Regelfall ein Unternehmen, das den produzierten Strom für ihn handelt.

Gegenwärtig existiert auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2014 nur noch eine Form der geförderten Direktvermarktung: die Vermarktung nach dem Marktprämienmodell (§ 34 EEG 2014). Das sogenannte „Grünstromprivileg" wurde mit dem EEG 2014 gestrichen. Des Weiteren kann der Betreiber seinen Strom auch außerhalb des EEG vermarkten (Sonstige Direktvermarktung). Diese gänzlich nicht geförderte Form der Marktintegration wählen jedoch nur wenige Betreiber.

Die Novellierung des EEG 2014 bringt eine weitere wesentliche Änderung für alle Neuanlagen mit sich: Die Betreiber müssen den erzeugten Strom zukünftig selbst oder mittels eines Direktvermarkters vermarkten.[10] Die Wahlfreiheit zwischen fester Vergütung und Direktvermarktung fällt somit weg. Für Bestandsanlagen, die nicht von der EEG-Novellierung betroffen sind, gilt weiterhin die optionale Direktvermarktung, sie können monatlich in die feste Einspeisevergütung wechseln.

Ausnahmen in Form einer festen Einspeisevergütung existieren nur noch für kleine Neuanlagen oder im Spezialfall, wenn ein Direktvermarkter zum Beispiel durch eine Insolvenz ausfällt. In diesem Fall erhält der Anlagenbetreiber nur 80 Prozent des anzulegenden Wertes. Mit diesem Abschlag soll verhindert werden, dass die Anlagenbetreiber länger als notwendig den Ausnahmefall in Anspruch nehmen.

Zwischen den verschiedenen Veräußerungsformen der geförderten Direktvermarktung, der Sonstigen Direktvermarktung und der Einspeisevergütung (nur für kleine Anlagen) kann monatlich gewechselt werden (§§ 20 und 21 EEG 2014). Eine Aufteilung des Stroms auf verschiedene Vermarktungsformen ist durch die „anteilige Direktvermarktung“ ebenfalls möglich. Ausgenommen von der Direktvermarktung sind des Weiteren Anlagen, die in unmittelbarer Nähe zu ihrem Verbraucher stehen und den Strom nicht durch ein öffentliches Netz leiten.

Marktprämienmodell

Am häufigsten genutzt wird seit seiner Einführung im Jahr 2012 das Marktprämienmodell. Dieses Modell besteht aus zwei Komponenten: Neben den Einnahmen aus der Vermarktung des erzeugten Windstroms erhält der Anlagenbetreiber eine „gleitende Marktprämie". Diese wird ermittelt aus der Differenz des im EEG festgelegten Stromwerts („anzulegender Wert“) und des durchschnittlichen monatlichen Börsenstrompreises. Die sich dem Marktpreisniveau anpassende Prämie ist für 20 Jahre sowie das Jahr der Inbetriebnahme gesetzlich garantiert. Neuanlagen müssen fernsteuerbar sein, um die Marktprämie zu erhalten. Eine zuvor gewährte Managementprämie fällt mit dem EEG 2014 für Neuanlagen weg. Der durch die Direktvermarktung entstehende Mehraufwand wurde in den anzulegenden Wert „eingepreist“.

Grünstromvermarktung

Mit der Streichung des sogenannten Grünstromprivilegs im EEG 2014 existiert nunmehr keine geförderte Möglichkeit, den Grünstrom aus den EE-Anlagen direkt an den Verbraucher zu verkaufen. Es ist hier zu befürchten, dass die verpflichtende Direktvermarktung die Marktintegration für Windstrom behindert. Durch die verpflichtende Direktvermarktung – ausschließlich über die Strombörse – wird grüner Strom an der Börse als sogenannter Graustrom gehandelt. Die grüne Eigenschaft des Stroms geht damit verloren. Dies ist volkswirtschaftlich fraglich und führt angesichts der Tatsache, dass es aufgrund der Nichtabschaltung alter Kohlekraftwerke einen massiven Preisdruck gibt, zu dem Paradoxon sinkender Börsenstrompreise und parallel steigender ↗ EEG-Umlage.

Allerdings wurde in § 95 Nr. 6 EEG eine Verordnungsermächtigung aufgenommen, die dem Gesetzgeber eine gesonderte Regelung zur Grünstromvermarktung erlaubt.

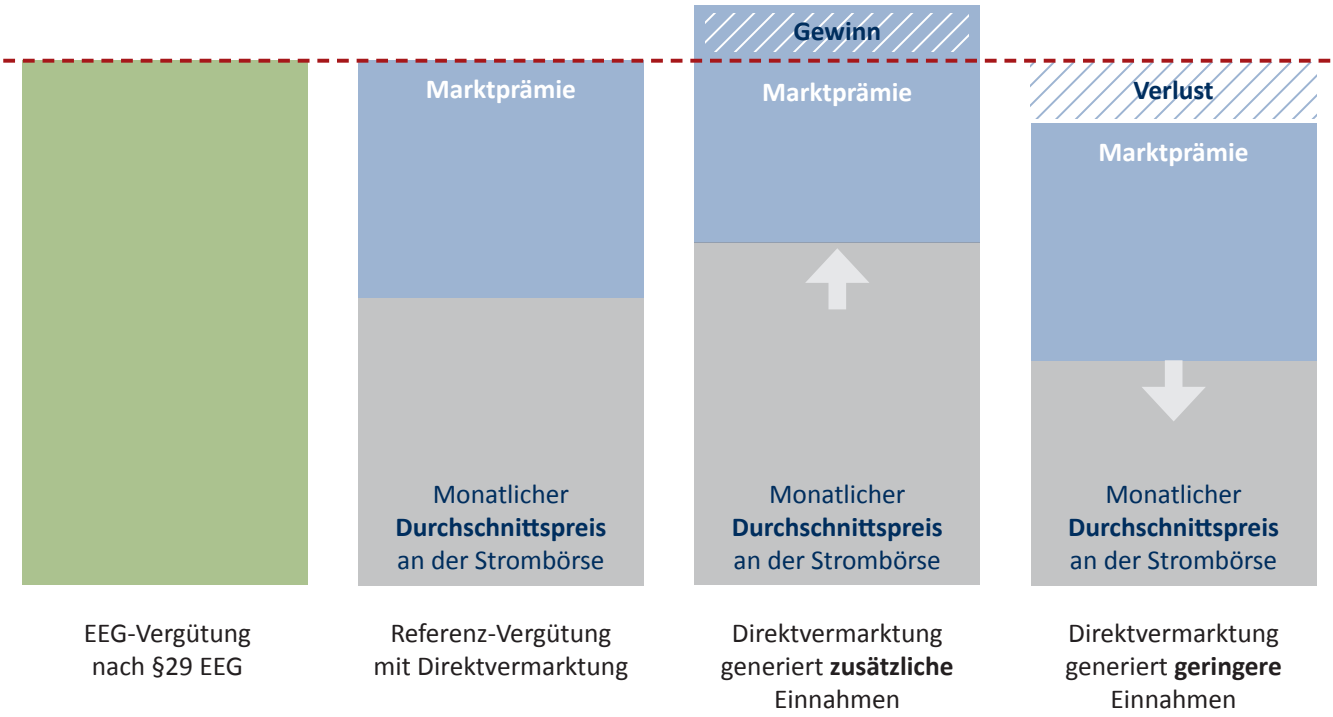
Marktintegration

Die genannten Modelle bezwecken eine verstärkte Marktintegration, also die verstärkte Teilnahme von Erneuerbaren Energien am Strommarkt. Das bedeutet, dass sich immer mehr Erneuerbare-Energien-Erzeuger (zuvorderst die großen, später auch die kleinen Anlagenbetreiber) künftig selbst darum kümmern müssen, ihren Strom zu verkaufen und zudem die Stromproduktion besser an die Nachfrage anzupassen.[11] Früher waren für die Vermarktung lediglich die vier Übertragungsnetzbetreiber zuständig.

Mittelfristig problematisch ist jedoch, dass das Design des heutigen Strommarktes auf die Erzeugung konventionellen Stroms ausgerichtet ist. Die Erneuerbaren Energien lassen sich nicht ohne Weiteres in diesen Markt integrieren. Weht zum Beispiel viel Wind und scheint die Sonne, sinkt durch die erhöhte Einspeisung erneuerbaren Stroms der Börsenpreis. Als Folge ist die Erzeugung von Windstrom in diesem Moment nicht mehr wirtschaftlich. Daher ist die Schaffung eines Strommarktdesigns, das sich an den Bedürfnissen erneuerbarer Stromerzeugung orientiert, ein wichtiger Teil der Energiewende. Gegenwärtig arbeiten verschiedene Stellen an der Entwicklung eines solchen Designs. Wie es am Ende aussehen wird, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschätzen.

8 [D1] BMWi (2014)
9 [D2] BMWi (2014)
10 [D2] BMWi (2014)
11 [D3] BMWi (2014)

Direktvermarktung



E Effizienz – mit großen Schritten zum Erfolg

Die Windenergietechnik hat in Deutschland in den vergangenen 20 Jahren bemerkenswerte Fortschritte gemacht. Kostensenkungen erreichte die Branche bislang durch die Entwicklung immer effizienterer Windenergieanlagen mit besseren Blattprofilen, größeren Rotordurchmessern und Nabenhöhen sowie durch den Einstieg in die Serien- und Massenproduktion (Lernkurven).

Seit 1990 ist der Preis von Windenergieanlagen stark gesunken. Damit einhergehend sank die Vergütung für Windstrom nach dem ↗ EEG. Gleichzeitig wurden auch andere Eigenschaften von Windenergieanlagen, wie beispielsweise ↗ Schall- und Lichtemissionen oder die Netzverträglichkeit, deutlich verbessert. Die ersten Windenergieanlagen Anfang der Achtzigerjahre brachten es gerade einmal auf eine Nennleistung von 55 Kilowatt (kW). Anfang der Neunziger betrug die Nennleistung einer modernen Anlage bereits 300 kW. Und während eine typische 500-Kilowatt-Anlage Mitte der Neunzigerjahre an einem durchschnittlichen Standort 1,1 Millionen kWh Ertrag im Jahr erzielte, können heutige Maschinen mit der sechsfachen ↗ Leistung (3.050 kW) fast die neunfache Energiemenge (9 Millionen kWh)[12] produzieren. Die größten Anlagen verfügen derzeit über eine maximale Leistung von rund 7,5 Megawatt (MW).[13]

Die technische Entwicklung hin zu größeren und leistungsfähigeren Anlagen mit größeren Nabenhöhen ist das Ergebnis gesetzlicher Innovationsanreize. Die jährlich sinkenden ↗ Vergütungssätze des ↗ Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) erfordern einen immer effizienteren Einsatz der Erzeugungsanlagen.

[12] [E1] FGW (2015)

[13] [E2] BWE (2015)

Einspeisemanagement E

Beim Einspeisemanagement (EinsMan) werden Erneuerbare Erzeugungsanlagen vom Netzbetreiber geregelt. Dies bedeutet eine zeitweilige Reduzierung der Einspeiseleistung von Anlagen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) oder der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).

Um die Gefahr der Netzüberlastung zu vermeiden, können unter bestimmten Voraussetzungen Netzbetreiber an ihr Netz angeschlossene Anlagen regeln und die Stromeinspeisung der Anlagen reduzieren bzw. komplett abschalten.

Dafür gibt es unterschiedliche Verfahren:

- Die Abregelung nach § 14 des ↗ Erneuerbare-Energien-Gesetzes (bei Netzengpass)
- Die Abregelung nach § 13 Absatz 1 und Absatz 2 des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) (bei Netzengpass/ bei Problemen der Systembilanz)

Konkret werden die Anlagen bei einer Überlastung des Netzes in einer Netzregion durch ein Reduktionssignal zur Absenkung ihrer Einspeiseleistung aufgefordert. Sobald die kritische Netzsituation beendet ist, zeigt ein Signal den Anlagen an, dass die Einspeisung wieder in vollem Umfang möglich ist.[14]

Auch fossile Kraftwerke und Atomkraftwerke werden geregelt, wenn es zu Abweichungen zwischen der geplanten Erzeugung und dem tatsächlichen Verbrauch kommt oder wenn das Netz überlastet ist (Redispatch). Kraftwerke bei denen eine Redispatch-Maßnahme durchgeführt wird, bekommen die angefallenen Kosten erstattet (Brennstoffkosten und Anfahrtskosten).

Der Netzbetreiber muss sicherstellen, dass insgesamt die größtmögliche Strommenge aus Erneuerbaren Energien abgenommen wird. Konventionelle Anlagen wie Kohle- oder Gaskraftwerke müssen daher zuerst abgeschaltet werden, bevor EEG-Anlagen geregelt werden können.

Werden die Anlagen aufgrund eines Netzengpasses geregelt, so haben sie nach der sogenannten „Härtefallregelung“ in § 15 EEG einen Anspruch auf Entschädigung für die entgangenen Einnahmen. Maßnahmen nach § 13 Absatz 1 EnWG werden dem Anlagenbetreiber vergütet. Werden Anlagen dagegen aufgrund von Problemen der Systembilanz geregelt, so muss nicht entschädigt werden. In der Praxis ist es allerdings nicht immer einfach zu bestimmen, ob aufgrund von Netzengpässen oder Problemen der Systembilanz abgeregelt wurde. Daher wird § 13 Abs. 2 EnWG teilweise auch in Verbindung mit § 15 EEG angewendet, und die Erneuerbare-Energien-Anlagen werden entschädigt.

Die Einsätze des Einspeisemanagements nehmen zu.[15] In den Jahren 2012 und 2013 fanden in Teilen der Netzgebiete von zehn Netzbetreibern Abregelungen statt – größtenteils in Nord- und Ostdeutschland.[16] Ohne einen beschleunigten ↗ Netzausbau dürfte diese Problematik auch in Zukunft eine große Rolle spielen. Das Einspeisemanagement stellt allenfalls eine kurzfristige Übergangslösung dar. Langfristiges Ziel ist die Systemtransformation zu mehr Flexibilität und der erforderliche Netzausbau, um die Abnahme eines größtmöglichen Stromanteils aus Erneuerbaren Energien zu gewährleisten.

[14] [E10] WHL (2012)

[15] [E11] BNetzA/BKartA (2014), S. 78 ff.

[16] [E12] Ecofys (2013) und [E11] BNetzA/BKartA (2015), S. 75 ff.

E Elektromobilität – Wind macht mobil

Durch Elektromobilität kann die Windenergie nicht nur den Stromsektor, sondern auch den Verkehrssektor mit Erneuerbarer Energie versorgen. So kann sie wesentlich dazu beitragen, dass die proklamierten Ziele von Bundesregierung und Europäischer Union für Klimaschutz und Versorgungssicherheit erreicht werden.

Der elektrische Antrieb eines Fahrzeugs an sich ist noch keine umweltfreundliche Lösung, denn der Strom muss erneuerbar sein. Windenergie ist eine einheimische, unerschöpfliche Energiequelle und befreit dauerhaft von der Importabhängigkeit von Öl und Gas. Genügend Strom stellen die Windenergieanlagen schon jetzt bereit. Und bis 2030 hält der Bundesverband Erneuerbare Energie (BEE) in Deutschland eine installierte Windleistung von 63 Gigawatt an Land und 16 Gigawatt auf hoher See für realistisch (↗Potenzial).[17] Die modernen Windenergieanlagen werden dann rund 150 Milliarden Kilowattstunden Strom im Jahr ohne CO_2-Emissionen und radioaktiven Abfall produzieren. Bereits 2-3 Milliarden Kilowattstunden Strom reichen aus, um die von der Bundesregierung angepeilten 1 Million Fahrzeuge bis 2020 elektrisch anzutreiben.[18] Um dieses Ziel zu erreichen und der Elektromobilität zum Marktdurchbruch zu verhelfen, diskutieren Bund und Länder bereits einen Gesetzentwurf des Bundesverkehrsministeriums zur Förderung der Elektromobilität.

Technologische Innovationen, wie z. B. kürzere Ladezeiten und eine längere Lebensdauer der Akkus, machen die Elektromobilität für den Verbraucher bereits heute zunehmend attraktiv. Und es wird weiterhin an Verbesserungen und günstigeren Varianten der Batterien geforscht. Darüber hinaus investiert die Bundesregierung in Förderprogramme sowie Modell- und Schaufensterregionen. Eingerichtet wurde zudem eine nationale Plattform Elektromobilität, und schließlich soll die bislang noch lückenhafte Versorgung durch Ladestationen schrittweise optimiert werden.

Elektroautos rücken auch bei der Entwicklung eines intelligenten Stromnetzes, das die fluktuierende Einspeisung Erneuerbarer Energien ausgleicht (das sogenannte „Smart Grid“), immer stärker in den Fokus: Mit einer ausreichend großen Flotte von Elektroautos, die zu Hause und möglichst auch vor dem Büro an das elektrische Netz angeschlossen sind, könnten viele dezentrale zu einem großen virtuellen Stromspeicher zusammengeschlossen werden. Das unter dem Namen „Vehicle to Grid (V2G)“ entwickelte Konzept kann in Zukunft einen wesentlichen Beitrag zur Integration steigender Mengen Windenergie in das Versorgungssystem leisten.

EIN BEISPIEL:
Für Elektrofahrzeuge rechnet man mit einem Verbrauch von maximal 20 Kilowattstunden Strom pro 100 Kilometer – entsprechend dem Energiegehalt von rund 2 Litern Benzin. Bei einer durchschnittlichen Fahrleistung von 15.000 Kilometern pro Jahr entspricht dies einem Jahresverbrauch von 3.000 Kilowattstunden (Zum Vergleich: Der durchschnittliche Jahresverbrauch eines 3-Personen-Haushalts in Deutschland beträgt ca. 3.500 Kilowattstunden.). Eine Flotte von 1 Million Elektrofahrzeugen braucht jährlich maximal 3 Milliarden Kilowattstunden oder knapp 0,5 Prozent des heutigen Strombedarfs in Deutschland.

[17] [E20] BEE (2012), S. 6

[18] [E21] Die Bundesregierung (2009), S. 18

Energiebilanzen
von Windenergieanlagen

E

Eine Windenergieanlage (WEA) erzeugt während ihrer Laufzeit gut 40 bis 70 Mal so viel Energie, wie für ihre Herstellung, Nutzung und Entsorgung eingesetzt wird.[20]

Die energetische ↗ Effizienz moderner Windmühlen bestätigen mehrere Studien unabhängiger Forschungseinrichtungen. So beträgt laut Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (Universität Stuttgart) die Energierücklaufzeit oder auch energetische Amortisation einer Windturbine an Land zwischen drei und zwölf Monate. Diese Zeit benötigt die WEA, um die Energie wieder „zurückzugeben", die sie für Produktion, Betrieb und Entsorgung aufwendet.[21] Forscher der Universität Oregon errechneten die gleichen Werte.[22] Untersuchungen von Offshore-Anlagen der Multimegawattklasse haben gezeigt, dass diese in der Regel vier bis sechs Monate benötigen, um die Energie wieder einzufahren. An besonders vorteilhaften Standorten beträgt die energetische Amortisationszeit dieser Windenergieanlagen lediglich drei Monate.

Bei einer durchschnittlichen Laufzeit von 20 Jahren ergibt sich somit eine überaus positive ökologische Bilanz, die konventionelle Kraftwerke durch das erforderliche ständige Hinzufügen von fossilen Energieträgern niemals erreichen können. Eine 3-MW-Windenergieanlage erzeugt in diesen 20 Jahren rund 180 Millionen Kilowattstunden[23] – und versorgt damit circa 2.600 3-Personen-Haushalte* pro Jahr mit sauberem Strom.

Spezifischer kumulierter Energieaufwand (KEA)

Der spezifische kumulierte Energieaufwand (KEA) berechnet sich aus der Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands zur Herstellung, Nutzung und Entsorgung der jeweiligen Anlage in Bezug zur Stromerzeugung.

* Annahme: Verbrauch von 3.500 kWh/Jahr

20 [E30] Ruhr Uni Bochum (2004)

21 [E31] IER (2007)

22 [E32] OSU (2014)

23 [E33] FGW (2015)

E Energieertrag von Windenergieanlagen

Bis zum Ende des Jahres 2014 gab es deutschlandweit circa 24.900 Windenergieanlagen, die zusammen auf eine installierte Gesamtleistung von rund 38.000 MW kommen.[24] Die Betriebszeit einer Windenergieanlage liegt zwischen 7.000 und 8.000 Stunden im Jahr.

Auf die 8.760 Gesamtstunden eines Jahres bezogen entspricht dies einer durchschnittlichen Laufzeit bzw. Auslastung von circa 85 Prozent. Allerdings drehen sich die Rotoren nicht immer mit maximaler ↗ Leistung (= Nennleistung). Die Windstromproduktion beginnt schon bei circa 2,5 Meter Windgeschwindigkeit je Sekunde und wird dank modernster Regeltechnik erst bei starkem Sturm langsam und netzverträglich herabgeregelt. Auch bei wenig Wind wird also Strom in das örtliche Netz eingespeist.

Der statistische Wert der Volllaststunden trifft eine Aussage über die jeweilige Standortqualität. Im Mittel haben Windenergieanlagen in Deutschland in den letzten Jahren rund 1.700 Volllaststunden erreicht.[25] An einem mittleren Binnenlandstandort beträgt dieser Wert etwa 1.600-1.800 Stunden, an einem guten Küstenstandort können über 3.000 Volllaststunden erreicht werden. Die Volllaststunde errechnet sich, indem man die gesamte Stromproduktion der Anlage im Jahr durch ihre maximale Leistung (Nennleistung) teilt.[26] Die Angabe der Volllaststunden fungiert als wesentliche Kalkulationsgrundlage bei Windparkfonds, weil sich daraus die zu erwartenden Erlöse aus der Stromproduktion errechnen lassen. Grundsätzlich gilt, dass die Anzahl der Volllaststunden mit zunehmender Nabenhöhe ansteigt.

Die Faustregel lautet: Jeder Meter Turmhöhe bedeutet bis zu 1 Prozent mehr Ertrag. Dank modernster Anlagentechnik mit ausreichender Nabenhöhe und größeren Rotordurchmessern ermöglichen heute also auch Standorte in der Mitte und im Süden Deutschlands attraktive Erträge, wie sie bis vor einigen Jahren nur an der Küste und auf exponierten Berggipfeln denkbar waren.

[24] [E40] WindGuard (2015), S. 1

[25] [E41] Fraunhofer IWES (2014), S. 39

[26] [E42] Schaffarczyk (2012), S. 119

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) – deutscher Exportschlager

E

Zentrales Element des Klima- und Umweltschutzes und gesetzliche Grundlage der Vergütung für Strom aus regenerativen Energien ist das Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG).

Das EEG löste im April 2000 das Stromeinspeisungsgesetz von 1991 ab. Seitdem wurde es viermal novelliert (2004, 2009, 2012, 2014). Der Umfang des Gesetzes ist dabei von anfangs vier auf heute 104 Paragrafen angewachsen. Die jüngsten Änderungen traten am 1. August 2014 in Kraft.

Notwendig ist die Förderung Erneuerbarer Energien aufgrund der jahrzehntelangen Subventionierung der Kohle- und Atomkraftwerke und einer fehlenden Berücksichtigung ↗ externer Kosten in der Energiepreisbildung. Neben der ↗ Vergütung regelt das EEG auch die vorrangige Abnahme des Stroms aus Erneuerbaren Energien. Anlagenbetreiber von Erneuerbaren Energien haben Anspruch auf unverzüglichen und vorrangigen Anschluss ihrer Anlage an das Stromnetz. Darüber hinaus besteht Anspruch auf eine ebensolche Abnahme des gesamten zur Einspeisung angebotenen Stroms aus Erneuerbaren Energien sowie auf dessen Übertragung und Verteilung. Das EEG gleicht so die Nachteile gegenüber den fossilen und atomaren Energieträgern aus und sorgt zugleich dafür, dass die Zielsetzungen der Bundesregierung, den Anteil Erneuerbarer Energien am Strommarkt Schritt für Schritt bis zum Jahr 2050 auf mindestens 80 Prozent zu erhöhen, erreicht werden. Dabei wird der Wirtschaftsstandort Deutschland nicht belastet, da Ausnahmeregelungen die besondere Bedeutung der stromintensiven Industrien berücksichtigen.

Seit seiner Einführung hat sich das EEG im Vergleich zu anderen ↗ Vergütungsmodellen für Erneuerbare Energien als das effizienteste Instrumentarium zur Wegbereitung einer nachhaltigen Energieversorgung erwiesen. Es schuf Planungssicherheit für Hersteller, Anlagenbetreiber und Finanzierer und sicherte zugleich durch die ihm innewohnende Degression (siehe hierzu auch ↗ Vergütung) den notwendigen Innovationsdruck. Aufgrund dieser sicheren Rahmenbedingungen errangen deutsche Unternehmen eine technologische Spitzenposition im Zukunftsmarkt Erneuerbare Energien.

Um diese Position zu behaupten und die Ausbau- und Klimaschutzziele der Bundesregierung realisieren zu können, muss der erfolgreiche Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland fortgeführt werden. Eine wichtige Voraussetzung hierfür sind stabile gesetzliche Rahmenbedingungen, die die Planungs- und Investitionssicherheit bei Erneuerbare-Energien-Projekten sicherstellen.

Die deutsche Energiewende (so wird sie international betitelt) hat bereits viele weitere Länder inspiriert: So hat sich in den letzten zehn Jahren die Zahl der Staaten mit politischen Rahmenbedingungen für die Förderung Erneuerbarer Energien von 45 in 2004 auf 137 in 2014 verdreifacht – global setzt man dabei zumeist auf Einspeisetarifsysteme.[27]

[27] [E50] REN 21 (2014), S. 14 f., 89 ff., 103

E EEG-Umlage – Entstehung und Zusammensetzung

Seit dem 1. Januar 2010 wird der gesamte nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütete Strom über die Leipziger Strombörse (EEX) verkauft. Anbieter sind die vier Übertragungsnetzbetreiber 50Hertz, Amprion, EnBW Transportnetze und Tennet. Auch ↗ Direktvermarkter bieten inzwischen Strom an der Börse an.

Der Strom wird in verschiedenen Segmenten der Strombörse veräußert, meist einen Tag im Voraus. Bei der Umlageschätzung werden die möglichen Einnahmen aus dieser Vermarktung errechnet. Bemessungsgrundlage ist der Durchschnittspreis im Zeitraum vom 1. Oktober des Vorjahres bis zum 30. September des laufenden Jahres.

Die so kalkulierten Einnahmen werden mit den zu zahlenden Einspeiseerlösen verrechnet. Die dann entstehende „Deckungslücke“ sind die Differenzkosten. Sie werden auf die Strommenge des sogenannten nicht privilegierten Letztverbrauchs umgelegt. Hierzu zählen nicht die umlagebefreiten Großverbraucher aus der Industrie (besondere Ausgleichsregelung).

Die Netzbetreiber veröffentlichen monatlich die tatsächlich aufgelaufene EEG-Strommenge und gleichen sie mit dem Schätzwert ab. Je nachdem, ob die tatsächliche Einspeisung von Strom aus Erneuerbaren Energien höher oder niedriger ausgefallen ist, entsteht ein Plus oder Minus auf dem EEG-Konto und somit eine fallende oder steigende EEG-Umlage im Jahressaldo.

Die EEG-Umlage entsteht nicht allein aus dem Zubau und der verstärkten Einspeisung erneuerbaren Stroms. Neben den reinen Förderkosten sind außerdem Nachholungen aus dem Vorjahr, der Rückgang des Börsenstrompreises, Liquiditätsreserven, Industrieprivilegien und die Marktprämie Bestandteil der Umlage. Die EEG-Umlage 2014 betrug 6,24 Cent pro Kilowattstunde (ct/kWh). Hiervon waren jedoch nur 2,54 ct/kWh reine Förderkosten für Erneuerbare Energien, also weniger als die Hälfte der gesamten Umlage. Die Förderung für Windenergie an Land macht sogar nur 0,25 ct/kWh dieser Förderkosten aus.[28] Ihr Anteil an den EEG-Auszahlungen im Vergleich zur eingespeisten Strommenge ist zudem sehr gering. So kommen im Jahr 2015 zwar rund 42 Prozent der EEG-Strommenge aus Windenergie an Land, die diesbezüglichen EEG-Auszahlungen betragen jedoch nur rund 19 Prozent.[29] Die Windenergie an Land ist folglich die günstigste unter den Erneuerbaren Energien.

Mit der Novellierung des ↗ EEG im Jahre 2014 gibt es eine staatlich festgelegte Einspeisevergütung seit dem 1. August 2014 nur noch für Anlagen bis 500 Kilowatt (kW) installierter Leistung. Diese Schwelle wird ab 2016 auf 100 kW herabgesetzt. Alle Betreiber von größeren Neuanlagen müssen ihren Strom nun selbst vermarkten (↗ Direktvermarktung).

[28] [E60] BEE (2013)

[29] [E61] BDEW (2015)

Export – Windenergie made in Germany

E

Im weltweiten Vergleich nehmen deutsche Hersteller und Zulieferer eine Spitzenstellung beim Ausbau der Windenergie ein. Grund hierfür ist die erfolgreiche Entwicklung effizienter und leistungsstarker Windenergieanlagen.

Nur in wenigen Ländern sind technisches Know-how und gesammelte Erfahrungswerte in so hohem Maße verfügbar wie in Deutschland. Hersteller exportieren und expandieren in die Absatzmärkte Europas, Nordamerikas und Asiens. Die Exportquote der in Deutschland produzierenden Windenergieanlagenhersteller beträgt gegenwärtig zwischen 65 und 70 Prozent.[30]

Neben Deutschland sind die Vereinigten Staaten, Kanada, China, Indien und weitere asiatische Staaten derzeit die größten Märkte für Windenergie. Doch auch Italien, Frankreich, Großbritannien und Schweden verzeichnen ein überdurchschnittlich hohes Wachstum.[31]

Insgesamt hat sich das Wachstum in einigen europäischen Ländern und in den Vereinigten Staaten in den letzten Jahren leicht abgeschwächt, aber insbesondere außerhalb der OECD-Länder wird mit starken Zubauraten gerechnet.[32] Gerade Länder, die nicht über große eigene Vorkommen fossiler Energieträger verfügen, sind auf die Bereitstellung von Energie aus erneuerbaren Quellen angewiesen und profitieren vom rasanten Wachstum deutscher Windenergietechnologie.

Hersteller von Windenergieanlagen aus der ganzen Welt kaufen Systeme und Komponenten in Deutschland ein. Jahrelange Erfahrung im Betrieb sowie gezielte Forschungs- und Entwicklungsarbeit, die Herstellungs- und Betriebskosten senken und die Lebensdauer verlängern, sind international sehr gefragt.

Der gute Ruf heimischer Windenergietechnik eilt Anlagenbauern sowie Komponenten-Zulieferern voraus und spiegelt deren Kompetenzen wider. Sie können ihre Produkte im laufenden Betrieb optimieren und Innovationen gründlich auf Praxistauglichkeit überprüfen. Damit stehen die Windenergieanlagenhersteller und ihre Zulieferer aber nicht allein da, auch Betreiber und Dienstleister – vom Projektierer über den Windgutachter bis zum Wartungsunternehmer – sind weltweit gefragte Fachleute. Die installierten Windräder an der deutschen Küste und im Binnenland sind zum Schaufenster für den globalen Windenergiemarkt geworden und demonstrieren den Technologievorsprung der deutschen Windindustrie.

30 [E70] DIW Econ (2014), S. 4

31 [E71] GWEC (2014)

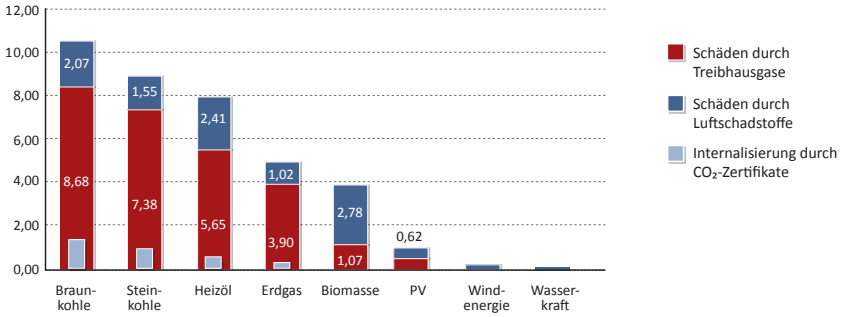
32 [E71] GWEC (2014)

E Externe Kosten – was Strom wirklich kostet

Jede Form der Energiegewinnung verursacht Folgekosten, die der Stromproduzent nicht als Kosten in seinen Strompreisen zu berücksichtigen braucht – und die stattdessen die Allgemeinheit trägt.

Zu diesen Kosten zählen beispielsweise die Schäden aus Umweltkatastrophen infolge von Klimaveränderungen, das Waldsterben, die Zerstörung ganzer Landstriche durch Braunkohletagebaue, die enormen Umweltschäden durch die Förderung ölhaltiger Teersande in der kanadischen Tundra, Methanemissionen aus maroden Gaspipelines oder radioaktiv belastetes Wasser in deutschen Atommülllagern. Allein die Sanierung der Asse wird beispielsweise mehrere Milliarden Euro kosten, für die der Steuerzahler aufkommen muss.[33]

Umweltschäden und CO_2-Kosten in Cent po kWh Strom nach Energieträger



Quelle: Fraunhofer ISI

Allgemeine Definition von externen Effekten[37]

Der externe Effekt (auch Externalität) ist ein Begriff aus der Volkswirtschaftslehre, der beschreibt, dass die ökonomischen Entscheidungen eines Marktteilnehmers Auswirkungen auf unbeteiligte Marktteilnehmer haben, die er nicht als Kosten tragen oder kompensieren muss.

Als externe Kosten in der Energiewirtschaft bezeichnet man Kosten, die nicht von den Verursachern (z. B. den Betreibern von Atom- und Kohlekraftwerken) getragen werden. Sie entstehen im Energiesektor insbesondere durch den Ausstoß von Schadstoffen, die die öffentliche Gesundheit beeinträchtigen, von Treibhausgasen, die den Klimawandel beschleunigen, sowie durch die Risiken der Atomenergie.

Die Schäden durch die Emission von Luftschadstoffen und der damit verbundene globale Klimawandel machen den größten Anteil an den externen Kosten der Stromerzeugung aus. Laut dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt sowie dem Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung sind hier Schadenskosten von 70 Euro je Tonne Kohlendioxid anzunehmen.[34] Andere Studien gehen sogar von bis zu 300 Euro je Tonne Kohlendioxid aus.[35] Würden diese Kosten auf die erzeugte Kilowattstunde umgelegt, d. h. internalisiert, müssten die Kosten für die fossile Stromerzeugung entsprechend steigen.[36]

Werden die externen Kosten in die Stromerzeugungskosten verschiedener Technologien eingerechnet, schneiden insbesondere Braun- und Steinkohle sehr schlecht ab. Die Erneuerbaren hingegen weisen nur geringe CO_2-Emissionen und Umweltfolgen auf. Diese externen Kosten werden im Börsenpreis jedoch nicht voll berücksichtigt. Strom aus Erneuerbaren Energien wäre somit bereits heute nicht nur wettbewerbsfähig, sondern volkswirtschaftlich günstiger, würde man die externen Kosten der Energiegewinnung in den Energiepreisen berücksichtigen. Dies würde in Zukunft zu richtigen Entscheidungen bei der Investition in neue Energiesysteme führen. Von der Gesellschaft zu tragende Folgeschäden ließen sich so vermeiden.

33 [E80] Greenpeace (o.J.) und [E81] BfS (2014)

34 [E82] DLR/ISI (2006), S. 44 und [E83] IZES/ISI/DIW/GWS (2010), S. 7

35 [E84] AEE (2011), S. 28

36 [E84] AEE (2011), S. 28

37 [E85] FÖS (2015)

Genehmigung von Windenergieanlagen

G

Windenergieanlagen wachsen nicht willkürlich aus dem Boden. Die Genehmigungsverfahren und deren Umfang sind abhängig von der Anzahl der zu errichtenden Windenergieanlagen. In der Regel dauert das Verfahren zur Planung und Genehmigung von Windparks mehrere Jahre.

Kommunen und die Träger der Regionalplanung können die Genehmigung von Anlagen durch die Ausweisung geeigneter Flächen, sogenannter Vorrangflächen oder Eignungsgebiete, in Regionalplänen, Flächennutzungs- und Bebauungsplänen räumlich steuern. Zudem existieren reine Ausschlussgebiete – beispielsweise Naturschutzgebiete oder Gebiete von besonderer kultureller und historischer Wertigkeit –, in denen keine Anlagen aufgestellt und betrieben werden dürfen.

Bereits zu Beginn der Planungsphase werden die „Träger öffentlicher Belange“ (Behörden, kommunale Verbände und Vereine) über das Vorhaben informiert. Jedes Projekt durchläuft vor seiner Realisierung ein ordentliches Genehmigungsverfahren, das die örtlichen Bedingungen – unter anderem Wohnbebauung, Landschaft und Tierwelt – untersucht und berücksichtigt.

Die Einhaltung notwendiger Abstände beispielsweise zum Schutz vor ↗ Schallemissionen (Lärm) und ↗ Schattenwurf ist ebenfalls fester Bestandteil der Prüfung und wird durch ein Verfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) gesichert. Sogenannte Windenergieerlasse der Länder haben dagegen nur Empfehlungscharakter, sie können das tatsächlich nutzbare ↗ Potenzial der Windenergie durch geforderte Abstände zwischen Anlagen und Bebauung, die über die BImSchG-Anforderungen hinausgehen, jedoch erheblich einschränken. Höhenbegrenzungen können den Stromertrag schmälern und wirken sich negativ auf die ↗ Effizienz der Anlagen aus. Dank modernster Anlagentechnik ermöglichen also auch Standorte in der Mitte und im Süden Deutschlands sowie in ↗ Waldgebieten attraktive Erträge, wie sie bis vor einigen Jahren nur an der Küste und auf exponierten Berggipfeln erreichbar waren.

Erforderliche Genehmigungen nach dem BImSchG enthalten in der Regel unter anderem Auflagen zu Ausgleichsmaßnahmen für die Beeinträchtigung von Natur und Landschaft. Danach hat der Windparkbetreiber mit der Durchführung der Baumaßnahme eine Ausgleichszahlung oder Maßnahmen wie beispielsweise die Bereitstellung von Naturschutzflächen nach dem jeweiligen Landesnaturschutzgesetz zu leisten. Auf den Homepages der zuständigen Ministerien der Bundesländer stehen die Checklisten und notwendigen Formulare für den Genehmigungsantrag nach BImSchG zur Einsicht und zum Download bereit.

G Gewerbesteuer – mehr Geld für Kommunen

Das Einkommen aus dem Betrieb von Windenergieanlagen unterliegt der Gewerbesteuer – somit erwirtschaften Windparks stabile Einnahmen für die Gemeinden. Zusätzlich bringt die Produktion von sauberem Windstrom auch Investitionen und ↗ Arbeitsplätze in die Regionen.

Seit dem 1. Januar 2009 gilt die Neuregelung zur Gewerbesteuerzerlegung. Danach fließen mindestens 70 Prozent der Gewerbesteuer an die Gemeinde, in der die Windenergieanlagen stehen (= Standortgemeinde), und 30 Prozent an die Gemeinde, in der sich die Verwaltung der Betreibergesellschaft befindet.[38] Dies war und ist ein wichtiges Signal für den weiteren Ausbau der Windenergie in Deutschland, denn die Regelung erhöht die ↗ Akzeptanz für Windenergieanlagen vor Ort. Zudem bleibt die Möglichkeit bestehen, sich auf einen Zerlegungssatz von bis zu 100 Prozent für die Standortgemeinde zu einigen. In vielen Fällen ist dies auch heute noch eine gängige Praxis.

Die Höhe der Gewerbesteuer ist abhängig von der Höhe des Gewinns, im Falle der Windenergie von den Einnahmen aus dem Stromverkauf. Es ist also im Sinne der Gemeinde, wenn Windparks an windhöffigen Standorten mit entsprechender Nabenhöhe und optimalem Rotordurchmesser für den höchstmöglichen Ertrag betrieben werden. Neu installierte Parks werfen jedoch nicht sofort nach ihrer Inbetriebnahme Gewinne ab, da zunächst Kredite abgezahlt werden müssen. In der Regel erwirtschaftet der Betrieb von Windparks nach acht bis zehn Jahren erste Gewinne, in deren Folge dann die Gewerbesteuer anfällt. Nach der vollständigen Abschreibung des Windparks (im Schnitt nach ca. 16 Jahren) steigt das Gewerbesteueraufkommen noch einmal deutlich an.[39]

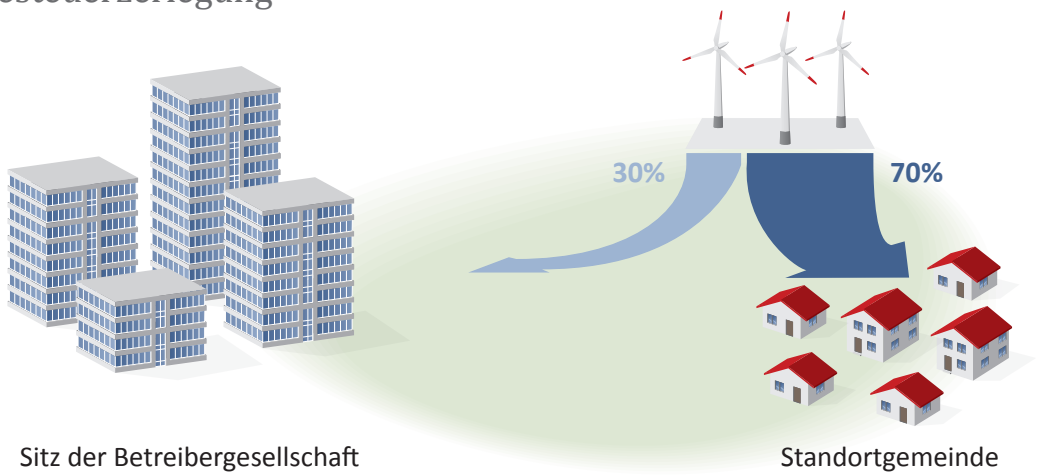
Die windcomm schleswig-holstein ließ für das Jahr 2011 die regionalökonomischen Effekte der Nutzung von Windenergie im nördlichsten Bundesland analysieren. Hierbei wurde für den Betrieb von Windenergieanlagen eine gesamte Gewerbesteuer von rund 42,2 Millionen Euro ermittelt. Da sich in Schleswig-Holstein nicht nur die Anlagenstandorte befinden, sondern dort zudem viele Betreiberfirmen ihren Sitz haben, verbleibt auch nach der Gewerbesteuerzerlegung ein Großteil der 30 Prozent im Bundesland. So kann man davon ausgehen, dass in Schleswig-Holstein im Jahr 2011 rund 39 Millionen Euro Gewerbesteuer durch Windenergie eingenommen wurden.[40]

[38] [G1] Bundesgesetzblatt (2014, n.F.)

[39] [G2] BWE (2011)

[40] [G3] windcomm schleswig-holstein (2012)

Gewerbesteuerzerlegung



Quelle: BWE

Hindernisbefeuerung – gut zu sehen

H

Die Errichtung von Windenergieanlagen mit einer Gesamthöhe von mehr als 100 Metern gewinnt in Deutschland zunehmend an Bedeutung.

Ausschlaggebend für diese Entwicklung sind die Nutzung der höheren Windgeschwindigkeiten in höheren Luftschichten und der Einsatz größerer Rotordurchmesser. Dadurch nimmt der Anteil der nach Luftverkehrsgesetz zu kennzeichnenden Windenergieanlagen stetig zu. In welcher Form die Anlagen zu kennzeichnen sind, ist seit 2004 über die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen“ (AVV) festgelegt. Entsprechend der International Civil Aviation Organization (ICAO) unterscheidet die AVV zwischen der Tag- und der Nachtkennzeichnung. Während die Kennzeichnung am Tag ab über 100 Meter Gesamthöhe der Anlage über farbige Markierungen und/oder weiße Feuer erfolgt, dürfen für die Nachtkennzeichnung in Deutschland ausschließlich rot blinkende Feuer auf dem Maschinenaus verwendet werden. Bei höheren Anlagen kommen weitere Feuer am Turm hinzu. Dadurch fühlen sich Anwohner oftmals gestört.

Um die Lichtemissionen an ↗ Onshore- und Offshore-Windenergieanlagen zu minimieren und damit auch weiterhin eine hohe ↗ Akzeptanz für größere Windenergieanlagen zu gewährleisten, hat der Bundesverband WindEnergie vor Jahren im HIWUS-Projekt[41] die Entwicklung eines Hindernisbefeuerungskonzeptes in Auftrag gegeben. Die Studie wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert und diente als Grundlage für Feldversuche. Diese zeigen, dass es mit dem Einsatz neuer, innovativer Technologien möglich ist, die störende Wirkung von Markierungen und Befeuerungen an Windenergieanlagen zu verringern, ohne die Sicherheit des Flugverkehrs und der Seefahrt zu gefährden. Eine effizientere Befeuerung erhöht die Akzeptanz der Windenergie in der Bevölkerung weiter. Die Befeuerung lässt sich heute zum Beispiel durch den Einsatz von Sichtweitenmessgeräten auf die Lichtstärke von 10 Candela – das entspricht etwa einer 10-Watt-Glühlampe – reduzieren. Und durch den Einsatz von passiven oder aktiven Radarsystemen ist zu 99 Prozent aller Fälle eine Befeuerung des Windrads nicht mehr notwendig.

Radarsysteme signalisieren den Windenergieanlagen rechtzeitig, dass ein Flugzeug im Anflug ist. Nach diesem Signal schaltet das Windrad automatisch die Befeuerung an. Nach zahlreichen Testläufen ist mit dem regulären Einsatz einer bedarfsgerechten Befeuerung in Deutschland zeitnah zu rechnen. Die neue Fassung der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen“[42] ermöglicht sowohl passive als auch aktive Radarsysteme.

Wenn eine bedarfsgerechte Befeuerung (z. B. aus Kostengründen) nicht einsetzbar ist, lässt sich die Belastung der Anwohner schon heute durch eine Synchronschaltung der Befeuerung aller Windenergieanlagen im Park sowie durch eine Anpassung der Leuchtstärke an die Sichtverhältnisse reduzieren.[43]

[41] [H1] BWE (2008)

[42] [H2] BMVI (2004, n.F.)

[43] [H3] BWE / VDMA (2014)

I Infraschall – das harmlose Schreckgespenst

Infraschall (Schall mit sehr niedrigen Frequenzen) ist ein weit verbreitetes Phänomen. Beispiele für tieffrequente Geräusche finden sich in beinahe jeder Alltagssituation und können Beeinträchtigungen im Wohlbefinden auslösen. So fürchten auch Menschen, die in der Nähe eines Windparks leben, von unangenehmen Schallemissionen betroffen zu sein.

Neben natürlichen Quellen wie Gewittern, Windströmungen und Meeresbrandungen gibt es auch eine Vielzahl technischer Infraschallquellen, wie Heizungs- und Klimaanlagen, Kompressoren und Verkehrsmittel. Um etwaige Störungen durch von Windenergieanlagen verursachte tieffrequente ↗ Schallemissionen zu untersuchen, wurden bereits im Jahr 2008 umfangreiche Messungen an Häusern mit einem geringen Abstand (ca. 0,5 km) zu einer 5-MW-Windenergieanlage (WEA) durchgeführt. Dieser WEA-Typ wird vornehmlich im ↗ Offshore-Bereich verwendet, sodass die gemessenen Werte weit über denen herkömmlicher WEA im Binnenland liegen. Die Messungen zeigten, dass die durch Rotation der WEA entstehenden Infraschallemissionen unterhalb der menschlichen Wahrnehmbarkeitsschwelle liegen.[44, 45]

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten bereits Studien des ehemaligen Bundesgesundheitsamtes.[46] Diese zeigten, dass Infraschall unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle, also Schall unter 20 Hertz und einem Schalldruckpegel von weniger als 130 Dezibel, für den menschlichen Organismus keinerlei negative Auswirkungen hat. Weiteren unabhängigen Messungen zufolge erreicht der von Windenergieanlagen erzeugte Infraschall selbst im Nahbereich bei Weitem nicht diese Werte und kann daher vom Menschen weder gehört noch auf eine andere Weise wahrgenommen werden. Natürliche Infraschallerzeuger wie stark böiger Wind oder Gewitterdonner überschreiten den Pegel aus künstlichen Quellen in der Regel um ein Vielfaches.[47]

Die verschiedenen Messungen älteren und neueren Datums[48] belegen, dass die Sorgen von Anwohnern durch tieffrequente Schallemissionen eines Windparks gesundheitlich beeinträchtigt zu werden, unbegründet sind.

44 [I1] DNR (2010)

45 [I2] DNR (2011)

46 [I3] BGA (1982)

47 [I4] LFU (2014), S. 5 ff.

48 [I5] LUBW (2015)

Kleinwindanlagen – eigener Strom für alle

K

Steigende Energiepreise und der Wunsch, Energie selbst zu produzieren, lassen viele Menschen nach einer umweltfreundlichen und nachhaltigen Möglichkeit der Stromversorgung Ausschau halten. Immer mehr Eigenheimbesitzer und Landwirte interessieren sich daher für die Kleinwindenergie.

Kleinwindenergieanlagen (KWEA) gibt es in nahezu jeder Form: Ob als Batterielader für ein Segelboot oder Gartenhaus, auf Hausdächern, im Vorgarten, bei größeren Liegenschaften oder als Anlage, mit der ein landwirtschaftlicher Betrieb versorgt werden kann – die Vielfalt ist enorm. Die am häufigsten installierten KWEA finden sich im Leistungsbereich von 1 bis 50 Kilowatt (kW). Dabei ist der Turm meist nicht höher als 20 Meter und der Rotordurchmesser nicht größer als 10 Meter. Der Kleinwindenergiemarkt ist groß und die Preise variieren recht stark.[49] Eine stetig steigende Nachfrage und die Produktion in größeren Stückzahlen können die Preise jedoch sinken lassen.

Da die Wirtschaftlichkeit einer KWEA in besonderem Maße von den Windverhältnissen des Standortes abhängt, sollte idealerweise eine Windmessung mit einem handelsüblichen Anemometer in der gewünschten Nabenhöhe durchgeführt werden. Als Faustregel gilt: Je höher der Mast und je weniger Hindernisse dem Wind im Wege stehen, desto größer ist der ↗ Energieertrag im Jahr und damit auch die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Auch die Frage, ob man den produzierten Strom einspeisen oder selbst verbrauchen möchte, will bei der Planung beantwortet sein. Speziell bei landwirtschaftlichen Betrieben, die einen hohen Eigenenergieverbrauch haben, lohnt sich der Betrieb einer KWEA. Will man den Strom einspeisen, erhält man eine Förderung entsprechend des derzeitigen EEG-Vergütungssatzes.[50]

Die ↗ Genehmigungspraxis für KWEA ist in Deutschland bis heute sehr uneinheitlich geregelt. Formal sind es bauliche Anlagen, die nach § 29 Baugesetzbuch (BauGB) behandelt werden. Zu beachten sind des Weiteren die Bestimmungen der Technischen Anleitung Lärm (TA Lärm) sowie die Bestimmungen nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und ↗ Schattenwurf. Alle über diese bundesweit verbindlichen Bestimmungen hinausgehenden Fragen regeln die Bauordnungen der einzelnen Bundesländer.[51] Interessenten sollten sich grundsätzlich vor dem Kauf gut informieren und ausgiebig beraten lassen. Des Weiteren müssen Kleinwindanlagenbetreiber, die in das öffentliche Netz einspeisen wollen, ihre Anlage bei Inbetriebnahme im Anlagenregister der Bundesnetzagentur melden.[52]

Im weltweiten Vergleich spielt die Kleinwindenergie in Deutschland bisher eine untergeordnete Rolle. Anders in den USA oder Großbritannien: Im ländlichen Raum, fernab der öffentlichen Stromnetze und ausgestattet mit hervorragenden Windverhältnissen, finden KWEA ihr optimales Einsatzgebiet. Denn im Gegensatz zu Dieselgeneratoren benötigen sie keinen Treibstoff. Aber auch die typischen „Westernwindmühlen“, die als Wasserpumpen fungieren, spielen eine nicht unbedeutende Rolle. Beide Arten von KWEA stellen auch in

Schwellen- und Entwicklungsländern ein großes und nachhaltiges ↗ Potenzial dar – auch für den deutschen ↗ Export.

[49] [K1] BWE (2013)

[50] [K2] EEG 2014, § 37

[51] [K1] BWE (2013)

[52] [K3] AnlRegV 2014

Klimafolgen und Klimaschutz – Rettungsanker Erneuerbare Energien

Die hohen Emissionen von Treibhausgasen durch den Menschen stellen einen entscheidenden Faktor für die heutigen Veränderungen des Weltklimas dar. Wissenschaftler sind sich einig darüber, dass der hohe Energieverbrauch, bedingt durch den modernen Lebensstil des Menschen, den natürlichen Treibhauseffekt in einem Maße verstärkt, dass überall auf dem Globus Niederschlags- und Temperaturanomalien auftreten. Besonders betroffen sind Regionen, die aufgrund ihrer natürlichen Gegebenheiten in der Vergangenheit bereits des Öfteren unter Naturkatastrophen zu leiden hatten.

Ursache des globalen Klimawandels sind die Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2), Methan und Lachgas, die u. a. durch eine fortschreitende Urbanisierung, eine intensivierte Landnutzung und weiter zunehmende Industrialisierung in erhöhter Konzentration auftreten. Seit Beginn der Industrialisierung hat sich die Konzentration des Treibhausgases CO_2 in der Atmosphäre um mehr als ein Viertel erhöht. Sie liegt nun bei fast 400 parts per million (ppm) – der höchste Wert seit 800.000 Jahren.[53] Im selben Zeitraum stieg die globale Durchschnittstemperatur um ca. 0,8 °C. Die Erderwärmung verursacht das Auftauen des Permafrostes, was wiederum CO_2 und Methan freisetzt. Eine weitere Konsequenz ist das Abschmelzen von Gletschern und Eisschilden und damit der Anstieg des Meeresspiegels. Die Erhöhung des Meeresspiegels ist insbesondere für die Bewohner von Küstenregionen problematisch. Zur existenziellen Bedrohung wird der Anstieg jedoch für Inselstaaten wie die Malediven und Länder mit breiter Küstenfläche sowie einem tiefliegenden Hinterland, wie beispielsweise Bangladesch und die Niederlande. Laut Szenarien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC – der sogenannte Welt-

klimarat) könnte die globale Durchschnittstemperatur bis zum Jahr 2100 sogar nochmals um bis zu 5 °C steigen, sofern die Menschheit nicht deutliche Gegenmaßnahmen zur Reduktion klimarelevanter Emissionen ergreift.[54]

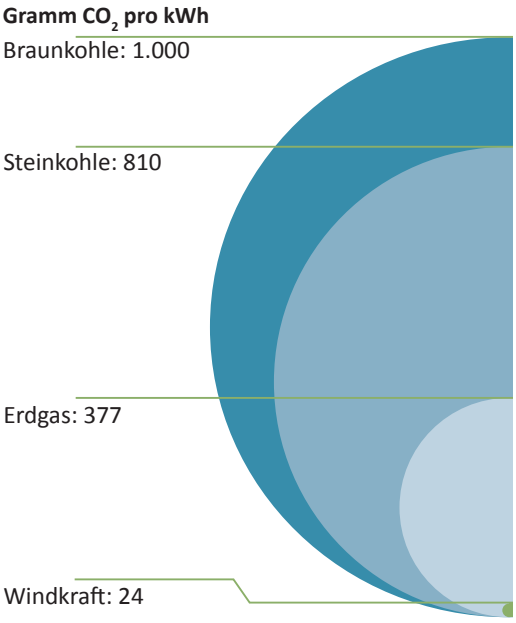
Allein in Deutschland wurden in den Jahren 2012 und 2013 jeweils rund 170 Millionen Tonnen CO_2 für die Stromerzeugung aus Braunkohle ausgestoßen.[55] Das sind 20 Prozent der jährlichen Gesamtemissionen Deutschlands – und mehr, als beispielsweise der gesamte Straßenverkehr verursacht.[56] Prioritär ist deshalb ein gemeinsamer Konsens über die einzuleitenden Maßnahmen, die der internationale Klimaschutz sowie ein erhöhter Einsatz der Erneuerbaren verlangen. In Deutschland wurden im Jahr 2014 durch Stromerzeugung aus Windenergie über 40 Millionen Tonnen CO_2 eingespart.[57]

Ein forcierter Ausbau der regenerativen Energien bringt auch ökonomische Vorteile. Sir Nicolas Stern, der ehemalige Chefökonom der Weltbank, berechnete, dass die Weltgemeinschaft ohne globale Klimaschutzaktivitäten jährlich 5-20 Prozent des weltweiten Bruttoinlandsproduktes für Klimaschäden aufwenden müsste, wohingegen sich diese Kosten durch die Reduktion der Treibhausgasemissionen auf weniger als ein Prozent begrenzen ließen.[58]

Zu einer verbindlichen Reduktion der Treibhausgasemissionen verpflichteten sich die Industrieländer im Jahre 1997 im Kyoto-Protokoll. Die Staaten, die das Klimaschutzabkommen ratifizierten, sollten ihren jährlichen Treibhausgasausstoß im Zeitraum von 2008 bis 2012 um durchschnittlich 5,2 Prozent gegenüber 1990 reduzieren. Teilweise führten diese ↗ Ziele zu ambitionierten Klimaschutzmaßnahmen auf ↗ regionaler, nationaler und internationaler Ebene, wie beispielsweise zum Europäischen Emissionshandelssystem oder zum Minderungsziel für das Treibhausgas CO_2 von 40 Prozent bis 2030 auf EU-Ebene (gegenüber 1990).[59] Doch längst nicht alle Staaten zeigen sich so entscheidungsfreudig: Zwar haben sich im Zuge der Klimakonferenz von Lima (Peru) Ende 2014 die USA und China erstmals zu einem echten Bekenntnis für den Klimaschutz durchgerungen, der Wunsch nach globalen und umgehenden Anstrengungen aller Länder blieb jedoch erneut unerfüllt. Nun setzt die Weltgemeinschaft ihre Hoffnungen in den Klimagipfel von Paris Ende 2015. Dort soll als Nachfolgevertrag für das 2012 ausgelaufene Kyoto-Protokoll ein neues Abkommen mit verbindlichen Klimazielen für alle 194 Mitgliedsstaaten der UN-Klimarahmenkonvention vereinbart werden.

Wind bremst Klimawandel

Windenergie ist die Form der Stromerzeugung mit den **geringsten CO_2-Emissionen**. Eine stärkere Nutzung von Windenergie trägt dazu bei, die globale Erwärmung abzubremsen.



[53] [K10] ESRL (2014)
[54] [K11] IPCC (2014)
[55] [K12] UBA (2014), S. 17
[56] [K13] UBA (2012), S. 44
[57] [K14] BMWi (2015), S. 38
[58] [K15] Stern (2006)
[59] [K16] Europäische Kommission (2013), S. 3

L Landschaftsbild – Veränderung mit Weitsicht

Ob Land- oder Forstwirtschaft, industrielle Entwicklung oder Städtebau: Seit jeher haben menschliche Aktivitäten das Landschaftsbild geformt und immer neuen Veränderungen unterworfen. Nichts hat unsere Umwelt so geprägt wie die Industrialisierung mit ihrem Energiehunger und Mobilitätsbedürfnis.

Die Windenergienutzung ist gegen die Auswirkungen der fossilen und nuklearen Stromerzeugung abzuwägen. Allein dem Braunkohletagebau fielen bisher über 1.600 Quadratkilometer Landschaft zum Opfer. Weitere Auswirkungen sind die Umsiedlung ganzer Ortschaften und ein Absinken des Grundwasserspiegels.[60]

Der Einfluss der Windturbinen ist dagegen vergleichsweise gering. Windenergieanlagen stehen im Gegensatz zum Braunkohleabbau für Nachhaltigkeit und Erneuerbarkeit. Sie sichern Unabhängigkeit von Öl- und Gasimporten aus dem Ausland. Damit die Energiegewinnung aus Wind besonders umwelt- und sozialverträglich betrieben werden kann, arbeitet und forscht die Branche an ↗ technischen Innovationen und Konzepten zum Beispiel zur Geräuschverminderung oder zur Minimierung der Wirkung von Markierungen und ↗ Befeuerungen an Windenergieanlagen. Zudem gibt es in der Regional- und Flächennutzungsplanung ausreichend Instrumente, um den Belangen von Natur- und Landschaftsschutz unter Beteiligung der Bevölkerung Rechnung zu tragen (siehe auch ↗ Genehmigung von Windenergieanlagen).

Eine Umfrage von TNS Emnid im Oktober 2014 ergab, dass 61 Prozent der Bürger Windenergieanlagen in der Umgebung des eigenen Wohnortes befürworten. Mit Vorerfahrung steigt diese Akzeptanz sogar auf 74 Prozent.[61] Dieses Ergebnis zeigt, dass der erwartete Einfluss von Windenergieanlagen auf das Landschaftsbild in vielen Fällen durch eine von Vorurteilen behaftete Angst unerfahrener Anwohner mitbestimmt wird. Einige Windparkplaner beugen diesen Ängsten bereits im Planungsprozess vor: Durch Fotosimulationen können sie den Anwohnern zeigen, welchen Einfluss die geplanten Windenergieanlagen auf die Umgebung tatsächlich ausüben – meist ist dieser geringer als zuvor befürchtet.

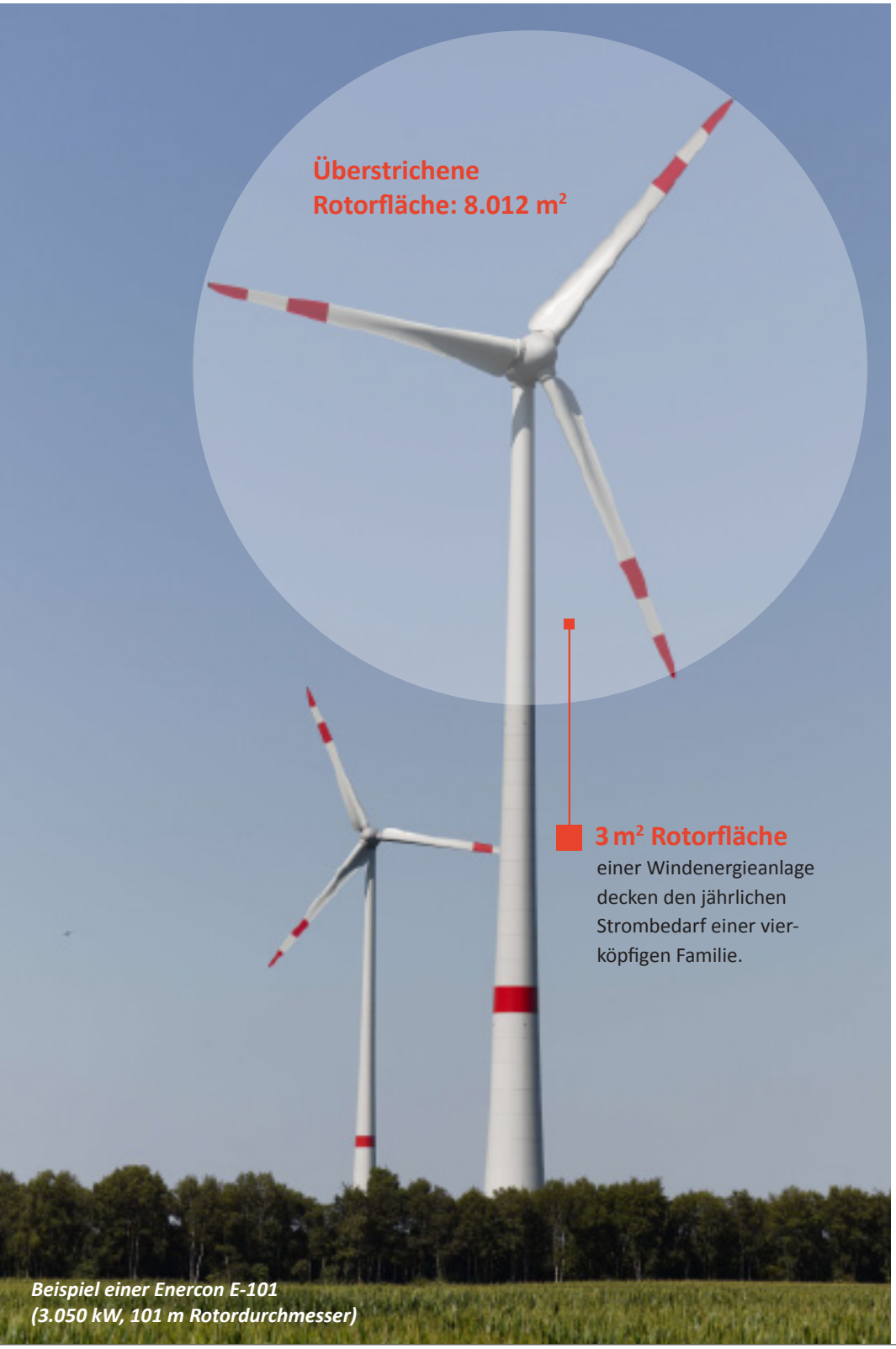
Seit einigen Jahren leistet auch das ↗ Repowering einen erheblichen Beitrag zur Verringerung des Einflusses von Windenergieanlagen auf das Landschaftsbild. Die Anlagen sind zumeist zwar höher, wirken allerdings aufgrund einer niedrigeren Drehzahl der Rotoren weniger hektisch als ihre Vorgänger. Da Repowering zudem eine höhere Nennleistung bedeutet, werden im Windpark zum Erreichen desselben Ertrags weniger Windenergieanlagen benötigt.

[60] [L1] FÖS (2014)

[61] [L2] AEE (2014)

Leistung
der Windenergieanlagen

L



Beispiel einer Enercon E-101
(3.050 kW, 101 m Rotordurchmesser)

Moderne Windenergieanlagen arbeiten mit mäßigen Rotordrehzahlen und sind dabei äußerst effektiv. Die größten Anlagen haben eine Spitzenleistung von mehr als 7,5 MW.

Durch intensive Forschung und Entwicklung konnte die Leistungsfähigkeit von Windenergieanlagen an Land seit Beginn der Neunzigerjahre mehr als verzehnfacht werden. Die erstaunliche Lernkurve der Windenergie spiegeln auch die Neuinstallationen wider: Wurden im Jahr 2014 Windenergieanlagen mit einer durchschnittlichen Leistung von rund 2.700 kW installiert, war der Leistungsdurchschnitt der Turbinen zehn Jahre zuvor noch um rund 1.000 kW geringer.

Auch Rotordurchmesser und Nabenhöhen moderner Anlagen wurden kontinuierlich größer: der Rotordurchmesser einer heute installierten Anlage beträgt fast 100 m, die Nabenhöhe rund 116 m.[62]

Eine durchschnittliche 3-MW-Anlage produziert an einem guten Standort mehr als 9 Millionen Kilowattstunden Strom im Jahr.[63] Das entspricht der Stromversorgung von rund 2.600 Haushalten. Die weltweit größte Onshore-Anlage produziert mit rund 20 Mio. Kilowattstunden Strom für bis zu 4.800 Haushalte. Auf hoher See sind Windenergieanlagen mitunter noch größer. Die leistungsstärksten Offshore-Windturbinen haben mittlerweile Nennleistungen von bis zu 8 Megawatt. Somit kann ein Windpark bereits heute eine ganze Kleinstadt mit Strom versorgen.

[62] [L10] WindGuard (2015), S. 3f.

[63] [L11] FGW (2015)

N Netzausbau, Netzumbau und Systemtransformation

Das historisch gewachsene Energieversorgungssystem befindet sich an einem Wendepunkt. Denn zukünftig werden die Erneuerbaren Energien die tragende Säule der Elektrizitätsversorgung bilden. Für diese Systemtransformation ist das Stromnetz von zentraler Bedeutung: Es dient der Übertragung der elektrischen Energie von den Erzeugungsanlagen zu den Verbrauchern.

Das Übertragungsnetz („Strom-Autobahn“) dient dem weiträumigen Transport von elektrischer Energie, die auf der Höchstspannungsebene (≥ 220 kV und 380 kV) von Kraftwerken eingespeist wird. In der Nähe der Verbrauchszentren wird auf niedrigere Spannungen in den Verteilnetzen transformiert. Hier wird zwischen der Hoch-, Mittel- und Niederspannungsebene unterschieden.

Das Hochspannungsnetz („Strom-Bundesstraße“) verteilt die elektrische Energie überregional und das Mittelspannungsnetz regional („Strom-Landstraße“). Das Niederspannungsnetz („Strom-Ortsstraße“) liefert die elektrische Energie schließlich lokal an Endverbraucher und kleine Stromabnehmer. Der Anschluss von Windenergieanlagen findet überwiegend auf der Mittel- und Hochspannungsebene – also in den Verteilnetzen – statt: Über 95 Prozent[64] der Winderzeugung (Netto-Nennleistung Ende 2014: 38 GW)[65] sind am Verteilnetz angeschlossen. Ein Anschluss auf der Höchstspannungsebene ist für Windparks mit großer installierter ↗ Leistung sinnvoll und insbesondere bei ↗ Offshore-Windprojekten erforderlich.[66]

Mit der Liberalisierung der Strommärkte in den späten Neunzigerjahren wurde das Übertragungsnetz von der Erzeugung entflochten. Neben einer zunehmenden Dezentralisierung der ländlichen Erzeugerstruktur wurde zudem damit begonnen, leistungsstarke Windparks auf See zu errichten. Aufgrund jahrelang nicht vollzogener Investitionen haben die Stromnetze mit diesen Entwicklungen nicht Schritt gehalten, sie gelangen nun an die Grenzen ihrer Übertragungskapazität.

Generell gibt es folgende Möglichkeiten, Netzengpässen zu begegnen: ↗ Einspeisemanagement (kurzfristig), Netzoptimierung (mittelfristig), Netzaus- und -umbau (langfristig). Beim Einspeisemanagement (EinsMan) werden Erneuerbare Erzeugungsanlagen vom Netzbetreiber geregelt. Netzoptimierungsmaßnahmen stellen eine Option zur Erhöhung der Übertragungskapazität der Netze ohne Netzausbau dar.[67] Langfristig ist jedoch der Netzausbau eine Grundvoraussetzung für eine nachhaltige und kosteneffiziente Energiewende. Eine Möglichkeit, das Netz effizienter zu nutzen, ist das Freileitungsmonitoring, bei dem durch Überwachung von Windgeschwindigkeit und Umgebungstemperatur die aktuell zulässige Übertragungskapazität ermittelt wird: Bei hohen Windgeschwindigkeiten und gleichzeitig niedriger Umgebungstemperatur können Leiterseile stärker belastet werden. So kann in Zeiten, in denen viel Windstrom erzeugt wird, mehr Strom übertragen werden. Hochtemperaturseile sind hingegen eine Netzverstärkungsmaßnahme: Durch die Neubeseilung bestehender Trassen mit Hochtemperaturseilen, die einen Betrieb bei wesentlich höheren Leitertemperaturen erlauben, kann die Übertragungskapazität um 50 Prozent erhöht werden.[68] Langfristig hat jedoch der Netzausbau auf Übertragungs- und Verteilnetzniveau oberste Priorität.

Die Notwendigkeit des Netzausbaus in Deutschland wurde inzwischen erkannt. Im sogenannten Bundesbedarfsplan sind die exakten Vorhaben künftiger Höchstspannungsleitungen aufgelistet. Der Erlass des Bundesbedarfsplangesetzes stellt die energiewirtschaftliche Notwendigkeit und den vordringlichen Bedarf verbindlich fest.[69] Grundlegend hatte bereits das Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG) von 2009 Vorhaben mit 1.855 Kilometer Trassenlänge zum Ziel. Seit dem Jahr 2012 sind die Netzbetreiber dazu verpflichtet, jährlich Netzentwicklungspläne zu erstellen, die wiederum alle drei Jahre in einen Bundesbedarfsplan einfließen.[70]

Der Netzentwicklungsplan 2013 (NEP 2013) hat für das Leitszenario B 2023 einen Ausbaubedarf von 3.800 Kilometern neuer Leitungen sowie einen Ausbau von 4.900 Kilometern in bestehenden Trassen bzw. eine Umbeseilung („Spannungserhöhung“) im Übertragungsnetz bis zum Zieljahr 2023 ermittelt (Kilometer hier in Trassenlänge angegeben).[71] Aber auch im Verteilnetz besteht ein großer Ausbaubedarf. Zur Einordnung der Ergebnisse des NEP: Die gesamte Trassenlänge (Kabel und Freileitungen) der Übertragungsnetzbetreiber betrug im Jahr 2012 auf der Höchstspannungsebene nahezu 17.500 Kilometer und auf der Hochspannungsebene rund 507 Kilometer.[72]

Neben dem Netzausbau durch neue Freileitungstrassen sind weitere Technologie-Optionen realisierbar. Diese gewinnen insbesondere unter regionalen ↗ Akzeptanzgesichtspunkten an Attraktivität. Hierzu zählt u. a. die Erdverkabelung von Trassen oder Teiltrassen des Hoch- und Höchstspannungsnetzes, wie sie auf der Mittel- und Niederspannungsebene bereits Stand der Technik ist und auch auf der Hochspannungsebene (110 kV) seit Jahren eingesetzt wird. Auf der Höchstspannungsebene wird das Verhalten einer Teilerdverkabelung im Stromsystem nun in Pilotvorhaben untersucht. Für den langfristigen Netzumbau sind Lastmanagement und ↗ Speicher sowie Smart Grids – mit intelligenter, dezentraler Kommunikation und Steuerung zwischen Produktion, Netzen und Verbrauch – umfassende Konzepte für eine effiziente Integration der Erneuerbaren Energien.

64 [N1] dena (2012), S. 57

65 [N2] WindGuard (2015), S. 1

66 [N3] dena (2010), S. 8 f.

67 [N4] NEP (2013), S. 86

68 [N1] dena (2012), S. 170 f.

69 [N5] BNetzA / BKartA (2014), S. 46

70 [N5] BNetzA/ BKartA (2014), S. 44 ff.

71 [N4] NEP (2013), S. 136

71 [N5] BNetzA/ BKartA (2014), S. 23

O Offshore – Signal auf Grün

Starke und stetig wehende Winde auf hoher See machen die Offshore-Windenergie interessant. Die Energieausbeute liegt aufgrund höherer Volllaststunden schätzungsweise um 40 Prozent höher als an Land.

Aus diesem Grund können sogenannte Offshore-Windparks in den kommenden Jahren einen stetig wachsenden Beitrag zur Energieversorgung leisten. Nach Schätzungen der European Wind Energy Association (EWEA) können in Europa bis 2020 bis zu 40 Gigawatt (GW) und im Jahr 2030 150 GW Offshore-Leistung installiert sein.[72] In Deutschland läuft die erste Ausbaustufe mit Hochdruck, sie wird bis Ende 2015 etwa 3 Gigawatt ans Netz gebracht haben.[73] Das ↗ EEG 2014 sieht etwa 6,5 GW bis 2020 und 15 GW bis 2030 vor. Der Ausbau der Anlagen und des Netzes auf See muss künftig synchron verlaufen.

Hightech in Nord- und Ostsee

Der deutsche Rückstand in der Offshore-Windenergie erklärt sich aus den besonderen Bedingungen. Aus Naturschutzgründen (Schutz des Wattenmeers) und um Auswirkungen auf das ↗ Landschaftsbild auszuschließen, sehen die deutschen Offshore-Projekte – im Gegensatz zu skandinavischen und britischen Projekten – Standorte weit vor der Küste in bis zu 40 Metern Wassertiefe vor. Viele geeignete Flächen liegen deshalb in der „Ausschließlichen Wirtschaftszone“ (AWZ), also außerhalb der 12-Seemeilen-Zone. Die technischen Anforderungen (Fundamente, Turmbau, Kabellegung, Logistik und Wartung) sind hierbei um ein Vielfaches höher als beim Bau von Anlagen direkt vor der Küste. Auch der Wartung auf hoher See und der regelmäßigen Zustandsüberwachung kommt durch die konstante Einwirkung von Salzwasser, Stürmen und Gezeiten eine zentrale Bedeutung zu.

Die forcierte Entwicklung der deutschen Offshore-Windenergienutzung sorgte bis 2013 für 18.800 ↗ Arbeitsplätze in der Branche.[74] Dabei trifft dieser Beschäftigungseffekt aufgrund der stark verteilten Wertschöpfungskette nicht nur den Küstenraum, sondern auch die industriellen Ballungsräume Süd- und Westdeutschlands, wo wichtige Bauteile wie Lager, Getriebe und Generatoren hergestellt werden.

Das neue ↗ EEG hat dem deutschen Offshore-Markt überraschend erschwerte Rahmenbedingungen auferlegt, da die Degressionsstufen sowohl dem Koalitionsvertrag aus dem November 2013 als auch zuvor zugesagten Planungssicherheiten für die Offshore-Branche widersprechen.

Die Anfangsvergütung für Windenergieanlagen auf See beträgt 15,4 Cent je Kilowattstunde und wird in den ersten zwölf Jahren ab Inbetriebnahme gezahlt. Die Grundvergütung liegt anschließend bei 3,9 Cent pro Kilowattstunde. Die im Basismodell vorgesehene Degression beträgt 0,5 Cent je Kilowattstunde ab dem 1. Januar 2018 und 1 Cent je Kilowattstunde ab dem 1. Januar 2020 sowie 0,5 Cent nach jedem weiteren Jahr. Optional können Betreiber von Offshore-Anlagen, die vor dem 1. Januar 2020 ans Netz gehen, eine erhöhte Anfangsvergütung von 19,4 Cent pro Kilowattstunde in den ersten acht Jahren ab Inbetriebnahme erhalten (Stauchungsmodell). Die Absenkung der Vergütung im Stauchungsmodell beträgt 1 Cent je Kilowattstunde zum 1. Januar 2018.[75]

Die Übertragungsnetzbetreiber müssen bei Offshore-Windparks die Leitungen vom Umspannwerk bis zum Verknüpfungspunkt des nächsten Übertragungs- oder Verteilnetzes errichten und unterhalten. Das Energiewirtschaftsgesetz sieht außerdem Sammelanbindungen von Offshore-Clustern vor – es sollen möglichst viele, räumlich nah stehende Offshore-Parks gemeinsam angeschlossen werden. In Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie erstellen die Übertragungsnetzbetreiber und die Bundesnetzagentur den Offshore-Netzplan. So soll der Ausbau der Windenergie auf hoher See beschleunigt werden, damit die Ausbauziele auch erreicht werden können.

[72] [O1] EWEA (2013), S. 15

[73] [O2] Windguard (2015)

[74] [O3] BMWi (2014), S. 7

[75] [O4] EEG 2014, § 30, § 50

Onshore – Windenergie an Land

O

Windenergie an Land, auch Onshore-Windenergie genannt, ist die treibende Kraft der Energiewende. In den letzten zwei Jahrzehnten hat sie sich aus der Nische heraus zur heute führenden Erneuerbare-Energien-Technologie entwickelt.

Mit einem Stromanteil von rund 9 Prozent[76] macht die Windenergie aktuell mehr als ein Drittel des gesamten Erneuerbaren Stroms in Deutschland aus. Im Jahr 2014 produzierten circa 24.900 Windenergieanlagen an Land sauberen Strom mit einer installierten ↗ Leistung von über 38.000 Megawatt.[77] Neben der Anzahl der Windräder ist insbesondere auch die Leistungsfähigkeit der einzelnen Anlagen in den vergangenen beiden Dekaden erheblich gestiegen. Waren in den Neunzigerjahren Anlagen mit einer Leistung von 600 Kilowatt Standard, liegt der heutige Durchschnitt bei Neuanlagen bei 2,7 Megawatt.[78] Die größten modernen Anlagen schaffen gar eine Spitzenleistung von 7,5 Megawatt. Höhere Türme, größere Rotordurchmesser und kleinere Generatoren sorgen für mehr Volllaststunden bei gleichzeitig regelmäßiger erreichter Nennleistung. Insbesondere die höheren Türme machen Windenergie für das Binnenland wirtschaftlich attraktiv und eine Erschließung von Standorten im Süden der Bundesrepublik interessant. Zusätzlich sorgt eine immer bessere Qualität der Windgutachten für geplante Windparks sowie die inzwischen etablierte Technologie der ↗ Systemdienstleistung durch Windenergie für einen neuen Schub beim Ausbau der Onshore-Windenergie.

Die ↗ Leistungsfähigkeit der Windenergie an Land wird nicht nur durch die Masse des eingespeisten Stroms, sondern insbesondere auch durch ihre geringen Kosten deutlich. Windenergieanlagen an Land produzieren schon heute günstigeren Strom als fossile Kraftwerksneubauten. Bezieht man ↗ externe Kosten in die Betrachtung mit ein, ist Onshore-Windenergie die günstigste verfügbare Energiequelle – auch unter den Erneuerbaren.

Gegenwärtig stehen die meisten Windenergieanlagen in den nord- und mitteldeutschen Bundesländern. Die Spitzenreiter bei der installierten Leistung sind Niedersachsen, Brandenburg, Schleswig-Holstein und Sachsen-Anhalt.[79] Eine Studie des Fraunhofer Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) hat ergeben, dass vor allem in Bayern, aber auch in Baden-Württemberg ein enormes ↗ Potenzial für die Windenergienutzung vorhanden ist.[80]

Zwischen den einzelnen Bundesländern bestehen deutliche Unterschiede hinsichtlich der Ausbaugeschwindigkeit und des Förderungsgrades. Während sich einige Bundesländer massiv gegen den Windenergieausbau im eigenen Land stemmen, erkennen andere die Wertschöpfungspotenziale für den ländlichen Raum und geben sich selbst ambitionierte Ausbauziele. In der Vergangenheit kam es zwischen Bund und Ländern zu unterschiedlichen Auffassungen bezüglich der Nutzung der Windenergie. Um den für das Gelingen der Energiewende unabdingbaren Austausch aller Beteiligten zu fördern, wurde im Mai 2011 die Bund-Länder-Initiative Windenergie ins Leben gerufen. In regelmäßigen Treffen tauschen sich nun die zuständigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der beteiligten Ministerien aus und informieren sich gegenseitig über den aktuellen Stand.

[76] [O10] AGEB (2014)

[77] [O11] WindGuard (2015), S. 1

[78] [O11] WindGuard (2015), S. 4

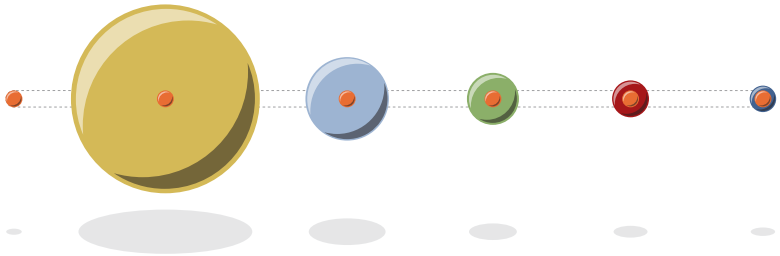
[79] [O11] WindGuard (2015), S. 5

[80] [O12] BWE (2012), S. 15

P Potenzial der Windenergie

Das physikalische Potenzial der Erneuerbaren Energien ist unerschöpflich. Allein die Sonneneinstrahlung auf die Erde würde ausreichen, den jährlichen Energiebedarf der Menschheit über 2.800 Mal zu decken.[81] Technisch nutzbar gemacht, würden die aus Sonne, Wind, Wasser, Biomasse und Erdwärme resultierenden Energiemengen den aktuellen Verbrauch um ein Vielfaches übertreffen.[82]

Das weltweite physikalische Angebot Erneuerbarer Energien übersteigt den Energiebedarf der Menschen um ein Vielfaches



Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien

Windenergie trägt seit Jahren einen entscheidenden Teil zur Energiewende bei. In Deutschland sind es mittlerweile rund 9 Prozent des Bruttostromverbrauchs. Bis 2030 sind hierzulande nach Berechnungen des Bundesverband Erneuerbare Energie (BEE) moderne Windenergieanlagen mit einer installierten ↗ Leistung von 63 Gigawatt an Land und 16 Gigawatt auf hoher See realistisch. Diese werden dann im Jahr rund 200 Milliarden Kilowattstunden grünen Strom liefern. So kann schon in einem Jahrzehnt jede vierte Kilowattstunde Strom von Windenergieanlagen produziert werden.

Das Fraunhofer IWES ermittelte im Frühjahr 2012 die vorhandenen Potenziale der Windenergie an Land in Deutschland. Die Studie zeigt, dass ca. 8 Prozent der Fläche der Bundesrepublik für die Windenergienutzung geeignet sind. Allein die Nutzung von 2 Prozent Fläche, so die Studie weiter, könnte zu einer Deckung von bis zu 65 Prozent des deutschen Strombedarfs führen.[83] Dieses Flächenpotenzial eröffnet weitreichende Möglichkeiten für einen verstärkten Ausbau der Windenergie an Land. Zudem kommt zum ↗ Onshore-Potenzial das Potenzial der ↗ Offshore-Windenergie hinzu.

In ihrer Prognose „Stromversorgung 2030“ gehen Unternehmen und Verbände der Erneuerbare-Energien-Branche davon aus, dass bereits im Jahr 2020 fast die Hälfte des deutschen Stromverbrauchs aus regenerativen Energien stammt.[84] Diese Ausbauprognose beruht auf konservativen Annahmen bezüglich des Stromverbrauchs (moderater Rückgang um 0,5-1,0 Prozent pro Jahr), des Ausbaus der Erneuerbaren Energien, der Modernisierung des konventionellen Kraftwerkparks sowie der Netzinfrastruktur. Des Weiteren setzt die Studie voraus, dass die politischen Rahmenbedingungen günstig bleiben und den Erneuerbaren Energien auch weiterhin Vorrang gewährt wird.

Weltweit betrachtet können bis zum Jahr 2020 laut Global Wind Energy Council (GWEC) bis zu 12 Prozent des Strombedarfs durch Windenergie gedeckt werden.[85] Der tatsächliche Ausbau der Windenergie ist allerdings auch hier abhängig von den politischen Rahmenbedingungen.

Viele Ortschaften und Gemeinden haben ihr Wind-Potenzial bereits erkannt und für sich genutzt. So gibt es Vorzeigeregionen, die das Ziel einer 100-prozentigen Versorgung aus Erneuerbaren Energien erreicht haben oder kurz davor stehen – wie beispielsweise der Ort Feldheim in Brandenburg oder die dänische Insel Samsø. Häufig geschieht der Ausbau gemeinsam mit den Bürgerinnen und Bürgern vor Ort (↗ Bürgerbeteiligung).

81 [P1] Greenpeace (2008)
82 [P1] Das Windpotenzial der Erde deckt den weltweiten Energieverbrauch theoretisch 200 Mal.
83 [P2] BWE (2012), S. 4
84 [P3] BEE (2012)
85 [P4] GWEC (2012)

Recycling
von Windenergieanlagen

R

Moderne Windräder lassen sich fast vollständig verwerten. Die derzeitige Recyclingquote liegt bei 80 bis 90 Prozent der Gesamtanlage. Die besten Entwicklungsmöglichkeiten bietet die Wiederverwertung der Rotorblätter aus Verbundwerkstoffen.

Eine typische Windenergieanlage mit Getriebe und Stahlrohrturm besteht inklusive Fundament zu über 80 Prozent aus Stahl und Beton. Weitere nennenswerte Anteile machen glasfaser- und kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff sowie Kupfer aus.[86] Zusätzliche Materialien sind Aluminium, Elektroteile und Betriebsflüssigkeiten.[87] Die Stahlsegmente gehen vorwiegend als Sekundärrohstoff zurück ins Stahlwerk. Die Betonteile des Fundaments können nach der Aufbereitung als Recyclingbeton vielfach als Unterbaumaterial oder Zuschlagstoff für Verkehrsflächen, z. B. im Straßenbau, Verwendung finden. Elektroschrott kann in Scheideanstalten stofflich verwertet und die metallischen Komponenten können in Gießereien eingeschmolzen werden. Die aus glasfaserverstärkten Kunststoffen bestehenden Rotorblätter werden zerkleinert. Nach einer thermischen Verwertung werden die Glasfaserbestandteile dann in Zementmischungen wiederverwertet. Ab dem Jahr 2020 wird im Zuge des vermehrten ↗ Rückbaus von Windenergieanlagen die Zahl der zu entsorgenden Rotorblätter steigen.[88]

86 [R1] ICT (2013)

87 [R2] SWR2 (2014)

88 [R1] ICT (2013) und
[R3] neue energie (11/2013), S. 22

Regionale Wirtschaftsimpulse – Gewinn für alle

Gute regenerative Projekte lassen alle Seiten profitieren: die Betreiber der Anlagen, die Gemeinden, die Planer und die beteiligten Bürger. Durch die Vielzahl der Akteure und den dezentralen Charakter der Stromerzeugung fließt die von der Windenergie erbrachte Wertschöpfung direkt in die Regionen.

Beim Bau und Betrieb der Windenergieanlagen entstehen ↗ Arbeitsplätze. Im Falle von ↗ Bürgerwindparks gehen Aufträge für Wegebau, Fundamente oder Service-Dienstleistungen häufig an regional ansässige Firmen. Landwirtschaftliche Betriebe verschaffen sich ein weiteres wirtschaftliches Standbein nach dem Motto: „Vom Landwirt zum Energiewirt“, und Steuern fließen in die kommunalen Kassen. Neben mindestens 70 Prozent der ↗ Gewerbesteuer kann eine Kommune außerdem mit dem kommunalen Anteil der Einkommenssteuer und mit Sozialversicherungsbeiträgen rechnen.

Zudem bleiben Pachteinnahmen zu einem großen Teil in den Regionen und stärken die Kaufkraft vor Ort.

So profitierte laut einer im Auftrag des BWE durchgeführten Studie des DIW Econ die öffentliche Hand im Jahr 2012 mit 3,39 Milliarden Euro jährlich von Steuer- und Sozialversicherungseinnahmen allein durch die Herstellung von Windenergieanlagen. Die weiter wachsende Windbranche ordnet sich mit einem gesamten Wertschöpfungseffekt von 14,48 Mrd. Euro im Branchenmittelfeld der Wertschöpfung der deutschen Wirtschaft ein.[89]

Einige Gemeinden, die ihre Energieversorgung vollständig auf Erneuerbare Energien umgestellt haben, nutzen ihr Engagement zudem als ↗ Tourismus-Magnet für Besucher aus aller Welt. Denn wenn klimaschützende Energieprojekte auf dem Reiseprogramm der Besuchergruppen stehen, profitieren davon eben auch die Gastgeber, Gastwirte und Hoteliers der Region. In den Landkreisen Cuxhaven und Stade flossen einer Studie des Forschungsinstitutes ForWind zufolge in zehn Jahren Investitionen in Höhe von 600 Millionen Euro in Windprojekte.[90] Allein aus Pachteinnahmen und Betriebsausgaben verbleiben jährlich bis zu 30 Millionen Euro in den beiden Landkreisen.[91]

89 [R10] DIW Econ (2014), S. 14

90 [R11] ForWind (2004), S. 41

91 [R11] ForWind (2004), S. 40 f.

Repowering – Windenergie an Land

R

Repowering bezeichnet den Ersatz älterer Windenergieanlagen durch neue, leistungsstärkere und effizientere Anlagen.

Insbesondere in Bundesländern mit Windenergienutzung der ersten Stunde sind viele Anlagen in die Jahre gekommen. Hier besteht großes ↗ Potenzial, die Altanlagen abzubauen und durch neue, wesentlich leistungsstärkere Anlagen zu ersetzen. Der Ersatz von Altanlagen durch moderne wurde insbesondere durch das ↗ Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) von 2012 befördert. Hier wurde der Anreiz für Investitionen in Repowering-Projekte durch eine Erhöhung der Anfangsvergütung (Repowering-Bonus) gesetzt. Im EEG 2014 wurde dieser Bonus jedoch wieder gestrichen.

Die installierte ↗ Leistung der Neuanlagen beträgt dabei im Regelfall rund das Doppelte der ersetzten Anlagen. Gleichzeitig wird die Anlagenzahl reduziert. Vorhandene Standorte können mithilfe einer sorgfältigen Neuplanung sowie der neuesten Anlagentechnik effizient genutzt und Planungsfehler aus der Vergangenheit können behoben werden. Große Windenergieanlagen mit moderner ↗ Technik verfügen zudem über deutlich geringere Drehzahlen und wirken so optisch verträglicher als die schnell drehenden Rotoren älterer Anlagen. Die Anzahl der Umdrehungen pro Minute hat sich im Laufe der Jahre von 40 bis 60 auf weniger als 20 verringert. Zudem lassen sich modernere Windenergieanlagen leichter ins Netz integrieren, denn sie speisen konstantere und größere Mengen Strom ein.[92]

Einen weiteren technischen Fortschritt gibt es bei der Verringerung der Schall- und Lärmbelastung. Die ↗ Schallemissionen heutiger Anlagen sind sehr gering und die Einhaltung der Grenzwerte aus dem Immissionsschutzrecht wird bei der Neuplanung von Windparks von Anfang an sichergestellt.[93] Für die alten Anlagen, deren technischer Zustand dies noch erlaubt, hat sich mittlerweile ein internationaler Gebrauchtanlagenmarkt entwickelt. Die Altanlagen dienen häufig aber auch als Ersatzteillager oder werden ↗ recycelt.

Potenzial und Hemmnisse

Das Repowering bietet eine große Chance für einen weiteren, schonenden Ausbau der Windenergie. Seit Anfang des Jahrzehnts zieht die Anzahl der Projekte merklich an, das Repowering wird so zu einer relevanten Größe für die Neuinstallation.[94] Dennoch ist der Anteil dieser Projekte an den gesamten Neuaufstellungen in den letzten Jahren hinter den Erwartungen zurückgeblieben. Prinzipiell könnte das Repowering bereits heute eine wesentlich größere Rolle spielen. Rund 90 Prozent der in Deutschland installierten Windenergiekapazität befinden sich in sogenannten Eignungsflächen, also in speziell für die Windenergienutzung ausgewiesenen Flächen. Würden die Anlagen auf diesen Flächen entsprechend den strengen Vorgaben des Immissionsschutzes repowert, ließe sich hier im Vergleich zum Jahr 1990 mehr als der fünffache Stromertrag erzielen.[95]

Administrative Hemmnisse, allen voran Abstandsregelungen und Höhenbegrenzungen, schränken dieses Potenzial in vielen Regionen jedoch erheblich ein. Beispiel Höhenbegrenzung: Gelten maximale Bauwerkshöhen von 100 Metern, so lassen sich keine Anlagen mit Rotordurchmessern von 80 Metern und mehr errichten. Der Erfolg der Projekte hängt zudem stark von der betriebswirtschaftlichen Kalkulation der vorhandenen Anlagen sowie von der Netzkapazität und deren Ausbaumöglichkeiten ab.

92 [R20] DStGB (2012), S. 16

93 [R21] WAB (2010), S. 5 ff.

94 [R22] WindGuard (2014), S. 2

95 [R20] DStGB (2012), S. 16

R Rohstoffe

Neben Erdöl und Erdgas, Kohle, Mineralien und Metallen waren und sind sogenannte Hightech-Rohstoffe und Seltene Erden die Grundlage unseres modernen Lebensstils. Allerdings sind sie sämtlich nur begrenzt vorhanden. Bei der Energiewende spielt deshalb nicht nur die Energie- und Wärmeeffizienz, sondern auch die Rohstoffeffizienz eine entscheidende Rolle. Ein Ziel der Rohstoffeffizienz ist die Unabhängigkeit von Rohstoffimporten, ein anderes die Ressourcenschonung.

Seltene Erden, ohne die die Herstellung von Smartphones, Flachbildschirmen und Energiesparlampen undenkbar wäre, werden u. a. auch zur Produktion von Hybridautos und Windenergieanlagen verwendet. Auf den internationalen Rohstoffmärkten sehen sich Unternehmen zunehmend mit einer weltweit steigenden Nachfrage nach diesen Rohstoffen konfrontiert. Nicht nur deshalb verzichten einige Hersteller von Windenergieanlagen inzwischen auf den Gebrauch von Seltenen Erden wie Neodym.[96] Die globale Vormachtstellung beim Export der Seltenen Erden hat nach wie vor China: Insgesamt 92 Prozent der Weltmarktproduktion stammen aus der Volksrepublik.[97]

Seit 2010 ist ein Wandel in der Rohstoffpolitik des Reichs der Mitte zu beobachten. Die Zeit der billigen Seltenen Erden scheint beendet, ihrer Ausbeutung auf Kosten von Umwelt und Arbeitern soll ein Ende gesetzt werden. Das bedeutet für die Handelspartner Chinas, dass man sich auf Versorgungsengpässe einstellen muss. Dennoch besteht kein Zusammenhang zwischen der drohenden Verknappung und den tatsächlichen Vorkommen. Denn trotz ihres Namens sind die Seltenen Erden nicht im eigentlichen Sinne selten, zudem sind viele Gebiete noch unerforscht. Das Vorkommen Seltener Erden ist aus geologischer Sicht unproblematisch – eine mögliche Verknappung läge einzig in der hohen Nachfrage begründet.

In Industriestaaten und aufstrebenden Schwellenländern verursachen zukunftsweisende Technologien einen stetig wachsenden Energiehunger. Abhilfe kann hier der bekannte Ansatz „Reduce – Reuse – Recycle“ schaffen. Doch nicht nur für die deutsche Großindustrie, sondern auch für den Mittelstand ist eine lückenlose und nachhaltige Versorgung mit Rohstoffen von großer Bedeutung. Angesichts starker Preis- und Kostenschwankungen hat die deutsche Bundesregierung daher 2014 eine erweiterte Rohstoffstrategie aufgelegt, mit der sie die Wirtschaft zu unterstützen versucht.[98] Teile der Strategie sind die Forschungsförderung, rohstoffpolitische Förderinstrumentarien sowie eine kohärent zu gestaltende Rohstoff-Außenpolitik unter Berücksichtigung von außen-, wirtschafts- und entwicklungspolitischen Zielen.

Energiegewinn aus Rohstoffen

Im Gegensatz zu den Erneuerbaren Energien ist das Vorkommen fossiler Energieträger begrenzt. Die Endlichkeit der weltweiten Vorräte von Erdöl und Erdgas, Kohle und Uran wird in den nächsten Jahrzehnten deutlich sichtbar werden. Zudem stellt sich die Frage nach Erreichbarkeit und Förderung, denn mitunter können Importabhängigkeiten entstehen. Die Importkosten für Rohöl, Steinkohle und Erdgas beliefen sich 2013 in Deutschland auf 86,5 Milliarden Euro.[99, 100] Die Erneuerbaren konnten demgegenüber zuletzt jährlich Energieimporte im Wert von rund 10 Milliarden Euro vermeiden helfen.[101] Sie sind zudem unerschöpflich und bundesweit dezentral verfügbar.

[96] [R30] VDI (2014), S. 22 ff.

[97] [R31] BGR (2014)

[98] [R32] BMWi (2014)

[99] [R33] AEE (2013)

[100] [R34] BGR (2014)

[101] [R33] AEE (2013)

Rückbau
von Windenergieanlagen

R

Die gewöhnliche Betriebsdauer von Windenergieanlagen ist ausgelegt auf 20 Jahre, kann jedoch bei Vorlage eines Standsicherheitsnachweises auch verlängert werden.

Nach Ablauf dieser Zeit muss die Anlage abgebaut, entsorgt und das Grundstück in den ursprünglichen Zustand zurückversetzt werden. Ihrem Bau und der Inbetriebnahme geht ein mehrstufiges ↗ Genehmigungsverfahren voraus, das gemäß Baugesetzbuch auch die Verpflichtung beinhaltet, die Anlage nach Betriebsende vollständig zurückzubauen und den Standort wieder in den ursprünglichen Zustand zu versetzen.[102] Als ↗ Sicherheitsleistung trägt der Betreiber zumeist eine Baulast ein oder stellt eine Rückbaubürgschaft gegenüber dem Grundstückseigentümer in Form einer Bankbürgschaft zur Verfügung. Nach endgültiger Stilllegung einer Windenergieanlage bleiben somit keinesfalls Bauruinen oder eine zerstörte Landschaft zurück.

Im Zuge des Rückbaus wird eine Windenergieanlage mithilfe eines Kranes Stück für Stück abgebaut und abtransportiert. Die Rotorblätter werden von der Nabe abgetrennt. Nabe, Gondel und Turm werden demontiert. Auch Schaltanlage, Übergabestation und Kabel werden rückgebaut. Das Fundament muss bis mindestens 1 Meter Tiefe entfernt werden – so tief, dass eine landwirtschaftliche Nutzung wieder möglich ist.

Auch bei ↗ Repoweringvorhaben werden die Altanlagen mit den Fundamenten abgebaut und durch neue, leistungsstärkere Anlagen ersetzt. Gebrauchte Anlagen finden zuweilen an Standorten in anderen Ländern ihre Zweitverwendung.[103]

[102] [R40] BauGB, § 35 Abs. 5 Satz 3

[103] [R41] neue energie (4/2009)

S Schallentwicklung

Bei einer Windenergieanlage gibt es zwei Schallquellen: zum einen die mechanischen Bauteile wie Getriebe und Generator, zum anderen entsteht durch die Bewegung des Rotors aerodynamischer Schall.

Beim Bau von Windenergieanlagen müssen im Rahmen eines ↗ Genehmigungsverfahrens umfassende baurechtliche Vorschriften eingehalten werden. Ein wichtiger Abschnitt bei der Genehmigung von WEA findet bereits in der Planungsphase statt, denn zu diesem Zeitpunkt werden die zu erwartenden Schallemissionen überprüft. Grundlage hierfür ist die „Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm“ (TA-Lärm DIN ISO 9613-2),[104] in der jeweils konkrete Vorgaben für Geräuschpegel festgelegt sind, die in Wohn-, Misch- oder Gewerbegebieten nicht überschritten werden dürfen. Nach ihnen richtet sich der Abstand zur nächsten Wohnbebauung. Für eine Baugenehmigung ist die Einhaltung dieser Werte durch ein Gutachten nachzuweisen.

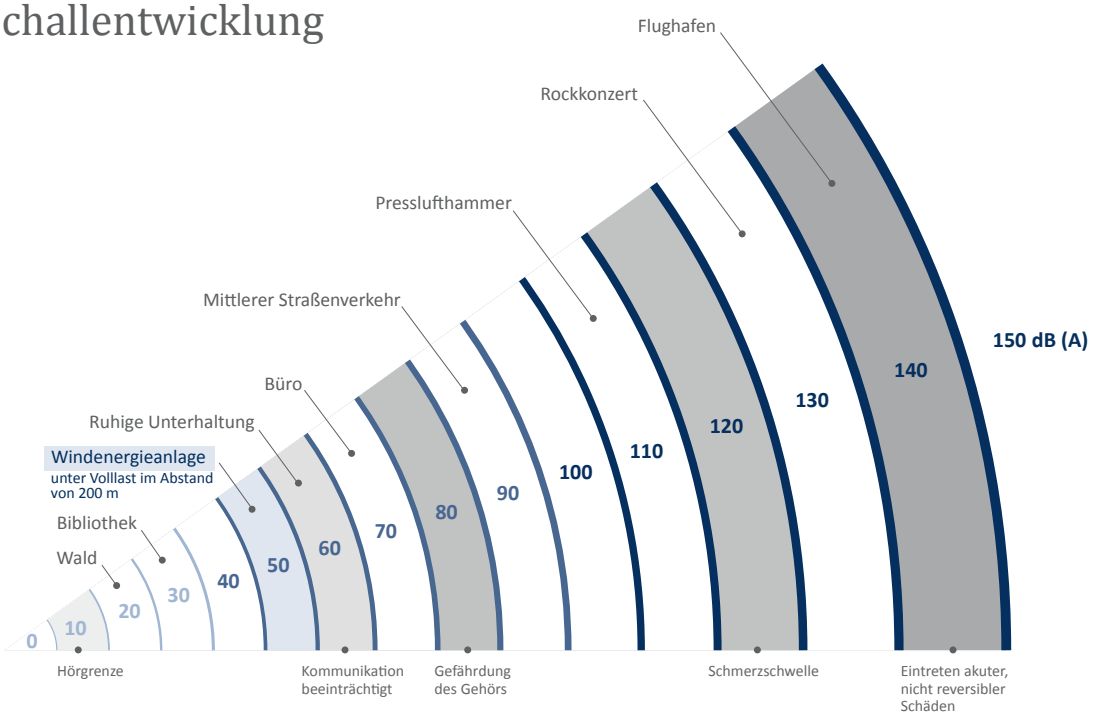
Grundsätzlich produzieren moderne Windenergieanlagen weit weniger Lärm als ihre Vorgänger aus der Pionierzeit der Windenergie. Sie sind besser schallgedämmt und besitzen schalltechnisch optimierte Rotorblattformen. Schon in wenigen 100 Metern Entfernung ist das durch die Rotorblätter hervorgerufene gleichmäßige Rauschen nicht mehr wahrnehmbar. Zudem überlagern Umgebungsgeräusche – Bäume und Büsche, Straßenlärm und andere Alltagsgeräusche – die Geräuschentwicklung von Windenergieanlagen erheblich.

Besucher von Windparks sind häufig überrascht, wie leise die Anlagen wirklich sind. Hierzu ein Vergleich: Befindet man sich mit 200 Metern Abstand neben einer modernen Windenergieanlage, beträgt die ausgehende Schallbelastung ca. 45 dB(A). In einem fahrenden Auto ist man bei 100 km/h hingegen 100 dB(A) ausgesetzt.[105]

[104] [S1] TA Lärm (1998)

[105] [S2] LANUV (2011)

Schallentwicklung



Besucher von Windparks sind häufig überrascht, wie leise die Anlagen tatsächlich sind.
Gesundheitsgefährdung und Alltagsgeräusche in unserer täglichen Umwelt
Quelle: Windenergie im Visier, Deutscher Naturschutzring

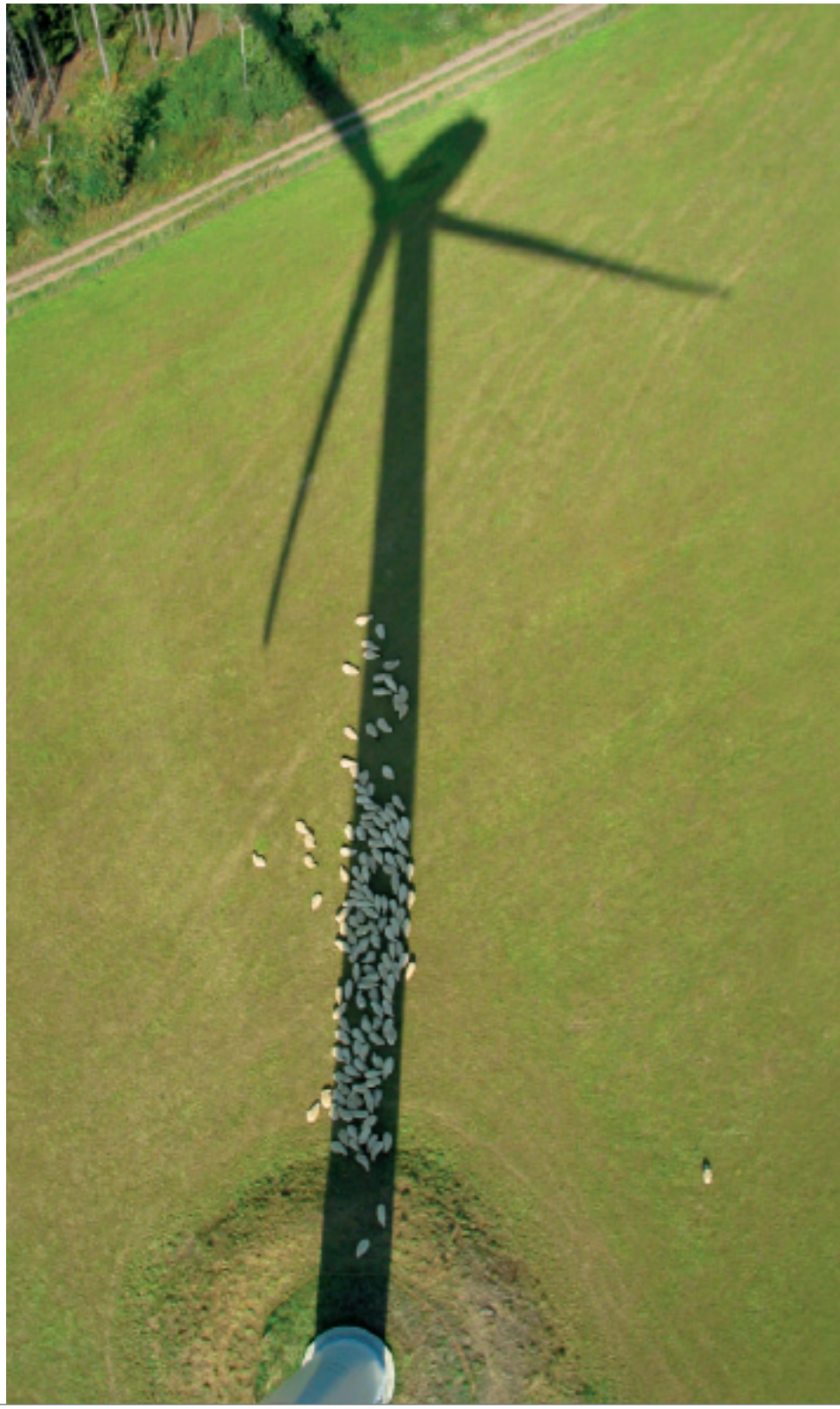
Schattenwurf
und Diskoeffekt

S

Abhängig von Wetterbedingungen, Windrichtung, Sonnenstand und Betrieb kann eine Windenergieanlage mit ihren rotierenden Flügeln einen bewegten Schlagschatten werfen.

Bei den Berechnungen des Schattenwurfs wird unterschieden zwischen der theoretisch maximal möglichen Einwirkzeit – wobei stets Sonnenschein, eine ungünstige Windrichtung und ein drehender Rotor vorausgesetzt werden – und der realen Einwirkzeit unter örtlich normalen Wetterbedingungen. Die Schattenwürfe der Rotorblätter können für Betroffene unangenehm sein, wenn die Schlagschatten zum Beispiel ständig auf die Fenster eines Wohnhauses treffen. Dieser Aspekt ist gesetzlich geregelt. Die Schattenwurfdauer darf nach Bundes-Immissionsschutzgesetz 30 Minuten täglich und 30 Stunden im Jahr nicht überschreiten.[106] In Grenzfällen ist im ↗ Genehmigungsverfahren durch Gutachten nachzuweisen, dass keine unzulässigen Schattenbelästigungen auftreten. Bei Überschreitungen ist die Windenergieanlage mit einem speziellen Sensor auszustatten und durch eine Abschaltautomatik anzuhalten.[107] Allerdings stehen in der Regel im „Schattenbereich“ von Windparks keine Wohngebäude.

Im Gegensatz zum Schattenwurf spielt der sogenannte „Diskoeffekt“ – Lichtreflexe an den Rotorblättern – heute keine Rolle mehr, denn schon lange werden die Rotorflächen mit matten, nicht reflektierenden Farben gestrichen.



[106] [S10] LAI (2002), S. 3

[107] [S10] LAI (2002), S. 4 f.

Sicherheit
von Windenergieanlagen

Windenergieanlagen sind heute im Durchschnitt zu 98,5 Prozent technisch verfügbar, sie stehen also wegen technischer Mängel nur etwa sieben Tage im Jahr still.[108] **Die Stillstandszeiten bei Großkraftwerken betragen hingegen mehrere Wochen pro Jahr.**

Gerade die Versicherungswirtschaft, die bei einem Maschinenausfall einspringt, besteht auf technische Zuverlässigkeit. Ebenso wie die genehmigende Behörde verlangt sie umfangreiche und regelmäßige Prüfungen und Sicherheitschecks. Im Rahmen der Baugenehmigung legt die Genehmigungsbehörde fest, wie oft Windenergieanlagen von Sachverständigen geprüft werden müssen. Die „wiederkehrende Prüfung" erfolgt alle zwei bis vier Jahre. Für die Betriebs- und Standsicherheit von Windenergieanlagen ist die Richtlinie für Windenergieanlagen des Deutschen Instituts für Bautechnik[109] maßgeblich.

In der Praxis erhalten Windenergieanlagen auf dieser Basis eine Typenprüfung von Zertifizierungsinstitutionen. Die Typenzertifizierung umfasst drei Elemente: die Prüfung der Konstruktionsunterlagen, die Bewertung der Herstellung (Qualitätsmanagement) und die Bewertung des Prototypentests. Die Typenprüfung oder auch Einzelprüfung ist somit Bestandteil der Baugenehmigung. Darüber hinaus sind wiederkehrende Prüfungen, die die Betriebs- und Standsicherheit der Anlage gewährleisten, in Intervallen von zwei bis vier Jahren vorgeschrieben. Die Prüfung muss durch einen anerkannten Sachverständigen erfolgen, dem alle notwendigen Informationen und technischen Dokumentationen zur Verfügung stehen. Der Sachverständigenbeirat im Bundesverband WindEnergie hat hierzu ebenfalls Richtlinien herausgegeben.

Die gesamte Windenergieanlage ist nach DIN VDE 0105-100 als abgeschlossene elektrische Betriebsstätte zu betrachten. Gemäß Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und berufsgenossenschaftlichen Vorschriften (BGV A3 – Elektrische Anlagen und Betriebsmittel) werden bei einer Windenergieanlage in regelmäßigen Intervallen alle elektrischen Komponenten überprüft. So wird dem Auftreten eines Schadens bestmöglich vorgesorgt. Zudem sind die Anlagen in der Regel mit einer Fernüberwachung ausgestattet und können von einer Leitstelle aus heruntergeregelt werden. Zusätzlich werden an den Windenergieanlagen laufend Umweltmesswerte wie z. B. die Temperatur analysiert. Steigt sie im Maschinenhaus aufgrund eines Defekts plötzlich an, kann der Leitstand eingreifen, wenn die Anlage sich nicht selbst herunterfährt.

Durch bestimmte Wetterlagen kann es zur Vereisung der Rotorblätter kommen, weshalb moderne Windenergieanlagen heute verpflichtend mit effektiven Schutzmaßnahmen ausgerüstet sind. Dabei gibt es verschiedene Methoden, um der Gefahr von Eisabwurf durch eine Windenergieanlage vorzubeugen: Die Maschine registriert die Bildung von Eis auf dem Rotorblatt und schaltet sich selbstständig ab oder eine Blattheizung sorgt für ein Abtauen des Eisansatzes im Falle eines Anlagenstillstands. Manche Anlagenhersteller verwenden auch ein einlaminiertes CFK-Gelege an der Vorderkante der Blätter, um einen Eisansatz zu verhindern.

[108] [S20] IWES (2014), S. 50

[109] [S21] DIBt (2012)

Speichertechnologien – der Ausgleich für das Netz der Zukunft

S

Der Anteil der Erneuerbaren Energien am Strommix wächst. 2014 betrug er bereits über ein Viertel – und die ↗ Ziele der Bundesregierung verdeutlichen, dass dieser Anteil weiter steigen wird. Ein wichtiger Bestandteil für eine sichere zukünftige Energieversorgung durch Erneuerbare Energien ist die Speichertechnologie.

In jedem Moment müssen Angebot und Nachfrage im Netz genau aufeinander abgestimmt sein. Hierfür können Stromspeicher je nach Bedarf als Stromquelle oder -senke dienen, indem sie bei hoher Stromerzeugung aus Wind und Sonne überschüssige Energie aufnehmen und diese bei erhöhter Nachfrage und geringer Erzeugung wieder abgeben.

Zur Sicherung der Netzstabilität werden zwei unterschiedliche Speichersorten benötigt. Dies sind zum einen die Kurzzeitspeicher, die innerhalb von Millisekunden auf Nachfragespitzen im Netz reagieren, und zum anderen die Langzeitspeicher, die die Versorgung für mehrere Stunden oder Tage übernehmen können.

Speichertechnologien sind keine gänzlich neue Erfindung. Im Jahr 2011 gab es in Deutschland bereits Stromspeicher mit einer Gesamtleistung von 11.025 Megawatt und einer Kapazität von rund 40 Millionen Kilowattstunden – Strom für 11,4 Millionen Haushalte.* Den Großteil machten sogenannte Pumpspeicherkraftwerke aus.[110]

Da die Anforderungen an Energiespeicher unterschiedlich sind, müssen verschiedene Technologien eingesetzt werden, von denen die meisten sich noch im Forschungs- und Erprobungsstadium befinden. Die Bundesregierung fördert deshalb inzwischen über 250 Forschungsprojekte zur Weiterentwicklung und Netzintegration mit der „Förderinitative Energiespeicher".[111]

Grundsätzlich kann man bei der Speichertechnologie vier Typen unterscheiden:

Mechanische Speicher nutzen Bewegungsenergie (kinetische Energie) zur direkten Speicherung z. B. in Schwungrädern oder wandeln sie in Lageenergie (potenzielle Energie) um. Hierfür wird eine Masse (Wasser oder Druckluft) mithilfe von überschüssigem Strom in Bewegung gesetzt und auf ein differierendes Höhenlevel gebracht. Bei Bedarf wird dieser Ablauf wieder umgekehrt und durch eine von der Masse angetriebene Turbine Energie erzeugt. Dies geschieht beispielsweise bei Pump- oder Druckluftspeicherkraftwerken.

In **chemischen Speichern** wird durch Strom eine chemische Reaktion hervorgerufen. Der aus dieser Reaktion entstehende Stoff gibt nach Aktivierung die gespeicherte Energie wieder ab. Die bekanntesten chemischen Speicher sind Batterien und Akkumulatoren. Aber auch Wasserstoff kann mithilfe überschüssigen Stroms hergestellt und zur Erzeugung von Energie verwendet werden. Ein weiterer Ansatz ist die Herstellung von synthetischem Methangas, welches im Erdgasnetz gespeichert und zur Verbrennung z. B. in Gaskraftwerken verwendet werden kann (Power to Gas).

Elektrische Speicher sind Kondensatoren oder magnetische Spulen. Eine Umwandlung der Energieform ist hier nicht notwendig, da sie die erzeugte elektrische Energie direkt aufnehmen. Kondensatoren speichern die elektrische Energie in leitenden Schichten, nachdem an diese eine Spannung angelegt wurde. Bei Spulen wird mithilfe des überschüssigen Stroms ein Magnetfeld erzeugt, das die Energie speichert.

Thermische Speicher nehmen mit Wasser oder feuerfestem Gestein Wärme auf, um diese bei erhöhter Nachfrage wieder abgeben zu können. Sie spielen besonders bei der Versorgungssicherheit im Heizsektor eine Rolle. Thermische Speicher können auch durch überschüssigen Strom aus Erneuerbaren Energien erhitzt werden (Power to Heat).

Die meisten Stromspeicher erreichen bereits einen Wirkungsgrad von 65-95 Prozent. Einzig der Wirkungsgrad des chemischen Speichers Wasserstoff befindet sich noch im unteren Bereich von 20-40 Prozent.[112] Wegen seiner sehr hohen Speicherkapazität ist er jedoch ebenfalls ein interessantes Medium.

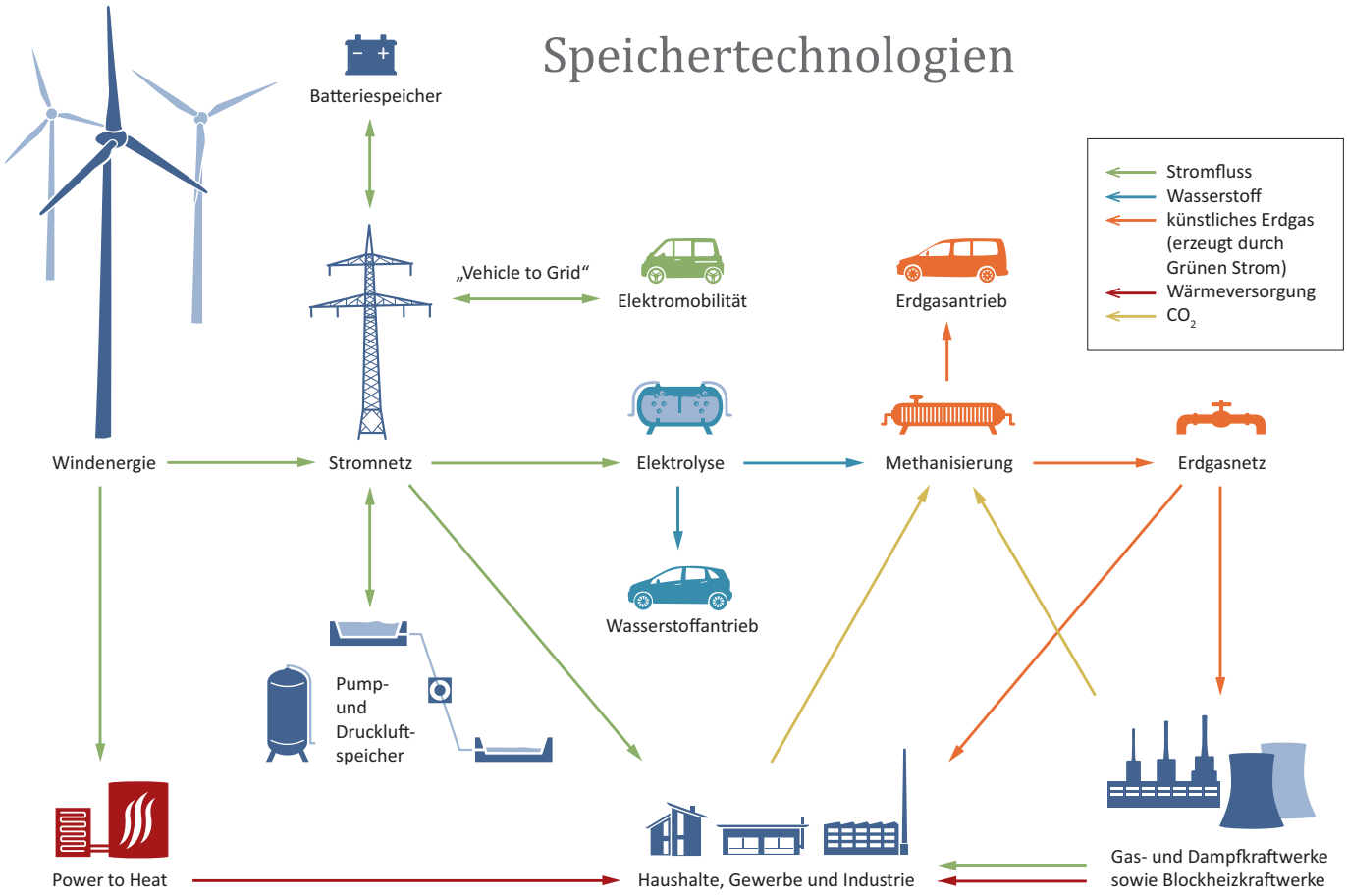
* Angenommener durchschnittlicher Verbrauch eines Haushaltes: 3.500 kWh/Jahr

110 [S30] AEE (2012), S. 5

111 [S31] BMWi (2014)

112 [S30] AEE (2012), S. 7

Speichertechnologien – der Ausgleich für das Netz der Zukunft



Beispiele aus der Praxis

Pumpspeicherkraftwerk Geesthacht (Mechanischer Speicher)

Das größte norddeutsche Pumpspeicherkraftwerk steht in Geesthacht an der Elbe. Es hat ein 600 Meter mal 500 Meter großes Wasserbecken auf einer Höhe von 93 Metern, welches bis zu 3,6 Millionen Kubikmeter Wasser aufnehmen kann. Durch das herunterströmende Wasser können bis zu drei Turbinen mit einer Leistung von jeweils 40 Megawatt (MW) angetrieben werden. Das Kraftwerk kann bei Volllast also maximal 120.000 kWh Strom erzeugen. Andersherum dauert der Pumpvorgang zum Wiederauffüllen des Beckens über drei parallele Rohrleitungen rund neun Stunden.[113]

Bereits 1958 in Betrieb genommen, lief es wegen einer Entnahmegebühr für Oberflächenwasser durch die Landesregierung ab 2001 nur noch mit 10 Prozent seiner Leistung. 2011 wurde diese Abgabe gesenkt, sodass sich das Kraftwerk heute wieder rentiert. Nun soll es speziell für die Speicherung des norddeutschen Windstroms genutzt werden.[114]

Batteriespeicher (Elektrische Speicher)

Im September 2014 startete in Schwerin der aktuell größte kommerzielle Batteriespeicher Europas.

Insgesamt 25.600 Lithium-Manganoxid-Zellen – auch Lithium-Ionen-Akkus genannt – liefern mit einer Leistung von aktuell 5 MW binnen Sekunden bis zu 5.000 kWh Strom. Optional ist eine Erweiterung auf 10 MW mit einer Kapazität von 10.000 kWh möglich.

Der Speicher dient der Sicherung der Netzfrequenz (↗ Systemdienstleistung) in West-Mecklenburg. Dieser Mechanismus wird mithilfe intelligenter Software automatisch gesteuert. Der Batteriespeicher wird vom Betreiber, der den Strom zudem am Strommarkt (genauer: am Primärregelleistungsmarkt) anbietet, kommerziell genutzt. Zukünftig soll der Speicher außerdem weitere Systemdienstleistungen wie beispielsweise die Schwarzstartfähigkeit anbieten.[115]

Power to Heat (Thermischer Speicher)

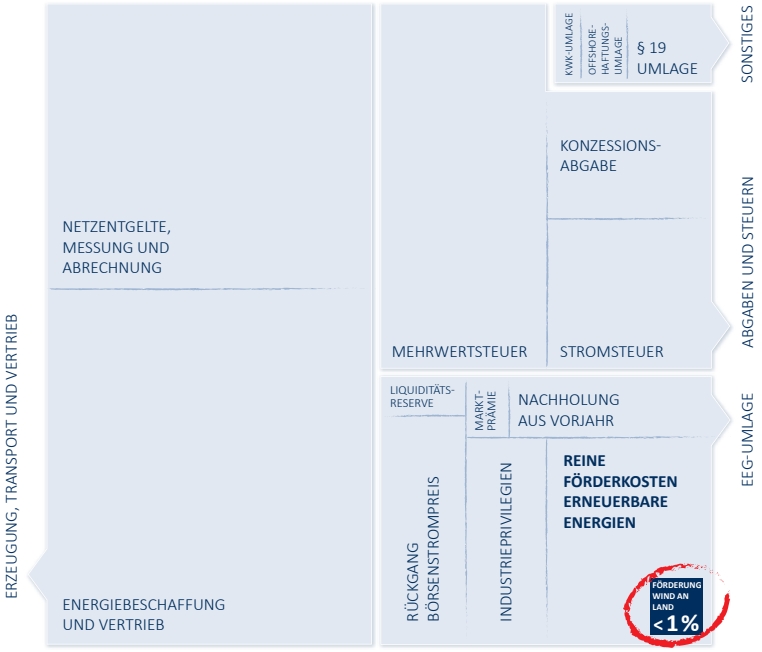
Die steigende Einspeisung von Strom aus Erneuerbaren Energien führt zu sinkenden Preisen an der Strombörse. Gleichzeitig wird dadurch weniger konventionelle Energie zur Abdeckung der Stromnachfrage benötigt. Das als „Power to Heat“ bezeichnete Konzept der thermischen Speicherung funktioniert hierbei wie ein Wasserkocher: Überschüssiger Strom aus Erneuerbaren Energien kann genutzt werden, um Wasser in einem Heizkessel zu erhitzen, welches dann wiederum zur Wärmeversorgung verwendet wird. Für die Windenergie bedeutet dies den Eintritt in den Wärmemarkt. Mussten die Anlagen zuvor bei zu geringer Stromnachfrage ggf. heruntergeregelt werden, kann der überschüssige Strom jetzt für die Erhitzung des Fernwärmewassers verwendet werden – und somit zu einer regenerativen Wärmeversorgung beitragen.

[113] [S32] Vattenfall (2014)

[114] [S33] sh:z (2011)

[115] [S34] Younicos AG (2014)

S Strompreis



Werte basieren auf Angaben und Prognosen des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) und des Bundesverbands Erneuerbare Energie e.V. (BEE).

In den letzten Jahren ist der steigende Strompreis intensiv diskutiert worden. Gleichzeitig sollen Erneuerbare Energien besser in den Strommarkt integriert werden. Dabei ist das aktuelle Strommarktdesign für den steigenden Anteil der Erneuerbaren ungeeignet. In der Fachsprache wird hier oft vom sogenannten Merit-Order-Effekt gesprochen.

Fakt ist, dass eine hohe Einspeisung Erneuerbarer Energien zu einem sinkenden Börsenstrompreis führt. Was eigentlich wünschenswert ist, führt jedoch zu einem negativen Effekt: Der Börsenstrompreis bestimmt sich nach dem Merit-Order-Prinzip. Das bedeutet, dass sich die Reihenfolge der produzierenden Kraftwerke nach ihren variablen Kosten (auch Grenzkosten genannt) bestimmt. Wind- und Solarenergie haben sehr geringe variable Kosten, da sie beispielsweise keine Brennstoffkosten aufweisen. Konventionelle Kraftwerke, wie Steinkohle- oder Gaskraftwerke, haben hingegen hohe variable Kosten. Unabhängig vom Einspeisevorrang der Erneuerbaren Energien wird zur Deckung der Stromnachfrage demnach erst erneuerbarer und dann konventioneller Strom abgerufen – es speisen also zunächst die Kraftwerke ein, die die günstigsten variablen Kosten haben, bis hin zu denen, die gerade noch zur Deckung des Bedarfs gebraucht werden. Der Preis des letzten einsetzenden Kraftwerks setzt den Börsenpreis. Diesen erhalten dann alle Produzenten.

Der Börsenstrompreis sinkt also bei einer hohen Einspeisung von Wind- und Solarstrom, da weniger konventionelle Energielieferanten mit hohen variablen Kosten benötigt werden. So können die Erneuerbaren Energien weniger zu ihrer eigenen Preisdeckung beitragen. Es kommt dazu, dass trotz sinkender Börsenstrompreise die Kosten für die Verbraucher weiter ansteigen. Dies wird Merit-Order-Effekt genannt.

Das Ansteigen des Haushaltsstrompreises ist daher unter anderem mit einem Anstieg der EEG-Umlage verbunden. Diese Umlage bezeichnet die Differenz aus der festgelegten Vergütung und dem tatsächlichen Börsenstrompreis. Zusammenfassend gibt es also zwei gegenläufige Effekte: einerseits sinkende Börsenstrompreise und damit niedrigere Stromkosten, andererseits eine höhere EEG-Umlage und somit höhere Kosten. Bei der Preisbildung des Haushaltsstroms spielen neben der Beschaffung und dem Transport des Stroms sowie der EEG-Umlage noch viele andere Faktoren eine Rolle. Dies sind vor allem Netzentgelte, Steuern und Konzessionsabgaben.[116] Ein Zusammenspiel dieser Preisfaktoren hat zu dem Strompreisanstieg der letzten Jahre geführt.

Obwohl insgesamt sinkende Börsenstrompreise zu verzeichnen sind, liegen die Haushaltsstrompreise in Deutschland im europäischen Vergleich an zweiter Stelle.[117] Auch die Strompreise der Industrie sind höher als in weiten Teilen Europas.[118] Der Anteil Erneuerbarer Energien wird auch in den kommenden Jahren weiter zunehmen. Sie können im aktuellen Strommarkt jedoch nicht zur Deckung ihrer eigenen Kosten beitragen. Daraus lässt sich schließen, dass der deutsche Strommarkt ursprünglich nicht für große Anteile Erneuerbarer konzipiert wurde. Dabei gibt es viele Ansätze, den deutschen Strommarkt für eine bessere Integration von Erneuerbaren Energien neu zu gestalten.

116 [S40] BMWi (2013), S. 6

117 [S40] BMWi (2014), S. 54 und [S41] BMWi (2013), S. 9

118 [S41] BMWi (2014), S. 52

Systemdienstleistungen und Netzstabilität

S

Für eine sichere und zuverlässige Stromversorgung sind die Netzstabilität und die hierfür erforderlichen Systemdienstleistungen essenziell.

Der Ausbau dezentraler und erneuerbarer Stromerzeugungsanlagen, wie beispielsweise Windkraftanlagen, stellt zweifellos eine gute Nachricht dar. Gleichzeitig sind aber die Aufgaben zur Sicherung einer problemlosen Stromversorgung anspruchsvoller und komplexer geworden und müssen von den Erneuerbaren mit erfüllt werden.

Zu den klassischen Systemdienstleistungen zählen Frequenzhaltung, Spannungshaltung, Versorgungswiederaufbau sowie die System- und Betriebsführung. Sie sind sämtlich in den „Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber“ – dem sogenannten Transmission Code – definiert.[119] Die Systemdienstleistungen werden von den Netzbetreibern quantifiziert, angefordert und von diesbezüglich spezialisierten Kraftwerksbetreibern bereitgestellt. Genau genommen sind es daher Vorleistungen, die von gewissen Anlagenbetreibern erbracht werden, damit die erforderlichen Systemdienstleistungen für das Energieversorgungsnetz beschafft werden können. Beispielsweise stellt die Vorhaltung von Regelleistung durch Erzeuger oder auch Verbraucher eine Vorleistung für die Frequenzhaltung dar. Für letztere sind die Übertragungsnetzbetreiber zuständig, denen die Systemverantwortung obliegt.

Frequenzhaltung

In Deutschland wird die elektrische Energie mittels Dreiphasenwechselstrom übertragen. Die Netzfrequenz beträgt – ebenso wie in den europäischen Nachbarländern – 50 Hertz. Um die Netzfrequenz einzuhalten, ist stets ein Ausgleich zwischen Elektrizitätserzeugung und -verbrauch erforderlich. Wenn ein Überschuss an elektrischer Energie (im Verhältnis zum Verbrauch) in das Netz eingespeist wird, führt dies zu einer Frequenzerhöhung. Umgekehrt sinkt die Netzfrequenz unter 50 Hertz, wenn der Verbrauch größer ist als die produzierte Energie – wie es zum

[119] [S50] ENTSO-E (2007)

S Systemdienstleistungen und Netzstabilität

Beispiel bei einem Kraftwerksausfall der Fall wäre. Um die notwendige Balance zwischen Erzeugung und Verbrauch herzustellen, benötigen die Übertragungsnetzbetreiber Regelleistung als Ausgleichsleistung.

Spannungshaltung

Um auch die Spannung im für das Netz zulässigen Bereich zu halten und Spannungseinbrüche bei einem Kurzschluss zu minimieren, muss u.a. sogenannte Blindleistung bereitgestellt werden. Da die Betriebszeiten konventioneller Kraftwerke sinken, werden zukünftig mehr dezentrale, also hauptsächlich erneuerbare Stromerzeuger Verantwortung für die Spannungsregelung übernehmen.

Versorgungswiederaufbau

Zum Versorgungswiederaufbau gehören insbesondere der Inselnetzbetrieb sowie die Schwarzstartfähigkeit, d. h., dass ein Kraftwerk vom abgeschalteten Zustand aus ohne Hilfsenergie aus dem Netz wieder hochfahren kann. Dies ist nach einem Blackout zur Wiederherstellung der Stromversorgung von großer Bedeutung.

System- und Betriebsführung

Eine zentrale Aufgabe der Netzbetreiber ist es, das Stromnetz und – soweit datentechnisch möglich – auch alle Erzeugeranlagen und Lasten zu beobachten und gegebenenfalls zu steuern. Aufgrund der zunehmenden Anzahl dezentraler Einheiten ist die Koordination von Einspeisespitzen und Netzengpässen inzwischen wesentlich komplexer geworden. Für einen sicheren Betrieb ist neben einem geschulten Personal zudem ein guter Informationsaustausch über Netzebenen hinweg sowie unter den Netzbetreibern unabdingbar.

Rechtlicher Rahmen

Je nach Spannungsebene (↗ Netze), an der eine Erzeugungsanlage angeschlossen ist, gibt es unterschiedliche technische Anforderungen. Diese sind für die Mittelspannungsebene in der BDEW-Mittelspannungsrichtlinie (4. Ergänzung in Kraft seit 1. Januar 2013)[120] und für die Hoch- und Höchstspannungsebene im Transmission Code 2007 definiert. Seit 1.1.2015 gelten für den Hochspannungsbereich zudem die „Technischen Bedingungen für den Anschluss und Betrieb von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz (VDE-AR-N 4120)“. In § 9 (1) des ↗ Erneuerbare-Energien-Gesetzes ist verankert, dass neue Windenergieanlagen fernsteuerbar sein müssen und man jederzeit ihre tatsächliche Einspeisung abrufen kann. Für Anlagen mit Inbetriebnahme vor dem Jahr 2017 gelten verminderte Anforderungen,[121] die in der Verordnung zu Systemdienstleistungen durch Windenergieanlagen (SDLWindV) geregelt sind.[122] Die SDLWindV regelt auch den für einen Übergangszeitraum gewährten Systemdienstleistungsbonus. Für die technischen Spezifikationen zu den jeweiligen Systemdienstleistungen (z. B. Blindleistungsbereitstellung) verweist sie wiederum – je nach Spannungsebene – auf die Mittelspannungsrichtlinie und den Transmission Code.

Ausblick

Die Erneuerbaren Energien sind zu einer systemrelevanten Größe geworden und müssen daher einen Teil der Aufgaben konventioneller Erzeuger perspektivisch übernehmen. Windenergieanlagen können heute schon zur Spannungs- und Frequenzhaltung beitragen. Zukünftig ist insbesondere die Schaffung von Märkten zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch Erneuerbare Energien ein wichtiger Ansatz zur Sicherung der Systemstabilität.[123]

120 [S51] BDEW (2013)

121 [S52] EEG 2014 § 9 (6)

122 [S53] SDLWind, §§ 2, 3 und Anlagen

123 [S54] BWE (2014)

Technik – Hightech made in Germany

Ende 2014 drehten sich die Rotoren von rund 24.900 Anlagen im Wind[124] und speisten über 52 Milliarden Kilowattstunden[124] sauberen Strom in das Netz ein. Die größten von ihnen reichen mehr als 150 Meter in den Himmel und verfügen über Nennleistungen von 3 bis 7,5 Megawatt.

Die modernen Hightech-Anlagen haben einen Turm aus Beton und/oder Stahl und Maschinenträger aus Gusseisen. Rotoren mit einem Durchmesser von 80 bis 120 Meter werden in unternehmenseigenen Forschungsprojekten nach Kriterien wie Aerodynamik, ↗ Schallemission und hoher Lebensdauer optimiert. Wichtigstes Element der Anlagen ist das Antriebssystem: Hier findet die Umwandlung der Windenergie in elektrische Energie statt. Rein physikalisch kann dem Wind nicht mehr als 59 Prozent der Leistung entnommen werden.[125] Ziel der Entwicklungsingenieure ist ein optimaler Wirkungsgrad. Gegenwärtig liegt dieser bei knapp unter 50 Prozent. Bei Windenergieanlagen steht jedoch nicht die maximale ↗ Leistung, sondern der höchste ↗ Energieertrag im Fokus. Hierfür muss sich die Anlage den wechselnden Windbedingungen schnell anpassen können. Durch die dauerhafte Messung des Windes werden die aktuellen Windverhältnisse geprüft und die Anlage wird optimal ausgerichtet.

Weitere Innovationen, wie die zustandsorientierte Instandhaltung (Condition Monitoring), die den bestmöglichen Betrieb der Anlage und ihrer Komponenten gewährleistet, sowie Eissensoren, Sturmregelungssoftware und Netzanbindungssysteme, sorgen für einen sicheren, störungsfreien Betrieb und eine optimale Netzintegration.

Auch die Netzstabilität wird inzwischen durch Windenergieanlagen aufrechterhalten. Mit dem neuen ↗ EEG wurde gesetzlich vorgeschrieben, was die meisten modernen Anlagen bereits erfüllen: die technischen Anforderungen der ↗ Systemdienstleistung. Dieses Element ist ein wichtiger Baustein in der Entwicklung der Windenergie von der ehemals fluktuierenden Nischentechnologie hin zu einer sicheren Stromversorgung inklusive ↗ Klimaschutz.

Der Erfahrungsvorsprung durch über 20 Jahre praxiserprobtes Wissen von Herstellern, Zulieferern und Planern schafft Marktvorteile. Und auch in Zukunft wird Windenergie made in Germany ihre Innovationsfähigkeit im wachsenden internationalen Wettbewerb unter Beweis stellen.

[124] [T1] WindGuard (2015)

[125] [T2] AGEB (2014)

[126] [T3] BWE (2014)

Technik –
wie funktioniert ein Windrad?

Windkrafttechnik:
Eine saubere Leistung

Windenergieanlagen sind moderne Kraftwerke. Sie funktionieren nach einem einfachen Prinzip. Die Rotorblätter wandeln die Bewegungsenergie des Windes in eine Drehbewegung, und diese wandelt ein Generator, ähnlich dem Dynamo-Prinzip, in elektrischen Strom um.

Physik der Windenergienutzung:
Welche nutzbare Leistung steckt im Wind?

Eine Windenergieanlage kann maximal 59 Prozent der im Wind enthaltenen kinetischen Energie in mechanische Energie umwandeln. Moderne Anlagen erreichen heute einen Wirkungsgrad von 45 bis knapp 50 Prozent.

Für die ↗ Leistung, die dem Wind entzogen werden kann, ist maßgeblich die von den Rotorblättern überstrichene Fläche bzw. spezielle Bauart der Rotorblätter sowie die Windgeschwindigkeit von Bedeutung. Gerade die Windgeschwindigkeit ist für den Ertrag einer Anlage entscheidend, da sie – physikalisch betrachtet – mit ihrer dritten Potenz einfließt. Das bedeutet: Bei der Verdoppelung der Windgeschwindigkeit verachtfacht sich die Windleistung.

Kontrollierte Kraft:
Nennleistung und Leistungsregulierung

Der Begriff „3-MW-Windenergieanlage“ kennzeichnet die Nennleistung des Generators, also seine maximale Leistung. Eine Leistung von 3 Megawatt (also 3.000 Kilowatt) entspricht beim PKW einer Leistung von 4.078 PS. Die Nennleistung erreicht die Anlage bei einer spezifischen Windgeschwindigkeit. Diese Nennwindgeschwindigkeit liegt meist zwischen 11 und 15 Meter pro Sekunde (entsprechend 40 bis 54 km/h).

Der Betriebsbereich der Windenergieanlage liegt zwischen der Einschaltwindgeschwindigkeit (2,5 bis 4 Meter pro Sekunde), bei der die Anlage beginnt, elektrische Leistung in das Netz abzugeben, und der Abschaltwindgeschwindigkeit (25 bis 34 Meter pro Sekunde). Geht die Anlage ans Netz, geschieht dies „weich“, das heißt gleitend unter Einsatz von moderner Regelungstechnik. Weht der Wind zu stark, wird die Leistung herabgeregelt, um eine gleichmäßige Einspeisung zu gewährleisten. Bei modernen Anlagen verhindert eine sanfte Sturmabschaltung, dass die Leistung abrupt abbricht. Dies vermeidet Störungen im Netz.

Leistungsregulierung

Um Windenergieanlagen vor Überlast zu schützen und eine gleichmäßige Stromabgabe zu gewährleisten, muss bei Windgeschwindigkeiten über der Nennwindgeschwindigkeit ein Teil der Leistung gedrosselt werden. Die beiden folgenden Prinzipien sind die gängigsten zur Leistungsregulierung:

Stall-Regelung (aerodynamischer Abriss)

Steigt die Windgeschwindigkeit über ein bestimmtes Maß hinaus an, reißt durch die spezielle Flügelform die Luftströmung an der Saugseite des Rotorblattes früher ab und begrenzt so die Drehzahl.

Pitch-Regelung (Blattwinkelverstellung)

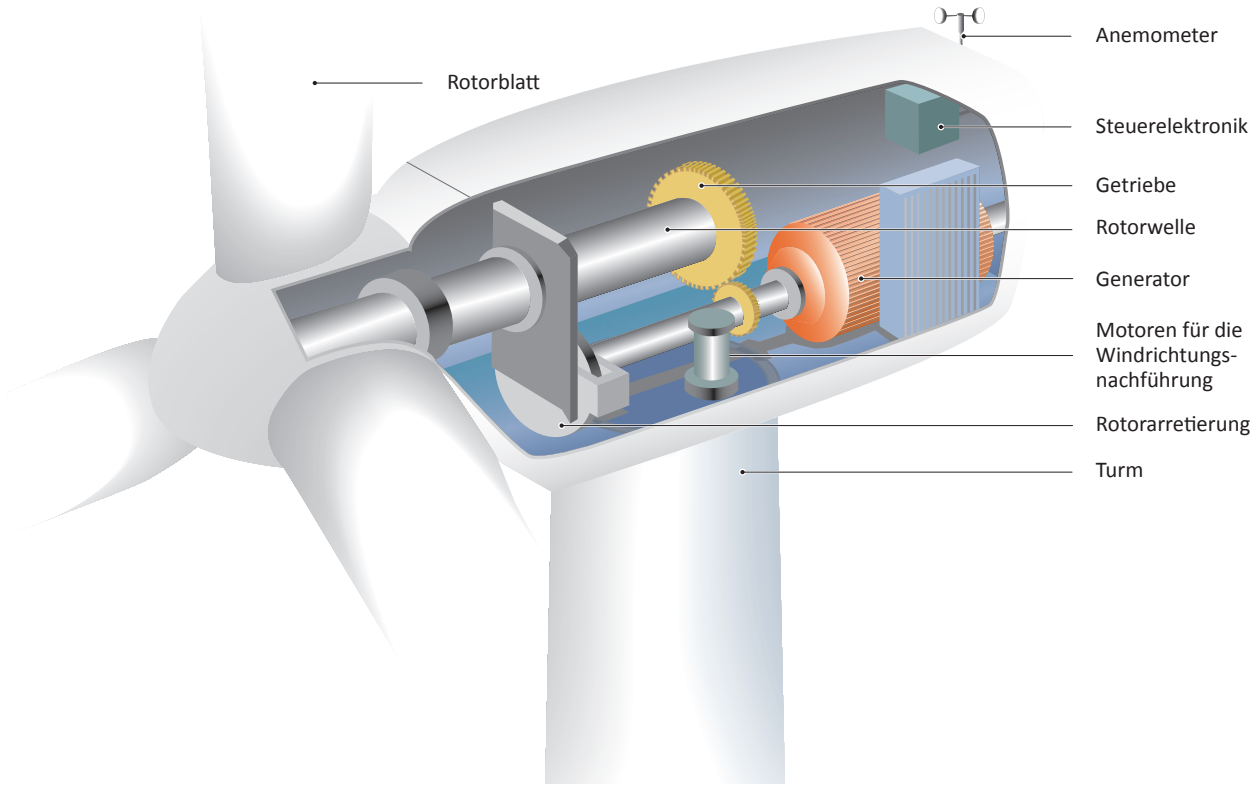
Mittels elektrischer oder hydraulischer Blattverstellung lassen sich die Flügel stufenlos verstellen. Dies verringert den Auftrieb, so dass auch bei hohen Windgeschwindigkeiten die Leistungsabgabe des Rotors ab der Nennleistung konstant bleibt.

Windnachführung

Alle Windenergieanlagen mit einem horizontal gelagerten Rotor müssen immer nach der Windrichtung ausgerichtet werden, um die Windkraft optimal nutzen zu können. Grundsätzlich wird zwischen passiven Systemen, welche die Antriebskraft zur Windrichtungsnachführung aus dem Wind generieren, und aktiven Systemen mit externer elektrischer oder hydraulischer Hilfsenergie unterschieden.

Technik –
Komponenten einer Windenergieanlage

Anlage mit Getriebe



Turm und Fundament:

Um die Standfestigkeit der Windenergieanlage zu gewährleisten, ist je nach Festigkeit des Untergrundes eine Pfahl- oder Flachgründung erforderlich. Die Turmkonstruktion selbst trägt nicht nur die Massen der Maschinengondel und der Rotorblätter, sondern muss auch die enormen statischen Belastungen durch die wechselnden Kräfte des Windes auffangen. Man verwendet in der Regel Rohrkonstruktionen aus Beton oder Stahl. Bei Türmen mit Nabenhöhen über 100 Meter kommen immer häufiger Hybrid-Türme zum Einsatz. Der untere Teil eines Hybrid-Turms besteht aus Stahlbeton, der obere aus Stahl. Eine Alternative sind auch Gittertürme.

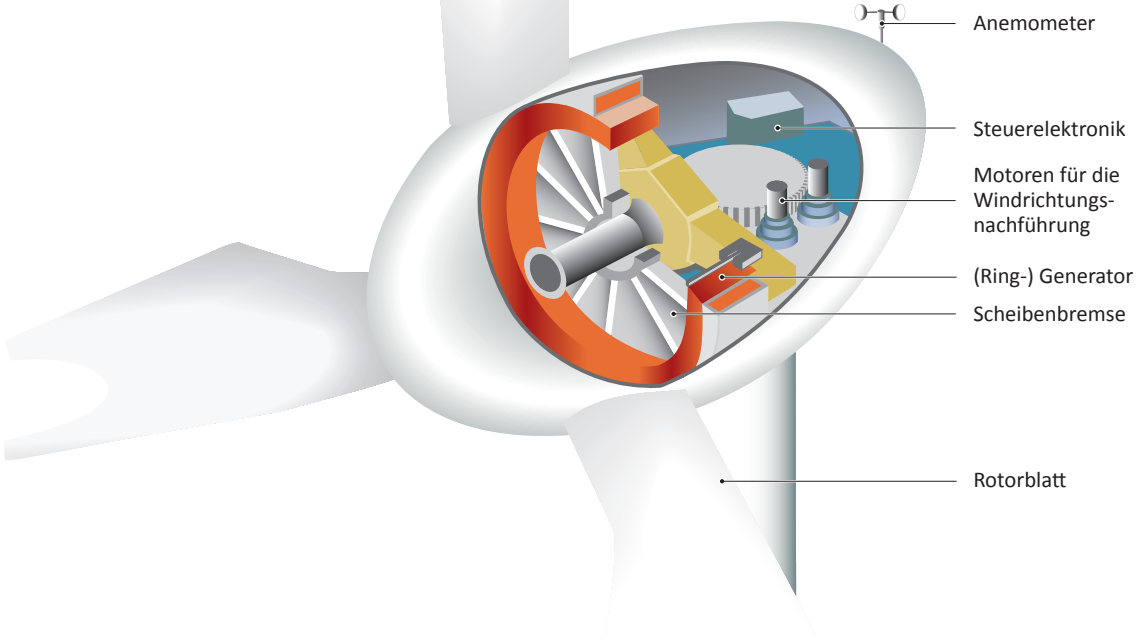
Rotorblätter:

Heute dominiert der dreiflügelige, horizontal gelagerte Rotor. Die Rotorblätter bestehen hauptsächlich aus glas- bzw. kohlefaserverstärkten Kunststoffen (GFK, CFK) und werden durch das Prinzip des aerodynamischen Auftriebs bewegt: Wenn der Wind auf ein Rotorblatt trifft, wird Luft oberhalb und unterhalb des Blattes entlanggeführt. Da es gewölbt ist, hat die Luft oberhalb des Blattes einen längeren Weg um das Profil herum und muss somit schneller fließen als die Luft auf der Unterseite. Dadurch entsteht oberhalb des Blattes ein Unterdruck (Saugseite) und unterhalb ein Überdruck (Druckseite). Durch diese Druckdifferenz wird eine Auftriebskraft erzeugt, die den Rotor in Drehung versetzt.

Gondel:

Die Gondel enthält den gesamten Triebstrang. Sie ist aufgrund der notwendigen Windrichtungsnachführung drehbar auf dem Turm gelagert. Der Aufbau der Gondel beschreibt die vom Hersteller gewählte Form, um die Komponenten des Antriebsstranges (Rotor-

Anlage ohne Getriebe



welle mit Lagerung, Generator und ggf. Getriebe) auf dem Maschinenträger zu positionieren.

Getriebe:

Das Getriebe nimmt die Drehzahlanpassung zwischen langsam laufendem Rotor und schnell laufendem Generator vor. Dazu werden mehrere Planeten- bzw. Stirnradstufen hintereinander geschaltet. Wird ein speziell entwickelter hochpoliger Ringgenerator mit großem Durchmesser verwendet, kann das Getriebe entfallen.

Generator:

Der Generator wandelt die mechanische Drehbewegung des Triebstranges in elektrische Energie um. Dabei kommen im Wesentlichen zwei Generatortypen und ihre Abwandlungen zur Anwendung: der Synchron- und der Asynchrongenerator. Beide Generatorkonzepte ermöglichen es, ihre Betriebsdrehzahl in Grenzen zu variieren. Während beim Synchrongenerator der gesamte erzeugte Strom umgerichtet werden muss, bietet der Asynchrongenerator den Schlupf als Ansatzpunkt.

Bei gewollt großem Schlupf kann die Verlustenergie (Schlupfleistung) über geeignete Umrichter wieder dem Leistungsfluss zugeführt werden. Damit muss nur ein Teil der erzeugten Leistung durch einen Umrichter fließen. Die Realisierung erfordert jedoch einen Schleifringläufer, der mit höherem Wartungsaufwand verbunden ist. Drehzahlvariable Generatorsysteme sind für moderne Windenergieanlagen die bevorzugte Konzeption.

Tourismus – voller Energie und Weitblick

Kritiker behaupten, dass Windenergieanlagen einen Eingriff in die Landschaft darstellen. Sie befürchten, dass besonders die Küsten Deutschlands, die zu den beliebtesten Urlaubsregionen zählen, durch Offshore-Windparks zukünftig von abnehmenden Besucherzahlen betroffen sein werden.

Umfragen zeigen jedoch: Windenergieanlagen haben ein positives Image und können zu einem ökologisch sinnvollen Tourismus beitragen. Sie symbolisieren Innovation, Zukunftsorientierung und Nachhaltigkeit.[127] Für einige Gemeinden haben sich hieraus bereits positive „Mitnahme-Effekte“ ergeben. Sie erleben einen erheblichen Imagegewinn, da es die meisten Urlauber befürworten, wenn ihr Ferienort aktiven Umweltschutz praktiziert. Informationsangebote über die Erneuerbaren Energien verbunden mit Besichtigungstouren zu und auf Windenergieanlagen bereichern inzwischen an immer mehr Ferienorten das touristische Angebot. Dies zeigt: Die aktive Einbindung von Windprojekten in Tourismuskonzepte hat begonnen. So findet sich beispielsweise im „Ferienführer Ostfriesland“ auch eine Seite zum Thema „WindErlebnis Ostfriesland“, und im Baedeker Verlag ist 2014 der Deutschland-Reiseführer „Deutschland – Erneuerbare Energien erleben“ erschienen, der sich den Erneuerbaren Energien und ihren Projekten vor Ort widmet.

Das Bioenergiedorf Jühnde in Niedersachsen, Dardesheim (Stadt der Erneuerbaren Energien im Harz) oder auch die Energielandschaft Morbach im pfälzischen Hunsrück sind Paradebeispiele, wie gerade kleinere, ländliche Gemeinden Erneuerbare Energien mit Gewinn nutzen können. In Dänemark errichten Gemeinden darüber hinaus Besucherinformationszentren für ihre Offshore-Windparks, zum Beispiel Blavand (Windpark Horns Rev) oder Nysted. Hier sind die Übernachtungszahlen und die Preise für Ferienhäuser seit Bau des küstennahen Offshore-Windparks Nysted sogar gestiegen.

Windenergieanlagen sind sichtbare Zeichen des ↗ Klimaschutzes und des ökologischen Fortschritts. Der Behauptung, sie hätten signifikante negative Auswirkungen auf den Tourismus in der Region, stehen Ergebnisse empirischer Umfragen gegenüber. So belegen Studien des Instituts für Tourismus- und Bäderforschung in Nordeuropa (NIT) mit über 6.000 Befragten, dass keinerlei Zusammenhang zu den Übernachtungszahlen in Urlaubsorten besteht. Nur wenige Befragte gaben an, dass sie Windenergieanlagen als störend wahrnehmen. Mehr als 98 Prozent der Gäste würden ihren Urlaub auch zukünftig an Orten verbringen, an denen saubere Energie aus Wind gewonnen wird.[128]

127 [T10] neue energie (09/2014), S. 29 ff.

128 [T11] NIT (2014)

Umweltverbände:
Windkraft – ja bitte!

Die großen Naturschutz- und Umweltverbände haben stets den ökologischen Sinn und Nutzen der Windenergie betont. Gemeinsam bilden sie eine Stimme für den Ausbau der Erneuerbaren und nehmen zusammen mit den Verbänden und Industrien der Branche Einfluss auf Entscheidungsträger.

Die Liste ist lang: Deutsche Umwelthilfe e.V. (DUH), Deutscher Naturschutzring (DNR), Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Klima-Allianz, Naturschutzbund Deutschland (NABU), NaturFreunde Deutschlands, World Wide Fund For Nature (WWF), Germanwatch, Greenpeace, Öko-Institut, Robin Wood – sie alle setzen sich für den weiteren umweltgerechten Ausbau der Windenergie und anderer Erneuerbarer Energien ein. So gab es beispielsweise auch Kooperationen des BWE mit Umweltverbänden sowie weiteren Verbänden der Erneuerbaren Energien bei der Organisation der „Energiewende retten!"-Großdemonstrationen in den Jahren 2013 und 2014 mit insgesamt über 60.000 Teilnehmern. Auch der Deutsche Bauernverband, Gewerkschaften und Kirchen unterstützen die Windenergienutzung. Dabei ist ein abgestimmtes Vorgehen beim Landschafts- und Naturschutz notwendig, um allen Facetten des Umweltschutzes und der nachhaltigen Entwicklung gerecht zu werden.

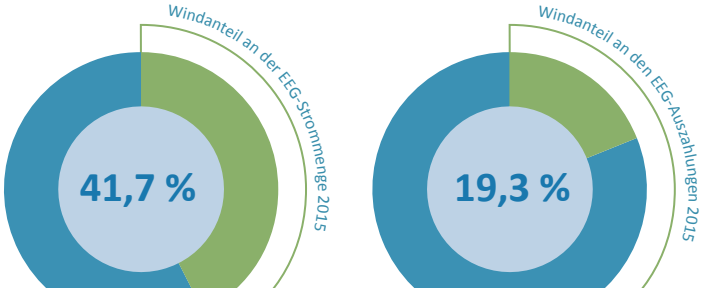
Weiterführende Links:

www.bund.net
www.dhu.de
www.die-klima-allianz.de
www.dnr.de
www.germanwatch.org
www.greenpeace.de
www.nabu.de
www.naturfreunde.de
www.oeko.de
www.robin-wood.de
www.windbewegt.de
www.wind-energie.de
www.wwf.de

V Vergütung der Windenergie

Viel Strom, geringe Förderung

Um den Ausbau erneuerbarer Energien zu fördern, wird den Anlagenbetreibern ein fester Preis für die Einspeisung ihres Stroms garantiert. Windenergieanlagen an Land erzeugen rund 42 % des Ökostroms, benötigen dafür aber nur 19 % der gesamten Förderung.



Quelle: bdew 2015

Die Vergütung der Windenergie wird durch das ↗ Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) geregelt. Das im Jahr 2000 geschaffene Gesetz ist in seiner jetzigen Form seit dem 1. August 2014 in Kraft. Zuvor wurde der Gesetzentwurf am 8. April im Kabinett beschlossen und am 27. Juni vom Bundestag verabschiedet.

Betreiber von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien erhalten für die Dauer von 20 Jahren eine bestimmte Vergütung[129] pro Kilowattstunde Erneuerbaren Stroms. Die Höhe des Vergütungssatzes ist technologiespezifisch und bei der Windenergie zusätzlich standortabhängig. Eine staatlich festgelegte Einspeisevergütung gibt es seit dem 1. August 2014 nur noch für Anlagen bis 500 Kilowatt (kW) installierter Leistung. Diese Schwelle wird ab 2016 auf 100 kW herabgesetzt. Betreiber von größeren Neuanlagen müssen jetzt ihren Strom selbst vermarkten. Dafür erhalten sie eine sogenannte gleitende Marktprämie (↗ Direktvermarktung).

Neu ist, dass für den anzulegenden Wert für Neuanlagen eine Degression festgelegt wurde, wenn der vom Gesetzgeber definierte Ausbaukorridor von 2.500 Megawatt (MW) netto überschritten wird. „Netto“ bedeutet hier, dass die im Rahmen des ↗ Repowering abgebaute Leistung angerechnet wird. Wird der Korridor überschritten, so sinkt die Vergütung ab dem 1. Januar 2016 vierteljährlich um einen bestimmten Prozentsatz. Dies bedeutet nicht, dass Anlagenbetreiber über den Vergütungszeitraum von 20 Jahren Jahr für Jahr eine geringere Einspeisevergütung erhalten. Allerdings ist die Einspeisevergütung geringer, je später eine Anlage ans Netz angeschlossen wird. Der Bemessungszeitraum für die Festlegung der Degression der Vergütung liegt zwischen dem 1. August 2014 und dem 31. Juli 2015. Aller Voraussicht nach wird der Ausbaukorridor dabei deutlich überschritten, so dass mit einer Degression von 1,2 Prozent im 1. Quartal 2016 zu rechnen ist, die wahrscheinlich auf bis zu 4,8 Prozent im 4. Quartal 2016 steigt. Das Prinzip wird in der Gesetzgebung auch als „atmender Deckel“ bezeichnet.

Die Bekanntgabe der Vergütungshöhe für jedes Quartal erfolgt immer fünf Monate im Voraus. Die Degression soll neben einer Steuerungswirkung beim Zubau auch Anreize zur Kostenreduktion setzen – beispielsweise bei der Anlagentechnik – und zur Integration der Erneuerbaren Energien in den Markt beitragen.

Mit dem EEG 2014 wurden deutliche Vergütungskürzungen vorgenommen. Vor der Novellierung des EEG 2014 erhielten Anlagenbetreiber zusätzlich zur Vergütung einen Bonus für die Bereitstellung von ↗ Systemdienstleistungen. Dieser Bonus sowie auch ein Bonus für das ↗ Repowering von Altanlagen und eine Prämie für das Management der eigenen Stromvermarktung entfallen nun. Welche Windenergieanlagen gemäß EEG 2014 vergütet werden, wird durch den sogenannten Stichtag festgelegt. Alle Anlagen, die vor dem 22. Januar 2014 genehmigt oder zugelassen wurden und vor dem 1. Januar 2015 in Betrieb gehen, werden noch nach dem alten EEG 2012 vergütet – also mit festen staatlichen Vergütungssätzen (siehe auch ↗ EEG-Umlage), fester Degression und Boni für Systemdienstleistung und Repowering sowie mit einer Managementprämie.

Der Gesetzgeber hat einen Systemwechsel angekündigt und will die Vergütungssätze ab 2017 über Ausschreibungsverfahren ermitteln. Die Diskussion zur Ausgestaltung dieser Verfahren hat begonnen. Insbesondere ist zu klären, wie die Ziele der Bundesregierung – Akteursvielfalt, Kostendegression und Erreichung der Ausbauziele – mit den neuen Verfahren vereinbar sein werden.

[129] Seit der Novellierung des EEG 2014 wird im Gesetzestext vom „anzulegenden Wert" anstelle von Vergütung gesprochen.

Vergütungsmodelle – erfolgreiches Mindestpreissystem

V

Die meisten Industrienationen haben sich im Rahmen internationaler Vereinbarungen zur Reduktion ihres Schadstoffausstoßes verpflichtet und teilweise sehr engagierte Ausbauziele für die Nutzung der Erneuerbaren Energien festgesetzt.

So strebt etwa die Europäische Union einen Anteil der Erneuerbaren Energien an der gesamten EU-Stromproduktion von mindestens 20 Prozent bis 2020 an.[130] Viele EU-Mitgliedsstaaten sind hier dem Beispiel Deutschlands gefolgt und haben sogenannte nationale Aktionspläne aufgestellt und gesetzliche Regelungen zur Förderung der Erneuerbaren Energien erlassen. Dabei bedienen sich die einzelnen Länder unterschiedlicher Fördermodelle.

Mindestpreissystem: Kernelemente dieses Modells sind die Abnahmepflicht von Strom aus Erneuerbaren Energien seitens der Netzbetreiber und ein garantierter Abnahmepreis pro Kilowattstunde. Um Mitnahmeeffekte zu vermeiden, wird die Vergütungshöhe degressiv gestaltet und je nach Erzeugungstechnologie, Standort und Ertrag festgesetzt. Neben dem System von festen Einspeisevergütungen geht der Trend in den letzten Jahren verstärkt zu Prämiensystemen wie dem deutschen Marktprämienmodell (↗ Direktvermarktung), die sich stärker an den Strommärkten orientieren.

Quotenmodell: Es wird von staatlicher Seite eine Menge oder ein Anteil von Strom aus Erneuerbaren Energien festgesetzt, der von einer Gruppe von Akteuren bereitgestellt, ge- oder verkauft werden soll. Die Einhaltung der jeweiligen Mengenverpflichtung wird durch die Vergabe von Zertifikaten kontrolliert.

Ausschreibungsmodell: Hier konkurrieren Erzeuger von Regenerativstrom in einzelnen Ausschreibungsrunden um die Deckung eines zuvor festgelegten Mengenkontingents. Die Ausschreibungsgewinner erhalten dann eine zeitlich befristete Abnahmegarantie für den von ihnen erzeugten Strom.

Bisher haben sich die Mindestpreissysteme als äußerst erfolgreich erwiesen. Sie sind flexibel in der Ausgestaltung, schaffen langfristig gesicherte Rahmenbedingungen für Investitionen und tragen somit zur Ausbildung einer nationalen Industrie, zur Sicherung von ↗ Arbeitsplätzen und zur Steigerung regionaler Wertschöpfung bei. Aktuell kommen innerhalb Europas überwiegend Mindestpreissysteme zum Einsatz. Insgesamt 20 von 27 Mitgliedsstaaten setzten 2012 auf ein Mindestpreissystem.[131] Nicht ohne Grund verzeichnet Deutschland im europäischen Vergleich die höchsten Zuwachsraten im Bereich der Windenergie.[132]

In Deutschland sollen jedoch schon bald Ausschreibungen für Erneuerbare Energien die vom Gesetzgeber festgelegten Vergütungssätze im ↗ Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ablösen. So sieht die EEG-Novelle 2014 vor, dass spätestens ab 2017 die EEG-Fördersätze wettbewerblich über technologiespezifische Ausschreibungen ermittelt werden.[133] Wie dabei die in Deutschland bisher breitgefächerte Akteursstruktur erhalten und ein Rückfall in monopolistische Marktstrukturen verhindert werden kann, ist Kern der aktuellen politischen Debatte. Die neue Energiewelt ist dezentral und wird getragen durch Bürgerinnen und Bürger, den Mittelstand und die Kommunen. Die sehr breite Struktur der Energieerzeuger stellt einen wichtigen Schlüssel für die ↗ Akzeptanz der Erneuerbaren Energien und die ↗ Bürgerbeteiligung an Windparks dar.

130 [V1] BMWi (2014)

131 [V2] ISI (2012), S. 3 f.

132 [V3] GWEC (2014), S. 18

133 [V4] Agora (2014)

V Vogel- und Fledermausschutz – Langzeitstudien geben Sicherheit

20 Jahre Forschung zeigen eindeutig: Vögel kollidieren nicht in großer Zahl mit Windenergieanlagen. Auch eine langfristige Beeinträchtigung des Verhaltens der Vögel ist nicht zu beobachten. Die größte Gefahr für die Artenvielfalt geht vom Klimawandel aus. Zudem stellen andere menschliche Eingriffe in den Lebensraum der Vögel – wie Gebäude oder der Straßenverkehr – eine weitaus größere Gefahr dar.

Bei der Wahl der Standorte für Windenergieanlagen bleiben bedeutende Vogelbrut- und -rastgebiete grundsätzlich außen vor. Im Laufe jedes Verfahrens zur Standortfindung und ↗ Genehmigung von Windenergieanlagen werden innerhalb der naturschutzrechtlichen Prüfungen außerdem die Auswirkungen von Windturbinen auf die Lebensräume und Durchzugsgebiete von Vögeln beurteilt. Nahezu jedes Projekt wird heutzutage durch ornithologische Untersuchungen begleitet. Einige Vogelarten gelten in diesem Zusammenhang als besonders schützenswert. Neuere Studien untersuchen das Verhalten von Greifvögeln, wie beispielsweise des Rotmilan. Mithilfe dieser Studien wird versucht, geeignete Vorsorgemaßnahmen zu entwickeln, die das Unfallrisiko bestmöglich minimieren. Die Flughöhen von Zugvögeln liegen generell bei rund 500 Meter, also weit über den Windenergieanlagen. Sollten sich die Anlagen dennoch in nachweislichen Zugkorridoren befinden, können diese bei bestimmten Wetterlagen oder Situationen, die die Tiere in die Nähe der Anlagen bringen, abgeschaltet werden. Grundsätzlich werden die Windparks jedoch umflogen oder die Vögel weichen kleinräumig aus.

Bei diversen Vogelarten wurden vereinzelt sogar verstärkte Brutaktivitäten in der Nähe von Windenergieanlagen festgestellt. So stieg seit 1990 beispielsweise parallel zum Ausbau der Windenergie an Land die Seeadlerpopulation deutlich an [134], und das insbesondere innerhalb Niedersachsens, Schleswig-Holsteins und Brandenburgs – den Bundesländern mit den meisten Windenergieanlagen.

Auch lokale Fledermauspopulationen – insbesondere hochfliegende Arten wie der Abendsegler – werden in Planungs- und Genehmigungsverfahren berücksichtigt. Jedoch gilt es hier erhebliche Unterschiede in Naturräumen und Bestandsgrößen zu beachten, welche die Entwicklung von generellen Kriterien zum Schutz der Fledermäuse erschweren. Eine häufige Konsequenz sind daher pauschale Abschaltzeiten oder die Anwendung eines Betriebsalgorithmus, der durch oftmals lang andauernde Monitoring-Untersuchungen den jeweiligen Schutzerfordernissen angepasst werden kann.

Oft werden auch Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen zum Schutz von Vögeln und Fledermäusen während und nach der Bauphase von Windparks veranlasst. Das ↗ Repowering bietet zudem die Möglichkeit einer „Nachjustierung“ weniger geeigneter Standorte. Durch die zwanzigjährige Erfahrung der Branche und die inzwischen sehr umfangreiche Prüfung der Einflüsse von Windenergieanlagen auf ihre Umwelt kann jedes Projekt individuell und in Zusammenarbeit mit den örtlichen Naturschutzbehörden Vogelschutz und Klimaschutz miteinander vereinen. Insgesamt lässt sich resümieren, dass Zusammenstöße mit Windenergieanlagen so selten sind, dass sie sich nicht auf die Populationsgröße oder den Bestand einzelner Vogelarten auswirken.

[134] [V10] Hauff, Peter (2009), S.11

Wind im Forst

W

Bis 2025 strebt die Bundesregierung einen Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung von mindestens 40 Prozent an. Die Windenergie stellt hierbei einen Grundpfeiler der regenerativen Energieversorgung dar. Bei der Frage nach möglichen Standorten für die Erzeugungskapazitäten rückt zunehmend auch der Wald in den Fokus, der rund ein Drittel der Fläche Deutschlands bedeckt.[135]

Windenergieprojekte werden heute im Wirtschaftswald, in einer ohnehin vom Menschen geprägten Kulturlandschaft umgesetzt. Naturnahe, besonders wertvolle Gebiete sind von einer Nutzung durch Windenergie ausgeschlossen. In der vom BWE in Auftrag gegebenen „Studie zum Potenzial der Windenergienutzung an Land“ des Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) wird dargelegt, dass aufgrund der regional sehr unterschiedlichen Verteilung des Waldes die Nutzung von Waldflächen für die Windenergie in Betracht gezogen werden kann. Dies betrifft vor allem Bundesländer in Mittel- und Süddeutschland.[136] In einigen dieser Länder werden bereits Windparks im Wald betrieben, andere haben Leitfäden oder Potenzialkarten für Windenergie im Wald erstellt.

Die planerische Entscheidung für Windenergieanlagen in Waldgebieten ist in erster Linie abhängig von der Windhöffigkeit des Standortes. Die Erschließbarkeit sowie mögliche Vorschäden wie beispielsweise durch Windwurf oder Vorbelastungen durch Autobahnen oder technische Elemente wie Sendemasten können die grundsätzliche Eignung für Windenergie bestärken.

Aufgrund der heute verwendeten Turmhöhen von über 100 Meter wird der Einfluss der baumbestandsbedingten ertragsmindernden Rauigkeit nahezu aufgehoben. Die wirtschaftliche Nutzung von Waldstandorten für Windenergie ist mittlerweile möglich und empfehlenswert.

Der Flächenbedarf einer heute üblichen 3-MW-Anlage beträgt zwischen 0,4 und 1 Hektar, abhängig vom Anlagentyp und der Standortbeschaffenheit. Nur ein Teil dieser Fläche wird über den Betriebszeitraum offengehalten. Einige Flächen werden wieder aufgeforstet und die Freifläche um das Fundament und die Kranstellfläche wird mit Schotterrasen begrünt.

Für die Eingriffe werden Ausgleichsmaßnahmen wie Ersatzaufforstungen und andere Waldumbaumaßnahmen durchgeführt. Die naturschutzfachlichen Belange werden im ↗ Genehmigungsverfahren umfassend geprüft. Grundsätzlich sind Windenergieprojekte im Wald mit den gleichen naturschutzfachlichen Belangen konfrontiert wie in Offenlandschaften, hinzu kommt das Forstrecht des entsprechenden Bundeslandes. Neben Naturschutzbehörden wird bei Windenergie im Wald außerdem das zuständige Forstamt in die Planung einbezogen.

Das traditionelle ↗ Landschaftsbild ändert sich mit der Errichtung von Windenergieanlagen. Allerdings berücksichtigen die Planungen Fernwirkungen, und sie achten zudem darauf, dass sich die Anlagen gut in das Landschaftsbild einfügen. Im Nahbereich werden Türme und Rotoren durch die Sichtverschattung der Bäume kaum wahrgenommen. Gleiches gilt auch für die Geräuschkulisse. Die natürlichen Windgeräusche im Wald liegen meist über dem Geräuschpegel von Windenergieanlagen.

[135] [W1] SDW (2014)

[136] [W2] BWE (2012), S. 11

Z Ziele – national und international

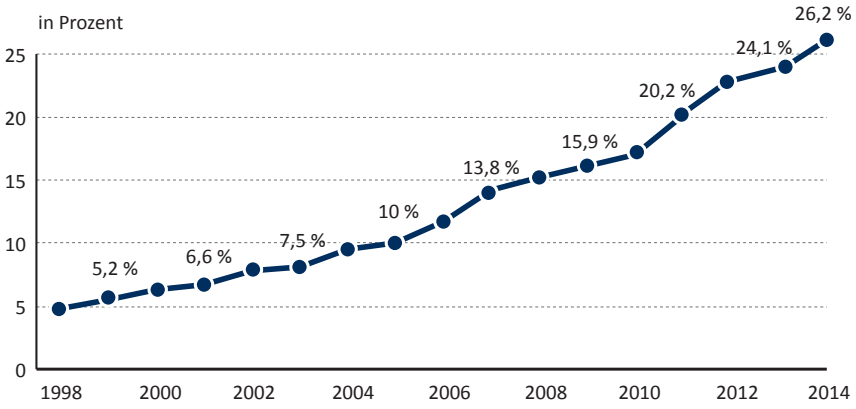
Das am 1. Januar 2000 in Kraft getretene ↗ Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat in den ersten zehn Jahren seines Bestehens zu einer Verdreifachung des Anteils Erneuerbarer Energien an der Stromproduktion in Deutschland geführt. Bis 2025 strebt die Bundesregierung einen Anteil der Erneuerbaren Energien am Stromverbrauch von 40 bis 45 Prozent an, bis 2035 sollen es bereits 55 bis 60 Prozent sein.

Neben der Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien am Strommix sieht die Bundesregierung in ihrem Energiekonzept zudem vor, den Ausstoß von Treibhausgasen bis 2020 um 40 Prozent und bis zur Mitte des Jahrhunderts um mindestens 80 Prozent (im Vergleich zu 1990) zu reduzieren.[137] Die Grundvoraussetzungen für eine sichere, bezahlbare und umweltfreundliche Energieversorgung schaffen dabei die Erneuerbaren Energien. Durch die konsequente Umsetzung dieser Energiepolitik kann Deutschland zu einer der ersten Industrienationen mit einem hocheffizienten Energiesystem werden, das hauptsächlich auf regenerativen Energien fußt.

Klimawandel, Biodiversitätsverlust, Desertifikation und Ressourcenknappheit sind globale Probleme, die nur im internationalen Kontext bewältigt werden können. Die jährlichen UN-Klimakonferenzen seit dem Umweltgipfel von Rio de Janeiro (1992) sowie die internationalen Konferenzen zur Nutzung der Erneuerbaren Energien haben zu einer stetig wachsenden Koalition von Nationen geführt, die sich im Bereich des ↗ Klimaschutzes und der Förderung Erneuerbarer Energien hohe Ziele und klare Zeitpläne gesteckt haben.

Das von ihnen deklarierte Hauptziel ist die Begrenzung des Temperaturanstiegs auf maximal 2 Grad Celsius. Hierfür muss der Ausstoß der Treibhausgase massiv verringert und ein erfolgreicher Ausbau der Erneuerbaren Energien weltweit fortgesetzt werden.

Anteile Erneuerbarer Energie an der Stromerzeugung Deutschlands



Quelle: AG Energiebilanzen

Energiewende: Maßnahmen (Auszug)[138]

- Ausbau der Erneuerbaren Energien
  - **Windenergie onshore: jährlich 2.500 MW (netto)***
  - **Windenergie offshore: 6.500 MW bis 2020, 15.000 MW bis 2030**
  - Solarenergie: jährlich 2.500 MW (brutto)
  - Biomasse: jährlich 100 MW (brutto)
  - Keine Vorgaben für Geothermie und Wasserkraft
- Ausbau des Netzes (gemäß Bundesbedarfsplan)
  - 2.800 km neue Trassen
  - 2.900 km alte Trassen verbessern und verstärken
- Energiespeicher entwickeln
- Ausstieg aus der Kernkraft bis 2022
- Verbesserung der Förderung von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
- Senkung des Primärenergiebedarfs um 50 Prozent bis 2050
- Nahezu klimaneutraler Gebäudebestand bis 2050
- Rund 1 Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen bis 2020

[137] [Z1] Die Bundesregierung (2009), S. 4

[138] [Z2] Die Bundesregierung (2014)

* netto = Keine Berücksichtigung von zugebauter Leistung durch Repowering

Quellenverzeichnis

Akzeptanz – Erfolgsfaktor der Windenergie

[A1] AEE – Agentur für Erneuerbare Energien (2014): *Akzeptanzumfrage 2014: 92 Prozent der Deutschen unterstützen den Ausbau Erneuerbarer Energie;* unter: http://www.unendlich-viel-energie.de/themen/akzeptanz2/akzeptanz-umfrage/

Arbeitsplätze – Windenergie als Jobmotor

[A10] GWS – Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (2014): Erneuerbar beschäftigt in den Bundesländern. Bericht zur aktualisierten Abschätzung der Bruttobeschäftigung 2013 in den Bundesländern. Osnabrück 2014, S.23; unter http://www.gws-os.com/discussionpapers/EE_besch%C3%A4ftigt_bl_2013.pdf

[A11] AEE – Agentur für Erneuerbare Energien (2014): *FAKTEN. Die wichtigsten Daten zu den Erneuerbaren Energien. Schnell und kompakt,* S. 2; unter: http://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/41.AEE_TalkingCards_2013_Jun13.pdf

[A12] DIW Econ GmbH (2014): *Die ökonomische Bedeutung der Windenergiebranche – Modul 1: Windenergie an Land in Deutschland,* Dr. A. Mattes, Berlin, Mai 2014, S. 12; unter: http://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/die-oekonomische-bedeutung-der-windenergiebranche/diw_econ_oekonomische_bedeutung_windenergie.pdf

[A13] WILA Bonn – Wissenschaftsladen Bonn (2014): *Studiengänge für Erneuerbare Energien;* unter: http://www.wilabonn.de/de/arbeitsmarkt-und-qualifizierung/beruf-und-ausbildung-erneuerbare-energien/studiengaenge-ee.html

Bürgerbeteiligungen – Windparks in regionaler Hand

[B1] windcomm schleswig-holstein (2012): *Leitfaden Bürgerwindpark. Mehr Wertschöpfung für die Region,* 3. Auflage, Husum 2012, S. 3; unter: http://www.windcomm.de/Downloads/Leitfaeden/Leitfaden-Buergerwindpark.pdf

Direktvermarktung

[D1] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2014;* unter: http://www.bmwi.de/DE/Service/gesetze,did=21940.html

[D2] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Die EEG-Reform | Windenergie an Land,* Stand: 1. August 2014; unter: http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/eeg-faktenblatt-windenergie-an-land,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf

[D3] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Marktintegration der erneuerbaren Energien, Newsletter vom 10. Februar 2014;* unter: http://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2014/02/Meldung/marktintegration-der-erneuerbaren-energien.html

Effizienz – mit großen Schritten zum Erfolg

[E1] FGW e.V. – Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (2015): *Referenzertrag E-101;* unter: http://www.wind-fgw.de/pdf/Ref_ENERCON.pdf

[E2] BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. (2015): *Windindustrie in Deutschland: Datenblatt E-126;* unter http://www.windindustrie-in-deutschland.de/windenergieanlagen/e-126-1/

Einspeisemanagement

[E10] WHL – Wissenschaftliche Hochschule Lahr (2012): *Kompensation von entgangenen Einspeisevergütungen für Anlagenbetreiber gemäß § 12 EEG „Härtefallregelung" (infolge leistungsreduzierender netzentlastender Einspeisemanagement-Maßnahmen),* Schriften der Wissenschaftlichen Hochschule Lahr, Nr. 39, M. Hentschel, S. Schöning, M. Pütz, Lahr 2012

[E11] BNetzA/BKartA – Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen / Bundeskartellamt (2015): *Monitoringbericht 2014. Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB;* unter: http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2014/Monitoringbericht_2014_BF.pdf?__blob=publicationFile&v=4

[E12] Ecofys (2013): *Abschätzung der Bedeutung des Einspeisemanagements nach § 11 EEG und § 13 Abs. 2 EnWG, Auswirkungen auf die Windenergieerzeugung in den Jahren 2011 und 2012,* C. Beestermöller, M. Döring, Berlin, August 2013

Elektromobilität

[E20] BEE – Bundesverband Erneuerbare Energie (2012): *Das BEE-Szenario Stromversorgung 2030,* Folie 6, B. Pieprzyk, Berlin, Dezember 2012; unter: http://www.bee-ev.de/_downloads/imDialog/Plattform-Systemtransformation/121214_BEE-Dialogkonferenz_Szenario-Stromversorgung-2030_BEE-Pieprzyk.pdf

[E21] Die Bundesregierung (2009): *Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung,* Berlin, August 2009, S. 18; unter: http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/nationaler-entwicklungsplan-elektromobilitaet.pdf?__blob=publicationFile

Energiebilanzen von Windenergieanlagen

[E30] Ruhr Uni Bochum (2004): *Ganzheitliche Energiebilanzen von Windkraftanlagen: Wie sauber sind die weißen Riesen?,* Bochum 2004; unter: http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/AKE2008F-Heraeus/Vortraege/AKE2008F_E3_Wagner2004_GanzheitlicheEnergiebilanzen-vonWKA_pap-6p.pdf

[E31] Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (Universität Stuttgart) (2007): *Lebenszyklusanalyse ausgewählter Stromerzeugungstechniken,* Stuttgart 2007; unter: http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/arbeitsberichte/downloads/Arbeitsbericht_01.pdf

[E32] OSU – Oregon State University (2014): *Comparative life cycle assessment of 2.0 MW wind turbines,* K. R. Haapala, P. Prempreeda, in: Int. J. Sustainable Manufacturing, Vol. 3, No. 2, 2014, Corvallis 2014; unter: http://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2014/06/turbines.pdf

[E33] FGW e.V. – Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (2015): *Referenzertrag E-101*; unter: http://www.wind-fgw.de/pdf/Ref_ENERCON.pdf

Energieertrag von Windenergieanlagen

[E40] Deutsche WindGuard (2015): *Status des Windenergieausbaus an Land – 2014,* S. Lüers, A.-K. Wallasch, erstellt im Auftrag von: BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. und VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Varel 2015

[E41] IWES – Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (2014): *Windenergie Report 2013;* unter: http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/bilder/upload/Windenergie_Report_Deutschland_2013.pdf

[E42] A. Schaffarczyk (2012): *Einführung in die Windenergietechnik: mit 27 Tabellen sowie zahlreichen Beispielen und Übungen,* München 2012

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) – Deutscher Exportschlager

[E50] REN 21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2014): *RENEWABLES 2014 GLOBAL STATUS REPORT,* Paris 2014, S. 14-15, 89-91, 103; unter: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf

Quellenverzeichnis

EEG-Umlage – Entstehung und Zusammensetzung

[E60] BEE – Bundesverband Erneuerbare Energie (2013): *Hintergrundpapier zur EEG-Umlage 2014,* Berlin, Oktober 2013, S. 5-6; unter: http://www.bee-ev.de/_downloads/publikationen/positionen/2013/20131015_BEE-Hintergrund_EEG-Umlage-2014.pdf

[E61] BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2015): *Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken,* Berlin, März 2015

Export – Windenergie made in Germany

[E70] DIW Econ (2014): *Die ökonomische Bedeutung der Windenergiebranche – Modul 1: Windenergie an Land in Deutschland;* unter: http://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/die-oekonomische-bedeutung-der-windenergiebranche/diw_econ_oekonomische_bedeutung_windenergie.pdf

[E71] GWEC – Global Wind Energy Council (2014): *Global Wind Report Annual Market Update 2013;* unter: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/04/GWEC-Global-Wind-Report_9-April-2014.pdf

Externe Kosten – kein Thema beim Wind

[E80] Greenpeace (o. J.) (2014): *Asse II – der Endlager-GAU;* unter: https://www.greenpeace.de/themen/energiewende-atomkraft/atommull/asse-ii-der-endlager-gau

[E81] BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (2014): *Finanzierungsverantwortung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen;* unter: http://www.bfs.de/de/endlager/publika/finanzierung_rueckbau.html

[E82] DLR – Institut für Technische Thermodynamik/ISI – Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (2006): *Externe Kosten der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern, Gutachten im Rahmen von Beratungsleistungen für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit,* Stuttgart/Karlsruhe 2006, S. 44

[E83] IZES – Institut für Zukunfts-Energie Systeme/ISI – Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung/DIW – Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung/GWS – Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (2011): *Einzel- und gesamtwirtschaftliche Analyse von Kosten- und Nutzenwirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien im deutschen Strom- und Wärmemarkt – Update der quantifizierten Kosten- und Nutzenwirkungen für 2010,* Juni 2011, S. 7

[E84] AEE – Agentur für Erneuerbare Energien (2011): *Kosten und Preise für Strom. Fossile, Atomstrom und Erneuerbare Energien im Vergleich, Renews Spezial-Ausgabe 52/ September 2011, S. 28;* unter: http://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/155.52_Renews_Spezial_Kosten_und_Preise_online.pdf

[E85] FÖS – Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (2015): *Was Strom wirklich kostet – Vergleich der staatlichen Förderungen und gesamtgesellschaftlichen Kosten von konventionellen und erneuerbaren Energien – Langfassung, überarbeitete und aktualisierte Auflage 2015;* unter: http://www.foes.de/pdf/2015-01-Was-Strom-wirklich-kostet-lang.pdf

Gewerbesteuer – mehr Geld für Kommunen

[G1] Bundesgesetzblatt: *Gewerbesteuergesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Oktober 2002 (BGBl. I S. 4167), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 25. Juli 2014 (BGBl. I S. 1266) geändert worden ist*

[G2] BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. – Landesbüro Baden-Württemberg (2011): *Windkraftprojekte bringen Geld in die kommunale Kasse,* W. Witzel, Freiburg, Januar 2011, S. 1; unter: http://www.walter-witzel.de/Gewerbe.pdf

[G3] windcomm schleswig-holstein (2012): *Regionalökonomische Effekte der Nutzung von Windenergie in Schleswig-Holstein,* Flensburg, Dezember 2012, S. 16; unter: http://www.windcomm.de/Downloads/Publikationen/Kurzfassung_Masterthesis_Web.pdf

Hindernisbefeuerung – gut zu sehen

[H1] BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. (2008): *Effizientere Befeuerung verschafft der Windenergie an Land mehr Akzeptanz;* unter: http://www.wind-energie.de/presse/pressemitteilungen/2008/bwe-effizientere-befeuerung-verschafft-der-windenergie-land-mehr

[H2] BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen,* 2. September 2004 (BAnz. S. 19937), n. F.; unter: http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de

[H3] BWE – Bundesverband WindEnergie e.V./VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2014): *Gemeinsame Stellungnahme des BWE und von VDMA Power Systems zum Entwurf zur Änderung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen;* unter: http://www.wind-energie.de/system/files/attachments/article/2014/bwe-begruesst-neue-kennzeichnungsvorschrift/140829-bwe-und-vdma-ps-stellungnahme-refe-aenderung-avv-final.pdf

Infraschall – das harmlose Schreckgespenst

[I1] DNR – Deutscher Naturschutzring (2010): *Durch WEA verursachte Infraschall-Emissionen;* unter: http://www.wind-ist-kraft.de/grundlagenanalyse/durch-wea-verursachte-infraschall-emissionen/3/

[I2] DNR – Deutscher Naturschutzring (2011): *Windkraft im Visier. Umwelt- und naturverträgliche Nutzung der Windenergie an Land,* Berlin 2011, S. 12; unter: http://www.wind-ist-kraft.de/wp-content/uploads/DNR-Broschuere-Windkraft-2011.pdf

[I3] BGA – Bundesgesundheitsamt Berlin (Umweltbundesamt) (1982): *Infraschallwirkung auf den Menschen.* Düsseldorf 1982

[I4] LFU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2014): *Windkraftanlagen – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit?*, Augsburg 2014, S. 5 ff.

[I5] LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden Württemberg (2015): *Zwischenbericht Tieffrequente Geräusche und Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen*; unter:http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/223895/2015-02-04_Zwischenbericht_final.pdf?command=downloadContent&filename=2015-02-04_Zwischenbericht_final.pdf

Kleinwindenergie

[K1] BWE – Bundesverband WindEnergie (2013): *Kleinwindanlagen, BWE Marktübersicht spezial,* 2. Auflage, Berlin 2013

[K2] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2014;* unter: http://www.bmwi.de/DE/Service/gesetze,did=21940.html

[K3] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Anlagenregisterverordnung – AnlRegV 2014, Verordnung über ein Register für Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien und Grubengas*

Klimafolgen und Klimaschutz – Rettungsanker Erneuerbare Energien

[K10] ESRL – Earth System Research Laboratory Global Monitoring Division (2014): *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide;* unter: http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html

[K11] IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): *5th Assessment Report: Climate Change;* unter: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml

Quellenverzeichnis

[K12] UBA – Umweltbundesamt (2014): *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2013,* CLIMATE CHANGE 23/2014, P. Icha, S. 17; unter: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/climate_change_23_2014_komplett.pdf

[K13] UBA – Umweltbundesamt (2012): *Daten zum Verkehr,* S. 44; unter: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4364.pdf

[K14] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015): *Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland,* S. 38; unter: http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2014.pdf;jsessionid=D0BB37D97E83036B5E221E922BC6087E?__blob=publicationFile&v=3

[K15] Nicolas Stern (2006): *The Economics of Climate Change. The Stern Review;* unter: http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100104191227/http:/www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm

[K16] Europäische Kommission (2013): *GRÜNBUCH. Ein Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030,* Brüssel 2013, S. 3.; unter: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0169:FIN:DE:PDF

Landschaftsbild – Veränderung mit Weitsicht

[L1] FÖS – Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (2014): *Stein- und Braunkohle-energie;* unter: http://www.foes.de/themen/stein-und-braunkohle/

[L2] AEE – Agentur für Erneuerbare Energien (2014): *Akzeptanzumfrage 2014: 92 Prozent der Deutschen unterstützen den Ausbau Erneuerbarer Energien;* unter: http://www.unendlich-viel-energie.de/themen/akzeptanz2/akzeptanz-umfrage/akzeptanzumfrage-2014

Leistung der Windenergieanlagen

[L10] Deutsche WindGuard (2015): *Status des Windenergieausbaus an Land – 2014,* S. Lüers, A.-K. Schallach, erstellt im Auftrag von BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. und VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Varel 2015

[L11] FGW e.V. – Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (2015): Referenzertrag E-101; unter: http://www.wind-fgw.de/pdf/Ref_ENERCON.pdf

Netzausbau, Netzumbau und Systemtransformation

[N1] dena – Deutsche Energie-Agentur (2012): *dena-Verteilnetzstudie – Ausbau- und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2030, Endbericht*, S. 57, 170 ff.; unter: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Energiesysteme/Dokumente/denaVNS_Abschlussbericht.pdf

[N2] Deutsche WindGuard (2015): *Status des Windenergieausbaus an Land - 2014*, Lüers, Schallach, erstellt im Auftrag von BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. und VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Varel, 2015, S.1

[N3] dena – Deutsche Energie-Agentur (2010): *dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025 – Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse durch die Projektsteuerungsgruppe,* S. 8 f.; unter: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Erneuerbare/Dokumente/Ergebniszusammenfassung_dena-Netzstudie.pdf

[N4] NEP (2013) – *Netzentwicklungsplan, Zweiter Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber (50Hertz Transmission, Amprion, TenneT, TransnetBW),* S. 86, 136; unter: http://www.netzentwicklungsplan.de/_NEP_file_transfer/NEP_2013_2_Entwurf_Teil_1_Kap_1_bis_9.pdf

[N5] BNetzA/BKartA – Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen/Bundeskartellamt (2014): *Monitoringbericht 2013. Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB,* S. 23, 44 ff.; unter: www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2013/131217_Monitoringbericht2013.pdf?__blob=publicationFile&v=15

Offshore – Signal auf Grün

[O1] EWEA – European Wind Energy Association (2013): *Deep water. The next step for offshore wind energy,* Brüssel, Juli 2013, S. 15; unter: http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Deep_Water.pdf

[O2] Deutsche WindGuard (2015): *Status des Offshorewindenergieausbaus in Deutschland,* S. Lüers, A.-K. Wallasch, Varel, Januar 2015

[O3] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2013 – eine erste Abschätzung,* Berlin, Mai 2014, S. 7; unter: http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=640122.html

[O4] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2014, § 30, § 50;* unter: http://www.bmwi.de/DE/Service/gesetze,did=21940.html

Onshore – Windenergie an Land

[O10] AGEB – AG Energiebilanzen e.V. (2014): *Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2013 nach Energieträgern,* Dezember 2014; unter: http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20141216_brd_stromerzeugung1990-2014.pdf

[O11] Deutsche WindGuard (2015): *Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland,* S. Lüers, A.-K. Wallasch, erstellt im Auftrag von BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. und VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Varel 2015

[O12] BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. (2012): *Potenzial der Windenergienutzung an Land. Kurzfassung, 2. Auflage,* S. Bofinger, D. Callies, M. Scheibe, Y. Saint-Drenan, K. Rohrig, März 2012, S. 15; unter: http://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/studie-zum-potenzial-der-windenergienutzung-land/bwe_potenzialstudie_kurzfassung_2012-03.pdf

Potenzial der Erneuerbaren Energien

[P1] Greenpeace (2008): *Energie [R]evolution. Ein nachhaltiger Ausblick auf die globale Energiefrage;* unter: http://www.greenpeace.org/switzerland/Global/switzerland/de/publication/ClimateChange/2008_Energy_Revolution_d.pdf

[P2] BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. (2012): *Potenzial der Windenergienutzung an Land. Kurzfassung, 2. Auflage,* S. Bofinger, D. Callies, M. Scheibe, Y. Saint-Drenan, K. Rohrig, März 2012, S. 4; unter: http://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/studie-zum-potenzial-der-windenergienutzung-land/bwe_potenzialstudie_kurzfassung_2012-03.pdf

[P3] BEE – Bundesverband Erneuerbare Energie (BEE) (2012): *Szenario „Stromversorgung 2030";* unter: http://www.bee-ev.de/_downloads/imDialog/Plattform-Systemtransformation/121214_BEE-Dialogkonferenz_Szenario-Stromversorgung-2030_BEE-Pieprzyk.pdf

[P4] GWEC – Global Wind Energy Council (2012): *Global Wind Energy Outlook 2012: Global Wind Power Market Could Triple by 2020;* unter: http://www.gwec.net/publications/global-wind-energy-outlook/global-wind-energy-outlook-2012/

Quellenverzeichnis

Recycling von Windenergieanlagen

[R1] ICT – Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (2013): *Recycling von Windkraftanlagen.* J. Woidasky, E. Seiler, Pfinztal 2013. Kurzfassung unter: http://www.ict.fraunhofer.de/content/dam/ict/de/documents/ue_klw_Poster_Recycling%20von%20Windkraftanlagen.pdf

[R2] SWR2 – Südwestrundfunk (2014): *SWR2 Wissen – Der Schrott der Erneuerbaren.* A. Thiel-Sonnen (27 min.), Stuttgart 2014. Manuskript unter: http://www.swr.de/-/id=12620972/property=download/nid=660374/k6dc58/swr2-wissen-20140204.pdf

[R3] neue energie (11/2013): *Alte Blätter gesucht.* J. Heup, Berlin 2013, S. 22 ff.

Regionale Wirtschaftsimpulse – Gewinn für alle

[R10] DIW Econ GmbH (2014): *Die ökonomische Bedeutung der Windenergiebranche – Modul 1: Windenergie an Land in Deutschland*, A. Mattes, Berlin, Mai 2014, S. 14; unter: http://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/die-oekonomische-bedeutung-der-windenergiebranche/diw_econ_oekonomische_bedeutung_windenergie.pdf

[R11] ForWind – Zentrum für Windenergieforschung (2004): *Die Bedeutung der Windenergienutzung für die Region. Regionale Wertschöpfung am Beispiel der Landkreise Cuxhaven und Stade,* M. Krämer, E. Seidel, Oldenburg, Oktober 2004, S. 40-41; unter: http://www.forwind.de/forwind/files/bedeutung_windenergie_region.pdf

Repowering – weniger ist mehr

[R20] DStGB – Deutscher Städte- und Gemeindebund (2012): *Kommunale Handlungsmöglichkeiten beim Ausbau der Windenergie – unter besonderer Berücksichtigung des Repowering, Dokumentation No. 11,* S. 16; unter: http://www.dstgb.de/dstgb/Home/DStGB-Dokumentationen/Nr.%20111%20-%20Kommunale%20Handlungsm%C3%B6glichkeiten%20beim%20Ausbau%20der%20Windenergie%20%E2%80%93%20unter%20besonderer%20Ber%C3%BCcksichtigung%20des%20Repowering/Doku111_Repowering%20Endfassung.pdf

[R21] WAB – Windenergie Agentur Bremerhaven-Bremen e.V. (2010): *Repowering von Windenergieanlagen in der Metropolregion Bremen-Oldenburg – Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Akzeptanz von Repowering,* S. 5 ff.; unter: http://www.wab.net/images/stories/PDF/repowering_dialog/WAB_Repowering-Dialog_final.pdf

[R22] Deutsche WindGuard (2014): *Status des Windenergieausbaus an Land – 1. Halbjahr 2014,* S. Lüers, K. Rehfeldt, Varel, erstellt im Auftrag von BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. und VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Berlin 2014, S. 2

Rohstoffe

[R30] VDI – Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2014): *Ressourceneffizienz von Windenergieanlagen,* S. 22 ff.; unter: http://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/2014-Kurzanalyse-VDI-ZRE-09-Ressourceneffizienz-Windenergieanlagen.pdf

[R31] BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2014): *Anteil Chinas an weltweiter Seltene Erden-Produktion sinkt nur langsam;* unter: http://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Oeffentlichkeitsarbeit/Pressemitteilungen/BGR/bgr-140312_Seltene%20Erden.html

[R32] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen;* unter: http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/rohstoffstrategie-der-bundesregierung

[R33] AEE – Agentur für Erneuerbare Energien (2013): *Weniger Rohstoffimporte;* unter: http://www.unendlich-viel-energie.de/themen/gute-gruende/4-weniger-rohstoffimporte

[R34] BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2014): *Energiestudie 2014. Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen,* S. 19; unter: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie_2014.pdf?__blob=publicationFile&v=6

Rückbau von Windenergieanlagen

[R40] BauGB – *Baugesetzbuch, § 35 Abs. 5 Satz 3,* neugefasst durch Bek. v. 23.9.2004

[R41] neue energie (4/2009): *Zweites Leben in Afrika,* D. Jensen, Berlin, S. 108 ff.

Schallentwicklung

[S1] BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1998): *Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm)* vom 26. August 1998, S. 503–515

[S2] LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (2011): *Geräusche von gewerblichen und industriellen Anlagen;* unter: http://www.lanuv.nrw.de/geraeusche/gewerbe9.htm

Schattenwurf und Diskoeffekt

[S10] LAI – Länderausschuss für Immissionsschutz (2002): *Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise) – Arbeitsgruppe Schattenwurf;* unter: http://www.lung.mv-regierung.de/dateien/wea_schattenwurf_hinweise.pdf

Sicherheit von Windenergieanlagen

[S20] IWES – Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (2014): *Windenergie Report Deutschland 2013;* unter: windmonitor.iwes.fraunhofer.de/bilder/upload/Windreport_2013.pdf

[S21] DIBt – Deutsches Institut für Bautechnik (2012): *Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung,* Berlin, Oktober 2012

Speichertechnologien – der Ausgleich für das Netz der Zukunft

[S30] AEE – Agentur für Erneuerbare Energien (2012): *Renews Spezial: Strom speichern, Ausgabe 57,* Berlin, März 2012, S. 5, 7; unter: http://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/160.57_Renews_Spezial_Strom_speichern_mar13_online.pdf

[S31] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Förderinitiative Energiespeicher;* unter: http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Speicher/foerderinitiative-energiespeicher.html

[S32] Vattenfall (2014): *Geesthacht Fakten zum Pumpspeicherkraftwerk Geesthacht und seiner Geschichte;* unter: http://kraftwerke.vattenfall.de/powerplant/geesthacht

[S33] sh:z Schleswig-Holsteinischer Zeitungsverlag GmbH & Co. KG (2011): *Geesthacht Pumpspeicherwerk speichert Windenergie;* unter: http://www.shz.de/schleswig-holstein/panorama/pumpspeicherwerk-speichert-windenergie-id377771.html

[S34] Younicos AG (2014): *Batteriepark Schwerin;* unter: http://www.younicos.com/de/projekte/01_WEMAG/

Strompreis

[S40] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2013): *Energiedaten: Ausgewählte Grafiken*, S. 4, 6, 54; unter: www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiedaten-ausgewaehlte-grafiken,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf

Quellenverzeichnis

[S41] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Energiedaten: Gesamtausgabe,* S. 9, 42; unter: www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiestatistiken-grafiken,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf

Systemdienstleistungen und Netzstabilität

[S50] ENTSO-E (2007): *Transmission Code 2007 – Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber, Verband der Netzbetreiber,* Berlin 2007

[S51] BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2013): *Technische Bedingungen für den Anschluss und Betrieb von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz (VDE-AR-N 4120);* unter: https://www.bdew.de/internet.nsf/id/A2A0475F2FAE8F44C12578300047C92F/$file/4.%20Erg%C3%A4nzung%20Mittelspannungs%20RL.pdf

[S52] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2014;* unter: http://www.bmwi.de/DE/Service/gesetze,did=21940.html

[S53] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Verordnung zu Systemdienstleistungen durch Windenergieanlagen (SDLWindV), zuletzt geändert durch Art. 15 G v. 21.7.2014 I 1066;* unter: www.gesetze-im-internet.de/sdlwindv

[S54] BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. (2014): *Positionspapier Windenergie und Netzausbau;* unter: www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/windenergie-und-netzumbau/bwe-positionspapier_windenergie_netzumbau_2014_final.pdf

Technik – Hightech made in Germany

[T1] Deutsche WindGuard (2015): *Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland,* S. Lüers, A.-K. Wallasch, erstellt im Auftrag von BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. und VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Varel 2015

[T2] AGEB – AG Energiebilanzen e.V. (2014): *Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2013 nach Energieträgern, Dezember 2014;* unter: http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20141216_brd_stromerzeugung1990-2014.pdf

[T3] BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. (2014): *Betz und Leistungsentnahme;* unter: http://www.wind-energie.de/infocenter/technik/funktionsweise/luvlaeufer

Tourismus – voller Energie und Weitblick

[T10] neue energie (09/2014): *Das Ziel heisst: Erneuerbar. Tourismus und Windkraft sind kein Gegensatz,* J.-R. Zimmermann, Berlin 2014, S. 29 ff.

[T11] NIT – Institut für Tourismus- und Bäderforschung in Nordeuropa: *Einflussanalyse Erneuerbare Energien und Tourismus in Schleswig-Holstein,* Kiel 2014; unter: http://www.nit-kiel.de/fileadmin/user_upload/NIT-ee-und-tourismus-sh-kurzfassung.pdf

Vergütungsmodelle – erfolgreiches Mindestpreissystem

[V1] BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): *Der klima- und energiepolitische EU-Rahmen bis 2030;* unter: http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/EU_International/EU/EU_Klima_Energierahmen/eu_klima_und_energierahmen.html

[V2] ISI – Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (2012): *Recent developments of feed-in systems in the EU – A research paper for the International Feed-In Cooperation.* A report commissioned by the Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), S. 3 f.; unter: www.feed-in-cooperation.org/wDefault_7/download-files/research/101105_feed-in_evaluation_update-January-2012_draft_final_ISI.pdf

[V3] GWEC – Global Wind Energy Council (2014): *Global Wind Report Annual Market Update 2013,* S. 18; unter: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/04/GWEC-Global-Wind-Report_9-April-2014.pdf

[V4] Agora Energiewende (2014): *Ausschreibungen für Erneuerbare Energien – Welche Fragen sind zu prüfen?;* unter: http://www.agora-energiewende.de/service/publikationen/publikation/pub-action/show/pub-title/ausschreibungen-fuer-erneuerbare-energien/

Vogelschutz – Langzeitstudien geben Sicherheit

[V10] P. Hauff (2009): *Zur Geschichte des Seeadlers Haliaeetus albicilla in Deutschland,* Linz/Austria 2009, S. 11; unter: http://issuu.com/hinschethomas/docs/geschichte_des_seeadlers_in_deutschland

Wind im Forst

[W1] SDW – Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (2014): *Waldanteil in Deutschland;* unter: http://www.sdw.de/waldwissen/wald-in-deutschland/waldanteil/

[W2] BWE – Bundesverband WindEnergie e.V. (2012): *Potenzial der Windenergienutzung an Land. Kurzfassung,* 2. Auflage, S. Bofinger, D. Callies, M. Scheibe, Y. Saint-Drenan, K. Rohrig, März 2012, S. 11; unter: http://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/studie-zum-potenzial-der-windenergienutzung-land/bwe_potenzialstudie_kurzfassung_2012-03.pdf

Ziele – national und international

[Z1] Die Bundesregierung (2009): *Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung,* Berlin 2009, S. 4; unter: http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5

[Z2] Die Bundesregierung (2014): *Energiewende – Energie erzeugen – Maßnahmen im Überblick;* unter: http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/0-Buehne/ma%C3%9Fnahmen-im-ueberblick.html

Stand für alle Internetquellen: 04.02.2015

Impressum

Bildnachweise:

Seite	Fotograf/in
1	Matthias Ibeler
4	Silke Reents / BWE
7	Paul Langrock
9	Jan Oelker
12	Vestas
13	narvikk / istockphoto
14	Stephan Zabel / istockphoto
15	Silke Reents / BWE
16	juwi
17	Nikada / istockphoto
18	Axel Schmidt
19	Joerg Boethling
21	BWE
23	Christoph Becker
24	Tim Riediger / nordpool / BWE
25	Jens Meier
26	Onfokus / istockphoto
28	Ulrich Mertens
29	markus hass photography / Enercon GmbH
31	Wolfgang Steche
32	Paul Langrock / Agentur Zenit
33	Jan Oelker / Repower
35	Paul Langrock / Agentur Zenit
36	DeWind
37	Tim Riediger / BWE
38	Miguel Malo / istockphoto
39	Jens Meier
41	ABO Wind
42	Axel Schmidt
45	mobilis in mobile / Vattenfall
47	Jens Meier
49	Axel Schmidt
50	Paul Langrock / Agentur Zenit / Siemens Pressebild
51	Senvion
54	FotoWare / Fotostation
55	Hendrik Allhoff-Cramer
57	Paul Langrock / Agentur Zenit
58	Christian Wilmes / EWEA
59	Ulrich Mertens

Herausgeber:
Bundesverband WindEnergie e.V.
Neustädtische Kirchstraße 6
10117 Berlin

T +49 (0)30 / 212341-210
info@wind-energie.de
www.wind-energie.de

Text:
Wolfram Axthelm, Stefan Grothe,
Sonja Hemke, Maria Hoeft, Birgit Jensen,
Tom Lange, Anne Lepinski, Lea Nielsen,
Anne Palenberg, Carlo Reeker,
Sabine Schmedding, Michael Schmidt,
Wolf Stötzel, Lars Velser, Philine Wedell

Redaktion:
Birgit Jensen, Lea Nielsen,
Michael Schmidt, Lars Velser,
Philine Wedell

V.i.S.d.P.:
Hermann Albers

Gestaltung:
bigbenreklamebureau, Fischerhude

Grafiken:
Infotext, Berlin
bigbebreklamebureau, Fischerhude

Druck:
Königsdruck GmbH, Berlin

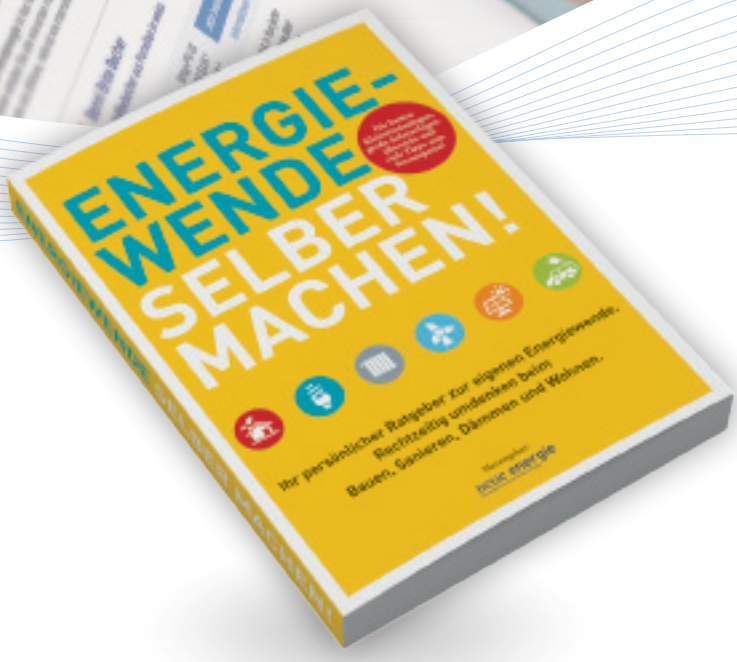
Berlin, April 2015

Mehr Infos unter
www.bwe-shop.de

BWE
Bundesverband WindEnergie

bwe-shop.de

Aus der Praxis - für die Praxis



Energiewende selber machen

Ihr persönlicher Ratgeber
zur eigenen Energiewende.

19,90

Artikelnummer: RA-ESM-15 | **ISBN:** 9-783942-579278 | **Format:** A5, Softcover | **Seitenanzahl:** ca. 382

www.wind-energie.de