



Christian Marko, BSc

Windpotentialflächen ausgewählter Länder Europas

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen
Grades

Diplom-Ingenieur

Elektrotechnik-Wirtschaft

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Dipl.-Ing. BSc Martin Strohmaier

Begutachter

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Udo Bachhiesl

Institut für Elektrizitätswirtschaft und

Energieinnovation

Graz, Februar 2017

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Danksagung

Hiermit möchte ich mich beim Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation und damit bei allen beteiligten Personen für die freundliche und hilfsbereite Unterstützung während der Bearbeitung dieser Masterarbeit und des gesamten Studiums bedanken.

Mein Dank gilt insbesondere meinem Betreuer Dipl.-Ing. BSc Martin Strohmaier, der mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand und mich durch diese Arbeit führte.

Weiteres möchte ich auch allen Kollegen und Freunden danken, die mich im Studium begleitet haben.

Am meisten hervorheben und bedanken möchte ich mich jedoch bei meinen Eltern, Martin und Sylvia, die während der gesamten Studienzeit, als Rückhalt in mentaler und auch finanzieller Hinsicht, eine wichtige Stütze waren.

Kurzfassung

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der Frage nach möglichen Ausbaupotentialflächen für Windenergieanlagen in ausgewählten Ländern Europas. Es erfolgt eine Analyse für die mitteleuropäischen Länder Österreich, Deutschland, Frankreich und Spanien. Grundinformationen über den derzeitigen Stand und die Entwicklung des Windausbaus der jeweiligen Länder werden ebenso angeführt, wie Informationen zu den meteorologischen Windgegebenheiten und auftretenden mittleren Windgeschwindigkeiten. Im Kern wird eine Erhebung möglicher Windpotentialflächen durchgeführt. Die Arbeit stützt sich dabei auf bereits durchgeführte Studien, Beschlüsse und Bestimmungen, welche Eignungszonen für die Windenergiegewinnung ausweisen oder ein theoretisches mögliches Windpotential in den einzelnen Gebieten bescheinigen. Dies umfasst sowohl Gebiete an Land für Onshore Windenergieanlagen, als auch küstennahe Zonen, die für Offshore Windenergieanlagen geeignet sind. Die ermittelten Eignungsflächen werden in einer Gesamtschau des jeweiligen Landes dargestellt und können für zukünftige Ausbausimulationen herangezogen werden.

Abstract

This master thesis deals with the question of potential areas for wind power plants in selected countries of Europe. An analysis of the central european countries Austria, Germany, France and Spain is implemented. Basic information on the current status and development of the wind farms of the respective countries are given as well as information on the meteorological wind conditions and the average wind speeds. In the focus, a survey of possible wind potential surfaces is carried out. The work is based on already existing studies, decisions and provisions which certify suitability zones for the wind power generation or a theoretical possible wind potential in individual areas. This includes both, regions for onshore wind turbines, as well as zones for offshore wind turbines in sea areas. The ascertained suitability zones are shown in a comprehensive view of the respective country and can be used for wind energy expansion simulations in the future.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Problemstellung	1
1.2. Grundlagen zur Windkraft	2
1.2.1. Windenergiewandlung	2
1.2.2. Windanlagentypen	4
1.2.3. Windanlagen-Komponenten	8
2. Windkraft in Europa.....	13
2.1. Aktuelle Windkraftsituation in Europa.....	13
2.2. Geplanter Windkraftausbau bis 2050	19
3. Windpotentialanalyse	21
3.1. Österreich	21
3.1.1. Stand der Windenergie in Österreich.....	21
3.1.2. Meteorologische Windgegebenheiten	24
3.1.3. Ausbaupotential.....	25
3.2. Deutschland	44
3.2.1. Stand der Windenergie in Deutschland	44
3.2.2. Meteorologische Windgegebenheiten	53
3.2.3. Ausbaupotential Onshore	55
3.2.4. Ausbaupotential Offshore	63
3.3. Frankreich	69
3.3.1. Stand der Windenergie in Frankreich	69
3.3.2. Meteorologische Windgegebenheiten	71
3.3.3. Ausbaupotential Onshore	73
3.3.4. Ausbaupotential Offshore	76
3.4. Spanien.....	78

3.4.1. Stand der Windenergie in Spanien	78
3.4.2. Meteorologische Windgegebenheiten	80
3.4.3. Ausbaupotential Onshore	81
3.4.4. Ausbaupotential Offshore	82
4. Schlussfolgerung und Ausblick	83
5. Abkürzungsverzeichnis	84
6. Tabellenverzeichnis.....	85
7. Abbildungsverzeichnis	87
8. Literaturverzeichnis.....	91

1. Einleitung

Der Energieverbrauch der Staaten dieser Erde steigt Jahr für Jahr an. Der hohe Kohlendioxidausstoß, der durch Kraftwerke bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Gas und Kohle erzeugt wird, schadet vermehrt der Umwelt und fördert den Klimawandel. Um den steigenden Energieverbrauch zu decken, wird weltweit der Fokus vermehrt auf den Ausbau der erneuerbaren Energien gelegt, um den Schadstoffausstoß in diesem Bereich zu senken.

Eine wichtige Form der erneuerbaren Energien ist die Windenergie. Viele Staaten haben bereits das vorhandene Potential der Windkraft erkannt und setzen seit den letzten zwei Jahrzehnten verstärkt auf den Ausbau dieser Energieform. Dieses Umdenken findet auch in der Europäischen Union statt. Viele Länder arbeiten seit Jahren daran den Anteil ihres mit Windkraft produzierten Stromes zu erhöhen, da die Windkraft eine sehr günstige und umweltfreundliche Methode ist elektrischen Strom zu produzieren. Die Windkraft steht frei zur Verfügung und die Kosten beschränken sich auf die Errichtung und im geringen Maße auf die Wartung im Betrieb. Zunehmend werden auch Offshore Windenergiekraftanlagen (OWEA) auf See errichtet, die aufgrund der dort vorherrschenden guten Windverhältnisse besonders effektiv genützt werden können.

1.1. Problemstellung

Die Europäische Union und ihre beigetretenen Länder selbst, setzen sich eigene Ziele und Prognosen für die zukünftige Entwicklung der Windenergie. Diese Arbeit weist diese zwar aus, verfolgt aber nicht diese Szenarien zu bestätigen oder für nicht umsetzbar zu erklären. Trotzdem stellt sich die Frage, wo zukünftige Windanlagen (WA) errichtet werden können. In den folgenden Kapiteln wird eine Analyse der mitteleuropäischen Länder Österreich, Deutschland, Frankreich und Spanien auf mögliche Windpotentialflächen durchgeführt. Zunächst wird ein Überblick über die Windkraftsituation in den jeweiligen Ländern und den meteorologischen Windgegebenheiten gegeben. Für die Analyse des Ausbaupotentials greift diese Arbeit auf vorhandene Studien, Beschlüsse und Bestimmungen zurück, die explizite Eignungszonen für die Windkraft ausweisen oder ein theoretisches mögliches Windpotential in den einzelnen Gebieten bescheinigen. Es soll somit, wenn möglich,

eine Gesamtschau über die Windpotentialflächen in den jeweiligen Ländern gegeben werden.

1.2. Grundlagen zur Windkraft

Dieser Abschnitt beschreibt einige wichtige Punkte die für die Stromerzeugung aus Windkraft notwendig sind. Es erfolgt die Herleitung zur Nutzung der Windenergie in die mechanische Energie, welche zur Stromerzeugung durch einen Generator notwendig ist und begründet den höchstmöglich zu erreichenden Wirkungsgrad. In weiterer Folge werden die gängigsten zwei Typen der Windkraft und die wichtigsten Komponenten erläutert.

1.2.1. Windenergiewandlung

Das Prinzip der Energiegewinnung durch Windkraft basiert darauf, dass ein Energiewandler durch Verminderung der Windgeschwindigkeit die Leistung des Windes in mechanische Energie umwandelt. Die an der Rotorwelle verrichtete Arbeit wird mit einem Generator in elektrische Energie umgewandelt und anschließend für das Netz entsprechend transformiert. Die physikalischen Gesetzmäßigkeiten und ihre mathematische Berechnung bei der Leistungsberechnung für Windrotoren, geht auf den deutschen Physiker Albert Betz zurück. Die in einem Luftstrom enthaltene Leistung, kann nur bis zu einem bestimmten Grad, durch einen Energiewandler, in mechanische Rotorleistung umgewandelt werden. Die Berechnung der theoretisch maximalen Leistungsentnahme und des Leistungsbeiwertes nach Betzscher elementarer Impulstheorie wird nachfolgend erläutert. Annahmen sind eine reibungsfreie Strömung sowie ein Energiewandler ohne Verluste (Hau, 2014), (Robert Gasch, 2005).

Die Windenergieleistung P_W in W (Watt) ist abhängig von der Luftdichte ρ (bei Normalatmosphäre $1,23 \text{ kg/m}^3$), der durchströmten Fläche sowie der Windgeschwindigkeit zur dritten Potenz. Diese beschreibt die Windleistung vor dem Energiewandler (Hau, 2014).

$$P_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_W^3 \quad (1.1)$$

Die Windleistungsdichte P_{spez} in W/m^2 bezieht die Windenergieleistung auf die durchströmende Flächeneinheit (Hau, 2014).

$$P_{spez} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_W^3 \quad (1.2)$$

Der Entzug der kinetischen Energie des Windes durch den Wandler führt zu einer Reduktion der Windgeschwindigkeit dahinter, mit dieser geht eine Vergrößerung des Querschnittes, aufgrund des gleichbleibenden Massenstromes, einher. Die somit umgewandelte Leistung errechnet sich aus den Verhältnissen vor und nach dem Wandler. Die Strömungsverhältnisse werden in Abbildung 1 dargestellt. (Hau, 2014).

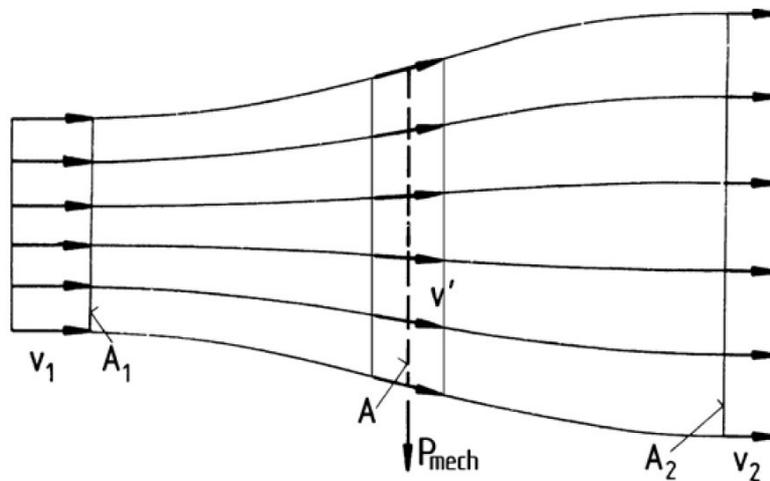


Abbildung 1: Strömungsverhältnisse vor und nach dem Wandler (Quelle: (Hau, 2014))

Entzogene Leistung oder mechanische Leistung P_{mech} in W:

$$P_{mech} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_1 \cdot v_1^3 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_2 \cdot v_2^3 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (A_1 \cdot v_1^3 - A_2 \cdot v_2^3) \quad (1.3)$$

Dies bedeutet, dass die Leistung theoretisch ein Maximum erreicht, wenn die Windgeschwindigkeit nach dem Windenergiewandler Null wird. Dies ist jedoch bedingt durch die Erhaltung des Massenstroms physikalisch nicht möglich, da sonst auch die Windgeschwindigkeit vor dem Wandler Null werden müsste. Die Leistung des Windes kann somit nicht zur Gänze durch eine Windanlage entnommen werden (Hau, 2014).

Erhaltung des Massenstromes in (kg/s):

$$\rho \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho \cdot v_2 \cdot A_2 \quad (1.4)$$

Somit bedarf es für ein bestmögliches Ergebnis eines bestimmten Verhältnisses der zugeführten Leistung zur entzogenen Leistung. Betz errechnete den optimalen Wert bei einem Verhältnis der ursprünglichen Windgeschwindigkeit v_1 , zu der

Geschwindigkeit nach dem Wandler v_2 mit 3:1. Das Verhältnis der Geschwindigkeiten wird als Betzscher Leistungsbeiwert bezeichnet (Robert Gasch, 2005).

Verhältnis der Geschwindigkeiten bei theoretisch maximaler Leistungsentnahme:

$$v_2 = \frac{1}{3} \cdot v_1 \quad (1.5)$$

Theoretisch maximale Leistungsentnahme P_{Betz} in W:

$$P_{Betz} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v'^3 \cdot c_p \quad (1.6)$$

Bei einem Leistungsbeiwert c_p von 0,59 besitzt das System somit die optimale Leistungsentnahme und bedeutet gleichzeitig, dass sich im besten Fall nur 59% der Windenergieleistung nutzen lassen. Der Verlauf des Leistungsbeiwertes in Abhängigkeit des Geschwindigkeitsverhältnisses ist in Abbildung 2 dargestellt. (Robert Gasch, 2005).

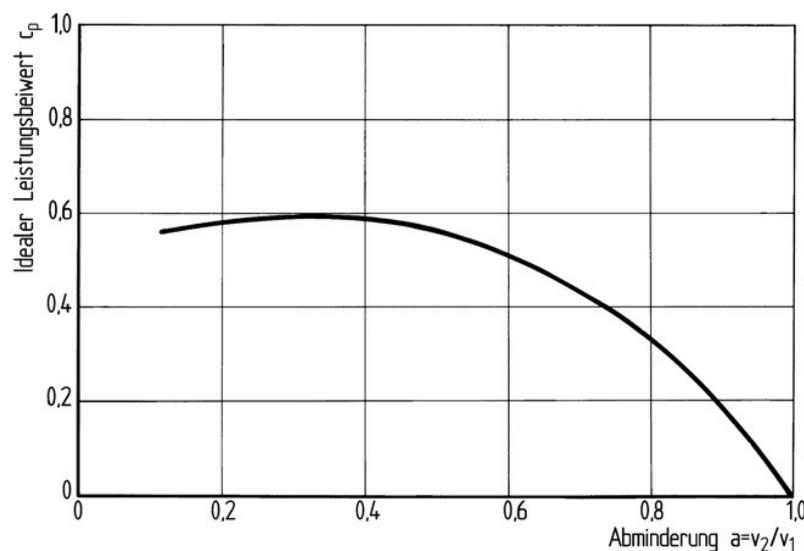


Abbildung 2: Leistungsbeiwert in Abhängigkeit des Geschwindigkeitsverhältnisses (Quelle: (Hau, 2014))

1.2.2. Windanlagentypen

Im Verlauf der letzten 130 Jahre wurden viele Konzepte mit unterschiedlichsten Formen für Windkraftanlagen entwickelt. Für die anschließende elektrische Energiegewinnung besteht das Ziel, möglichst effizient die kinetische Energie des Windes, über den Rotor, in die mechanische Arbeit umzusetzen. Verschiedenste Entwürfe, Erfindungen und Innovationen dies umzusetzen, scheiterten jedoch an der praktischen Verwendbarkeit. Die somit heutzutage eingesetzten Typen lassen sich auf

ein paar wenige reduzieren. Ein Unterscheidungsmerkmal der einzelnen Bauformen bilden die Rotoren voneinander, welche auch als die Windenergiekonverter bezeichnet werden. Diese können als Widerstandsläufer deklariert sein, welche mechanische Arbeit aus dem Luftwiderstand Rotorflächen im Luftstrom des Windes umsetzen. Erzeugen die Rotorflächen durch Umströmung, ähnlich dem eines Flugzeugflügels zusätzlich einen aerodynamischen Auftrieb, so werden diese als auftriebsnutzende Windenergiekonverter bezeichnet. Das größte Unterscheidungsmerkmal bildet jedoch die Lage der Drehachse. Die Unterscheidung erfolgt in zwei Typen: den horizontalen und vertikalen Windanlagen. Nachfolgend werden diese beiden Typen näher ausgeführt (Hau, 2014).

1.2.2.1. Windanlagen mit Horizontalachse

Die meist verbreitete und heute vorherrschende Bau Type, sind Windanlagen mit horizontaler Drehachse. Diese Windanlagen sind in Propellerbauweise und zumeist mit drei Rotorblättern ausgeführt. Der sich ergebene technologische Vorsprung durch den Einsatz in hoher Stückzahl und Erfahrung mit dieser Bauform, ist ein großer Vorteil gegenüber anderen Windanlagenausführungen. Die starke Verbreitung und Verwendung kann weiterst auch auf ihre Vorzüge in ihrer Justierbarkeit zurückgeführt werden. Über eine mögliche Blattwinkeleinstellregelung, das Verstellen der Blätter um ihre Längsachse, kann die Drehzahl geregelt werden. Diese kann die Windanlage ebenso vor Überlastung durch zu starke Luftströmungen bewahren. Als weiteren Vorteil dieses Bautyps ist der hohe erreichbare Wirkungsgrad durch Nutzung des Auftriebes, bei aerodynamischer Konstruktion der Rotorblätter, zu nennen. Eine Schematische Darstellung einer Windanlage mit horizontaler Drehachse wird in Abbildung 3 dargestellt (Hau, 2014).

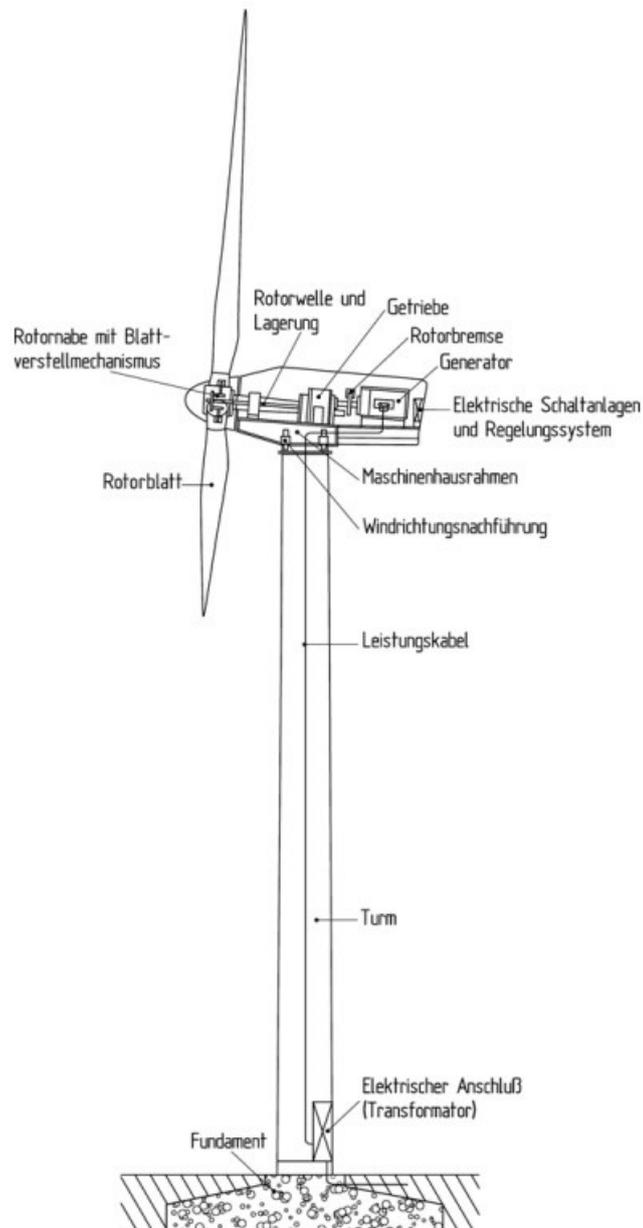


Abbildung 3: Windkraftanlage in Propellerbauweise mit horizontaler Drehachse (Quelle: (Hau, 2014))

Der grundlegende Aufbau dieser Konstruktion besteht aus einem starken Fundament, dem hohen Turm um die entsprechende Nabenhöhe zu erreichen, dem Maschinenhaus und der Rotornabe mit den Rotorblättern. Das Maschinenhaus beherbergt neben der Rotorbremse und den Windnachführungseinrichtungen alle Komponenten, die für die Umwandlung der mechanischen Arbeit der Drehachse in elektrische Energie notwendig sind. Die Transformierung in die entsprechende Spannungsebene erfolgt am Fuß des Turmes (Hau, 2014).

1.2.2.2. Vertikale Windanlagen

Bauformen die auf dem vertikalgelagerten Drehachsenprinzip beruhen, konnten sich für die großflächige konventionelle Windenergiegewinnung bis heute noch nicht durchsetzen. Drei vorrangige Varianten gilt es jedoch zu erwähnen. Zum Ersten Windanlagen mit Savonius-Rotor wie sie zum Beispiel in Windgeschwindigkeitsmessgeräten zu finden sind. Zum Zweiten die Darrieus-Rotor Variante, die mit modernen Rotorblättern ausgeführt werden können die vom aerodynamischen Auftrieb profitieren. Die Möglichkeit die Rotorblätter zu verstellen und somit einen Einfluss auf die Leistung zu erhalten ist bei dieser Variante nicht möglich. Zudem verfügt dieses System über geringe Schnelllaufzahlen und ein selbstständiger Anlauf ist nicht gewährleistet. Durch Ersetzen der gebogenen Rotoren des Darrieus-Rotors durch gerade Rotorblätter mit variabler Geometrie kann grob auf die Drehzahl eingegriffen werden. Diese dritte Variante wird als H-Rotor bezeichnet. Der größte Vorteil von vertikalen Windanlagen liegt darin, dass es möglich ist alles was nicht zur Windeleistungskonvertierung benötigt wird, auf Grund installieren zu können. Im Gegensatz dazu werden bei horizontalen Anlagen diese Komponenten im Maschinenhaus auf Nabenhöhe installiert. Hohe Kosten machen diese Anlagen jedoch zu keiner Alternative für horizontale Windanlagen in Propellerbauweise. Abbildung 4 stellt die Rotorformen von Windanlagen mit vertikaler Drehachse dar (Hau, 2014).

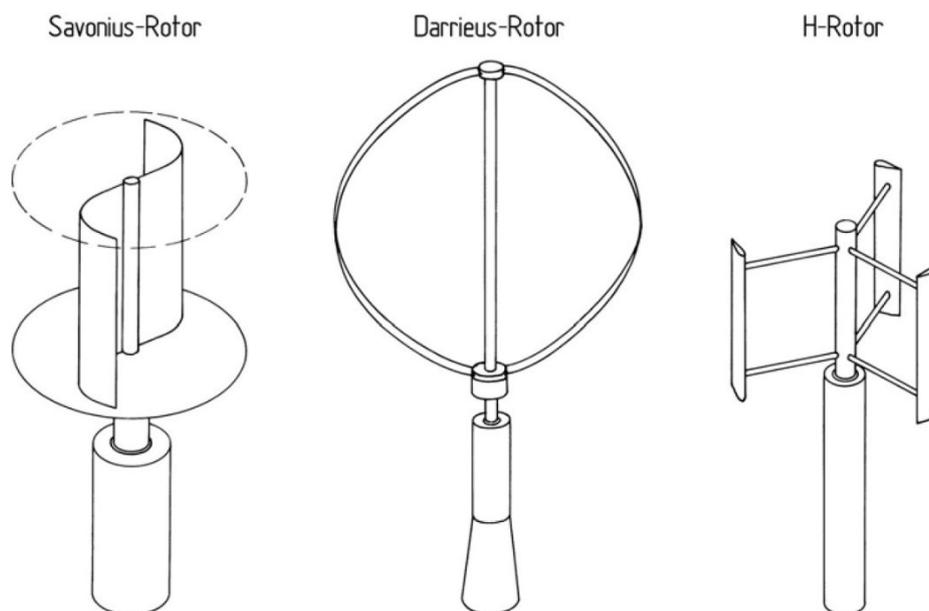


Abbildung 4: Windanlagen mit vertikaler Drehachse (Quelle: (Hau, 2014))

1.2.3. Windanlagen-Komponenten

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Komponenten für Windanlagen kurz näher erläutert. Als Beispiel wird die schematische Darstellung einer klassischen horizontalen Windanlage, wie in Abbildung 3, herangezogen.

1.2.3.1. Fundament

Die Größe und Standfestigkeit eines jeden Fundaments muss an die zu errichtende Windanlage angepasst werden. Maximale Kippmomente, Bodenbeschaffenheit und die Turm Type spielen hierbei eine Rolle. Der typische Aufbau besteht aus einer Fundamentplatte und einer für den Turm zur Einbindung verwendeten Fundamentsektion oder Ankerkorbes. Das Fundament selbst kann bei Notwendigkeit bedingt durch die Bodenbeschaffenheit, noch mit Pfählen in den Untergrund verstärkt werden (Hau, 2014).

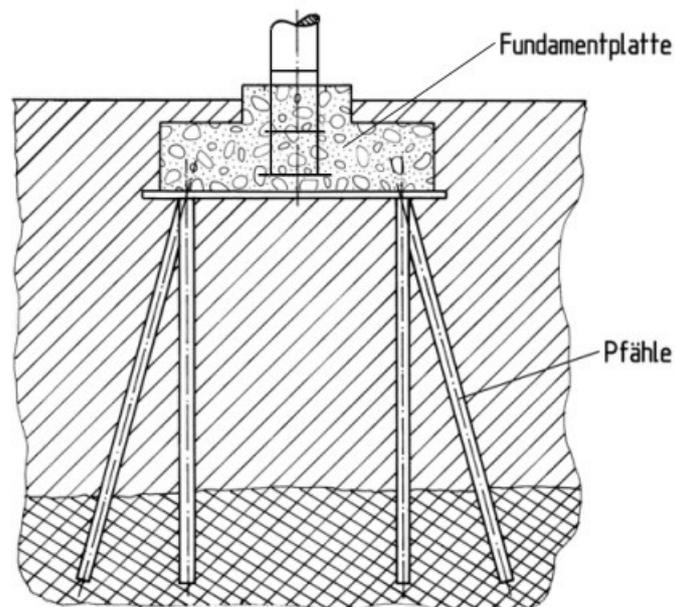


Abbildung 5: Fundament mit Verstärkung durch Pfähle (Quelle: (Hau, 2014))

Die Fundamente für Offshore Windkraftanlagen müssen je nach Wassertiefe und den jeweiligen Meeresbedingungen am Aufstellungsort angepasst werden. Zu den Offshore Fundamenttypen zählen: Schwerkraftgründung mit Senkkasten, diese kommen ohne Pfählung aus, da sie nur für geringe Wassertiefen bis zu 10 m eingesetzt werden. Monopile-Gründungsfundamente für Wassertiefen bis zu 25 m, hierbei erfolgt eine Gründung mit einem Pfahl. Tripod-Gründungsfundamente mit Einsatteltiefen von 30 m und mehr, bei dreifacher Pfählung, siehe Abbildung 6. Jacket

Fundamente für Einsattiefen über 30 m, vierfach Pfählung mit verstrebt Aufbau. Für Einsattiefen die ein Fundamenteinsatz auf See nicht mehr möglich macht, werden derzeit schwimmende Plattformen entwickelt und getestet die den Einsatz auf hoher See möglich machen sollen. Diese werden am Meeresgrund an Tauchkörpern verankert (Hau, 2014).

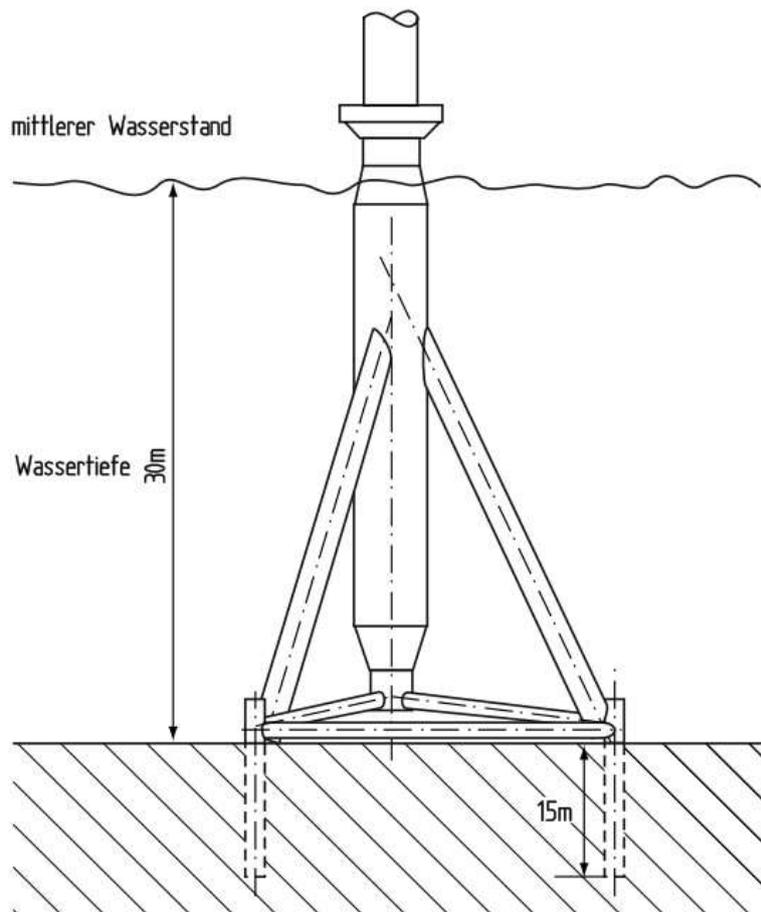


Abbildung 6: Offshore Windanlagenfundament mit Tripod-Gründung (Quelle: (Hau, 2014))

1.2.3.2. Turm

Der Turm bestimmt die Nabenhöhe und hat damit einen großen Einfluss auf die Konstruktion einer Windkraftanlage. Unterschieden werden zum einen freitragende Türme und jene Masten, die abgespannt sind. In der Bauweise und dem eingesetzten Material werden folgende Typen unterschieden: Windkrafttürme der Gitterbauart, der Holzbauweise, mit Beton, freitragende Stahlrohrtürme, abgespannte Stahlrohrtürme sowie Hybride aus Beton- und Stahlrohrbauweise (Hau, 2014), (Robert Gasch, 2005).

1.2.3.3. Rotor

Der Rotor ist das entscheidende Bauteil an einer Windkraftanlage. Bei modernen horizontalachsigen, stromerzeugenden Anlagen werden die Rotoren meist mit drei Rotorblätter ausgeführt. Deren Aufbau ähnelt denen von Flugzeugflügeln, um so einen möglichst günstigen aerodynamischen Auftrieb zu erzielen. Die Schnelllaufzahl λ ist der wichtigste Parameter für deren Auslegung. Diese beschreibt den Zusammenhang von Windgeschwindigkeit und der Rotordrehzahl (Robert Gasch, 2005).

$$\lambda = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{R}{v_1} \quad (1.7)$$

Für die Dimensionierung einer Windanlage gehört die Rotordrehzahl zu den wichtigsten Komponenten, denn die Leistung bestimmt sich über die Rotordrehzahl und dem Rotordrehmoment. Netzgekoppelte Windanlagen besitzen somit hohe Schnelllaufzahlen und niedrige Drehmomente bei hohen Umdrehungsgeschwindigkeiten für die Generatoren. Bei Langsamläufern verhält es sich umgekehrt (Robert Gasch, 2005).

Leistung einer Windkraftanlage P in W in Abhängigkeit der Rotordrehzahl und des Rotordrehmomentes in W:

$$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \quad (1.8)$$

Um die Leistung bei sehr hohen Windgeschwindigkeiten zu begrenzen, wird auf einen aerodynamischen Effekt zurückgegriffen, den sogenannten Stall-Effekt. Als passives System begrenzt dieser bei auftretenden Windböen das Drehmoment. Bei netzgekoppelten Asynchrongeneratoren besitzt der Rotor eine konstante Umlaufgeschwindigkeit u . Durch die Windböe würde es durch die auftretende Drehmomentänderung zu einer Leistungserhöhung kommen. Der Stall-Effekt sorgt bei entsprechender Konstruktion jedoch dafür, dass der Anstellwinkel α_A zu groß wird und dies einen Strömungsabriss ab einer bestimmten Windgeschwindigkeit bewirkt. Dadurch normalisiert sich das System nach einiger Zeit wieder. Der Nachteil besteht durch die Trägheit des passiven Systems. Der Stall-Effekt wird in Abbildung 7 dargestellt (Robert Gasch, 2005).

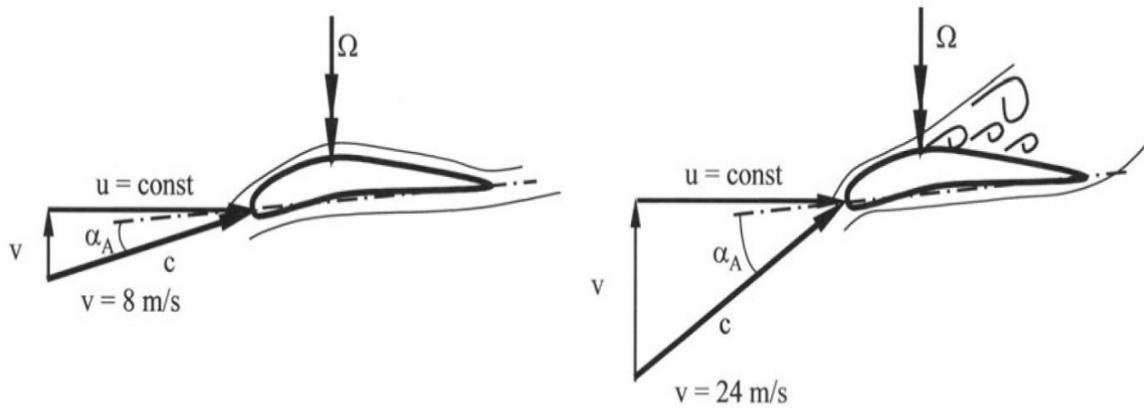


Abbildung 7: Stall-Effekt (Quelle: (Robert Gasch, 2005))

Um der Trägheit entgegenzuwirken besteht bei manchen Windenergieanlagen den Stall-Effekt aktiv zu erzeugen. Dazu dient die Blattverstellung. Damit wird bei zu hohen Geschwindigkeiten das Rotorblatt, durch verändern des Anstellwinkels soweit wie nötig, aus dem Wind genommen. Dies wird als „pitchen“ bezeichnet (Robert Gasch, 2005).

Die Blattverstellung dient zudem als erster Teil des Bremssystems einer Windkraftanlage. Bei Windanlagen mit langsamer Umdrehungsgeschwindigkeit reicht diese aus um einen kompletten Stillstand hervorzurufen (Robert Gasch, 2005).

1.2.3.4. Rotorbremse

Diese ist als zweiter Teil des Bremssystems mechanisch ausgeführt. Scheibenbremsen werden bei großen Anlagen vor dem Getriebe auf der schnellen Wellenseite montiert. Diese dienen als Feststellbremse im Standardbetrieb und müssen im Notfall den Rotor zum Stillstand bringen können. Bei Windanlagen ohne Getriebe ist ein derartiges Bremssystem nicht notwendig. Durch die geringen Drehzahlen ist das aerodynamische Bremssystem ausreichend (Robert Gasch, 2005).

1.2.3.5. Getriebe und Generator

Das Getriebe sorgt für die Übersetzung der Rotordrehzahl und des Drehmomentes in die entsprechende Generatorzahl. Der Generator dient weiterst zur Umwandlung der mechanischen Rotorleistung in elektrische Leistung. Dabei werden unterschiedliche Typen verwendet. Netzgeführte Asynchrongeneratoren und Windanlagen mit doppelt gespeisten Asynchrongeneratoren bedürfen eines Getriebes um die langsamen Rotordrehzahlen entsprechend den schnellen Drehzahlen der

Generatoren umzusetzen. Synchrongeneratoren, welche permanenterregt oder fremderregt sein können, bedürfen keiner Getriebe, aufgrund dieser langsam drehenden Generatortype (Robert Gasch, 2005).

1.2.3.6. Windrichtungsnachführung

Die Windrichtungsnachführung dient zur Drehung und Ausrichtung des Rotors in den Wind für eine optimale Anströmung. Bei herkömmlichen Windanlagen mit horizontaler Drehachse können diese passiv oder aktiv ausgeführt sein. Passive Nachführungen können zum Beispiel über Windfahnen, vor allem bei Kleinanlagen (Rotordurchmesser < 10 m), ausgeführt sein. Aktive Systeme erzeugen eine Drehung der Gondel durch eigene Antriebe, welche mit hohen Übersetzungen arbeiten (Robert Gasch, 2005).

2. Windkraft in Europa

Dieses Kapitel beschreibt die Entwicklung der Windkraft in der Europäischen Union ab der Jahrtausendwende und stellt die derzeitige Situation der erzeugten Windenergieleistung mit Stand Ende 2015 dar. Zudem wird ein Ausblick auf die Ziele und Prognosen der Folgejahre bis 2050 gegeben, welche für den Anlagenbau in den einzelnen Ländern ausgegeben wurden.

2.1. Aktuelle Windkraftsituation in Europa

Die Energiegewinnung aus Windkraft in der Europäischen Union erfuhr in den letzten 15 Jahren eine deutliche Steigerung. Vergleicht man den Energiemix der EU aus dem Jahr 2000 mit den Werten der installierten Kraftwerksleistungen der unterschiedlichen Energieformen aus dem Jahr 2015, so zeigt sich folgendes Bild. Im Jahr 2000 betrug die gesamte installierte Leistung in etwa 547 Gigawatt (GW). Der Anteil der Windenergieleistung daran betrug gerade einmal 2,4 %, dies entspricht ca. 2,9 GW. Den damaligen größten Anteil besaßen Nuklear-, Wasser- und Kohlekraftwerke. (Abbildung 8) (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016).

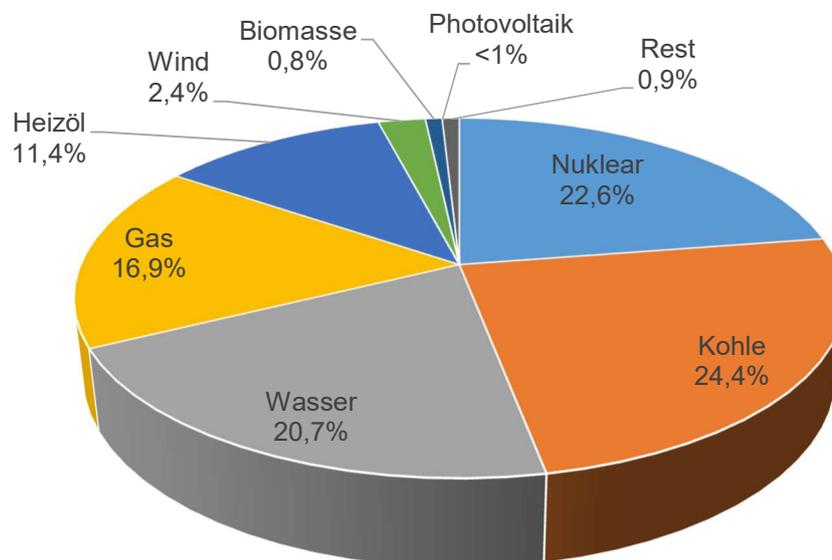


Abbildung 8: EU Energiemix im Jahr 2000 (Quelle: (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016), eigene Darstellung)

Der Ausbau wurde in den folgenden 15 Jahren vor allem in den großen europäischen Ländern forciert. Die generelle Entwicklung des Anteiles der erneuerbaren Energien in Form von Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik und Biomasse am Energiemix, ist von

gerade einmal 23,8% im Jahr 2000 auf einen Wert von 43,1% im Jahr 2015 angestiegen. Der Anteil wurde nahezu verdoppelt. Die Verteilung bezogen auf die gesamte installierte Leistung ist in Abbildung 9 dargestellt (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016).

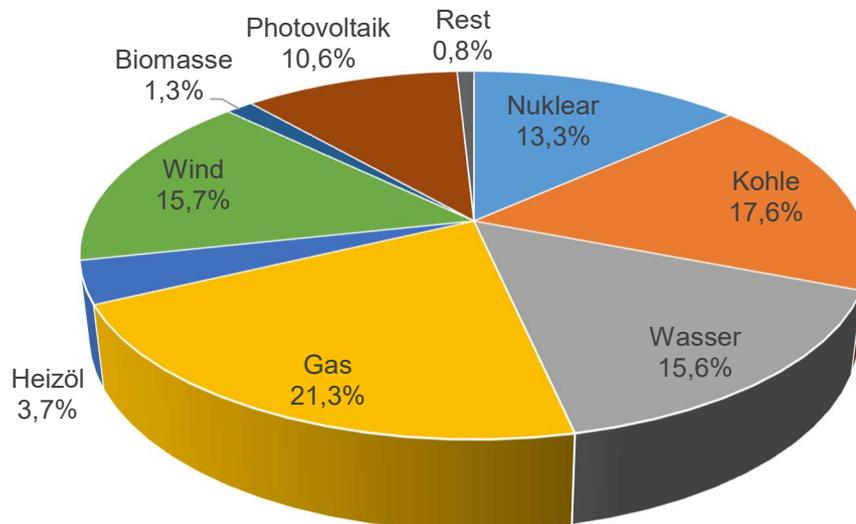


Abbildung 9: EU Energiemix im Jahr 2015 (Quelle: (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016), eigene Darstellung)

Der Windkraftanteil erfuhr eine Steigerung von 2,4% auf 15,7%, was den stärksten Zuwachs bei den erneuerbaren Energieformen entspricht, gefolgt von der Energiegewinnung durch Photovoltaik. In Zahlen ergibt dies eine Steigerung von ca. 128,7 GW. Die genauen Bestandszahlen nach Energieform und deren Anteilen an der Gesamtleistung werden in Tabelle 1 angeführt (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016).

Energieform	2000		2015	
	MW	Anteil	MW	Anteil
Nuklear	122966	22,47%	120208	13,29%
Kohle	133220	24,35%	159219	17,60%
Wasser	112719	20,60%	141073	15,59%
Gas	91922	16,80%	191960	21,22%
Heizöl	62166	11,36%	33660	3,72%
Wind	12887	2,36%	141579	15,65%
Biomasse	4568	0,83%	12140	1,34%
Photovoltaik	12	0,00%	95350	10,54%
Rest	4698	0,86%	7476	0,83%
Gesamt	547158	100,00%	904680	100,00%

Tabelle 1: Energiemix EU in Megawatt (MW) (Quelle: basierend auf Daten von (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016))

Bei den nicht erneuerbaren Energieformen, wurden Investitionen im Bereich der Gaskraftwerke getätigt. Deren installierte Leistung wurde mehr als verdoppelt. Im Gegenzug gab es einen Rückgang um die Hälfte bei Heizöl betriebenen Kraftwerken und leichte Rückgänge im Nuklearsektor. In welcher Form sich die Windkraft in Europa in den letzten 15 Jahren entwickelt hat, wird in Abbildung 10 dargestellt (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016).

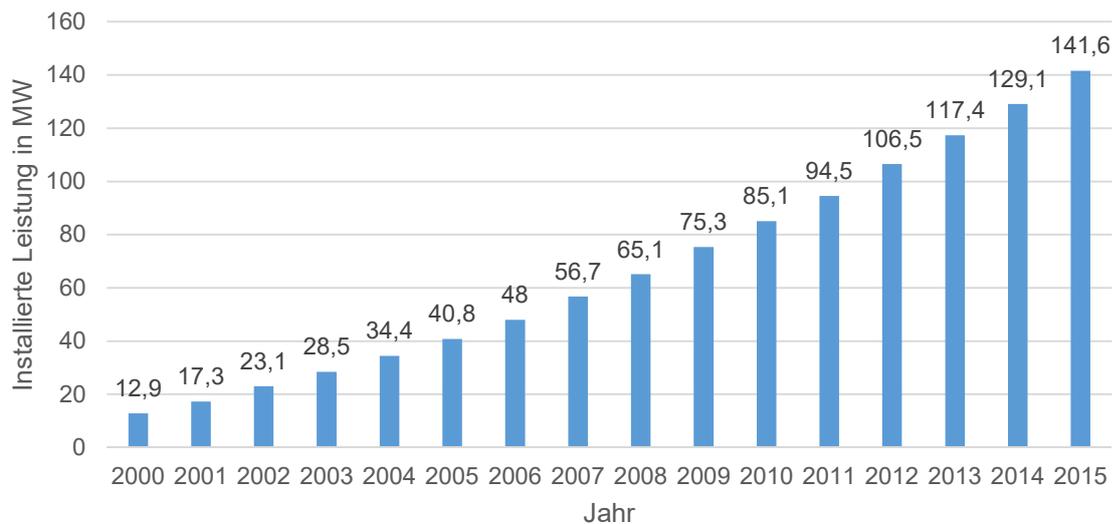


Abbildung 10: Installierte Windenergieleistung in der EU-28 (Quelle: (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016), eigene Darstellung)

Ausgehend von 12,9 GW installierter Windleistung in der Europäischen Union im Jahr 2000, erfolgte ein Ausbau um das beinahe elffache auf 141,6 GW. Die Windenergiegewinnung wurde im Schnitt jährlich um ca. 8,5 GW erhöht. Die Liste der Länder mit dem größten Anteil an installierter Windenergieleistung wird von Deutschland mit etwa 44,9 GW, gefolgt von Spanien mit etwa 23,0 GW und Großbritannien mit ca. 13,6 GW angeführt. In der Europakarte, dargestellt in Abbildung 11, sind die mit Stand Ende 2015 installierten Leistungen der einzelnen Länder veranschaulicht (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016).



**Abbildung 11: Europakarte mit der installierten Windenergieleistung in GW, Stand 2015
(Quelle: (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016))**

Die Verteilung der installierten Leistungen zeigt deutliche Unterschiede zwischen den westlicheren Ländern und dem Osten des europäischen Kontinents. Die großen und wirtschaftlich stärksten Länder besitzen den meisten Anteil an der europäischen Windenergieleistung. In den Balkanstaaten ist die installierte Leistung noch sehr gering und der Ausbau steht erst am Anfang. Selbiges gilt für die baltischen Staaten und Länder der ehemaligen Sowjetunion. Eine genaue Einsicht in die Stände und Ausbautzahlen der installierten Windleistung des Jahres 2015 in Europa zeigt Tabelle 2.

Land	Installiert in 2015	Stand Ende 2015	Land	Installiert in 2015	Stand Ende 2015		
	MW	MW		MW	MW		
EU - 28			EU Beitrittskandidaten				
Österreich	323,0	2411,5	Mazedonien	-	37,0		
Belgien	274,2	2228,7	Serbien	9,9	9,9		
Bulgarien	-	691,2	Türkei	956,0	4694,0		
Kroatien	76,2	422,7	Gesamt	965,9	4740,9		
Zypern	10,8	157,5	Eur. Freihandelsassoziation				
Tschechien	-	281,5	Island	-	3,0		
Dänemark	216,8	5063,8	Lichtenstein	-			
Estland	0,7	303,4	Norwegen	22,5	837,6		
Finnland	379,4	1000,5	Schweiz	-	60,4		
Frankreich	1073,1	10358,2	Gesamt	22,5	901,0		
Deutschland	6013,4	44946,1	Andere				
Griechenland	172,2	2151,7	Weißrussland	-	3,4		
Ungarn	-	328,9	Farör Inseln	-	18,4		
Irland	224,0	2486,3	Russland	-	15,4		
Italien	295,0	8957,8	Ukraine	16,6	514,1		
Lettland	-	61,7	Gesamt	16,6	551,3		
Litauen	144,7	424,3	Gesamt Europa				
Luxemburg	-	58,3					
Malta	-	-					
Niederlande	586,0	3431,0					
Polen	1266,2	5100,0					
Portugal	132,0	5079,0					
Rumänien	23,0	2975,9					
Slowakei	-	3,1					
Slowenien	-	3,4					
Spanien	-	23025,3					
Schweden	614,5	6024,8					
Großbritannien	975,1	13602,5					
Gesamt	12800,3	141579,1				Installiert in 2015	Stand Ende 2015
						MW	MW
			13805,3	147772,3			

Tabelle 2: Installierte Windenergieleistung Europa (Quelle: basierend auf den Daten von (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016))

Deutschland verzeichnete im Jahr 2015 die höchste angeschlossene Leistung mit knapp über 6 GW. Mit knapp 1,3 GW folgt Polen, dessen Kontingent auf über 5 GW erhöht werden konnte. Der gesamte EU-28 Zubau erreichte einen Höchstwert von 12,8 GW. Die Summe der Leistungen von Ländern außerhalb der EU-28, beträgt knapp 6,2 GW. Die gesamt installierte Windleistung am europäischen Kontinent, inklusive

Russland, belief sich somit mit Stand Ende 2015 auf 147,8 GW (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016).

Von den 141,6 GW der EU-28 entfallen 130,6 GW auf Onshore und 11 GW auf Offshore Windkraftanlagen. In der Entwicklung der jährlichen Zubauraten wird der zunehmende Anteil an Offshore Windenergieanlagen (OWEA) deutlich. Betrug dieser im Jahr 2001 noch gerade einmal 51 MW, was einem Anteil von 1,2 % entspricht, so wurden im Jahr 2015 3035 MW Leistung (31,1 %) an das Netz gebracht. Die Entwicklung der Zubauraten wird in Abbildung 12 abgebildet (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016).

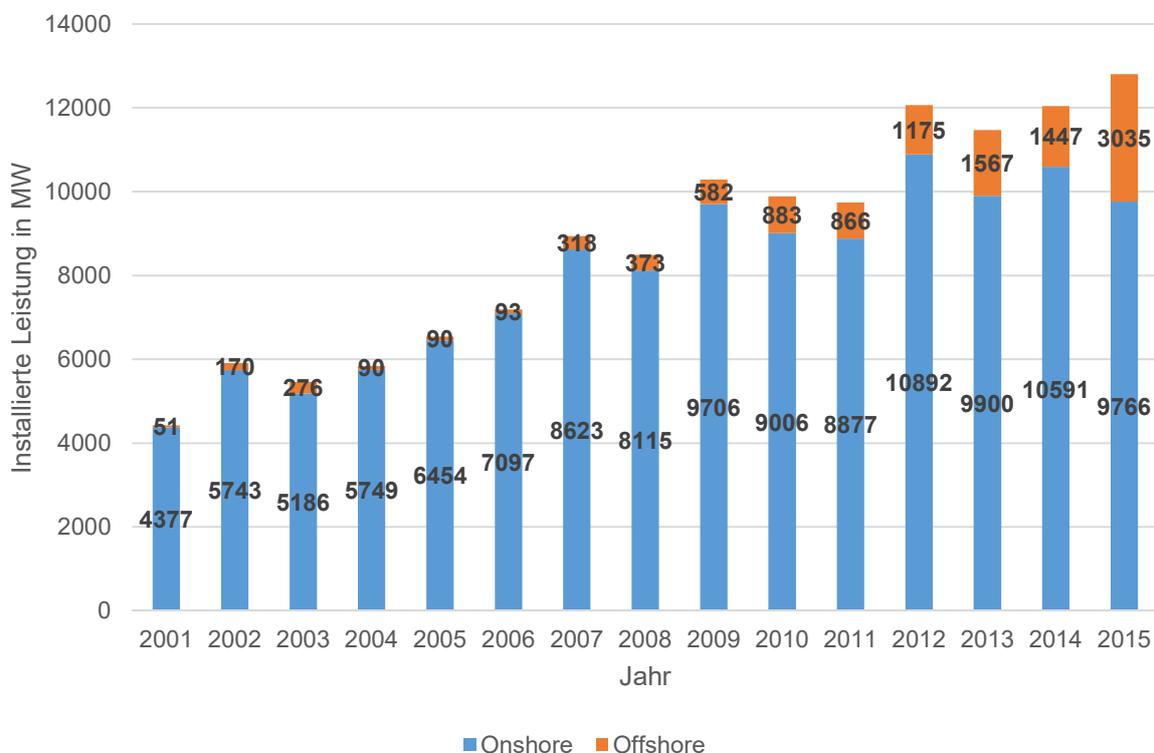


Abbildung 12: Entwicklung der installierten Onshore und Offshore Windenergieleistung, EU-28 (Quelle: (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016), eigene Darstellung)

Ab 2008 stieg der Ausbau von Offshore Anlagen bedeutend an. Vor allem Länder wie Dänemark, Großbritannien und Deutschland forcierten den Zubau. Von letzterem waren von den 2015 installierten und angeschlossenen 6 GW, Offshore Projekte mit einer Leistung von 2,3 GW. Die Liste der meisten installierten OWEA führt Großbritannien an, gefolgt von Deutschland, Dänemark und Belgien. Frankreich, das bis dato größte Land der EU, hatte mit Stand 2015 noch keine Offshore Windanlagen am Netz. Tabelle 3 zeigt die installierte Offshore Windenergieleistung unterteilt in den

einzelnen Ländern. (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016) (Windenergie-Barometer, 2016)

Land	2015
	MW
Großbritannien	5104,5
Deutschland	3294,9
Dänemark	1271,1
Belgien	712,2
Niederlande	357,0
Schweden	201,7
Finnland	28,0
Irland	25,2
Spanien	5,0
Portugal	2,0
Gesamt	11001,6

Tabelle 3: Installierte Offshore Windenergieleistung in der EU-28 (Quelle: basierend auf den Daten von (Windenergie-Barometer, 2016))

2.2. Geplanter Windkraftausbau bis 2050

Ziel der einzelnen Länder in Europäischen Union ist es den Ausbau der Windkraft in den nächsten Jahrzehnten kontinuierlich voranzutreiben. Bis zum Jahr 2050 sollen etwa 368 GW installierte Windenergieleistung erreicht werden. Abbildung 13 stellt die vorgesehene Entwicklung des Windenergieausbaus in der EU dar (EU-Reference-Scenario-2016, 2016).

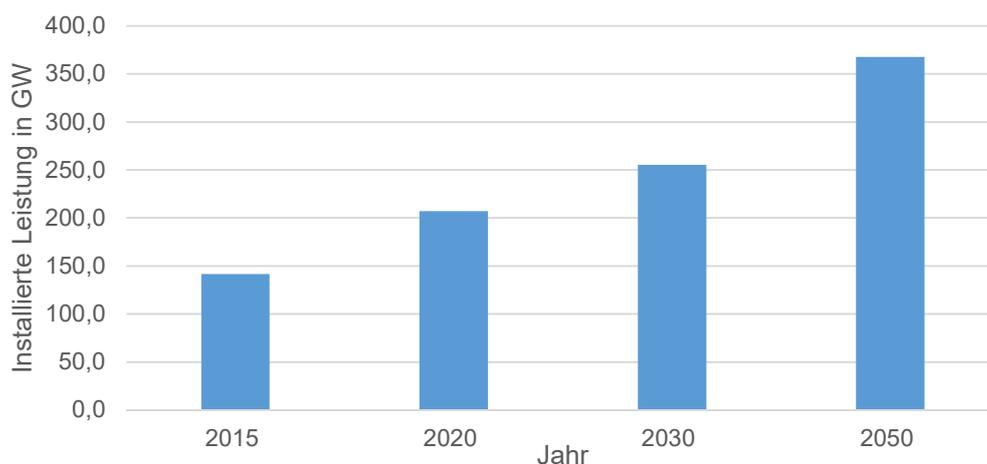


Abbildung 13: Geplanter Windenergieausbau in der EU bis 2050 (Quelle: basierend auf den Daten von (EU-Reference-Scenario-2016, 2016) (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016))

Diese Prognose würde eine Steigerung der 141,6 GW im Jahr 2015 bestehenden Leistung, um das 2,6-fache bedeuten. Besonders ausgeprägt sind die Ziele in

Deutschland, wo Anlagen mit einer gesamt installierten Leistung von ca. 86,5 GW, Frankreich mit ca. 57,5 GW, Spanien mit ca. 47,1 GW und Großbritannien mit ca. 41,5 GW errichtet werden sollen. Diese Länder würden, auch wie schon derzeit, den größten Beitrag an der Windkraft in der Europäischen Union leisten, was auch nicht zuletzt auf das noch vorhandene Potential für den Ausbau im Offshore Bereich derer Länder zurückzuführen ist. Die detaillierten Prognosen Werte werden in Tabelle 4 abgebildet (EU-Reference-Scenario-2016, 2016).

Land	2015	2020	2030	2050
	MW	MW	MW	MW
Österreich	2411,5	2583	4545	6803
Belgien	2228,7	4558	6907	9331
Bulgarien	691,2	703	2122	2599
Kroatien	422,7	423	682	1340
Zypern	157,5	216	229	417
Tschechien	281,5	408	488	838
Dänemark	5063,8	5609	6452	7237
Estland	303,4	334	445	1713
Finnland	1000,5	2343	2915	3140
Frankreich	10358,2	22130	30771	57569
Deutschland	44946,1	61832	67214	86549
Griechenland	2151,7	2637	6038	7884
Ungarn	328,9	477	477	1616
Irland	2486,3	3945	4135	5753
Italien	8957,8	8963	15577	25957
Lettland	61,7	283	286	683
Litauen	424,3	424	467	1144
Luxemburg	58,3	302	302	485
Malta	0	0	0	54
Niederlande	3431,0	10096	10096	12806
Polen	5100,0	5728	10339	18877
Portugal	5079,0	5113	6302	7103
Rumänien	2975,9	2989	6017	7450
Slowakei	3,1	19	19	164
Slowenien	3,4	200	242	280
Spanien	23025,3	24977	29888	47142
Schweden	6024,8	6507	9013	11220
Großbritannien	13602,5	33421	33421	41468
Gesamt EU-28	141579,1	207219	255388	367622

Tabelle 4: Prognostizierte Windenergieleistung bis 2050 MW (Quelle: basierend auf den Daten von (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016), (EU-Reference-Scenario-2016, 2016))

3. Windpotentialanalyse

Dieses Kapitel zeigt eine Analyse der Windkraftsituation einzelner Europäischer Länder. Dies beinhaltet den aktuellen Stand der bestehenden Anlagen, die meteorologischen Winddaten über die geografisch gegebenen Windgeschwindigkeiten, sowie über die möglichen Potentialflächen und Standorte zukünftiger Windkraftanlagen.

3.1. Österreich

Das kleine Binnenland Österreich in mitten Europas, ein Land das aufgrund der vielen Berge und Flüsse für den Großteil der Stromerzeugung auf Wasserkraft setzen kann, wird sich erst langsam über das Windpotential, das dem Land zur Verfügung steht, bewusst.

3.1.1. Stand der Windenergie in Österreich

Das Land Österreich darf als „Spätzünder der Windkraft“ bezeichnet werden. Lange Zeit wurde das Potential der Windenergieerzeugung, in dem durch die Alpen geografisch gezeichnetem Land, nicht erkannt. Zudem wurden erst sehr spät die gesetzlichen Rahmenbedingungen für den Ausbau geschaffen. Der erste verstärkte Zubau der Windkraft in Österreich begann erst im Jahr 2003, nachdem im Jahr zuvor, das erste Ökostromgesetz verabschiedet wurde. Nach einer Ökostromgesetzes-Novelle, welche im Jahr 2012 in Kraft trat, kam es erneut zu einem verstärkten Windkraftausbau, dieser hält bis heute an. Die Entwicklung des erstmaligen Ausbaubooms ab 2003 ist in Abbildung 14 dargestellt (IG-Windkraft, 2016)

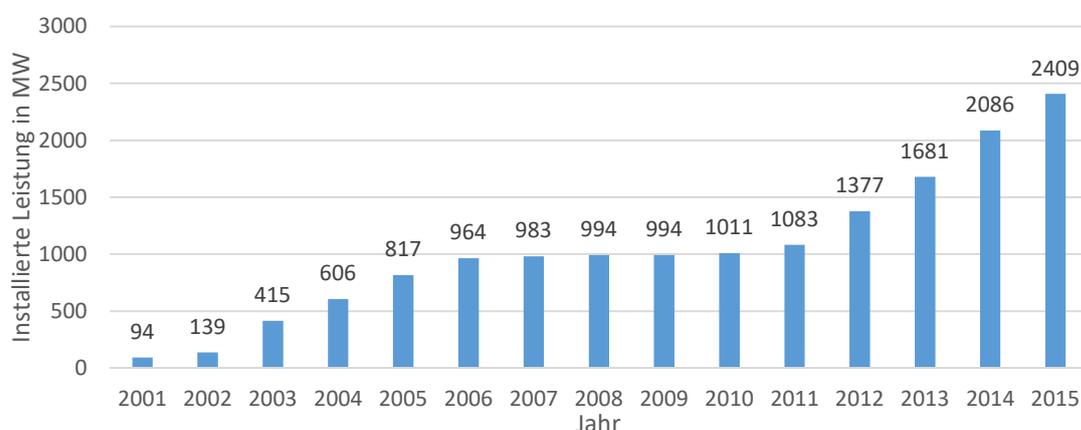


Abbildung 14: Installierte Windenergieleistung Österreichs (Quelle: (IG-Windkraft, 2016), eigene Darstellung)

Die Ende 2002 installierten 139 MW wurden bis zum Jahre 2006 auf 825 MW gesteigert. Der Zubau über die nächsten sechs Jahre änderte sich kaum und blieb nahezu konstant, bis es zur besagten Gesetzesnovelle 2012 kam und der Ausbau erneut vorangetrieben wurde. Mit Stand Ende 2015 werden in Österreich 1119 Anlagen mit einer gesamten Windenergieleistung von 2409 MW betrieben. Bedingt durch das geografisch ebene Ostösterreich und entsprechend den dort vorherrschenden günstigen Windverhältnissen, welche in Kapitel 3.1.2. Meteorologische Windgegebenheiten noch im Detail besprochen werden, finden sich dort die meisten Windkraftwerke. Die Aufteilung der Anlagen und deren Standorte ist in der Karte mit den mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten in 100 m über Grund ist in Abbildung 15 dargestellt (IG-Windkraft, 2016).

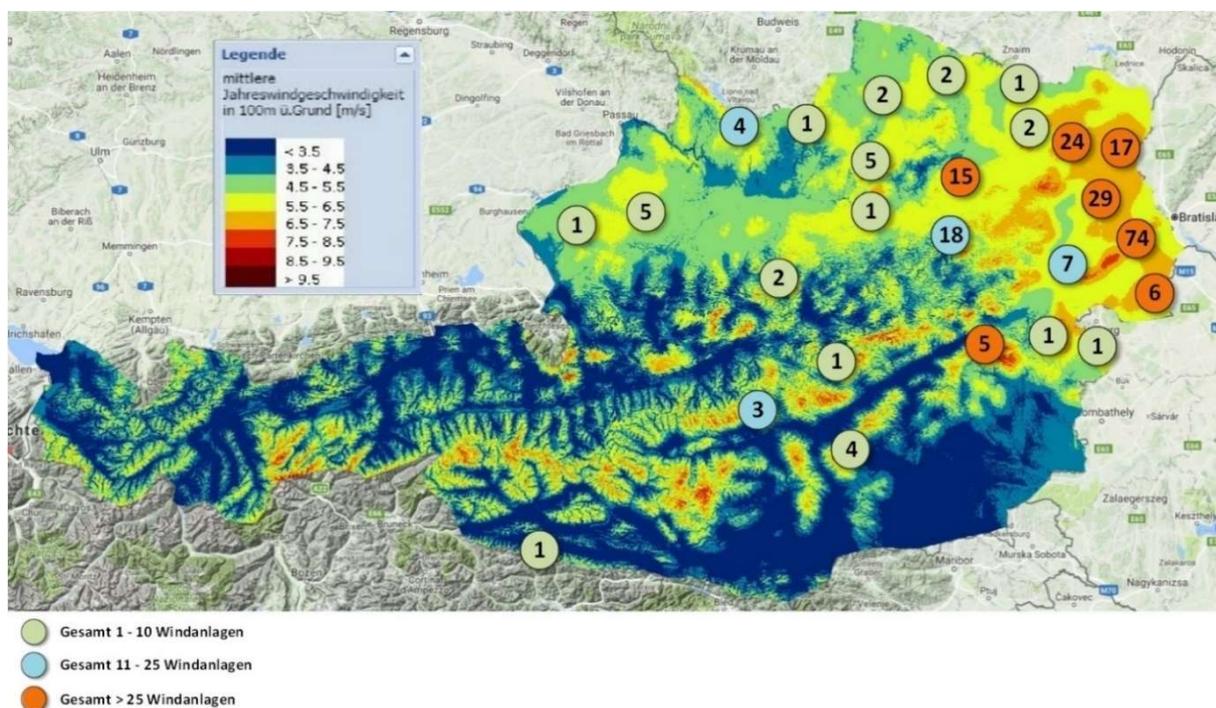


Abbildung 15: Verteilung nach Bundesländer der Windkraftanlagen in Österreich Stand Ende 2015 (Quelle: (Österreich, 2017), basierend auf den Daten von (IG-Windkraft, 2016) bearbeitet)

Die farblich markierten Gebiete zeigen Flächen, in denen sich ein oder mehrere Windparks befinden, in welcher sich in Summe Windkraftanlagen entsprechend der Zahl in der Markierung befinden. Grüne Markierungen kennzeichnen Gebiete mit einer Gesamtzahl von bis zu 10 Windkraftanlagen, die blaue Markierung von bis zu 25 Anlagen und in den Orangen Bereichen befinden sich mehr als 25 Windkraftanlagen. Die Konzentration der Windenergieerzeugung in den windreichen nordöstlichen Bundesländern wird hier deutlich. Mit 602 Windanlagen und einer Gesamtleistung von 1284 MW wird im Bundesland Niederösterreich am meisten Windstrom produziert,

gefolgt vom Bundesland Burgenland mit 412 Anlagen und einer Leistung von 985,7 MW, der Steiermark, Oberösterreich, Wien und Kärnten. In den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg drehte sich mit Jahresende 2015 noch kein einziges Windkraftwerk. Die genaue Auflistung der Bundesländer und deren Bezirke in denen sich derzeit Windkraftanlagen befinden, ist in Tabelle 5 dargestellt. Die gesamte jährliche Stromerzeugung beläuft sich auf etwa 5,2 TWh. (IG-Windkraft, 2016)

Niederösterreich			Steiermark		
Bezirke	Anzahl	MW	Bezirke	Anzahl	MW
Amstetten	1	0,5	Deutschlandsberg	3	6
Baden	23	59,5	Hartberg	4	9,2
Bruck/Leitha	173	435,5	Judenburg	14	25,1
Gänserndorf	204	427,6	Knittelfeld	3	7,1
Hollabrunn	3	4,1	Leoben	1	0,6
Horn	8	16,0	Mürzzuschlag	27	59,9
Korneuburg	21	14,8	Voitsberg	4	4,1
Krems	2	0,7	Weiz	11	13,8
Lilienfeld	2	1,0	Gesamt	67	125,8
Melk	1	0,6			
Mistelbach	97	200,8	Oberösterreich		
Mödling	2	1,2	Bezirke	Anzahl	MW
Scheibbs	1	0,3	Braunau	5	15
St.Pölten Stadt	19	25,3	Freistadt	2	1,3
St.Pölten-Land	31	48,8	Ried im Innkreis	4	4,8
Waidhofen/Tahtya	1	0,1	Schärding	5	3,3
Wien-Umgebung	3	2,0	Steyr-Land	3	1,8
Wiener Neustadt	4	5,7	Urfahr-Umgebung	9	15,2
Zwettl	6	3,5	Gesamt	28	41,4
Gesamt	602	1248,0			
			Burgenland		
Wien			Bezirke	Anzahl	MW
Bezirke	Anzahl	MW	Mattersburg	14	34,5
Wien	9	7,4	Neusiedl am See	381	915,1
Gesamt	9	7,4	Oberpullendorf	17	36,1
			Gesamt	412	985,7
Kärnten					
Bezirke	Anzahl	MW			
Hermagor	1	0,5			
Gesamt	1	0,5			

Tabelle 5: Installierte Windenergieleistung und Anlagenbestände in österreichischen Bundesländern, Stand Ende 2015 (Quelle: basierend auf Daten von (IG-Windkraft, 2016))

3.1.2. Meteorologische Windgegebenheiten

Die geografischen und Meteorologischen Winddaten zeigen das Windstärkengefälle von Ost nach West, siehe Abbildung 16 und Abbildung 17. Durch die Alpengebirge gebildete Berg- und Talstruktur, ist der Westen und Süden Österreichs nur durch niedrige mittlere Jahreswindgeschwindigkeiten geprägt. In diesem Bereich sind besonders bei einer Nabenhöhe von 50 m kaum mittlere Windgeschwindigkeiten über 4,5 m/s zu erwarten. Auf Bergen und Anhöhen treten auf kleinen Flächen nur vereinzelt mittlere Windgeschwindigkeiten bis 7,5 m/s auf.

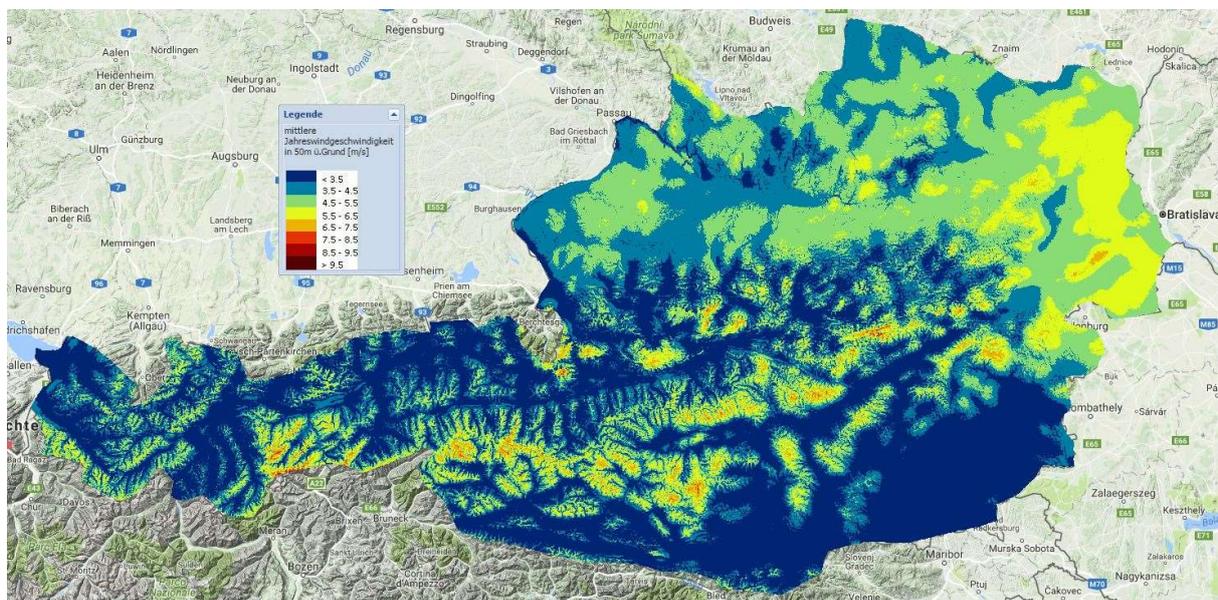


Abbildung 16: Mittlere Jahreswindgeschwindigkeiten in Österreich 50 m über Grund (Quelle: (Windatlas, 2016))

Bei einer Nabenhöhe von 100 m zeigt die Südwestregion ein ähnliches Bild. In den Tälern kommt es kaum zu einer wesentlichen Steigerung der Windverhältnisse. Eine andere Situation zeigt sich in der Nordosthälfte des Landes. Dort gibt es bei einer Nabenhöhe von 50 m großflächige Gebiete mit mittleren Windgeschwindigkeiten bis 5,5 m/s im Norden und große Flächen mit 6,5 m/s im Osten Österreichs. Ab einer Nabenhöhe von 100 m werden die Windpotentiale im Osten noch einmal verstärkt. Mittlere Jahreswindgeschwindigkeiten von 7,5 m/s sind weitestgehend vorhanden. Hier profitiert das Land vom Westwindssystem des Atlantiks und aus dem Kontinent selbst kommenden Südostwinden. Dies spiegelt sich auch, wie zuvor schon erwähnt, in den bereits installierten Anlagen wieder (Windkraft, 2014).

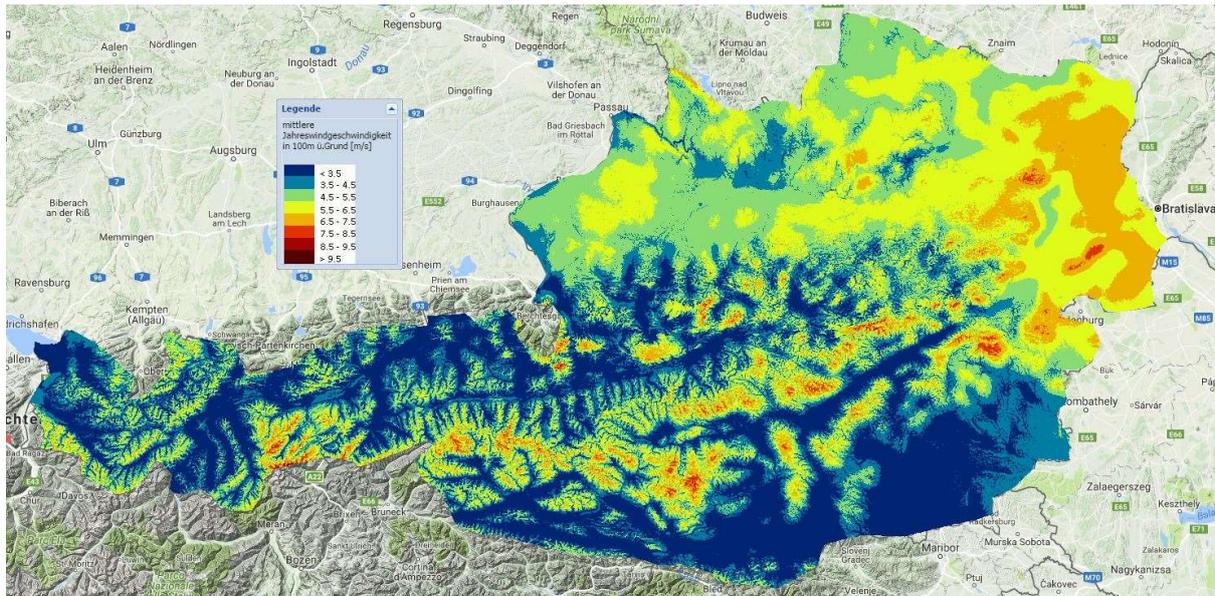


Abbildung 17: Mittlere Jahreswindgeschwindigkeiten in Österreich 100 m über Grund (Quelle: (Windatlas, 2016))

3.1.3. Ausbaupotential

Österreich hat ein großes Windkraftpotential. Die günstigen Windverhältnisse vor allem im Osten bieten einige Flächen, um den Ausbau entsprechend voranzutreiben. Studien wie „Das realisierbare Windpotential Österreichs für 2020 und 2030“ sprechen von bis zu 6649 MW installierten Windenergieleistung bis zum Jahr 2030. In dieser Studie wurde zunächst von einem theoretischen Maximum des Windpotentials ausgegangen, welche auf einer bereits 2011 erstellten Studie „Windatlas und Windpotentialstudie Österreich“ basierte. Es erfolgte eine erneute Berechnung der theoretischen Potentiale in Bezug auf Kriterien wie Entwicklungen in der Wirtschaft und Technik, sowie Gesellschaftspolitische Einflüsse. Die darauffolgende Berücksichtigung der vorhandenen Windanlagen, der im Bau befindlichen Anlagen und den Ausbauzielen der Bundesländer ergab entsprechende theoretisch realisierbare Potentiale. Diese sind in Tabelle 6 angeführt (Windkraft, 2014), (Energiewerkstatt, 2014).

Bundesland	2015	2020	2030
	MW	MW	MW
Burgenland	985,1	1300	1900
Niederösterreich	1248	1900	3200
Steiermark	125,6	291	591
Oberösterreich	41,4	120	300
Kärnten	0,5	120	421
Salzburg	0	40	100
Tirol	0	20	80
Vorarlberg	0	10	50
Wien	7,4	7	7
Gesamt	2408	3808	6649

Tabelle 6: Theoretisch realisierbare Potentiale in den österreichischen Bundesländern (Quelle: (Windkraft, 2014), (IG-Windkraft, 2016), eigene Darstellung)

Diese für 2020 und 2030 errechneten theoretischen realisierbaren Potentiale sind aufgrund der detaillierteren Analyse und aus Sicht einer Machbarkeitsstudie wesentlich höher angeführt, als es das „EU Reference Szenario 2016“ für diese Zeiträume macht. Diese 6649 MW würden dem 2,76-fachen der Ende 2015 installierten Leistung entsprechen. Vor allem in den Vorreiter-Bundesländern Niederösterreich und dem Burgenland wäre dies ein massiver Ausbau und sehr ambitionierte Ziele. Die Verteilung der theoretisch realisierbaren potentiellen installierten Windenergieleistung ist in Abbildung 18 grafisch dargestellt (Windkraft, 2014) (Energiewerkstatt, 2014).

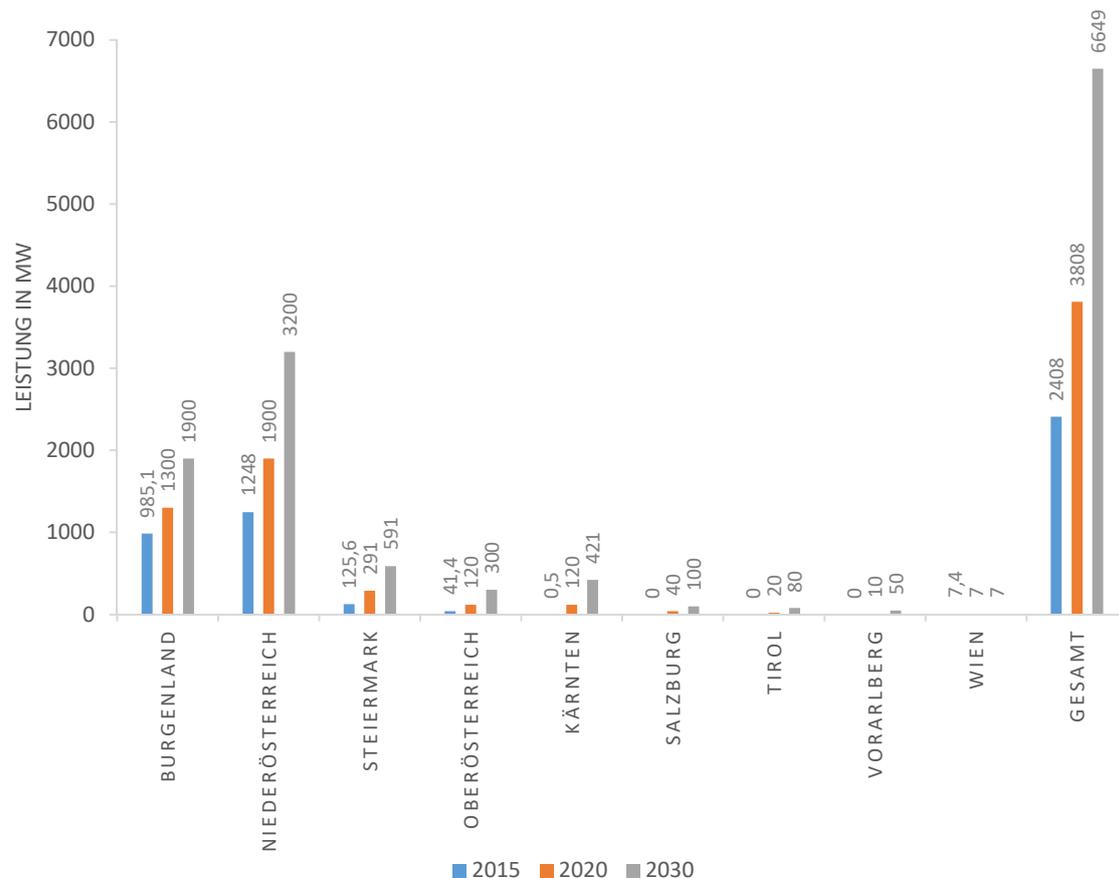


Abbildung 18: Potentiale in den österreichischen Bundesländern (Quelle: basierend auf den Daten von (Windkraft, 2014), (IG-Windkraft, 2016))

Das Land Niederösterreich würde bei dem ermittelten Wert von 3200 MW installierter Leistung 48% und mit dem Burgenland zusammen knapp 77% der 6649 MW Gesamtleistung innehaben. Voraussetzt, die gesetzlichen Rahmenbedingungen werden dafür geschaffen, erfordern diese Ziele auch die entsprechenden Flächen für die Windkraftanlagen. Nachfolgend wurden diverse Studien und Analysen zusammengefasst, welche Standorte in den einzelnen Bundesländern ermitteln die dafür in Frage kommen würden (Windkraft, 2014) (Energiewerkstatt, 2014).

3.1.3.1. Potentialflächen Österreich allgemein

In einem Forschungsprojekt von REGIO Energy aus dem Jahre 2010 wurden Energiepotentiale verschiedenster erneuerbarer Energien für Österreich auf regionaler Ebene untersucht. Dabei wurden, unter Zuhilfenahme eine GIS-Rasterdatensatzes, welches die mittleren Windgeschwindigkeiten in 100 m über Grund beinhaltet und durch Festlegung entsprechender Kriterien, potentielle Flächen für Windkraftanlagen

in Österreich erhoben. Die Kriterien wurden für zwei jeweilige Kategorien festgelegt, wie in Tabelle 7 ersichtlich (Energy, 2010).

Technisches Potential
<ul style="list-style-type: none"> - Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit in 100 m Höhe > 4 m/s - < 2000 m Seehöhe - < 20% Hangneigung - Keine Siedlungs- und Gewässerflächen - Windanlagen mit 2 MW - Erträge von 15 – 20 GWh/km² pro Jahr
Reduziertes Technisches Potential
<ul style="list-style-type: none"> - Zusätzliche Abstände zu Siedlungen, Luftfahrtzonen (1000 m) und Schutzzonen (200 m)

Tabelle 7: Kriterien für Potentialflächen in Österreich (Quelle: (Energy, 2010), eigene Darstellung)

Zunächst wurden Windeignungszonen definiert, als solche gelten Gebiete mit mittleren Jahreswindgeschwindigkeiten über 4 m/s. Die dafür über Österreich in Frage kommenden Flächen wurden in Abbildung 19 dargestellt (Energy, 2010).

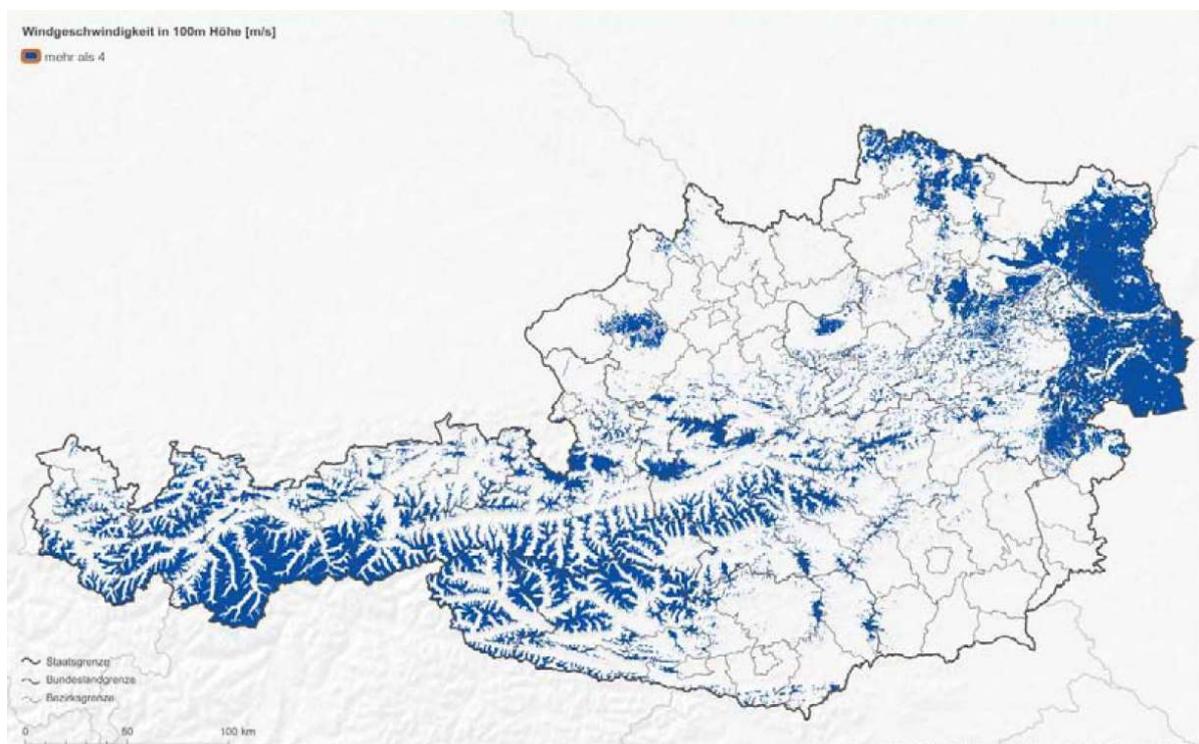


Abbildung 19: Windeignungszonen in Österreich (> 4 m/s) (Quelle: (Energy, 2010))

Als nächsten Schritt wurden Ausschlusszonen erfasst. Diese Ausschlusszonen beinhalten Gebiete über 2000m Seehöhe, steile Hangneigungen von über 20%, Gewässer, Siedlungsflächen, des Weiteren Schutzgebiete und Flächen für das

Christian Marko, BSc

Verkehrsnetz. Wald- und landwirtschaftliche Flächen wurden hingegen ausgenommen und nicht als Ausschlusszonen erfasst. Die durch diese Kriterien entstandenen Ausschlusszonen für das „Technisches Potential“ sind in Abbildung 20 als Karte dargestellt (Energy, 2010).

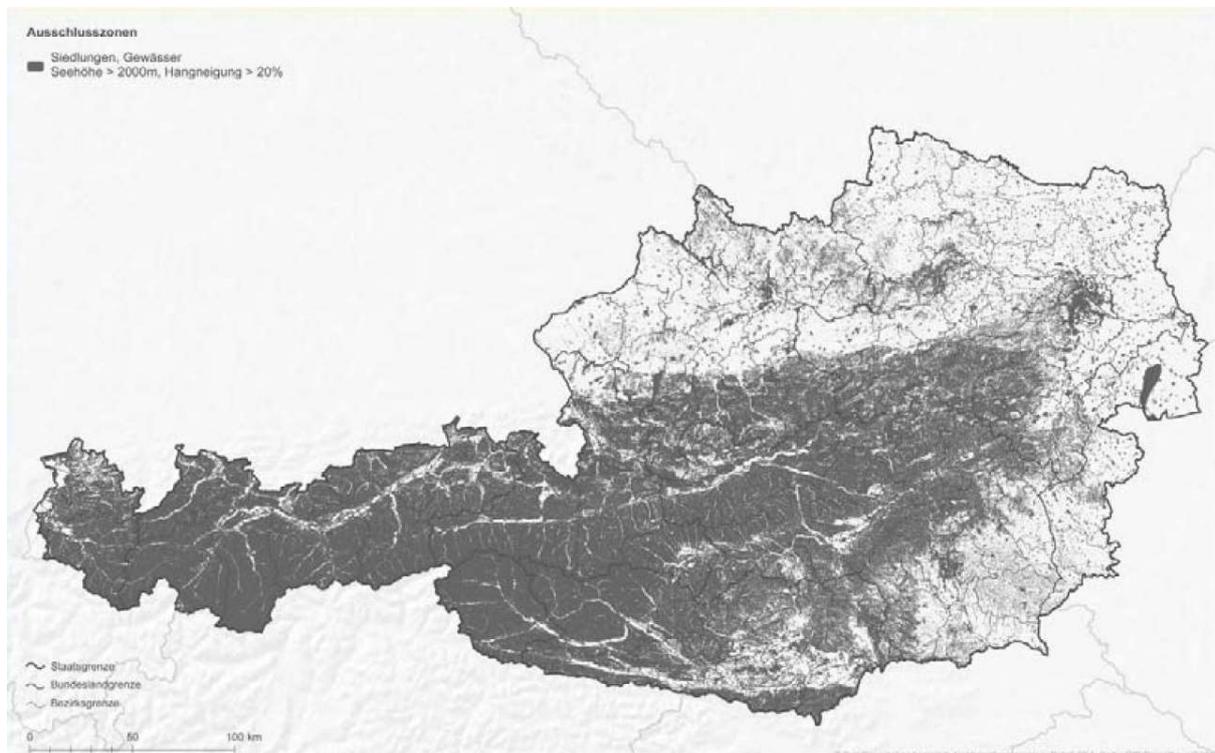


Abbildung 20: Ausschlusszonen „Technisches Potential“ in Österreich (Quelle: (Energy, 2010))

Die zweite Kategorie, das „Reduzierte technische Potential“ erweitert die Kriterien des technischen Potentials. Hierbei werden die Ausschlusszonen durch zusätzliche Abstände zu diesen Bereichen erweitert. Diese Abstände entsprechen 1000 m um Siedlungen, 200 m um Schutzzonen, wie Natur- und Landschaftsschutzgebiete, ebenfalls 200 m beim hochrangigen Verkehrsnetz und 1000 m um Zonen der Luftfahrt betreffend. Die resultierende Karte der Ausschlusszonen des „Reduzierten technischen Potentials“ wird in Abbildung 21 dargestellt (Energy, 2010).

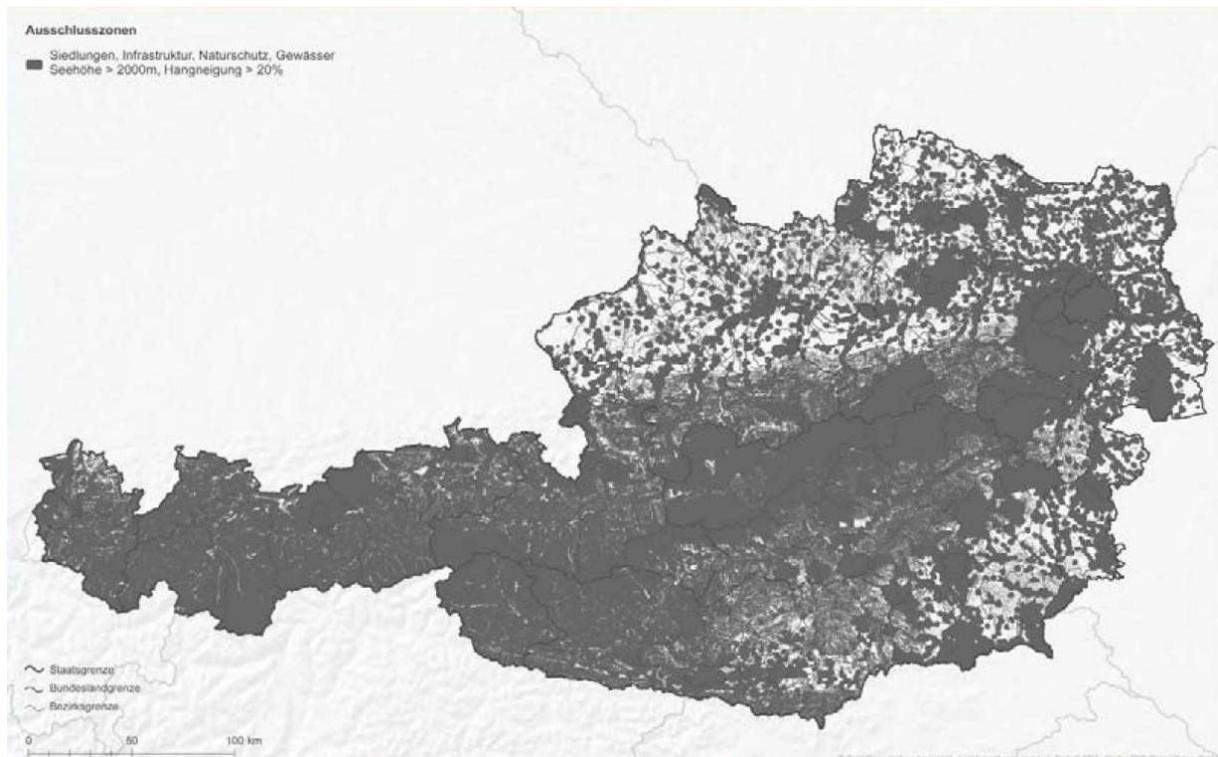
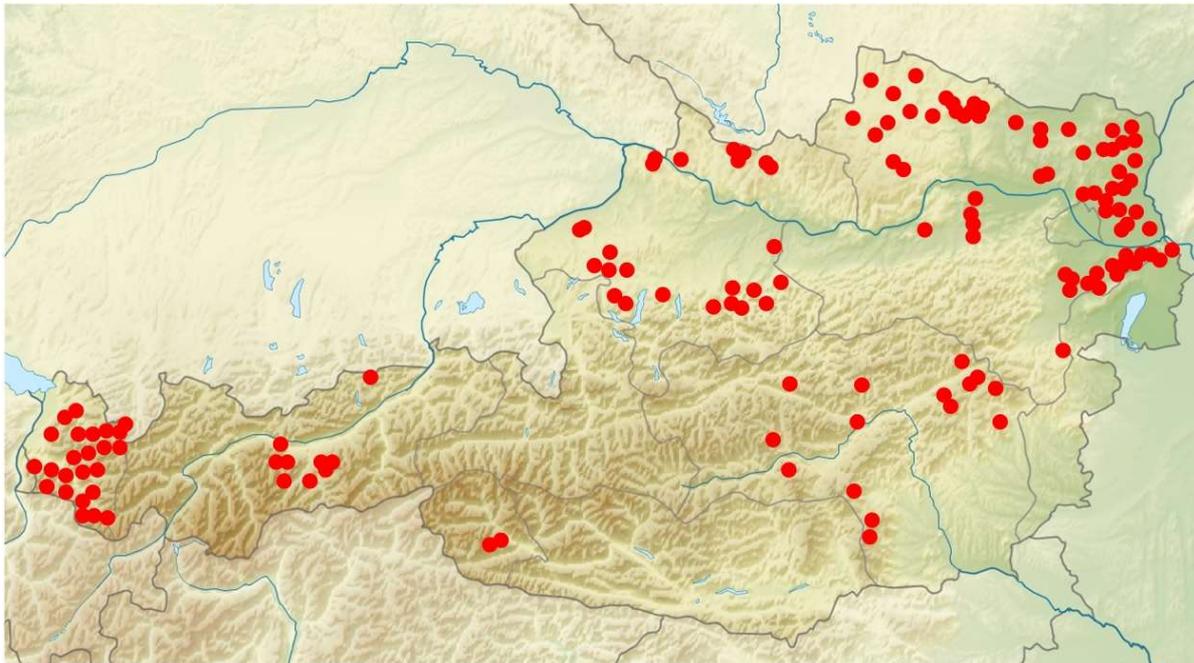


Abbildung 21: Ausschlusszonen "Reduziertes technisches Potential" in Österreich (Quelle: (Energy, 2010))

Durch die Verbindung der ermittelten Windeignungszonen und den als Ausschlusszonen nicht geeigneten Gebieten, kann auf mögliche Potentialflächen für Windanlagen geschlossen werden.

3.1.3.2. Potentialflächen in den Bundesländern

Nachfolgend erfolgt eine Detaileinsicht in die Potentialflächen der einzelnen Bundesländer für mögliche Windanlagen. Zonierungspläne von Oberösterreich, der Steiermark, Tirol und Niederösterreich werden in den folgenden Kapiteln angeführt. Eine Ausweisung von geeigneten Gebieten für das Bundesland Vorarlberg wurden auf Basis einer vorhandenen Windpotentialanalyse durchgeführt. Die Erkenntnisse aus diesen Plänen und Zonierungen wurden zusammengefasst und in einer Österreichkarte als Gebietspunkte markiert und in Abbildung 22 dargestellt. Die Bundesländer Kärnten und Salzburg haben bis dato noch keine Zonierung ihres Bundesgebietes für Windpotentialflächen vorgenommen, deshalb für die Bestimmung geeigneterer Gebiete noch genauere Analysen auf Basis von Windkarten notwendig sind. Auch für das Bundesland Burgenland gibt es derzeit keine aktuelle Zonierung. Dort wird in den nächsten Jahren verstärkt auf Repowering von bestehenden Anlagen gesetzt.



● Eignungsflächen für Windkraft

Abbildung 22: Österreichkarte mit Eignungsgebieten für Windkraftanlagen (Quelle: (Dedering, 2010), bearbeitet)

3.1.3.2.1. Oberösterreich

Im Zuge des von der Oberösterreichischen Landesregierung in Auftrag gegebenen Windkraftmasterplanes wurden Ausschluss- und Vorrangzonen definiert. Um Gebiete, welche für die Windenergiegewinnung geeignet sind definieren zu können, wurde ein Katalog mit Kriterien erstellt. Dieser Katalog, dargestellt in Tabelle 8 beschreibt Gebiete und Bereiche die für Windkraftanlagen auszunehmen sind (Landesregierung, 2016).

Ausschlusszonen - Kriterien
<ul style="list-style-type: none"> - Flugplätze, Korridore - Schutzgebiete (Oö. Natur- und Landschaftsschutzgesetz 2011) - Nationalpark Kalkalpen - Naturwaldreservate - Weltkulturerberegion Hallstatt - 5 km Seeuferschutzzonen. (Almsee, Attersee, Grabensee, Hallstätter See, Irrsee, Mattsee, Mondsee, Offensee, Traunsee, Vorderer Gosausee, Wolfgangsee) - 1 km Flussufer Schutzzonen. (Donau, Inn, Salzach, Ager, Enns, Steyr und Traun) - Wasserschutzgebiete (Zone I und II) - alpine Schutzzone (> 1.600 m) - Important Bird Area (IBA) Teilräume - Gebiete mit Artenschutzprojekten - Vogelzugkorridor - Wildtierkorridore - Überlagerungen von mehreren naturschutzfachlichen Bewertungskriterien: <ul style="list-style-type: none"> ○ Wildtierlebensräume (Kernzonen) ○ Artenschutzzonen nach OÖ Naturschutzrecht: Brutplätze und Kernlebensraum durch WA bedrohter Vogelarten (BirdLife-Studie) ○ EU-Artenschutzzonen unter dem OÖ. Jagdgesetz: Balzplätze und Kernlebensraum von Auer Wild und Birk Wild (Jagdangaben und Zobodat Daten)

Tabelle 8: Kriterien für Ausschlusszonen im Bundesland Oberösterreich (Quelle: (Landesregierung, 2012), eigene Darstellung)

Auf Basis dieser Kriterien konnte das Bundesland Oberösterreich eine Ausschlusszonierung vornehmen. Die Karte mit den eingezeichneten Flächen für Zonen, die somit nicht für Windkraftanlagen geeignet sind, wird in Abbildung 23 dargestellt.

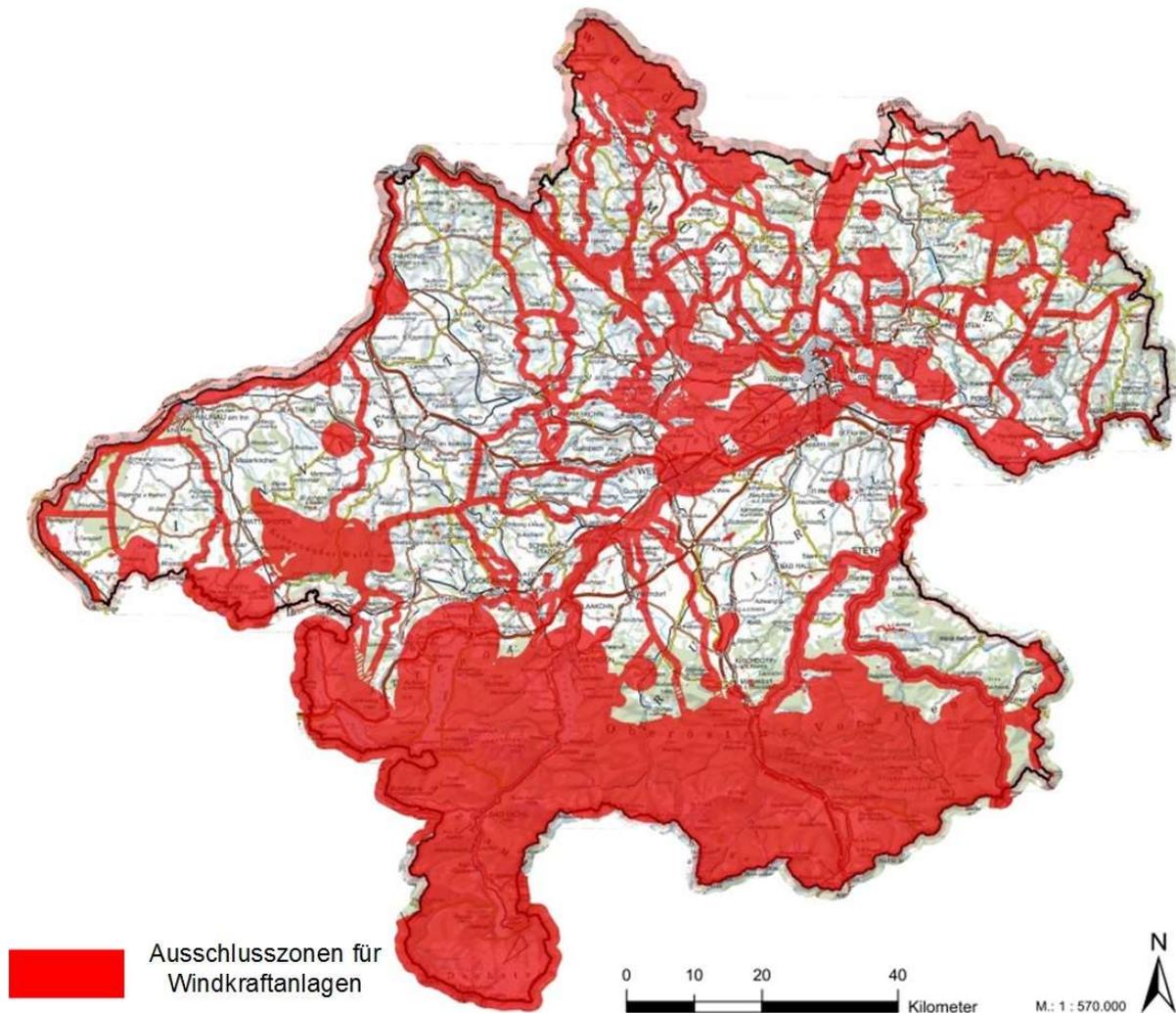


Abbildung 23: Ausschlusszonierung Oberösterreich (Quelle: (Landesregierung, 2012) bearbeitet)

Im nächsten Schritt wurden Flächen definiert die als Gebiete für die Windenergiegewinnung geeignet wären. Dies ergab Summe 25 über das gesamte Land verteilte als Vorrangzonen ausgewiesene Flächen. Eine Auflistung dieser Gebiete für Windkraftanlagen findet sich in Tabelle 9.

Nr.	Gebiet	Nr.	Gebiet
1	St.Roman	14	Hirschwaldstein
2	Sauwald	15	Eibling
3	Ranna	16	Hochsalm
4	Sternwald Nord	17	Hongar
5	Sternwald Ost	18	Auwald
6	Großtraberg	19	Saurüssel
7	Hirschbach im Mühlkreis	20	Siebererwald
8	Ottenschlag im Mühlkreis	21	Kobernauserwald Süd
9	Kronsdorf West	22	Kobernauserwald West
10	Laussa	23	Kobernauserwald Nord
11	Schneeberg	24	Hausruckwald Süd
12	Ternberg West	25	Hausruckwald Nord
13	Eckelsberg		

Tabelle 9: Vorrangzonengebiete Oberösterreich (Quelle: basierend auf Daten von, (Landesregierung, 2012))

Die eruierten Zonen sollen als Flächen für zukünftige Windkraftanlagen dienen und somit die Anzahl der derzeit 28 betriebenen Anlagen auf 150 erhöhen. Diese Vorrangzonen wurden in einer Oberösterreich Karte dargestellt, siehe Abbildung 24 (Energiewerkstatt, 2014).

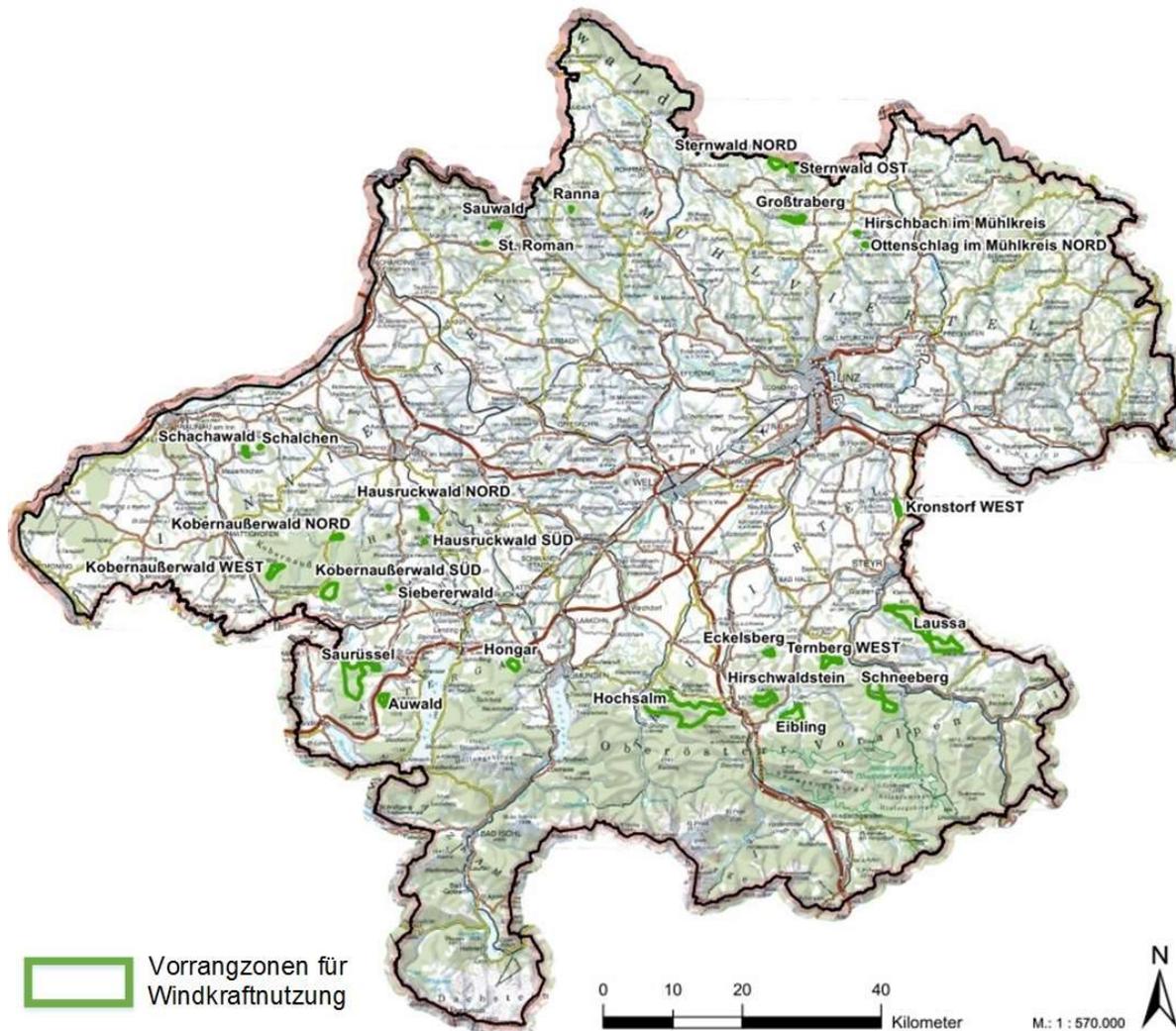


Abbildung 24: Vorrangzonierung Oberösterreich (Quelle: (Landesregierung, 2012) bearbeitet)

Die Verteilung der Vorrangzonen zeigt, dass ein Drittel der Flächen sich in der nördlichen Region nahe der Staatsgrenze befinden. Die Gebiete um die großen Städte Linz und Wels sind frei von Zonen für die Windkraft. Der Rest teilt sich quer über das Land, südlich dieser Städte und der Donau, auf. Im Süden des Landes, näher an den Alpen, finden sich hingegen keine ausgewiesenen Vorrangzonen mehr.

3.1.3.2.2. Steiermark

Das Land Steiermark lies im Jahre 2011, im Rahmen des Raumordnungsgesetzes, ein Sachbereichsprogramm für Windenergie erstellen, welches 2013 in einer Verordnung erlassen wurde. Dieses Entwicklungsprogramm enthält neben Regeln für die Schaffung neuer Windparks auch Zonierungspläne. Die Pläne bestehen aus Gebieten die als Vorrangzonen und Flächen die als Eignungszonen deklariert wurden. Eine Auflistung der Zonen wird in Tabelle 10 dargestellt (Steiermark, 2013).

Vorrangzonen	Eignungszonen
Steinriegel	Roßkogel
Pretul	Präbichl
Oberzeiring	Pongratzer Kogel
Hochpürschtling	Perchauer Eck
Handalm	Kraubatheck
Gaberl	Hubereck
	Herrenstein
	Fürstkogel
	Freiländer Alm

Tabelle 10: Bezeichnungen der Vorrangs- und Eignungszonen in der Steiermark (Quelle: (Steiermark, 2013), eigene Darstellung)

Insgesamt konnten sechs Gebiete als Vorrangzonen und neun als Eignungszonen für Windkraftanlagen bestimmt werden, die sich über das Bundesland Steiermark verteilen. Des Weiteren konnten Bereiche des Landes als für die Windkraft ungeeignet und somit als Ausschlusszonen kartographiert werden. Die Ausgewiesenen Flächen all dieser Zonen in der Steiermark wird in Abbildung 25 dargestellt.

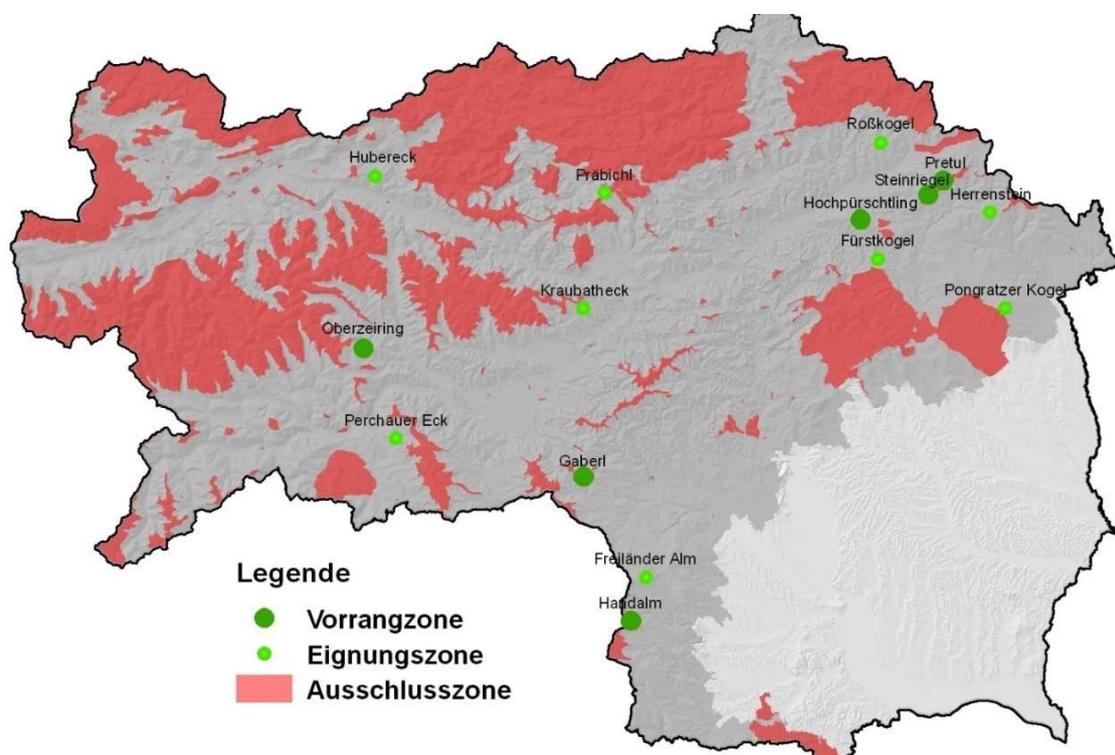
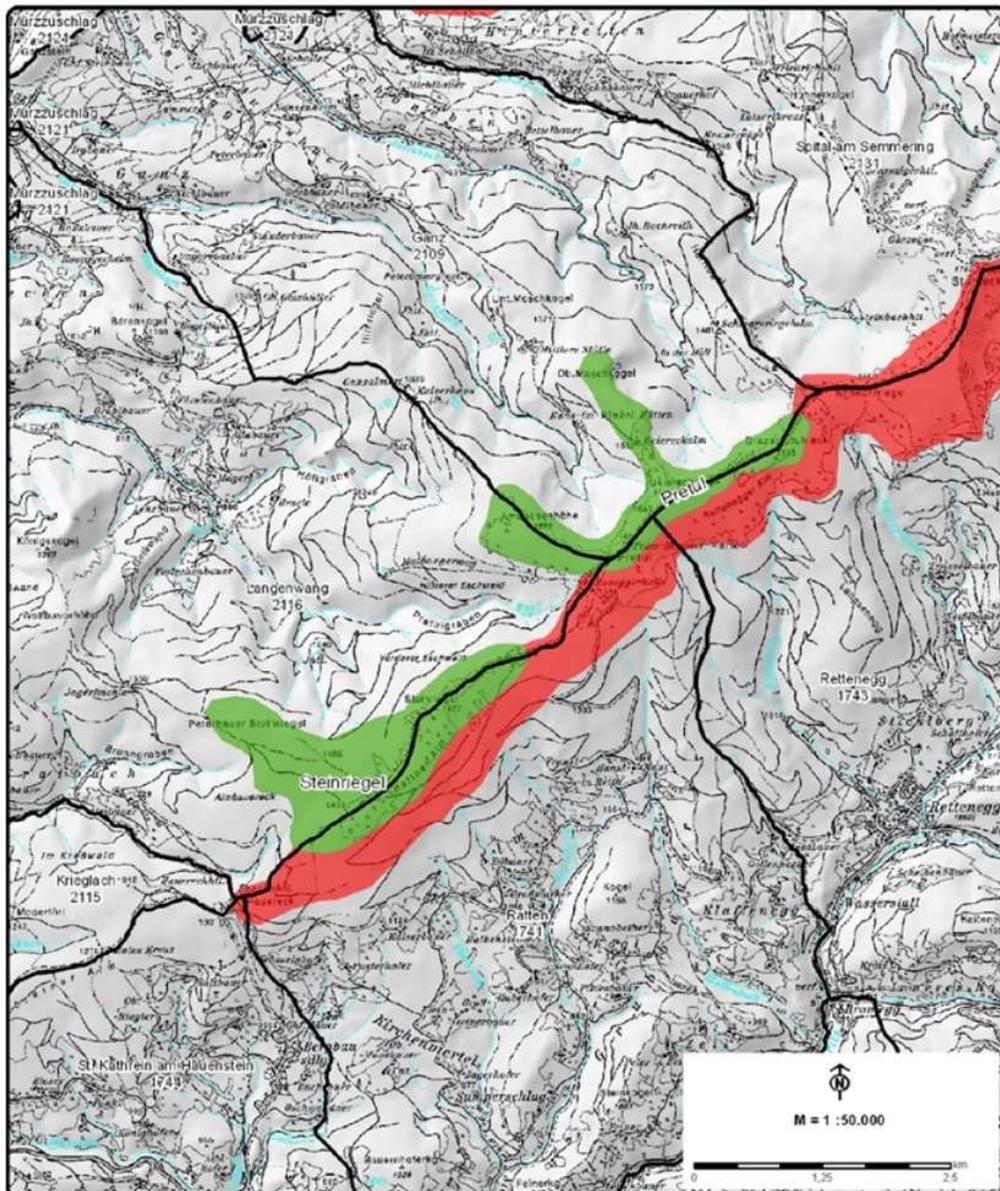


Abbildung 25: Zonierung der Steiermark für Windkraftanlagen (Quelle: (Steiermark, 2013))

Die Vorrangzonen und Eignungszonen liegen alle in der dunkelgrauen Hinterlegung, dem Geltungsbereich der Alpenkonvention. Das Bundesland Steiermark weist nur

Christian Marko, BSc

wenige Gebiete aus, die entsprechende mittlere Jahreswindgeschwindigkeiten vorweisen um mit Windanlagen derzeitiger Standards eine rentable Energiegewinnung zu ermöglichen. In Summe sind es weniger als 10 % des Landesgebietes und keines davon außerhalb des Bereichs der Alpenkonvention. Folgend zeigt Abbildung 26 eine Detaildarstellung der Vorrangzonen Pretul und Steinriegel. Derartige Gebietskarten sind für sämtliche Vorrang- und Eignungszonen erhältlich (Steiermark, 2013).



**Vorrangzonen
Pretul und Steinriegel**

- Ausschlusszone
- Vorrangzone
- Gemeindegrenze

Abbildung 26: Detailansicht der Vorrangzonen Pretul und Steinriegel (Quelle: (Steiermark, 2013), bearbeitet)

3.1.3.2.3. Vorarlberg

Für das Bundesland Vorarlberg führte die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik eine Studie über das Windpotential durch. Ausgehend von durchgeführten Windmessungen, wurde das Bundesland in einem Raster von 500 m mal 500 m eingeteilt und für jeden dieser Rasterpunkte wurde die mittlere Windgeschwindigkeit in 70 m Höhe über Grund ermittelt. Als Eignungsüberprüfung für diese Rasterbereiche wurde ein Windenergiedichtewert von 240 W/m^2 als wirtschaftlich rentable Grenze angenommen. Ein weiteres Kriterium war eine Seehöhe von unter 2300 m. Auf diese Weise konnten diese je 25 ha großen Gebiete als Eignungsflächen für Windkraftanlagen überprüft werden. Das Ergebnis dieser Auswertung kann in Abbildung 27 eingesehen werden (Geodynamik, 2003).

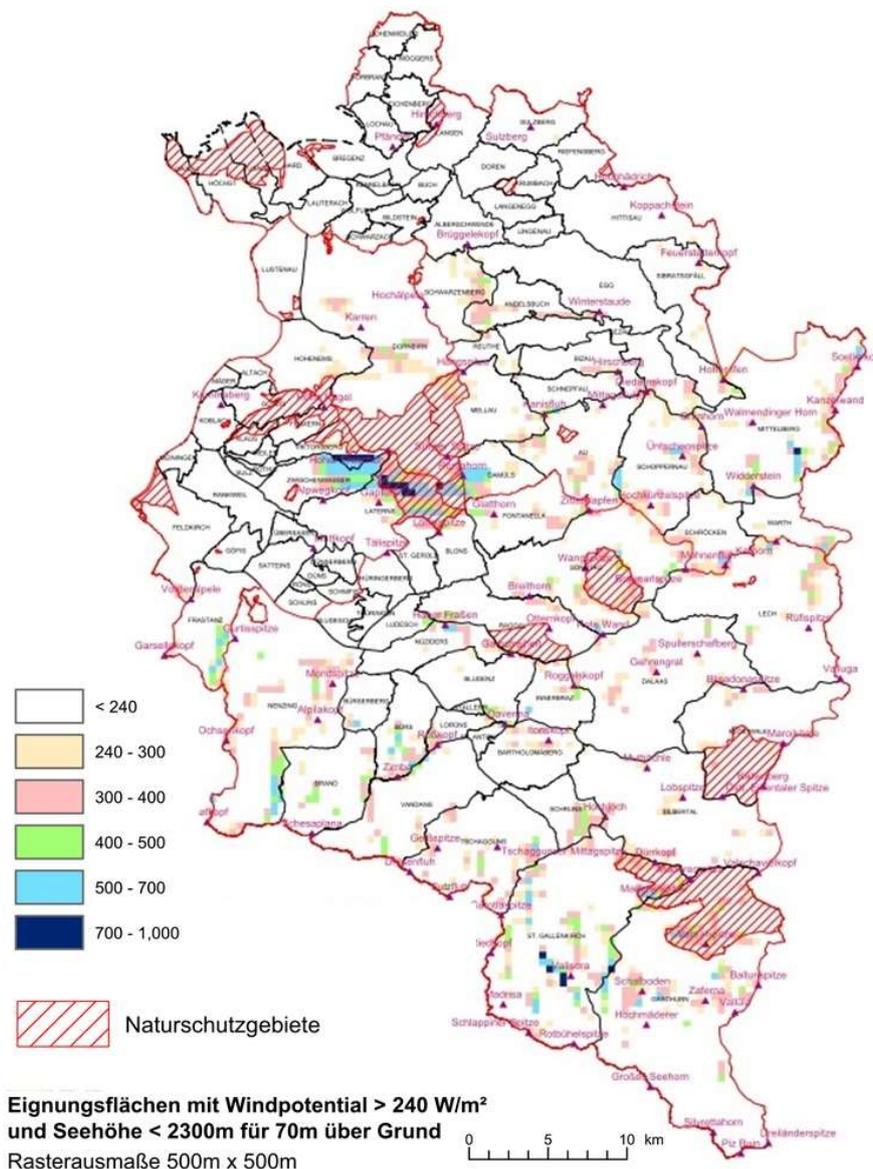


Abbildung 27: Windpotentialflächen Vorarlberg (Quelle: (Geodynamik, 2003), bearbeitet)

Folglich wurde festgestellt, dass nur etwa 20 % der Fläche des Landes diese Grenze von 240 W/m² überschreiten. Es sind kaum große Flächen vorzufinden, die die Kriterien erfüllen und die meisten der als anzunehmenden Eignungsflächen befinden sich im gebirgigen, südlichen Teil des Landes. Die größte potentielle Fläche befindet sich im Bregenzerwald. Mögliche Flächen, die für eine Errichtung einer oder mehrerer Windkraftanlagen als geeignet ermittelt worden sind, wurden nun eigens markiert um diese als Potentialflächengebiete für Österreich zu übernehmen. Dies umfasst 24 Gebiete die in Abbildung 28 farblich blau markiert sind (Geodynamik, 2003).

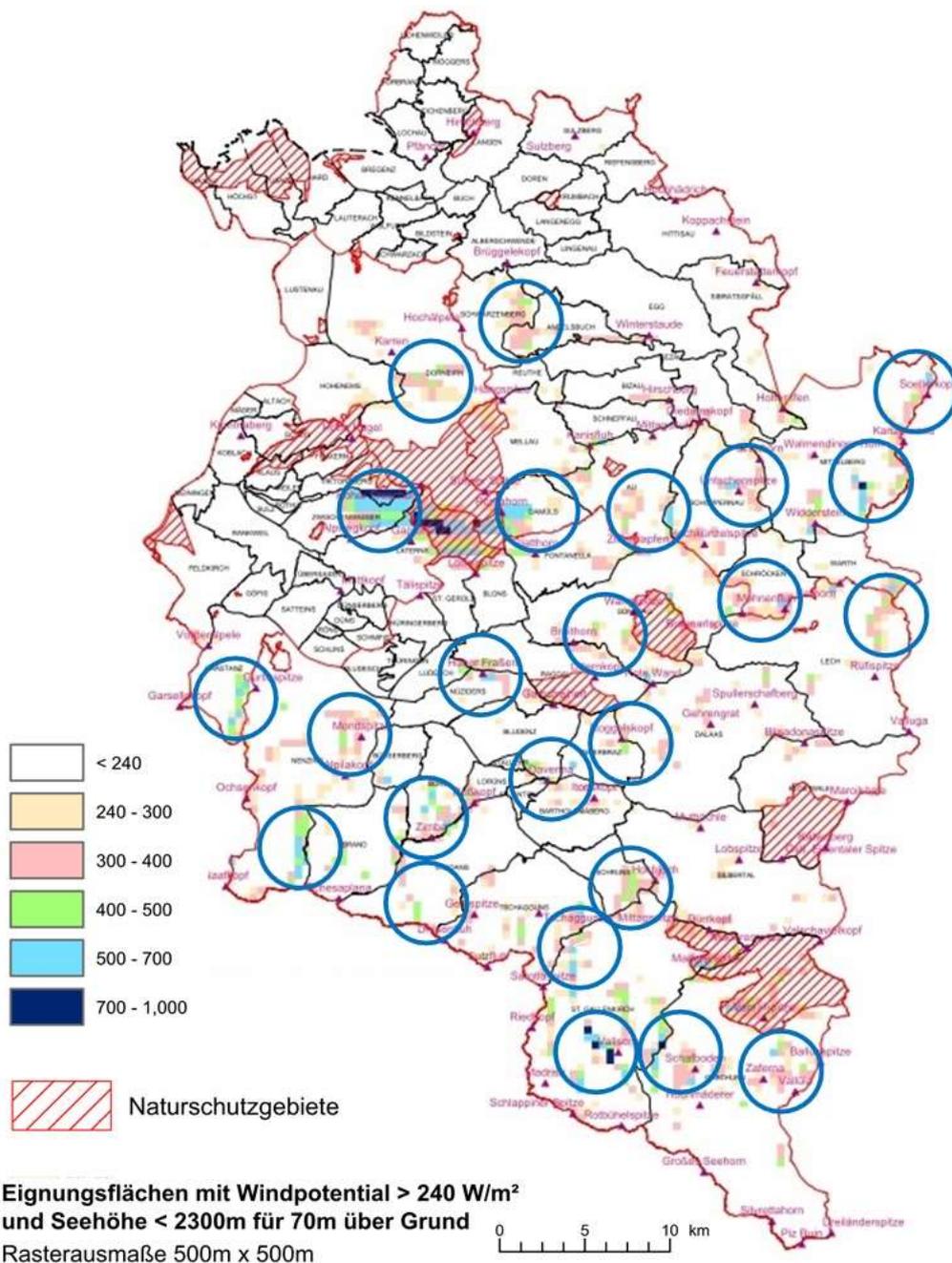


Abbildung 28: Windpotentialflächen inklusive Gebietsbestimmung Vorarlberg (Quelle: (Geodynamik, 2003), bearbeitet)

3.1.3.2.4. Tirol

In der Studie „Bewertung des Windenergiepotentials in Tirol“, welche vom Energiebeauftragten des Landes in Auftrag gegeben wurde, konnten unter Berücksichtigung eines Kriterienkataloges, mögliche Gebiete für die Tiroler Windkraft bestimmt werden. Als Ausschlusskriterien für das Windkraftpotential wurden mittlere Windgeschwindigkeiten unter 5,5 m/s, Naturschutzgebiete, Vogelschutzgebiete, Uferschutzbereiche für stehende Gewässer, militärische Sperrgebiete, Richtfunkstrecken, Siedlungsgebiete und Gletscher angenommen. Die resultierenden Gebiete werden in Abbildung 29 dargestellt (OG, 2013).



Abbildung 29: Windpotentialflächen Tirol (Quelle: (OG, 2013), bearbeitet)

Im Rahmen dieser Ausschlusskriterien konnten einige Gebiete quer über das Land als Potentialflächen für Windkraftanlagen definiert werden. Da das Bundesland Tirol bedingt durch die Alpen beinahe durchgehend als Bergregion zählt und die örtliche Gegebenheiten für die Errichtung von Windanlagen mitberücksichtigt werden müssen, wurden die Kriterien um folgende Punkte erweitert: Gebiete mit Hangneigungen über 35% und Gebiete über 2300m Seehöhe wurden zusätzlich ausgeschlossen und als nicht geeignet betrachtet. Als Ergebnis davon konnten somit entsprechende Eignungsflächen für Tirol, welche in Abbildung 30 einzusehen sind ermittelt werden (OG, 2013).



Ergebnisflächen für das Windkraftpotential



Abbildung 30: Windpotentialflächen Tirol mit erweiterten Ausschlusskriterien (Quelle: (OG, 2013), bearbeitet)

Eine Abbildung und Zusammenfassung der Angewandten Kriterien für potentielle Windenergieflächen wird mit Tabelle 11 angeführt.

Kriterien für Eignungsflächen
<ul style="list-style-type: none"> - Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit in 100 m Höhe > 5,5 m/s - Naturschutzgebiete - Vogelschutzgebiete - Uferschutzbereiche für stehende Gewässer - Militärische Sperrgebiete - Richtfunkstrecken - Siedlungsgebiete - Gletscher
Erweiterte Kriterien für Eignungsflächen
<ul style="list-style-type: none"> - Seehöhe > 2500 m - Hangneigung > 35%

Tabelle 11: Kriterien für die Potentialflächenermittlung (Quelle: (Energy, 2010), eigene Darstellung)

3.1.3.2.5. Niederösterreich

Das Raumordnungsprogramm des Landes Niederösterreich weist für das gesamte Bundesland Flächen für die Windkraftnutzung aus. Diese Flächen sollten genügend Raum für Windkraftanlagen bieten und somit die gesteckten Ausbauziele bis zum Jahre 2030 erreichen. Die ausgewiesenen Gebiete sind in vier Abschnitte der Landeskarte von Abbildung 31 bis Abbildung 34 dargestellt (Bundeskanzleramt, 2016).

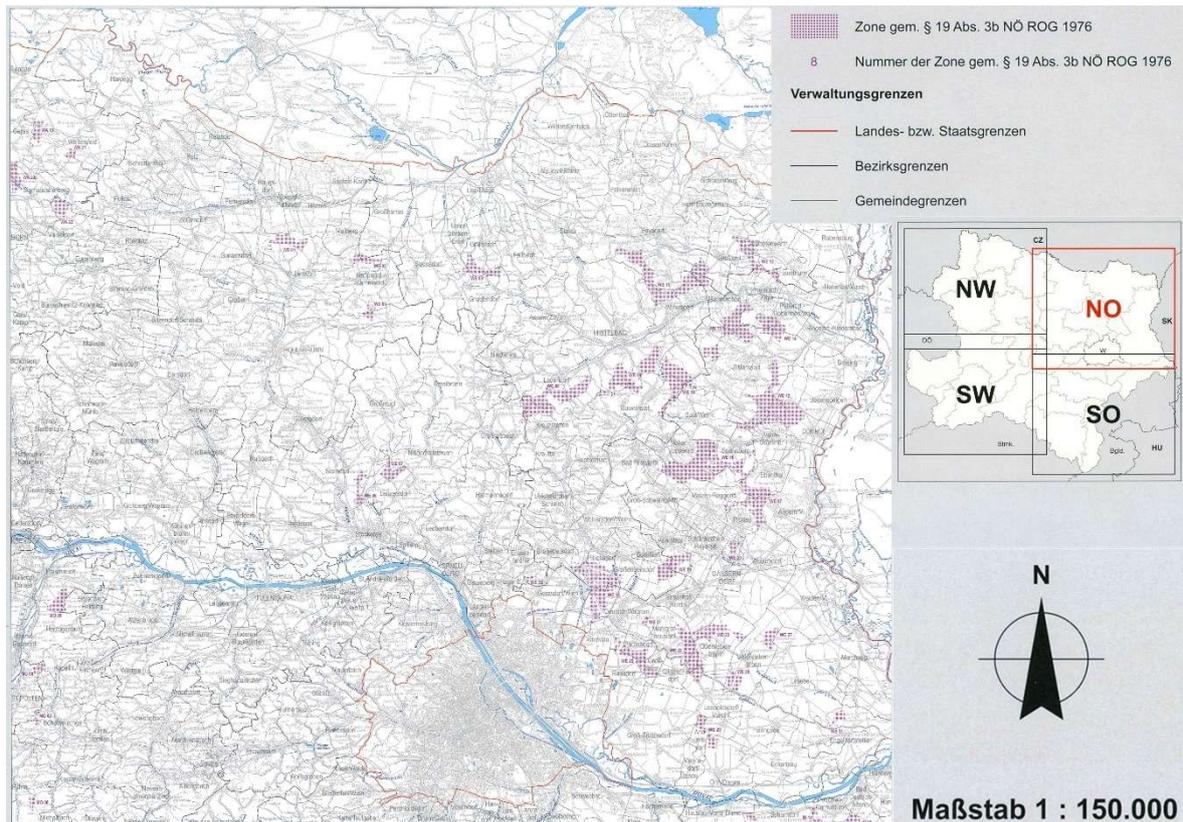


Abbildung 31: Gebiete für die Windkraftnutzung im Nordosten Niederösterreichs (Quelle: (Landesregierung, 2014), bearbeitet)

3. Windpotentialanalyse

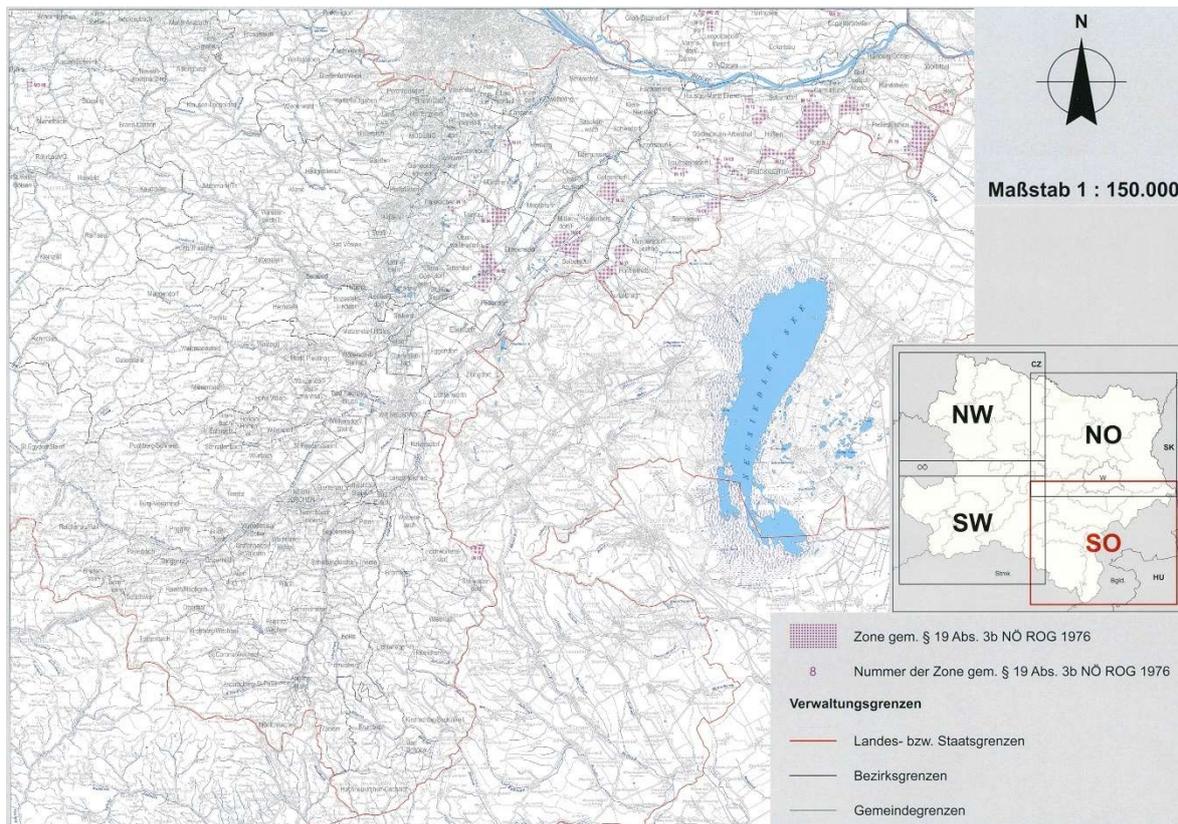


Abbildung 32: Gebiete für die Windkraftnutzung im Südosten Niederösterreichs (Quelle: (Landesregierung, 2014), bearbeitet)

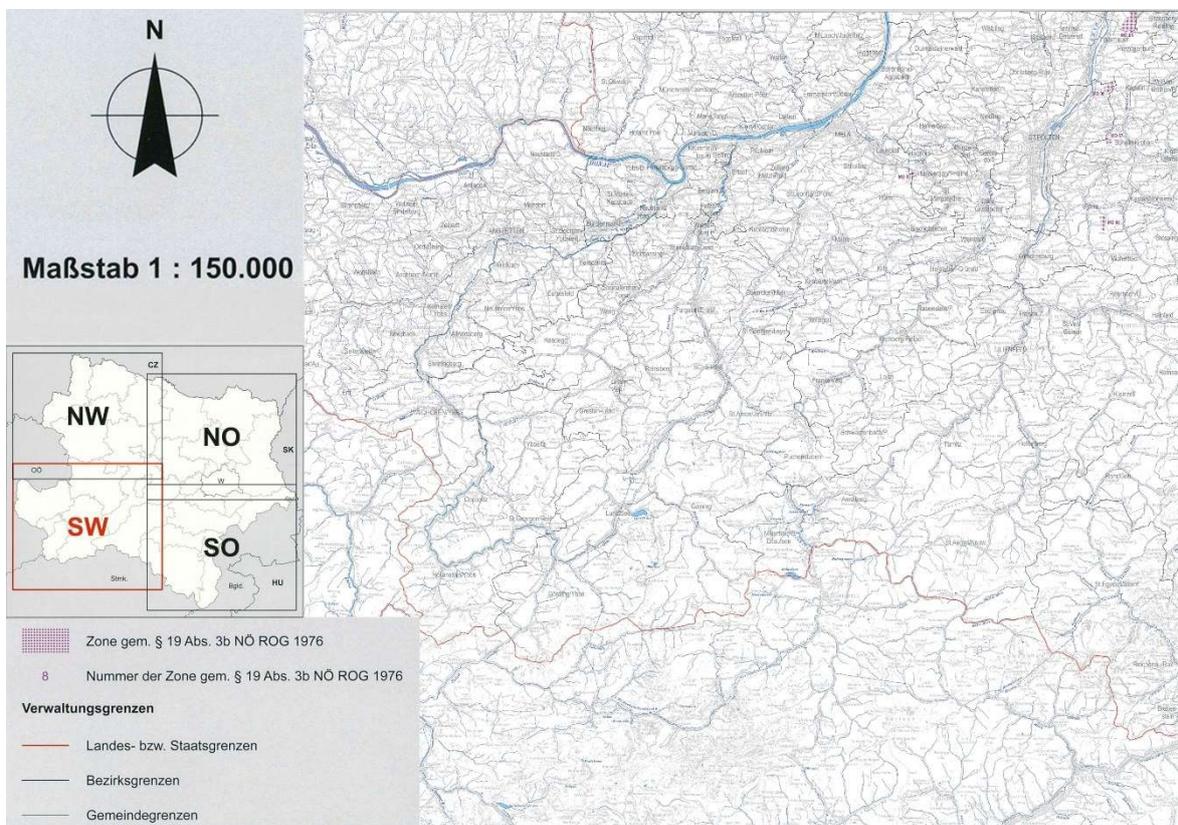


Abbildung 33: Gebiete für die Windkraftnutzung im Südwesten Niederösterreichs (Quelle: (Landesregierung, 2014), bearbeitet)

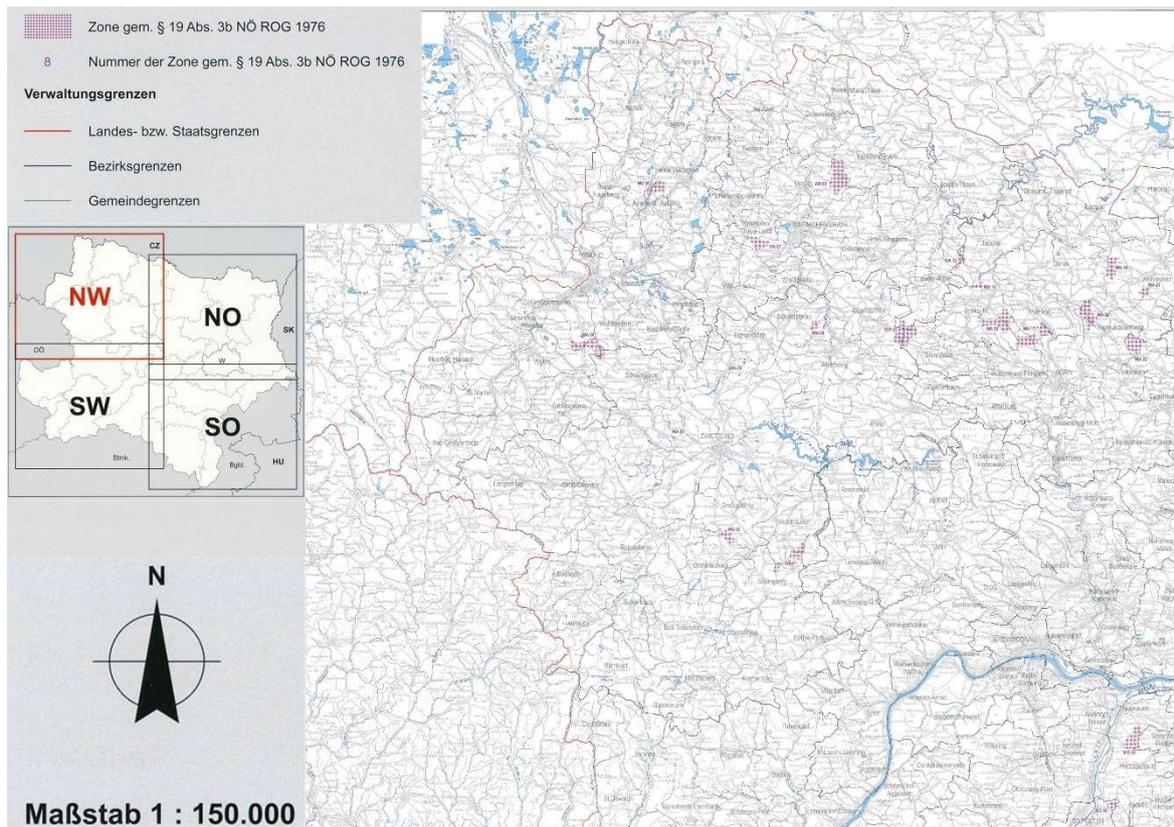


Abbildung 34: Gebiete für die Windkraftnutzung im Nordwesten Niederösterreichs (Quelle: (Landesregierung, 2014), bearbeitet)

3.2. Deutschland

Deutschland, das flächenmäßig fünftgrößte Land Europas, gehört bereits jetzt mit 48043 MW installierter Windleistung zum Vorreiter der Windkraft im europäischen Raum. Durch die flache Landschaftsstruktur im mittleren und nördlichen Bereich, sowie den Meeres- und Küstengebieten, bietet Deutschland noch viel Potential für die Forcierung des zukünftig geplanten Ausbaus.

3.2.1. Stand der Windenergie in Deutschland

Deutschland begann bereits sehr früh mit dem Ausbau der Energieerzeugung durch Windkraftanlagen. Die Basis begründeten die guten Fördermaßnahmen die von der deutschen Regierung bereits in den 90er Jahren geschaffen wurden. Der Aufschwung begann als 1991 das Stromeinspeisungsgesetz erlassen und somit die Wirtschaftlichkeit für Windanlagenprojekte gesichert wurde. Durch das Einführen des EEG, dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz, im Jahr 2000 und somit der Neureglung und Anpassung der Fördermaßnahmen, konnte die konstante Entwicklung des Ausbaus der Windenergie fortgesetzt werden. Sowie die Reformierung des EEG im

Jahre 2014 als auch der technische Fortschritt bei den Windanlagen, stellen die Wirtschaftlichkeit zukünftiger Projekte sicher um den Ausbau weiterhin in dieser kontinuierlichen Form fortzuführen (Energien, 2017).

Die Entwicklung der Windkraft in Deutschland ab 1996 ist in Abbildung 35 dargestellt.

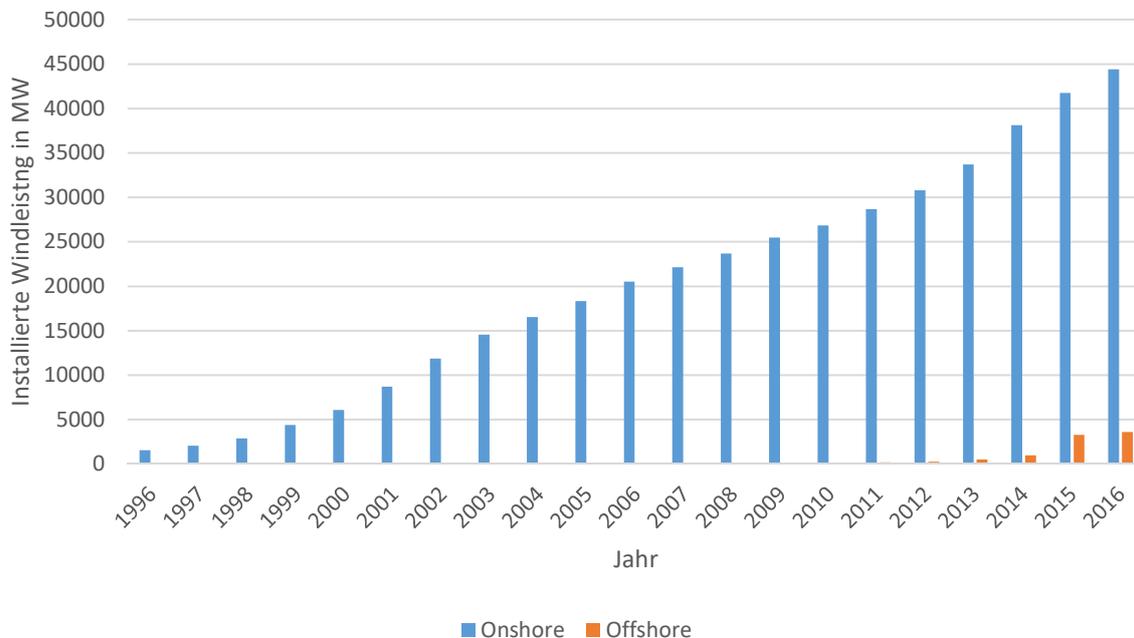


Abbildung 35: Entwicklung der Windkraft in Deutschland (Quelle: (IWES, 2017), eigene Darstellung)

Deutschland hatte mit Ende 1996 1547 MW installierte Windenergieleistung am Netz und erhöhte bis zur Einführung des EEG im Jahr 2000 diesen Wert kontinuierlich auf 6076 MW Windenergieleistung. Der jährliche Zubau der Anlagen steigerte sich daraufhin nochmals. Im Jahr 2004 gingen die ersten 5 MW Onshore Leistung an das deutsche Netz. Zehn Jahre später, bei der Reformierung des EEG, hatte Deutschland bereits 38140 MW Onshore Leistung und 999 MW Offshore Leistung installiert. Im Jahr 2015 betrug der gesamte Ausbau 5885 MW, allein 2277 MW ist davon den Offshore Anlagen zuzuschreiben. Eine detaillierte Auflistung der Zubauwerte und Stände am Ende der einzelnen Jahre ist in Tabelle 12 einzusehen (IWES, 2017).

Jahr	Anzahl der Anlagen	Onshore	Zubau Onshore	Offshore	Zubau Offshore
		MW	MW	MW	MW
1996	4290	1547	-	0	-
1997	5095	2060	513	0	0
1998	6120	2871	811	0	0
1999	7758	4379	1508	0	0
2000	9264	6076	1697	0	0
2001	11293	8700	2624	0	0
2002	13559	11883	3183	0	0
2003	15216	14543	2660	0	0
2004	16339	16526	1983	5	5
2005	17360	18337	1811	5	0
2006	18454	20517	2180	7	2
2007	19241	22134	1617	7	0
2008	20033	23688	1554	12	5
2009	20936	25492	1804	12	0
2010	21515	26849	1357	72	60
2011	22257	28668	1819	201	129
2012	22978	30807	2139	281	80
2013	24083	33699	2892	521	240
2014	25523	38140	4441	999	478
2015	27273	41748	3608	3276	2277
2016	28211	44425	2677	3618	342

Tabelle 12: Entwicklung der Windkraft in Deutschland (Quelle: (IWES, 2017), eigene Darstellung)

3.2.1.1. Stand der Onshore Windenergie

Die Entwicklung des Brutto-Zubaus der Onshore Windenergieanlagen des ersten Halbjahres 2016 ergab eine installierte Windenergieleistung von 2053,40 MW bei 726 errichteten Windanlagen. Dieser Brutto-Zubau beinhaltet auch Anlagen, welche unter das Repowering fallen. Das Repowering entfällt auf 106 Anlagen mit 308,20 MW installierter Leistung. Unter Repowering fällt in Deutschland seit dem Jahr 2014 jede Altanlage, welche durch genau eine neue Windkraftanlage ersetzt wurde. Vor dieser Änderung konnte eine moderne Windanlage mehrere Modelle älteren Typs ersetzen um als Repowering Windkraftanlage zu gelten. Nach heutigem Status wird eine solche Anlage als Neuanlage angeführt. Werden nun die im ersten Halbjahr vom Abbau betroffenen Anlagen mit berücksichtigt erhält man den Netto-Zubau, welcher einer Anlagenzahl von 579 und einer installierten Leistung von 1892,20 MW entspricht. Eine

Übersicht dieser Anlagenzahlen und Leistungen wird in Tabelle 13 angeführt (Windguard, 2016).

	Onshore Windenergieausbau	Leistung	Anzahl
		MW	
Entwicklung 1. Halbjahr 2016	Netto-Zubau	1892,20	579
	Brutto-Zubau	2053,40	726
	davon Repowering	308,20	106
	Abbau	161,21	147
Kumuliert 30.06.2016	Kumulierter Anlagenbestand	43543,70	26561

Tabelle 13: Onshore Windenergieausbau erstes Halbjahr 2016 in Deutschland (Quelle: (Windguard, 2016), eigene Darstellung)

Mit Stand 30.06.2016 waren 26561 Onshore Anlagen mit einer kumulierten Leistung von 43543,70 MW am deutschen Netz. Eine detaillierte Darstellung über die letzten 24 Jahre der Leistung aller Zugebauten und vom Abbau betroffenen Windanlagen, sowie der Anteil an Repowering zeigt Abbildung 36.

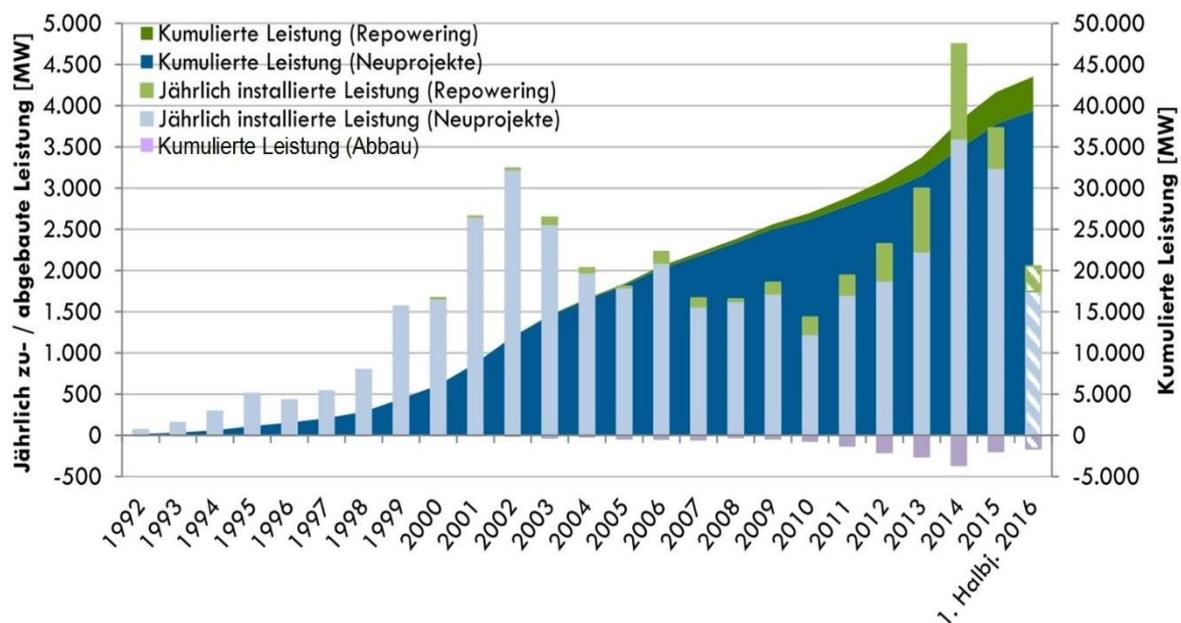


Abbildung 36: Zu- und Abbau der kumulierten und installierten Onshore Windenergieleistung (Quelle: (Windguard, 2016))

Der dunkelblaue Bereich beschreibt den Verlauf der kumuliert installierten Leistung der Neuprojekte über die Jahre und der dunkelgrüne Bereich die kumulierte Leistung der zum Repowering zu zählenden Anlagen. Hellgrün und Hellblau beschreiben die direkt in den einzelnen Jahren hinzugekommene Leistung. Das Repowering hat in den letzten 5 Jahren deutlich zugenommen, dies ist auf die technische Weiterentwicklung und auf die vermehrt wirtschaftlich nicht mehr tragbaren Altkraftwerke zurückzuführen.

Der violette Balken beschreibt in den einzelnen Jahren den Abbau vorhandener Windkraftwerke, welche nicht direkt durch neue ersetzt wurden (Windguard, 2016).

3.2.1.1.1. Entwicklung der Anlagenkonfiguration

Die durchschnittliche Anlagenleistung, welche jährlich neu installiert wurde nahm in den vergangenen 20 Jahren rasant zu. Hatte dieser 1995 noch einen Wert unter 500 kW so beläuft sich die durchschnittliche Anlagenleistung im ersten Halbjahr 2016 auf 2828 kW. Bezogen auf den kumulierten Anlagenbestand ist von einer durchschnittlich installierten Leistung von 1639 kW auszugehen. Die jährliche Entwicklung ist in Abbildung 37 dargestellt (Windguard, 2016).

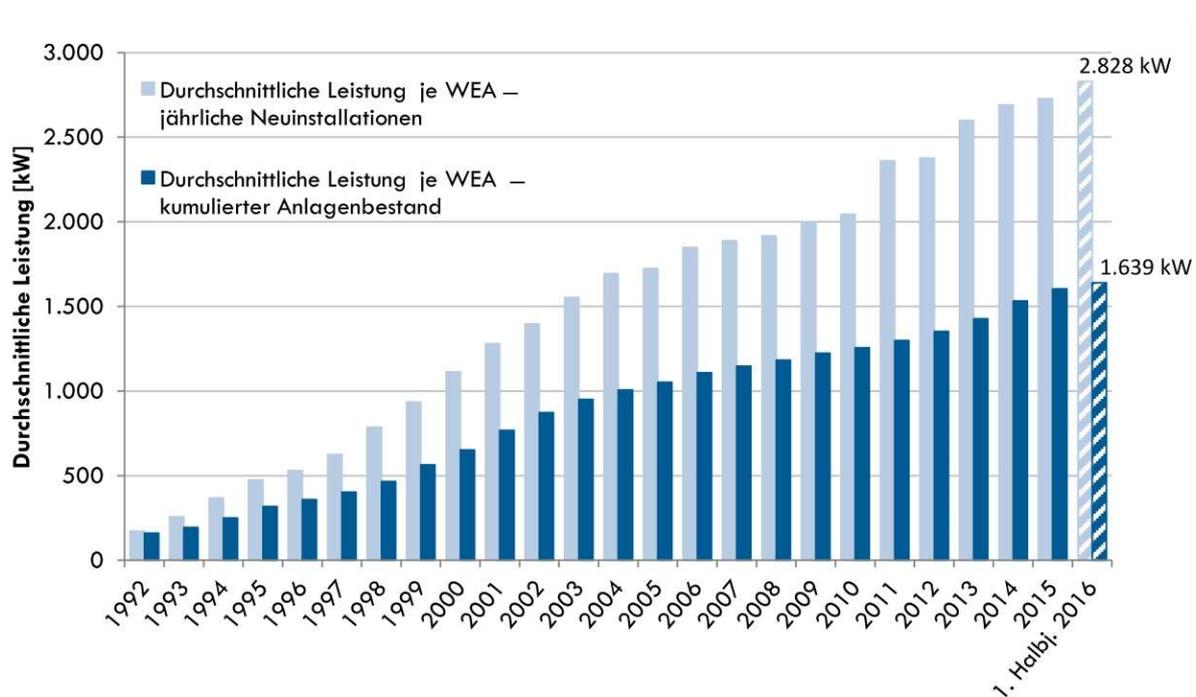


Abbildung 37: Entwicklung der Windanlagenleistung in Deutschland (Quelle: (Windguard, 2016))

Abbildung 37 beschreibt den kontinuierlichen Anstieg der durchschnittlichen Leistung pro Windkraftanlage an Land. Jedes Jahr ist ein Zuwachs der Anlagenleistung zu verzeichnen, selbiges gilt für die Nabenhöhe und den Rotordurchmesser. Die Steigerung des Verhältnisses der Rotorfläche bezogen auf die Anlagenleistung nahm in den letzten Jahren jedoch ab. Dies spiegelt sich in der durchschnittlichen Flächenleistung wieder, welche im ersten Halbjahr 2016 313 W/m² betrug. Die zusammengefasste durchschnittliche Anlagenkonfiguration ist in Tabelle 14 dargestellt. Diese bezieht sich auf die in dem jeweiligen Bundesland installierten Anlagen im ersten Halbjahr 2016 (Windguard, 2016).

Bundesland	Ø Anlagenleistung	Ø Rotor-durchmesser	Ø Nabenhöhe	Ø Spezifische Flächenleistung
	MW	m	m	W/m ²
Niedersachsen	2925	109	134	322
Schleswig-Holstein	2930	102	98	374
Mecklenburg-Vorpommern	3089	108	131	338
Bremen	3000	115	149	289
Hamburg	0	0	0	0
Brandenburg	2758	110	134	300
Sachsen-Anhalt	2623	101	119	328
Nordrhein-Westfalen	2705	103	129	335
Hessen	2825	117	139	264
Thüringen	3000	112	134	304
Sachsen	2350	92	98	354
Berlin	0	0	0	0
Rheinland-Pfalz	2744	114	137	276
Bayern	2683	114	140	264
Baden-Württemberg	2773	119	141	249
Saarland	3300	126	137	265
	2828	109	129	313

Tabelle 14: Durchschnittliche Onshore Anlagenkonfiguration im 1. Halbjahr 2016 in Deutschland (Quelle: (Windguard, 2016), eigene Darstellung)

In diesem Zeitraum wurde die höchste durchschnittliche Anlagenleistung im Saarland mit 3300 kW und die niedrigste durchschnittliche Anlagenleistung im Bundesland Sachsen mit 2350 kW verzeichnet. Die Anlagen mit der größten durchschnittlichen spezifischen Flächenleistung wurden in Schleswig-Holstein mit einem Wert von 374 W/m² errichtet. Diese Angaben müssen jedoch in Relation zur Anzahl der in den jeweiligen Bundesländern errichteten Windkraftanlagen gesehen werden (Windguard, 2016).

3.2.1.1.2. Regionale Verteilung

Die deutschen Bundesländer im Norden, zum einen Niedersachsen mit 8957 MW und Schleswig-Holstein mit 6149 MW, sind jene mit den meisten kumuliert installierten Windenergieleistungen. Diese beiden Länder sind es auch, die im ersten Halbjahr 2016 den meisten Zubau zu verzeichnen hatten. Des Weiteren folgen Brandenburg mit 6099 MW und Sachsen-Anhalt mit 4689 MW. Generell vereinen die Bundesländer

Mitteldeutschlands die meiste installierte Leistung von 18969 MW mit Stand 30.06.2016. Mit 18348 MW kommen die norddeutschen Bundesländer auf einen ähnlichen Wert, Schlusslicht ist der Süden mit nur 6227 MW kumuliert installierter Leistung. Tabelle 15 zeigt die kumulierte Leistung aufgeteilt nach den einzelnen Bundesländern und deren Zubau bis Ende Juni 2016 (Windguard, 2016).

Region	Bundesland	Stand 30.06.2016		1. Halbjahr 2016	
		Kumulierte Leistung	Kumulierte Anzahl	Brutto Zubau Leistung	Brutto Zubau Anlagen
		MW		MW	
Norden	Niedersachsen	8957	5783	421,20	144
	Schleswig-Holstein	6149	3498	322,25	110
	Mecklenburg-Vorpommern	3006	1819	129,75	42
	Bremen	174	85	3,00	1
	Hamburg	62	53	0,00	0
Mitte	Brandenburg	6099	3551	253,70	92
	Sachsen-Anhalt	4689	2731	91,80	35
	Nordrhein-Westfalen	4319	3256	248,90	92
	Hessen	1477	918	90,40	32
	Thüringen	1242	763	42,00	14
	Sachsen	1134	881	2,35	1
	Berlin	9	4	0,00	0
Süden	Rheinland-Pfalz	2997	1561	71,35	26
	Bayern	2067	1002	174,40	65
	Baden-Württemberg	880	515	185,80	67
	Saarland	283	141	16,50	5
		43544	26561	2053,40	726

Tabelle 15: Regionale Verteilung der kumulierten Onshore Leistung mit Stand 30.06.2016
(Quelle: (Windguard, 2016), eigene Darstellung)

3.2.1.2. Stand der Offshore Windenergie und zukünftige Entwicklung

Am Ende des Jahres 2016 speisten 947 OWEA (Offshore Windenergieanlagen) mit einer kumulierten Leistung von 4108,3 MW in das deutsche Netz ein. Weitere 21 Anlagen mit insgesamt 122,7 MW waren bereits errichtet, jedoch ohne einen Zugang an das Stromnetz. Zudem standen 198 Fundamente für weitere OWEA bereit. Der Zubau betrug bei 156 Anlagen mit 818 MW im Jahr 2016. Eine entsprechende Auflistung stellt Tabelle 16 dar (Windguard, 2017).

	Regionale Verteilung	Nordsee		Ostsee		Gesamt	
		Leistung	Anzahl	Leistung	Anzahl	Leistung	Anzahl
		MW		MW		MW	
Zubau 2016	OWEA mit Netzeinspeisung	818,0	156	0,0	0	818,0	156
	Leistungsänderungen	1,1	6	0,0	0	1,1	6
	Installierte OWEA ohne Netzeinspeisung	122,7	21	0,0	0	122,7	21
	Fundamente ohne OWEA		127		67		194
	Rückbau von OWEA	5,0	1	0,0	0	5,0	1
Ende 2016	OWEA mit Netzeinspeisung	3769,5	845	338,8	102	4108,3	947
	Installierte OWEA ohne Netzeinspeisung	122,7	21	0,0	0	122,7	21
	Fundamente ohne OWEA		131		67		198

Tabelle 16: Zubau und Stand der Offshore Windenergie mit 31.12.2016 (Quelle: (Windguard, 2017), eigene Darstellung)

Der gesamte Zubau für 2016 fällt auf die OWEA der Nordsee. An der Ostsee wurden keine neuen Anlagen angeschlossen. Bezogen auf den Gesamtbestand liegt die Mehrheit der Anlagen klar in der Nordsee. Von den 947 OWEA fallen 845 auf die Nordsee und nur 102 auf das Gebiet der Ostsee und diese liefern auch nur 338,8 MW Leistung der gesamten Offshore Einspeisung. Die Entwicklung der Offshore Windenergie in Deutschland wird in Abbildung 38 dargestellt.

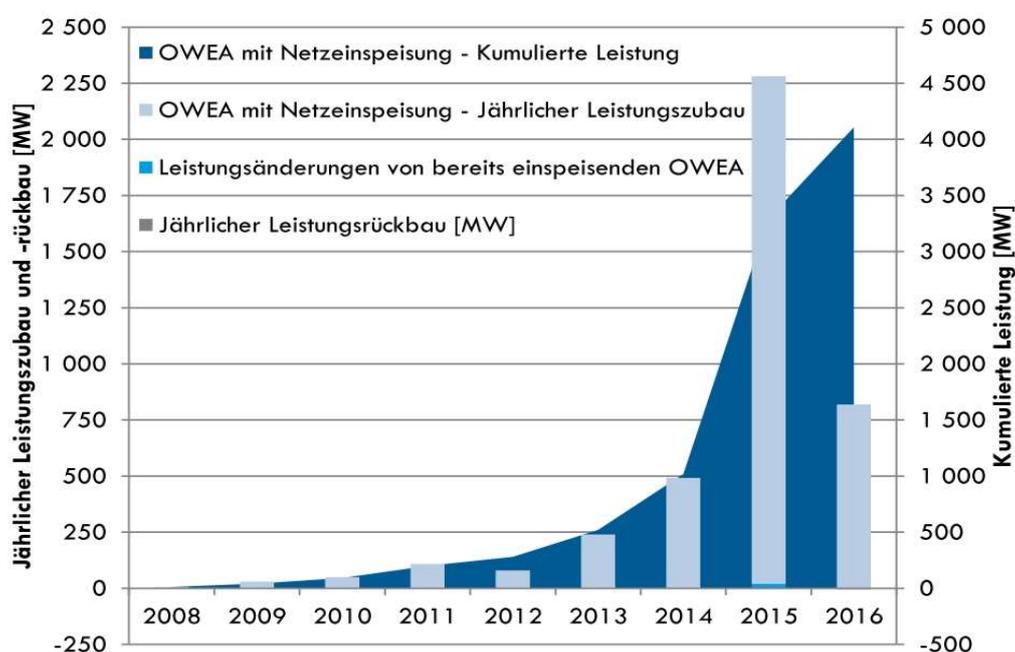


Abbildung 38: Offshore Windenergieentwicklung in Deutschland (Quelle: (Windguard, 2017))

Im Jahr 2008 wurde in Deutschland mit der Errichtung von Windenergieanlagen auf See begonnen. In den Folgejahren konnte ein kontinuierlicher Ausbau vorgenommen werden. Ab dem Jahr 2013 wurden starke Anstiege in der jährlich installierten Leistung verzeichnet. Besonders hoch war der Ausbau im Jahr 2015, in welchem auch durch Nachholeffekte, begründet durch das Netz, viele Anlagen mit einer gesamten Leistung von mehr als 2272 MW an das Netz angeschlossen werden konnten. Im direkten Vergleich zum Rekordjahr 2015, wurden 2016 um etwa 1454 MW Leistung weniger an das Netz gebracht. Jedoch erfuhr man eine Steigerung gegenüber zum Jahr 2014 von etwas mehr als 492 MW, wodurch sich der Trend zum gesteigerten Ausbau wieder fortführt (Windguard, 2017).

3.2.1.2.1. Anlagenkonfiguration

Die durchschnittliche Anlagenkonfiguration der OWEA ist eine wesentlich höhere als bei den Windenergieanlagen an Land. Dies ist zum einen durch die wesentlich besseren Windsituationen auf See zurückzuführen, welche Generatoren mit höheren Nennleistungen zulassen, zum anderen dadurch, dass der Ausbau der Offshore Windenergie erst viel später begonnen hat, wodurch auf neuere Technologien zurückgegriffen werden konnte. Die kumulierte durchschnittliche Anlagenleistung betrug im Jahr 2016 4318 kW, wohingegen diese bei den Onshore Windanlagen nur 2828 kW zum Zeitpunkt des 30.06.2016 betrug. Einen sehr hohen durchschnittlichen Anlagenleistungswert von 5244 kW verzeichneten die 2016 neu einspeisenden OWEA. Ebenso verfügen diese Anlagen über recht große Rotordurchmesser, im Schnitt 145 m. Eine detaillierte Darstellung der durchschnittlichen Anlagenkonfiguration zeigt Tabelle 17 (Windguard, 2017).

	Ø Anlagenleistung	Ø Rotor-durchmesser	Ø Nabenhöhe	Ø spezifische Flächenleistung
	kW	m	m	W/m²
Zubau 2016	5244	145	104	314
Kumuliert (Ende 2016)	4318	123	91	362

Tabelle 17: Durchschnittliche Offshore Anlagenkonfiguration in Deutschland (Quelle: (Windguard, 2017), eigene Darstellung)

3.2.1.2.2. Windenergieprojekte

Im deutschen Hoheitsgebiet und AWZ, der ausschließlichen Wirtschaftszone, sind mit Stand Ende 2016 mehrere Projekte in Arbeit. Neben den Windparks, die bereits

installiert und in Betrieb sind, befinden sich mehrere Parks mit einer Gesamtleistung von 1198 MW in Bau. Weitere Windparks mit in Summe einer Leistung von 1206 MW, für die Investitionsentscheidungen bereits vorliegen, sind in Vorbereitung. Abbildung 39 stellt die derzeitigen Gebiete von Deutschen Windparks dar (Windguard, 2017).

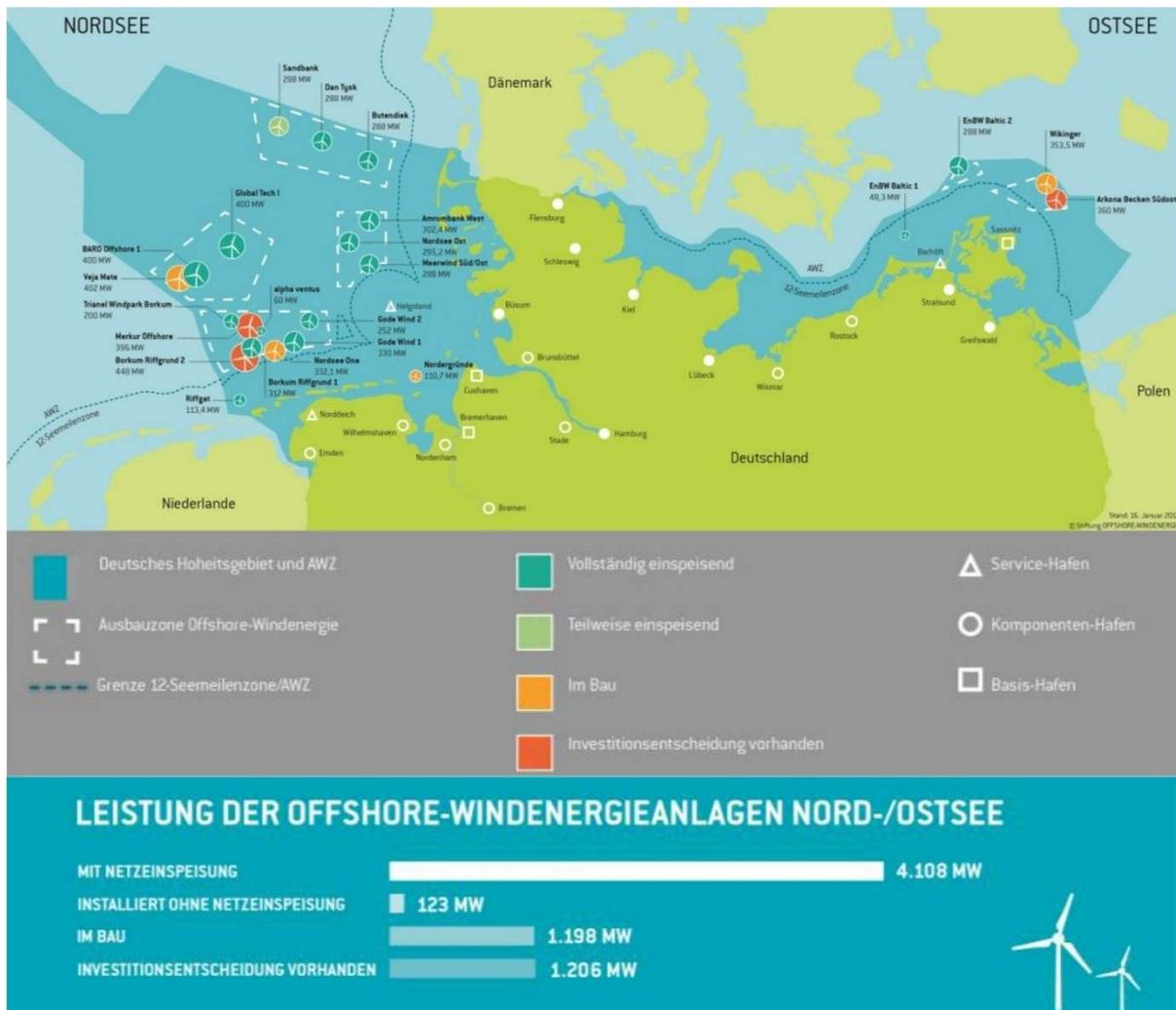


Abbildung 39: Offshore Windparkkarte Deutschlands, Stand 31.12.2016 (Quelle: (Windguard, 2017), bearbeitet)

3.2.2. Meteorologische Windgegebenheiten

Das geografische Profil Deutschlands bietet für die Windenergieerzeugung Gebiete jeglicher Form. Zugang zum Meer für Offshore Windparks, flache Küstengebiete und weite Ebenen in Norddeutschland. Ein Mitteldeutschland mit ebenen Flächen und Hügeln die Ebenso für Windanlagen prädestiniert sind wie der Norden. Und im Süden des Bundesgebietes ein Voralpengebirge, mit zum Teil ebenen Beckenlagen. Die somit vorherrschenden mittleren Jahreswindgeschwindigkeiten in einer Höhe von 100 m über Grund werden in Abbildung 40 dargestellt.

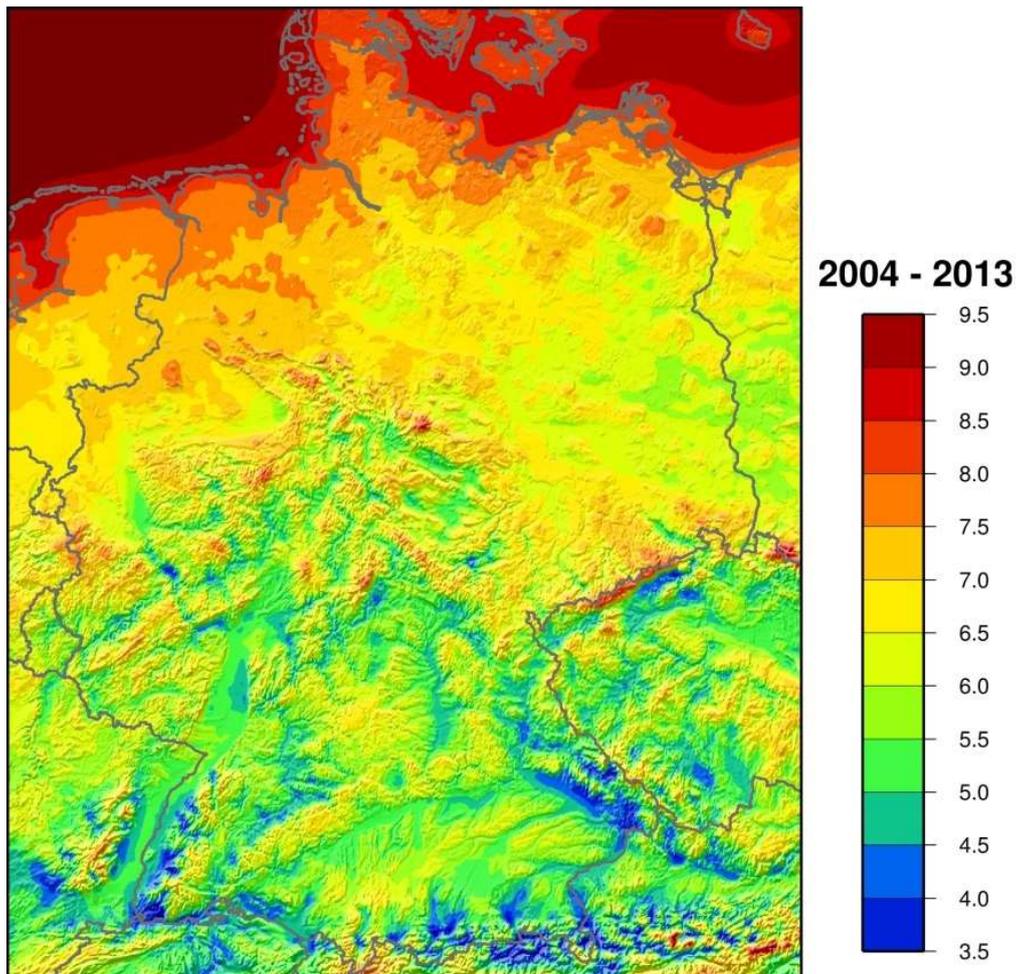


Abbildung 40: Mittlere Jahreswindgeschwindigkeiten 100 m über Grund in Deutschland von 2004 bis 2013 in m/s (Quelle: (IWES, 2014))

Die Küste und der Meereszugang der Nordsee und Ostsee bieten ideale Verhältnisse für große Offshore Windparks. Dort kann mit mittleren Windgeschwindigkeiten von 9,5 m/s gerechnet werden. Weiteres der flache Norden Deutschlands der von den Meereswindströmungen profitiert. Hier sind mittlere Geschwindigkeiten von 7,5 m/s bis 8,5 m/s zu erwarten. In Mitteldeutschland kommen vereinzelt in höheren Lagen ebenso derartige Windverhältnisse vor. In den südlichen Landesteilen sieht man deutlich eine Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeiten, bedingt durch die bereits vorhandene Berg- und Talstruktur, vor allem im Freistaat Bayern. Diese Gebiete weisen noch mittlere Windgeschwindigkeiten von etwa 4,5 m/s bis 5,5 m/s auf. Nur in den südlichsten Beckengebieten um München und Augsburg werden noch etwas höhere Windgeschwindigkeiten erwartet. Das Deutsche Institut für Bauwesen teilte die Republik Deutschland aufgrund dieser vorherrschenden Windgegebenheiten in vier Windzonen ein. Diese sind in einer Karte in Abbildung 41 dargestellt.

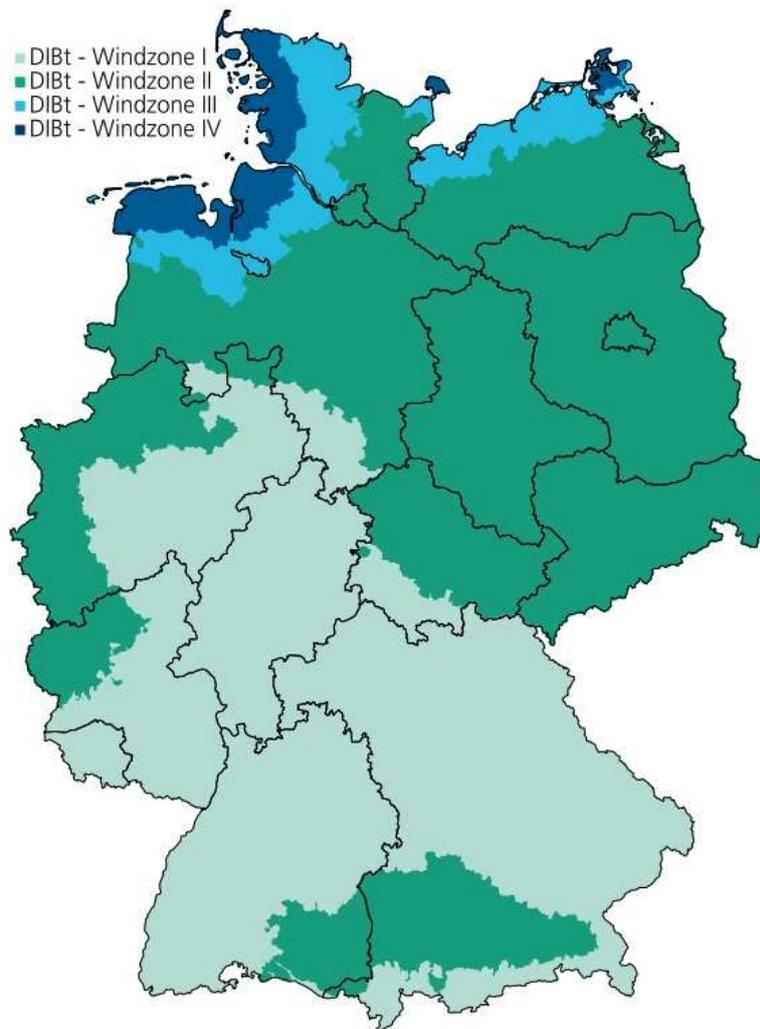


Abbildung 41: Windzonen des Deutschen Instituts für Bauwesen (DIBt) (Quelle: (IWES, 2015))

Zur Windzone III und Windzone IV zählen Küsten, Küstennahe Gebiete und Inseln, welche auch zu Beginn des Ausbaus der Windenergie als erstes genutzt wurden. Windzone II beschreibt klassische Binnenstandorte und als Windzone I wurden Schwachwindgebiete klassifiziert. Diese Zonierung deckt sich auch gut mit Abbildung 40 der Karte über die mittleren Jahreswindgeschwindigkeiten (IWES, 2015).

3.2.3. Ausbaupotential Onshore

In der Studie „Potential der Windenergienutzung an Land“ wurde die Annahme, dass 2% des deutschen Bundesgebietes als Flächen für die Windkraftnutzung geeignet sind überprüft. Als Ausgangsbasis dienten GIS-Daten eines statistischen Windmodells im 1000 m mal 1000 m Raster in 80 m über Grund. Mit diesem konnten Flächen festgelegt werden, wo Windkraft einsetzbar ist oder nicht. Demgegenüber wurden Ausschlussflächen auf Basis von Oberflächenbedeckungsdaten und geospezifische

Informationen über Schutzgebiete, Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen definiert und eventuell sich überschneidende Gebiete ausgeschlossen. Diese Gebiete wurden zudem um entsprechende zusätzliche Zonen erweitert, wie zum Beispiel um Siedlungen. Vorab ausgenommen und nicht als geeignete Gebiete wurden Gletscher, Gebiete mit Gezeiteinfluss, sämtliche Gewässer, Naturschutzgebiete und Nationalparks erklärt. Örtliche Topologien wie Hangneigungen, Grenzen, oder andere Einflüsse spielten als Ausschlusskriterien keine Rolle. Die erhaltenen Flächen für Windkraftnutzung konnten nun in Kategorien eingeteilt werden. Dies wären erstens Flächen ohne Restriktion, darunter fallen Gebiete der Landwirtschaft. Zweitens Flächen in Waldgebieten, dazu gehören sämtliche Formen von Bewaldung und drittens Flächen in Schutzgebieten in Form von Naturparks, Landschaftsschutzgebiete Habitats sowie Biosphärenreservate. Die Auswertung der Daten mit den beschriebenen Kriterien ergibt wie in Abbildung 42 erfasst folgendes Bild (Windenergie, 2011).

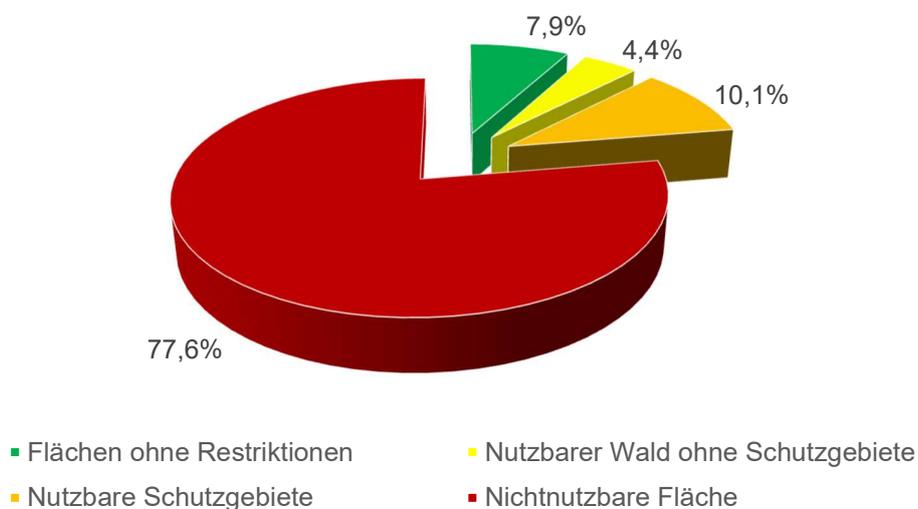


Abbildung 42: Anteile nutzbarer Flächen für Windenergie (Quelle: (Windenergie, 2011), eigene Darstellung)

Der Anteil an nichtnutzbarer Fläche des deutschen Bundesgebietes beträgt 77,6 %. Flächen ohne Restriktionen beschränken sich auf 7,9 %. Windflächen die theoretisch nutzbar wären, sich aber in Waldgebieten befinden, kommen auf 4,4 %. Weitere 10,1 % nutzbare Flächen liegen, in als Schutzgebiete ausgewiesene Landflecken. Eine Gesamtschau über die jeweiligen Flächen in der Deutschlandkarte wird in Abbildung 43 dargestellt (Windenergie, 2011).

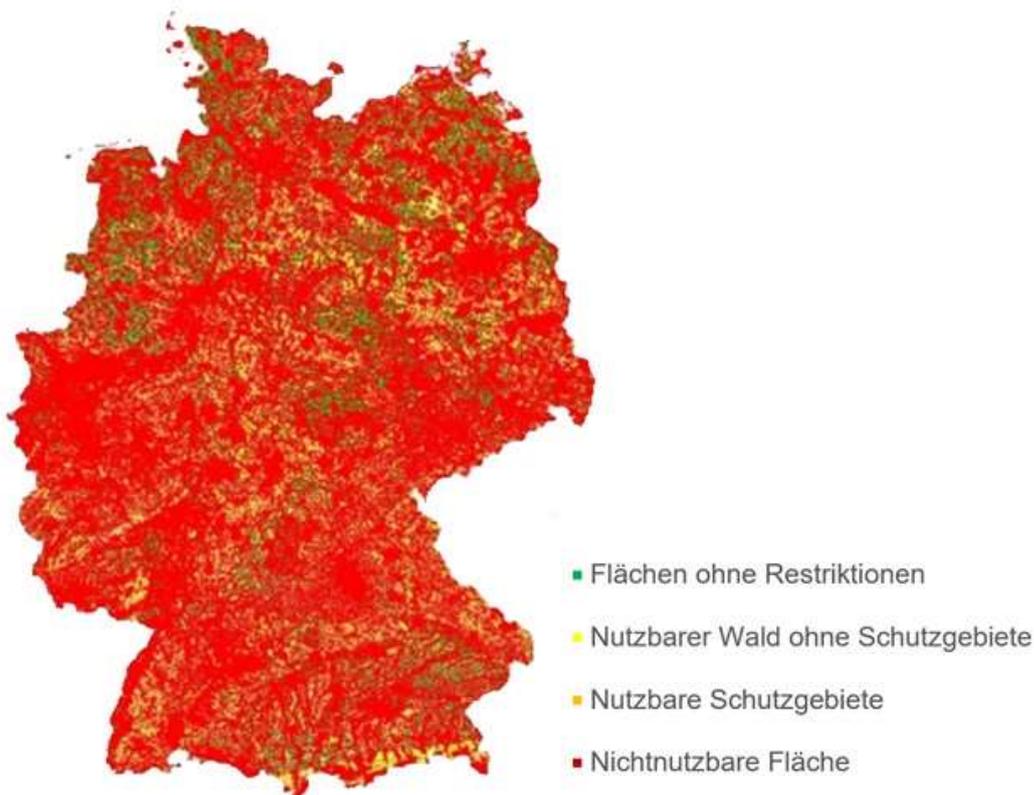


Abbildung 43: Deutschlandkarte mit nutzbaren Flächen für die Windenergie (Quelle: (Windenergie, 2011), bearbeitet)

Weiterführend erfolgte eine energetische Analyse, von welchen das Potential in Form von einer möglichen installierten Leistung ermittelt wurde. Als Basis dienten jene zuvor ermittelten nutzbaren Flächen. Die Windflächen wurden entsprechend ihres potentiellen Ertrages mit Windanlagen, unter den technischen Kriterien heutiger Windanlagenstandards, belegt. Bereiche mit den besten Voraussetzungen wurden als erstes besetzt. Aufbauend auf dieser ersten Anlage, wurde mit dem erforderlichen Mindestabstand von vier Rotordurchmessern der nächstgelegene beste Bereich mit einer Anlage besetzt und so weiter. Um die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten musste die Anlagenkonfiguration eine Volllaststundenzahl von 1600 h erreichen. Ausgehend von einer 3 MW Nennleistungsanlage, Nabenhöhe und Rotordurchmesser von 100 m mit somit einem Rotor-Generatorverhältnis von $2,6 \text{ m}^2/\text{kW}$, musste die Anlage diese Volllaststundenzahl erreichen. War der entsprechende Windstandort dafür nicht ausreichend, wurde als Alternative eine Schwachwindanlage mit einer Nabenhöhe von 150 m und einem Rotor-Generatorverhältnis von $3,5 \text{ m}^2/\text{kW}$ verwendet. Konnte die Schwachwindanlage die geforderte Volllaststundenzahl nicht erreichen, wurde der Windbereich für nicht nutzbar erklärt. Durch diese Annahmen und Simulationen der Windanlagen konnten die zuvor definierten Kategorien für nutzbaren Flächen weiter in

Gebiete für Stark- und Schwachwindanlagen unterteilt werden. Abbildung 44 stellt diese in der Deutschlandkarte dar (Windenergie, 2011).

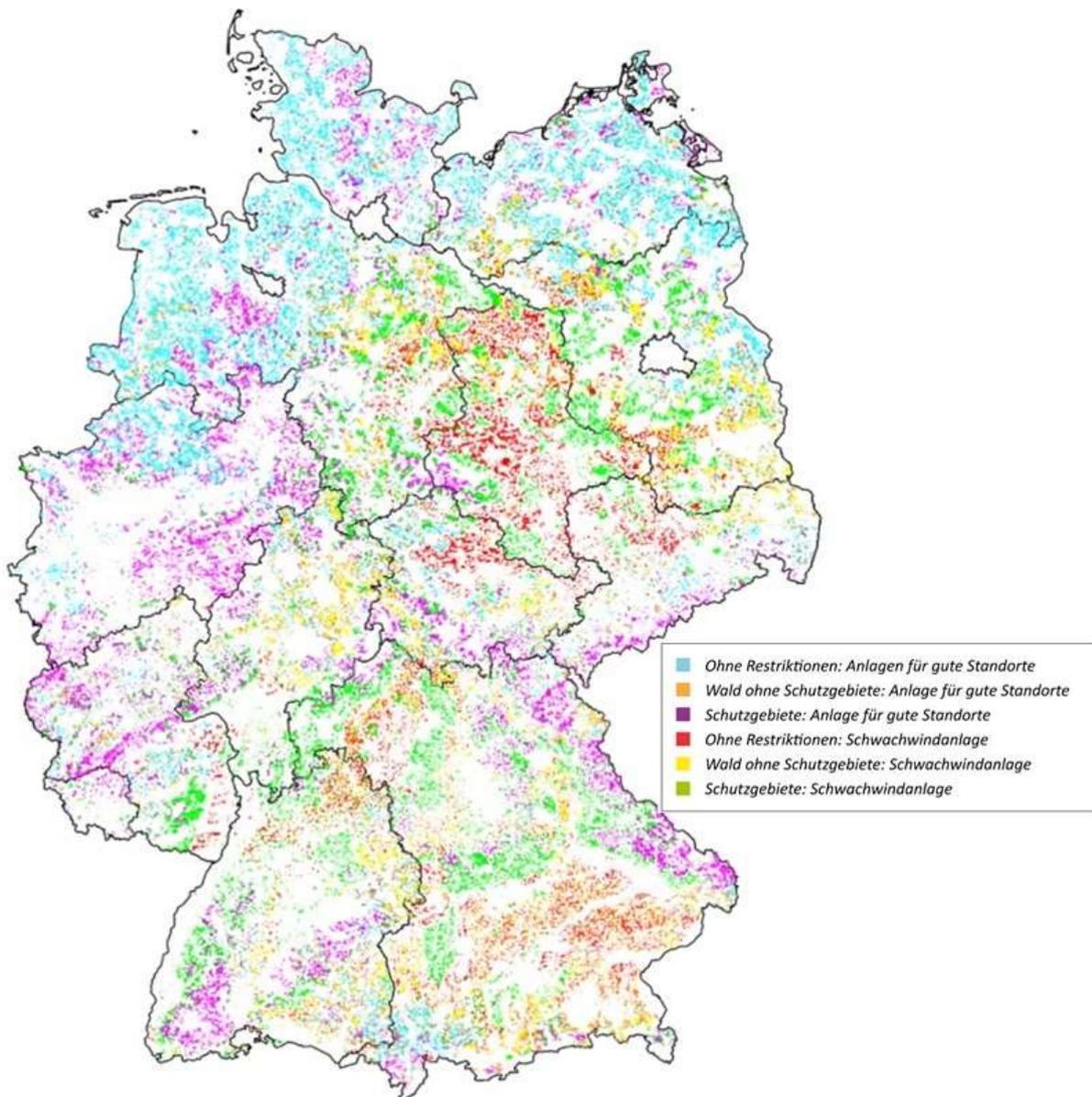


Abbildung 44: Flächen für Stark- und Schwachwindanlagen in Deutschland (Quelle: (Windenergie, 2011), bearbeitet)

Es zeigt sich, dass vor allem im Norden Deutschlands viele gute Standorte für Windkraftanlagen befinden, die die aufgestellten Kriterien erfüllen. Standorte für Schwachwindanlagen größtenteils im mitteldeutschen Bereich und im südlichen Bayern. Werden diese Flächen nun mit Anlagen, mit den zuvor festgelegten technischen Parametern bestückt, so können auf die in etwa 28116 km², also der nutzbaren Fläche von 7,9 % Deutschlands, eine Gesamtzahl von 240562 Windkraftanlagen errichtet werden. Diese hätten eine installierte Gesamtleistung von

722 GW. Unter Berücksichtigung der am Anfang getroffene Annahme, dass nur 2 % der Gesamtfläche letztendlich tatsächlich nutzbar sind, so ergibt dies immer noch, bei einer Anlagenzahl von 62839, ein ordentliches Potential von 189 GW installierbarer Leistung. Bezieht man nun auch die nutzbaren Wald- und Schutzgebiete mit ein und platziert auch an diesen Windanlagen, so würde die installierte Leistung ca. 1500 GW betragen. In Tabelle 18 werden diese Werte in zusammengefasster Form dargestellt (Windenergie, 2011).

	Anteil an der Gesamtfläche	Installierbare Leistung
	%	GW
Nutzbare Flächen	22,4	1500
Flächen ohne Restriktionen	7,7	722
	2	189

Tabelle 18: Maximales abgeschätztes Potential in Deutschland (Quelle: basierend auf Daten von (Windenergie, 2011))

3.2.3.1. Potentialflächen im Bundesland Niedersachsen

Dieses Kapitel beschreibt das Flächenpotential des Bundeslandes Niedersachsen. Repräsentativ für die 15 weiteren Bundesländer erfolgt eine Auswertung der Ergebnisse der Studie „Potential der Windenergienutzung an Land“ für Niedersachsen. Die Vorgehensweise und die angewendeten Kriterien werden bereits im Kapitel 3.2.3. erläutert. Die Karten mit den erhobenen Nutzungsflächen, welche in dieser Analyse für alle Länder hervorgingen, sind für alle deutschen Bundesländer verfügbar.

Das norddeutsche Bundesland Niedersachsen bietet gute Voraussetzungen für die Energieerzeugung aus Windkraft. Auf einer Gesamtfläche von 47752 km² gibt es vor allem im Osten große Gebiete mit ebenen Flächen, flache Küstengebiete und somit hohe Windgeschwindigkeiten im Jahresmittel. Im Detail ergab sich aus der Studie, dass 12,3 % der Flächen, ausgehend von der Gesamtfläche, ohne Restriktionen sind. Dies entspricht 5887 km². Waldflächen die für die Windkraft nutzbar wären kommen auf eine Größe von 1712 km², was 3,6 % der Gesamtfläche Niedersachsens entspricht. Inkludiert man die 9,9 %, umgerechnet 4705 km², die auf nutzbare Schutzgebiete entfallen, so erhält man eine gesamte nutzbare Fläche von 25,8 % oder 12305 km². Die Anteile und Gebietsgrößen sind in Tabelle 19 dargestellt (Windenergie, 2011).

	Fläche	Anteil an der Gesamtfläche
	km ²	%
Gesamtfläche	47752	100
Fläche ohne Restriktionen	5887	12,3
Nutzbarer Wald (ohne Schutzgebiet)	1712	3,6
Nutzbare Schutzgebiete	4705	9,9
Nutzbare Gesamtfläche	12305	25,8
Nichtnutzbare Fläche	35447	74,2

Tabelle 19: Nutzbare Flächen für Windenergie in Niedersachsen (Quelle: (Windenergie, 2011))

Die nutzbare Gesamtfläche wurde des Weiteren auf gute Standorte für Starkwindanlagen und in Standorte, für welche Schwachwindanlagen geeignet wären, unterteilt und in eine grafische Darstellung gebracht, siehe Abbildung 45.

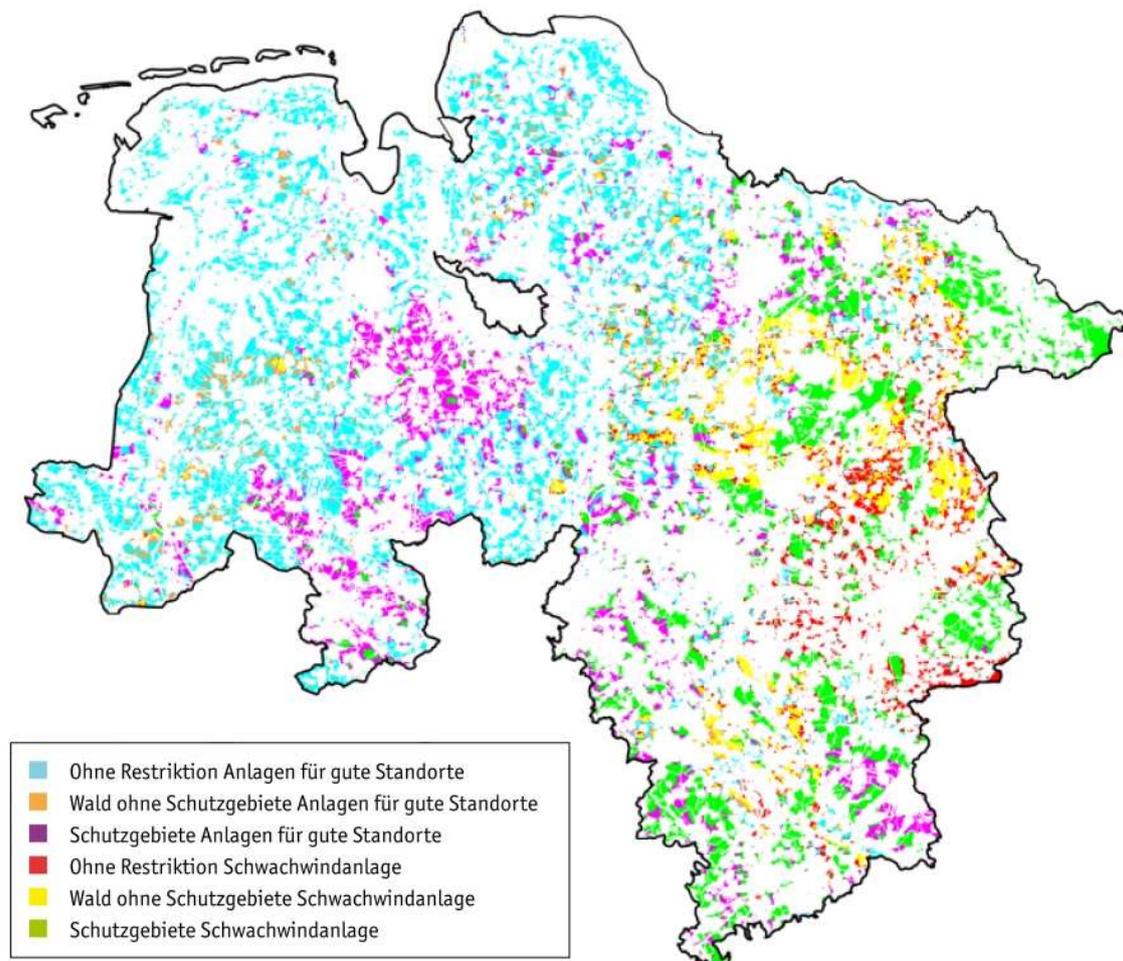


Abbildung 45: Flächen für Stark- und Schwachwindanlagen in Niedersachsen (Quelle: (Windenergie, 2011), bearbeitet)

Das Bundesland zeigt sich gespalten in Bezug auf die einzusetzende Technologie. Im Westen finden sich hauptsächlich Gebiete, die für Starkwindanlagen geeignet sind. Im

Osten zeigt sich ein entgegengesetztes Bild. Der Großteil der nutzbaren Flächen in der Osthälfte des Landes muss auf Schwachwindanlagen zurückgreifen um die mindestens geforderten 1600 Volllaststunden zu erreichen. Aus der erfolgten Energieberechnung und Platzierung von Windanlagen auf 2 % der nutzbaren Fläche, konnte die installierbare Leistung für Niedersachsen ausgewertet werden. Diese beträgt 26 GW. Bei einem Mittel von 2146 Volllaststunden der Anlagen würde dies einen potentiellen Energieertrag von 56 TWh ergeben (Windenergie, 2011).

3.2.3.1.1. Landkreis Diepholz

Das neue und überarbeitete Regionale Raumordnungsprogramm (RROP) des Landkreises Diepholz trat im Juni 2016 in Kraft. Dieses basiert auf dem Niedersächsischen Landesraumordnungsprogramm (LROP). Im Landesraumordnungsprogramm wurden unter anderem auch Raumordnungsvorschriften für den Bereich Energie festgelegt. Bestimmungen für die Landkreise zur Definierung von Vorrangzonen für Windkraftanlagen wurden vorgegeben. Diese dienen als Grundlage für die Regionalen Raumordnungsprogramme der Landkreise. Diepholz wird hier repräsentativ für die anderen Landkreise näher ausgeführt. Eine Detailanalyse aller 37 Landkreise des Bundeslandes Niedersachsen und eine Auswertung aller Vorrangzonen für Windanlagen würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen (Kreisentwicklung, 2016).

Die Definition für zulässige und auszuschließende Flächen wurde zudem an die Gegebenheiten des Landkreises Diepholz angepasst und erweitert. Eine Nutzung von Wäldern ist für die Windenergie, aus klimaökologischer Betrachtung und aufgrund der vielfältigen anderen Benutzung der Waldgebiete, nicht zulässig. Mindestabstände von 500 m sind zu Siedlungsgebieten und Wohngebäuden erforderlich, und Abstände von Windanlagen zu Schutzzonen müssen dem Schutzzweck entsprechende Entfernungen sicherstellen. Neben den auszuschließenden Gebieten, die in Tabelle 20 angeführt sind, sollen zum Schutz des Landschaftsbildes Mindestabstände vom 3000 m zwischen einzelnen raumbedeutsamen Windparks eingehalten werden (Kreisentwicklung, 2016).

Gebiete, die für die Windkraftnutzung auszuschließen sind
<ul style="list-style-type: none"> - Natur- und Landschaftsvorranggebiete - Landschaftsschutzgebiete - EU Vogelschutzgebiete - Vorranggebiete mit Freiraumfunktion - Vorranggebiete ruhige Erholung in Natur und Landschaft - Vorranggebiete für Erholung - Vorranggebiete für die Rohstoffgewinnung - Haupteisenbahnstrecken (für elektrischen Betrieb); Mindestabstand: zweifacher Rotordurchmesser - Autobahn; Mindestabstand: Kipphöhe - Hauptverkehrsstraße; Mindestabstand: Kipphöhe - Regionalstraßen; Mindestabstand: Kipphöhe - Fernwasserleitungsvorranggebiete - Hauptwasserleitungsvorranggebiete - Vorranggebiete für Leitungstrassen; Mindestabstand: ein Mal Rotordurchmesser zwischen äußerem Leiterseil und Rotorblattspitze - Rohrfernleitungsvorranggebiete - Vorranggebiete für die Schifffahrt

Tabelle 20: Ausschlussgebiete für die Windkraftnutzung in Diepholz (Quelle: (Kreisentwicklung, 2016), eigene Darstellung)

Nach Auswertung dieser vorgegebenen Parameter ergaben sich in Summe 24 Vorranggebiete welche für die Windenergiegewinnung ausgewiesen sind. In Abbildung 46 sind einige dieser Gebiete in einem Ausschnitt des südlichen Kreisgebietes einzusehen (Kreisentwicklung, 2016).

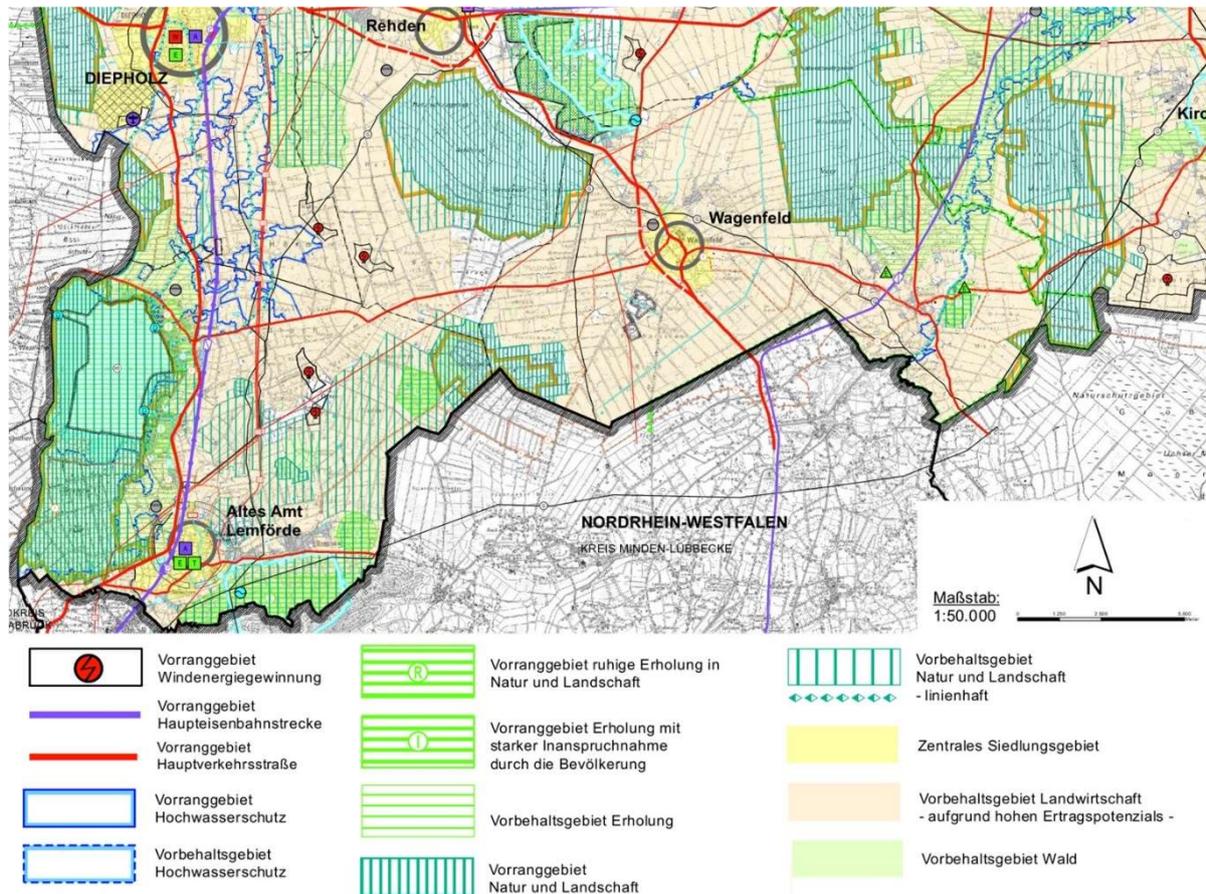


Abbildung 46: Südlicher Bereich des Landkreises Diepholz mit Vorranggebieten für die Windenergieerzeugung (Quelle: (Kreisentwicklung, 2016), bearbeitet)

3.2.4. Ausbaupotential Offshore

Eine Leistung von 7,7 GW beträgt die maximale Netzanschlusskapazität, welche allen Offshore Windkraftprojekten bis zum Jahr 2020 zugewiesen werden können. In der Gesamtschau aller Projekte zeigt sich, dass das von Deutschland angepeilte Ziel für das Jahr 2020 von 6,5 GW installierter Windenergieleistung bereits mit Ende 2016 auf Schiene ist. Diese Projekte umfassen bereits betriebene Parks mit Netzzugang im Umfang von 4,1 GW, OWEA mit installierten 0,1 GW Leistung die noch nicht am Netz sind, im Bau befindliche Projekte im Umfang von 1,1 GW Leistung, sowie jene Windparks im Umfang von 1,2 GW die bereits über Investitionsentscheidungen verfügen und deren Umsetzung noch bis 2020 bevorsteht. Für weitere Windparkprojekte mit einer Gesamt Leistung von 1,1 GW existieren zudem Netzanbindungszusagen für diesen Zeitraum. Fortführend für die weitere Entwicklung des Ausbaus in der Nord- und Ostsee, wurden bereits Ausschreibungstermine mit den entsprechenden Netzanschlusskapazitäten veröffentlicht, welche neuen Projekte in

Zukunft per Ausschreibung zur Verfügung stehen. Diese Termine mit den jeweiligen Ausschreibungsmengen sind in Tabelle 21 dargestellt (Windguard, 2017).

Ausschreibungs-termin	Ausschreibungs-menge		Vorgesehene Inbetriebnahme
Datum	MW		Jahr
01.04.2017	1550	davon min. 500 Ostsee	2021 - 2025
01.04.2018	1550		
01.09.2021	700 - 900		2026
01.09.2022	700 - 900		2027
01.09.2023	700 - 900		2028
01.09.2024	700 - 900		2029
01.09.2025	700 - 900		2030

Tabelle 21: Ausschreibungstermine für Offshore Projekte bis 2025 (Quelle: (Windguard, 2017), eigene Darstellung)

In den Jahren 2017 und 2018 sind Leistungen von je 1550 MW ausgeschrieben, wovon mindestens 500 MW jedoch Projekten in der Ostsee zugesprochen werden. Ab dem Jahr 2021 bis 2025 werden für Projekte, die bis 2030 in Betrieb gehen sollen, je 700 MW bis 900 MW Netzanschlusszusagen ausgesprochen. Die dabei erwartete Entwicklung der installierten Offshore Windenergieleistung ist in Abbildung 47 dargestellt (Windguard, 2017).

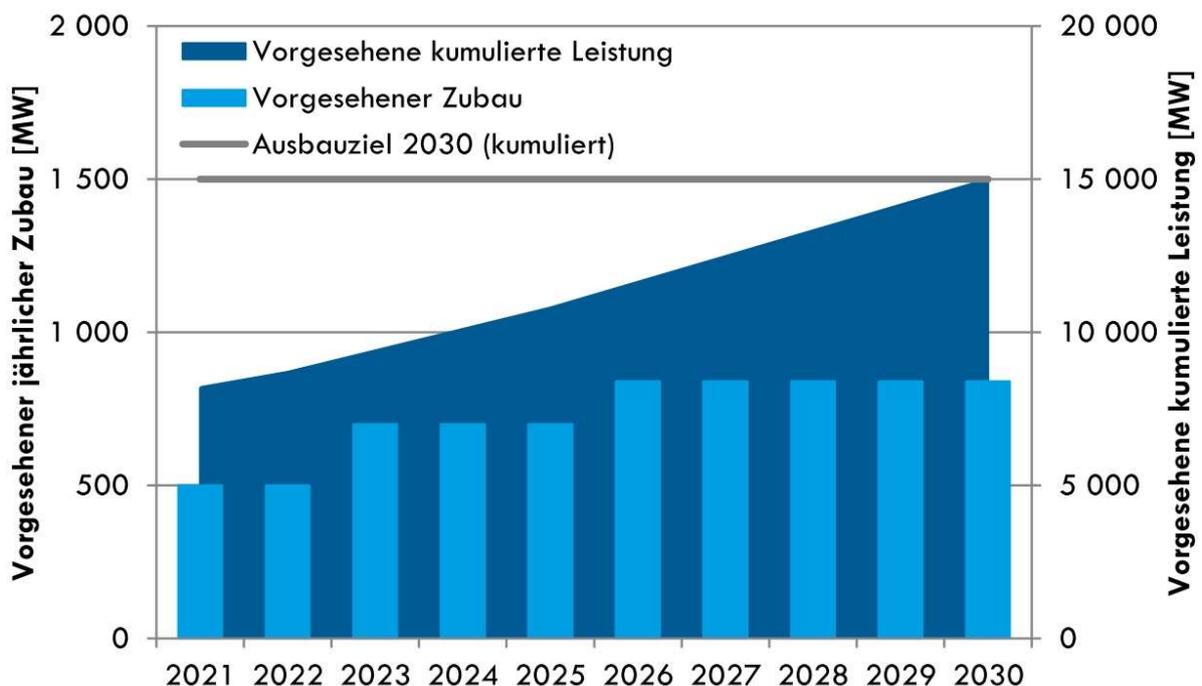


Abbildung 47: Geplante Entwicklung der Offshore Windenergieleistung in Deutschland (Quelle: (Windguard, 2017))

Das Ausbauziel bis zu Jahr 2030 entspricht 15 GW installierte Windenergieleistung auf See, was einer Steigerung gegenüber der Ende 2016 angeschlossenen Leistung von 10,9 GW, also von über 365 % entspricht. Durch die Ausschreibungen soll eine weitere konstante jährliche Neuinbetriebnahme von OWEA gewährleistet und der Bestand fortwehrend erweitert werden um das Ausbauziel für 2030 zu erreichen. Windenergieprojekte, welche eine geplante Inbetriebnahme in den Jahren 2021 bis 2025 haben, müssen um an den Ausschreibungen der nächsten beiden Jahre teilzunehmen, bereits mit 01.08.2016 genehmigt oder erörtert worden sein. Zudem bedarf die Planung dieser Projekte im Küstenmeergebiet der Zone 1 oder Zone 2, die Gebiete dieser Zonen ist in den Kartendarstellungen Abbildung 48 und Abbildung 49 einzusehen. Eine Auflistung der Projekte, die diese Kriterien erfüllen, wird in Tabelle 22, aufgeteilt in die beiden Seegebiete Nord- und Ostsee, dargestellt (Windguard, 2017).

Projekt	Träger des Vorhabens	Zone	Cluster	Genehmigung	Erörterung
Nordsee					
Borkum Riffgrund West I	DONG Energy Borkum Riffgrund West I GmbH	1	1	25.02.2004	
OWP Delta Nordsee 1	OWP Delta Nordsee GmbH	1	3	11.02.2005	
Nördlicher Grund (64 WEA)	Nördlicher Grund GmbH	2	5	01.12.2005	
Nördlicher Grund_Teil Sandbank	Vattenfall Europe Windkraft GmbH	2	5	01.12.2005	
EnBW He Dreiht	EnBW He Dreiht GmbH	2	7	20.12.2007	
OWP Delta Nordsee 2	OWP Delta Nordsee GmbH	1	3	31.08.2009	
Gode Wind 04	Gode Wind 04 GmbH	1	3	31.07.2013	
Nordsee Two	Nordsee Two GmbH	1	3	26.08.2013	
Nordsee Three	Nordsee Three GmbH	1	3	26.08.2013	
OWP West	Northern Energy OWP West GmbH	1	1	15.04.2014	
Borkum Riffgrund West II	DONG Energy Borkum Riffgrund West II GmbH	1	1		19.03.2013
Global Tech II	Vattenfall Global Tech II Offshore Wind GmbH	2	7		05.06.2014
Gode Wind III	PNE Gode Wind III GmbH	1	3		19.09.2014
KASKASI II	innogy Kaskasi GmbH	1	4		18.10.2014
Atlantis I	PNE WIND Atlantis I GmbH (veräußert an Vattenfall, Januar 2017)	2	6		06.11.2014
Ostsee					
ARCADIS OST 1	KNK Wind GmbH	1	4	09.09.2014	
Adlergrund 500	Adlergrund 500 GmbH	1	1		05.11.2012
Adlergrund GAP	BEC Energie Consult GmbH	1	1		05.11.2012
Wikinger Nord	Iberdrola Renovables Offshore Deutschland GmbH	1	1		14.12.2012
Wikinger Süd	Iberdrola Renovables Offshore Deutschland GmbH	1	1		14.12.2012
Baltic Eagle	Baltic Eagle GmbH	1	2		15.05.2013
Ostseeschatz	Financial Insurance GmbH	1	2		15.05.2013
Windanker	Iberdrola Renovables Deutschland GmbH	1	1		27.07.2016

Tabelle 22: Offshore Windparkprojekte, genehmigt oder erörtert (Quelle: (Windguard, 2017), eigene Darstellung)

Nachfolgend erfolgt eine Auflistung aller Windparkprojekte der Nord- und Ostsee mit bestehenden oder geplanten Netzanbindungen, siehe Tabelle 23. Die Auflistung beinhaltet alle sich bereits in Betrieb befindlichen Windparks, jene, die sich im Bau und oder Vorbereitungen befinden, weitere, die sich derzeit um eine Genehmigung bemühen, und einigen die bereits geplant sind (Windguard, 2017).

Nummer	Name	Status	Geplante Inbetriebnahme	MW
Nordsee				
Nearshore Emden		In Betrieb	2004	4,5
NOR-2-1	Alpha Ventus	In Betrieb	2009	62
NOR-6-1	BorWin1	In Betrieb	2010	400
NOR-0-1	Riffgat	In Betrieb	2014	113
NOR-2-2	DoIWin1	In Betrieb	2015	800
NOR-4-1	HelWin1	In Betrieb	2015	576
NOR-4-2	HelWin2	In Betrieb	2015	690
NOR-5-1	SylWin1	In Betrieb	2015	864
NOR-6-2	BorWin2	In Betrieb	2015	800
NOR-0-2	Nordergründe	In Bau/Bauvorbereitungen	2016	111
NOR-3-1	DoIWin2	In Bau/Bauvorbereitungen	2016	916
NOR-2-3	DoIWin3	In Bau/Bauvorbereitungen	2017	900
NOR-8-1	BorWin3	In Bau/Bauvorbereitungen	2019	900
NOR-3-3	DoIWin6	Genehmigungsverfahren begonnen	2023	900
NOR-1-1	DoIWin5	Vorbereitung des Genehmigungsverfahrens	2024	900
NOR-5-2	SylWin2	Genehmigungsverfahren begonnen	2025	900
NOR-7-1	BorWin5	Vorbereitung des Genehmigungsverfahrens	2025	900
NOR-3-2	DoIWin4	Geplant	2028	900
NOR-6-3	BorWin4	Geplant	2029	900
NOR-7-2	BorWin6	Geplant	2030	900
NOR-13-1		Geplant	2031	900
NOR-11-1		Geplant	2032	900
NOR-12-1		Geplant	2034	900
NOR-9-1		Geplant	2035	900
Ostsee				
Nearshore Rostock		In Betrieb	2006	2,5
OST-3-1	Baltic I	In Betrieb	2011	511
OST-3-2	Baltic II	In Betrieb	2015	288
OST-1-1	Westlich Adlergrund	In Bau/Bauvorbereitungen	2018	250
OST-1-2	Westlich Adlergrund	In Bau/Bauvorbereitungen	2019	250
OST-1-3	Westlich Adlergrund	In Bau/Bauvorbereitungen	2019	250
OST-2-1		Bestätigt	2021	250
OST-2-2		Bestätigt	2021	250
OST-2-3		Bestätigt	2022	250
OST-B-2		Geplant	2029	500

Tabelle 23: Bestehende und geplante Netzanbindungen vor der Küste Deutschlands (Quelle: (Windguard, 2017), eigene Darstellung)

Werden sämtliche dieser Projekte demgemäß umgesetzt, so würde dies für die Nordsee bis zum letztgenannten Inbetriebnahme Datum 2035, eine installierte

Windenergieleistung von über 17 GW und für die Ostsee von über 2,8 GW bedeuten. Die gesteckten Ziele von 15 GW bis zum Jahre 2030 können somit als durchaus realistisch betrachtet werden. Karten mit den genehmigten oder erörterten Windenergieprojekten, sowie jenen Windparks für die bis 2030 eine Netzanbindung vorgesehen ist, wird für die Nordsee in Abbildung 48 und für die Ostsee in Abbildung 49 dargestellt (Windguard, 2017).

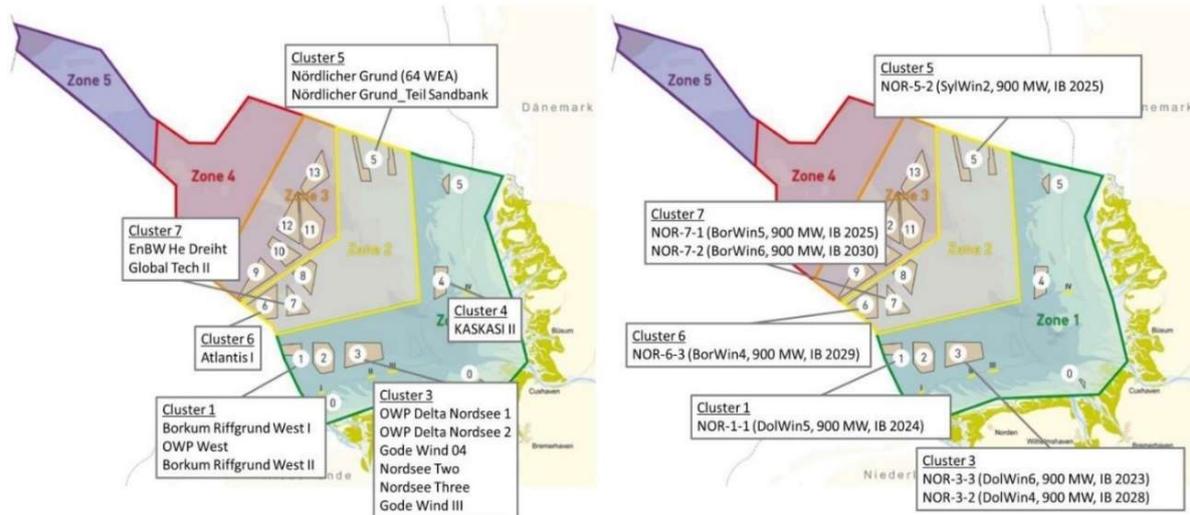


Abbildung 48: Offshore Windparkprojekte in der Nordsee, genehmigt oder erörtert (Quelle: (Windguard, 2017))

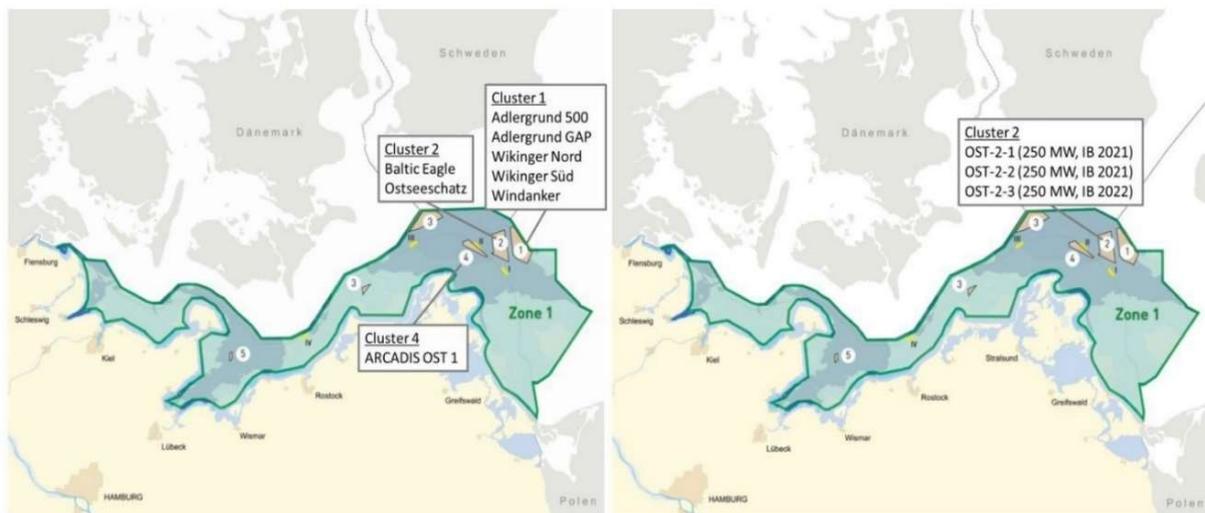


Abbildung 49: Offshore Windparkprojekte in der Ostsee, genehmigt oder erörtert (Quelle: (Windguard, 2017))

3.3. Frankreich

Frankreich, das derzeit größte Land der Europäischen Union, besitzt aufgrund seiner Landesfläche und seines weitreichenden Meereszugangs noch großes Potential für den Windkraftausbau.

3.3.1. Stand der Windenergie in Frankreich

Die vorhandene Windenergieleistung in Frankreich beschränkte sich bis zum Jahr 2015 allein auf Onshore Windanlagen. Mehrere Projekte für die Offshore Windkraft befinden sich jedoch derzeit in der Umsetzung. Ende 2015 stellte das Land Frankreich mit einer Gesamtleistung von 10,4 GW die vierthöchste installierte Leistung in Europa. Die Entwicklung der Windkraft ab dem Jahr 2009 ist in Abbildung 50 dargestellt (Sarah Florence Gaebler, 2016).

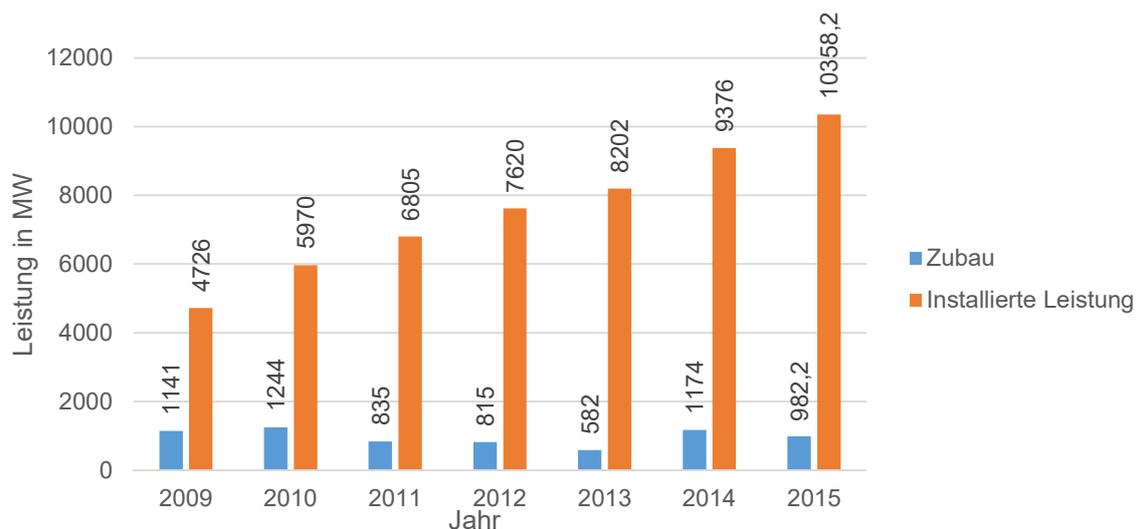


Abbildung 50: Entwicklung der Windenergie in Frankreich (Quelle: basierend auf Daten von (Sarah Florence Gaebler, 2016), (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016))

Seit dem Ende des Jahres 2008, in welchem Frankreich eine Leistung von 3585 MW installiert hatte, konnte dieser Wert bis zum Jahr 2015 mehr als verdoppelt werden. Mittels einer durchschnittlichen Ausbaurate von 967,6 MW erfolgte eine konstante Erhöhung auf die mit Ende 2015 installierten 10,4 GW. Im direkten Vergleich zu Deutschland, dessen Fläche Frankreich um das 1,4-fache überragt, sind auf französischem Gebiet nur knapp ein Viertel der Windenergieleistung installiert. Zudem begann die Entwicklung der Windenergie in Frankreich wesentlich später. Die 2009 erreichten 4,7 GW installierte Leistung wurde in Deutschland bereits im Jahr 2000

überschritten. Frankreich besitzt relativ lange andauernde Netzanschlussverfahren. Derzeit befinden sich Projekte für Windparks, mit einer Gesamtleistung von 7310 MW in Wartestellung. Das bedeutet, dass für diese Projekte bereits ein Antrag für eine Netzanschlussvereinbarung gestellt oder dieser bereits unterzeichnet wurde. Knapp zwei Drittel der bereits installierten Leistung stehen somit bereits in den Startlöchern und warten derzeit auf ihre Umsetzung. Regional betrachtet gibt es große Unterschiede was den Bestand von Windkraftanlagen in Frankreich betrifft. Bezogen auf die geografischen Gegebenheiten und Windgegebenheiten wurde nachvollziehbar der Fokus zunächst auch auf die vielversprechendsten Gebiete gelegt. Abbildung 51 zeigt die in Frankreich auf die Regionen verteilte installierte Leistung (Sarah Florence Gaebler, 2016).

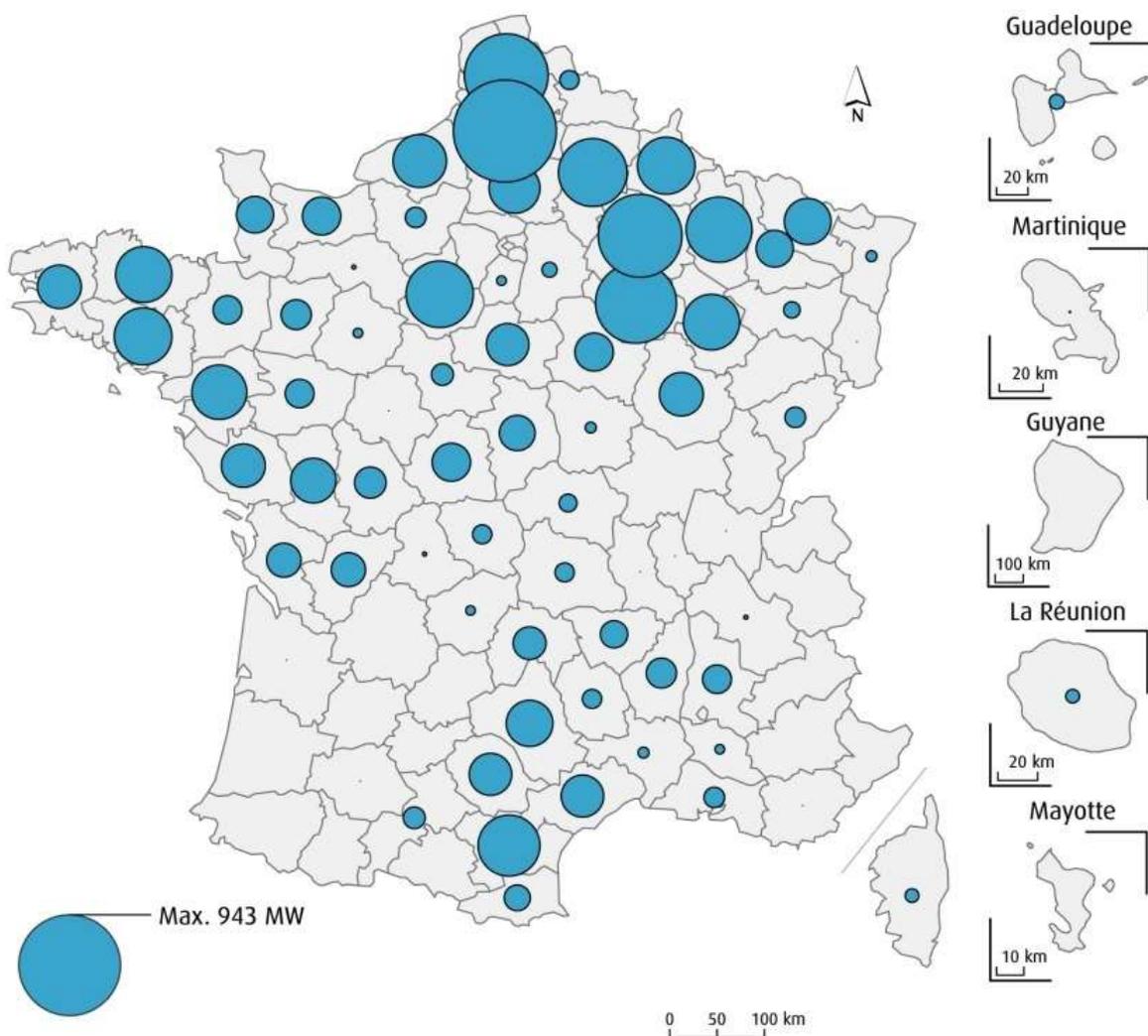


Abbildung 51: Regionale Verteilung der installierten Windenergieleistung in Frankreich, Stand Ende 2015 (Quelle: (durable, 2016), bearbeitet)

Die Gebiete und Regionen mit den meisten installierten Leistungen befinden sich im Norden des Landes. Knapp 4,9 GW liegen in den zwei nördlichen Regionen Alsace-Champagne-Ardenne und Nord-Pas-de-Calais-Picardie. In der südlichen Region Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées mehr als 1 GW Leistung. Diese Drei stellen somit mehr als die Hälfte der in Frankreich mittels Windkraft bereitgestellten Energie. Weitere Regionen, die mehr Windkraftanlagen besitzen, liegen im Nord-Westen des Landes und im Süden nahe dem Mittelmeer (Sarah Florence Gaebler, 2016).

3.3.2. Meteorologische Windgegebenheiten

Aufgrund der Größe und den unterschiedlichen geografischen Gegebenheiten lässt sich Frankreich in mehrere Zonen mit unterschiedlichsten mittleren Windgeschwindigkeiten einteilen. Zum einen bietet das Land Potentiale für höhere Windgeschwindigkeiten in den Küstenregionen des Nordens am Zugang zum Ärmelkanal und im Süden zum Mittelmeer. Auf der anderen Seite jedoch sorgen Geländezerwürfnisse der Alpen im Osten nur für eine bedingte Eignung der Windenergiegewinnung. Die Zonierung der Gebiete an Land ist in Abbildung 52 abgebildet.

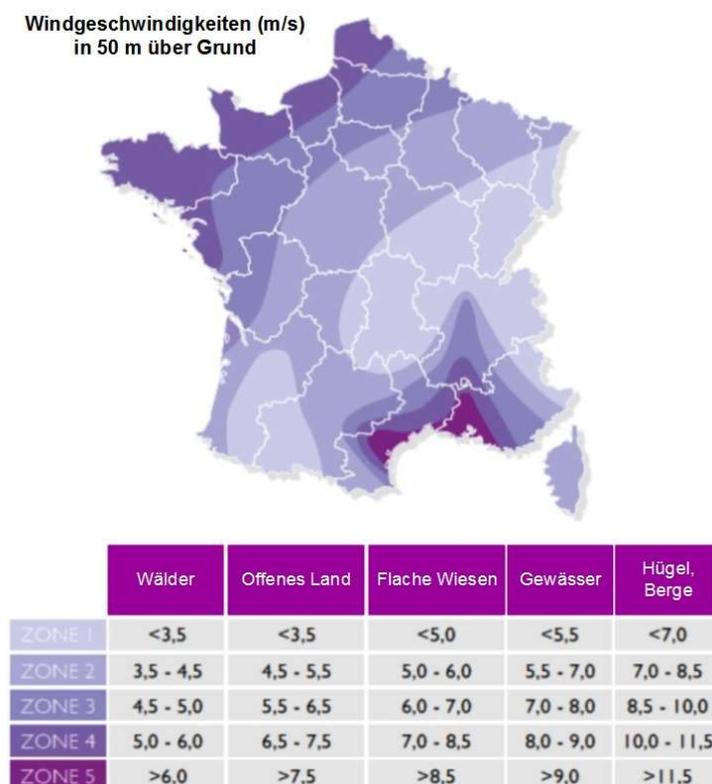
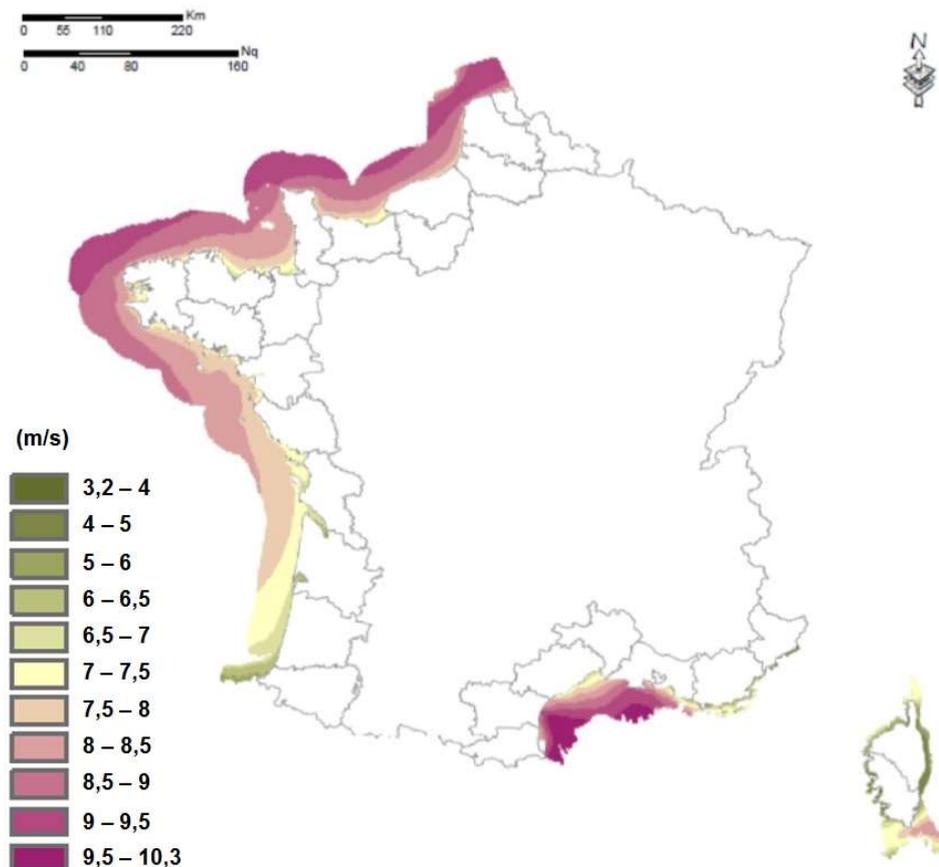


Abbildung 52: Windgeschwindigkeiten über Frankreich in 50 m über Grund (Quelle: (Energien, 2014), bearbeitet)

Die Messungen der mittleren Windgeschwindigkeiten in 50 m Höhe über Grund, ergaben für die unterschiedlichsten Geländebeschaffenheiten entsprechende Ergebnisse, die das Land in insgesamt fünf Zonen mit den jeweiligen Windgeschwindigkeiten der unterschiedlichen Topografien unterteilen lassen. Als Zone 5, mit den besten Voraussetzungen für Windenergiekraftanlagen konnte die südliche Küstenregion am Mittelmeer deklariert werden und von dort nachfolgend Bereiche der Zone 4 bis in Regionen des Landesinneren. Auch die nördlichen Küstenregionen weisen wie erwartet hohe mittlere Windgeschwindigkeiten auf und fallen größtenteils ebenso in die Kategorie der Zone 4. Gebiete der Zone 1, also Flächen mit dem geringsten Nutzen für die Windkraft, liegen im Westen und wie erwartet in den östlichen Alpengebieten. Die Windgeschwindigkeiten der Hoheitsgewässer von Frankreich weisen größtenteils auch besonders gute Bedingungen für den Einsatz von OWEA. Eine Karte des Meeresgebietes mit den mittleren Windgeschwindigkeiten in 100 m über Grund wird in Abbildung 53 dargestellt.



**Abbildung 53: Windgeschwindigkeiten im Französischen Meeresgebiet in 100 m über Grund
(Quelle: (Cerema, 2015), bearbeitet)**

Die Meeresgebiete Frankreichs weisen durchgehend mittlere Windgeschwindigkeiten von über 6 m/s aus. Im Norden kann mit mittleren Windgeschwindigkeiten von bis zu 9 m/s gerechnet werden. Am Meereszugang zum Mittelmeer liegen die Spitzen bei bis zu 10,3 m/s.

3.3.3. Ausbaupotential Onshore

Um Gebiete und somit Eignungszonen, die für die Onshore Windkraftnutzung geeignet sind, zu definieren, wurden in sämtlichen Regionen Frankreichs Windenergieschemata erstellt. Diese sollten einen Einblick in das mögliche Windpotential Frankreichs geben und zudem eine Zonierung bereitstellen. Das Gesetz dazu wurde im Jahr 2010 erlassen und von den einzelnen Regionen bis 2013 umgesetzt. Hierbei ist zu erwähnen, dass der europäische Teil Frankreichs bis Ende 2015 aus insgesamt 22 Regionen bestanden hat. Mit Jänner 2016 trat eine Zusammenlegung mehrerer Regionen in Kraft, wodurch Frankreich mit heutigem Stand aus 13 Regionen besteht und weiteren fünf, die sich in französischen Überseegebieten befinden. Demnach gibt es auch 22 Regionalschemata für Europa. In diesen sind die jeweiligen Zonen, die alle speziell auf den dort vorherrschenden geländespezifischen Gegebenheiten und Windverhältnissen abgestimmt sind und sich für eine günstige Windenergienutzung eignen, angeführt. Entsprechend der Einzelverantwortung jeder Region sind diese Schemata individuell aufgebaut, gestaltet und aufbereitet. Beispielhaft für alle regionalen Zonierungskarten wird in Abbildung 54, die sich aus dem Regionalschema der Region Centre-Val de Loire ergebenden Eignungszonen dargestellt (D'Azur, 2012), (Wikipedia, 2017).

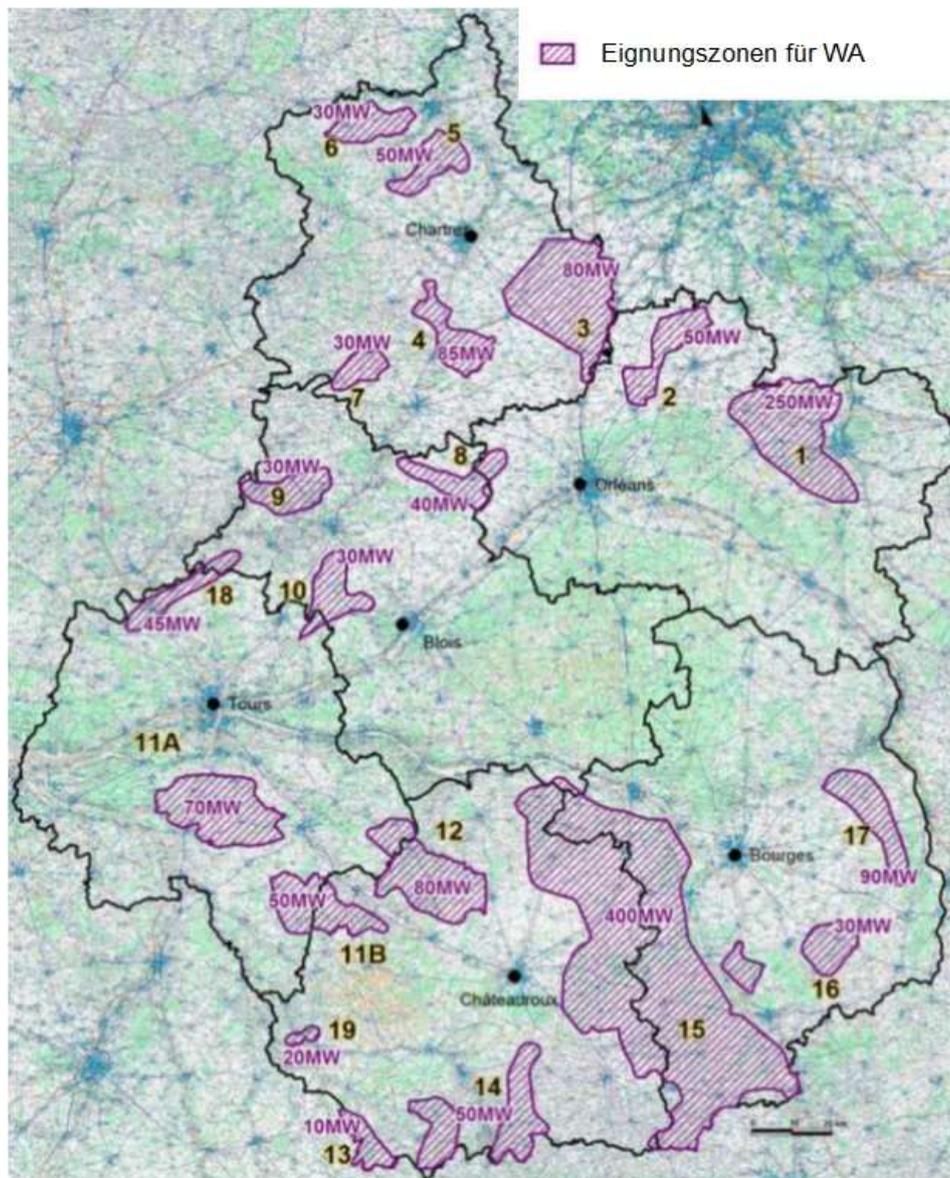


Abbildung 54: Eignungsflächen für Windkraftanlagen in der Region Centre-Val de Loire (Quelle: (Loire, 2012), bearbeitet)

Die Untersuchung der Region Centre-Val de Loire ergab 20 Gebiete die besonders gut für die Windenergiegewinnung geeignet sind. Diese haben ein geschätztes Potential von insgesamt 1520 MW installierter Windenergieleistung. Eine Gesamtschau aller Zonierungspläne der 22 Regionalschemata wird in Abbildung 55 dargestellt (Loire, 2012).

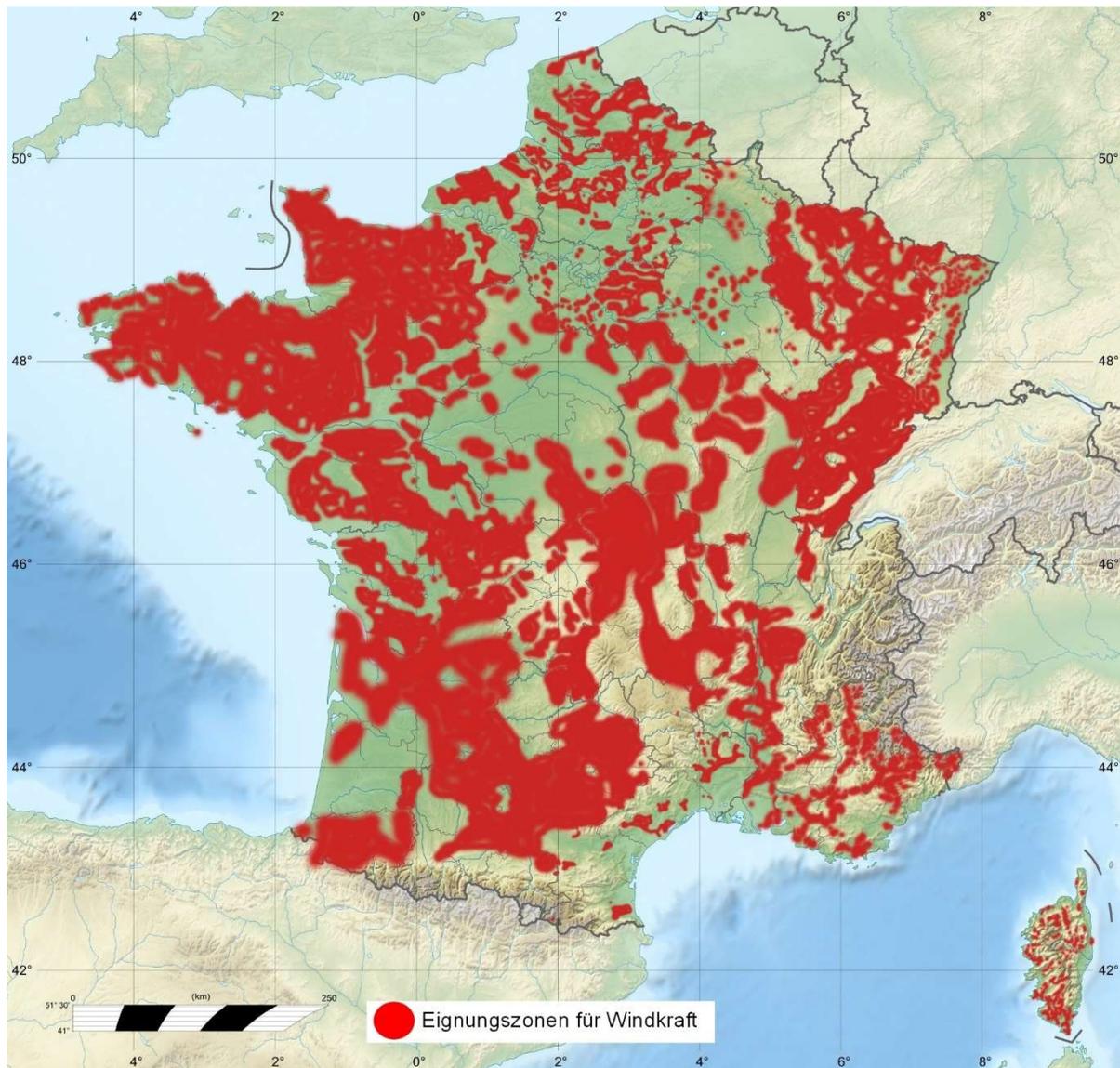


Abbildung 55: Ermittelte Eignungszonen für Windkraftanlagen in Frankreich aus den regionalen Windschemata (Quelle: (Brawl, 2010), bearbeitet)

Die Ausarbeitungen der einzelnen Regionen sind in ihrer Qualität und ihrem Umfang recht unterschiedlich. Für die Gesamtschau des Landes Frankreich wurden Gebiete übernommen die klar aus Bebauungszonen ausgewiesen sind, Flächen die als günstig für die Errichtung von Windanlagen angesehen werden und deklarierte Zonen deren Aufwand als mäßig eingestuft wurde um dort Parks zur Energiegewinnung zu errichten. Das Ergebnis zeigt ein Frankreich, das viele über das ganze Land Eignungszonen für die Windenergie aufweist. Das Potential für einen massiven Ausbau ist somit vorhanden, um den Anteil der erneuerbaren Energie in Form von Windkraft in der Zukunft zu steigern.

3.3.4. Ausbaupotential Offshore

Wie zuvor schon erwähnt, steht die Offshore Windenergiegewinnung in Frankreich erst am Anfang. Ausschreibungen für Windparks im Ärmelkanal wurden jedoch bereits durchgeführt. Eine erste große Ausschreibung fand im Juli des Jahres 2011 statt und umfasste ein Volumen von 2400 – 3000 MW für fünf Windparkstandorte. Davon erfolgte eine Vergabe an vier Standorte mit einer gesamten installierten Leistung von 1928 MW. Die geplante Inbetriebnahme dieser vier Windparks ist für das Jahr 2017 vorgesehen. Im Jahr 2013 folgte eine zweite Ausschreibungsrunde mit einem Gesamtvolumen von 992 MW Leistung, aufgeteilt auf zwei Standorte. Beide Windparkstandorte wurden vergeben, es wird mit einer Inbetriebnahme ab dem Jahr 2021 gerechnet. Die Zonen dieser Windparkstandorte sind in dem nördlichen Meeresgebiet Frankreichs vorzufinden und in Abbildung 56 grafisch dargestellt (Sarah Florence Gaebler, 2016).

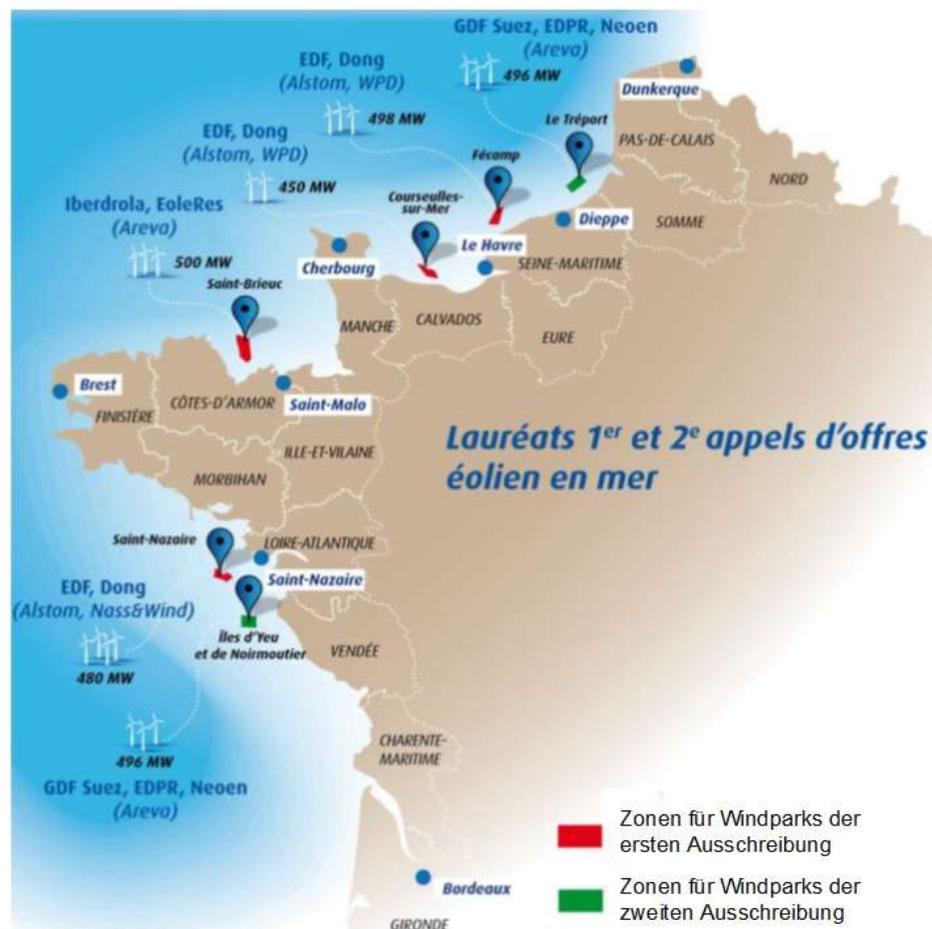


Abbildung 56: Ausschreibungszonen von Offshore Windparks in Frankreich (Quelle: (durable, 2014), bearbeitet)

Das Potential für zukünftige Offshore Windparks ist durchaus gegeben. Auf Basis der Windanalyse des Meeresgebietes konnte, unter Berücksichtigung von technischen Kriterien, eine Zonierung durchgeführt werden. Das Ergebnis wird in Abbildung 57 dargestellt, wobei die Zonen farblich nach „wenig Geeignet“ bis „Gut Geeignet“ getrennt sind (Cerema, 2015).

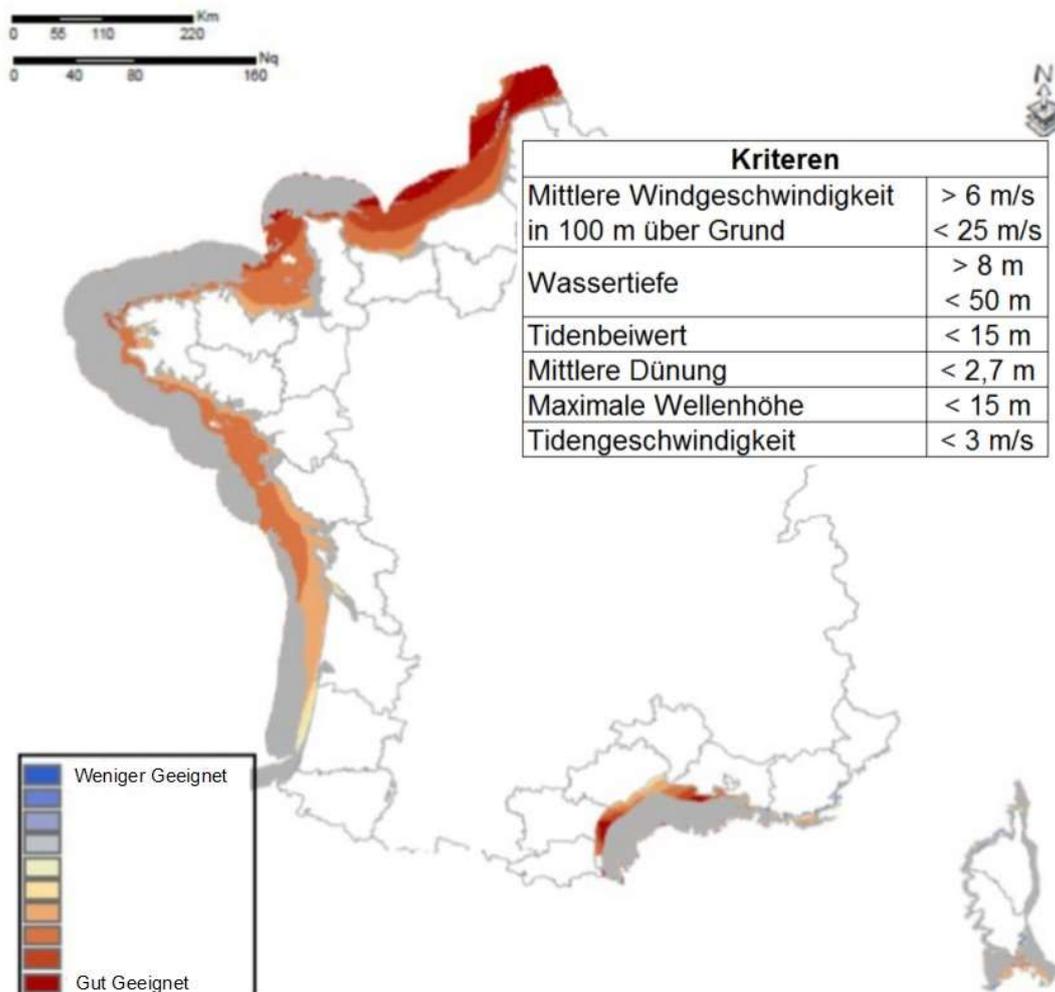


Abbildung 57: Eignungsflächen für Offshore Windparks (Quelle: (Cerema, 2015), bearbeitet)

Als technische Kriterien kamen zunächst die mittleren Windgeschwindigkeiten zum Tragen. Gebiete die unter 6 m/s auswiesen, wurden nicht als geeignet eingestuft. Des Weiteren musste in den nutzbaren Gebieten sich die Wassertiefe zwischen 8 m und 50 m befinden. Meeresflächen mit zu hohen Tidenbeiwerten ab 15 m und Geschwindigkeiten ab 3 m/s wurden ebenso ausgeschlossen, wie mögliche Standorte mit zu hohen mittleren Wellengängen und Wellenspitzen. Als Ergebnis konnten großflächige Gebiete im nördlichen Meereszugang, die als gut geeignet einzustufen sind, ausgemacht werden. Weitere gute jedoch im Verhältnis nur klein flächigere Gebiete im Mittelmeer würden sich ebenfalls für die Installation von OWEA anbieten.

Auf Basis dieser Auswertung und der sich daraus ergebenden Eignungsflächen kann ein großes Potential für die Offshore Windenergiegewinnung in Frankreich ausgesprochen werden. (Cerema, 2015).

3.4. Spanien

Das Land Spanien auf der iberischen Halbinsel kann mit seiner großen Fläche und den Meereszugängen auf weitreichende Gebiete für die Windkraft zurückgreifen.

3.4.1. Stand der Windenergie in Spanien

Der Ausbau der Windenergiegewinnung begann, ähnlich wie in Deutschland in den 90er Jahren. Ab der Jahrtausendwende führten nahezu konstante jährliche Zubauten zu einer installierten Leistung, die das Land Spanien an zweiter Stelle in der Europäischen Union, hinter Deutschland, brachte. Die jährliche Entwicklung ist in Abbildung 58 dargestellt (aee, 2016).

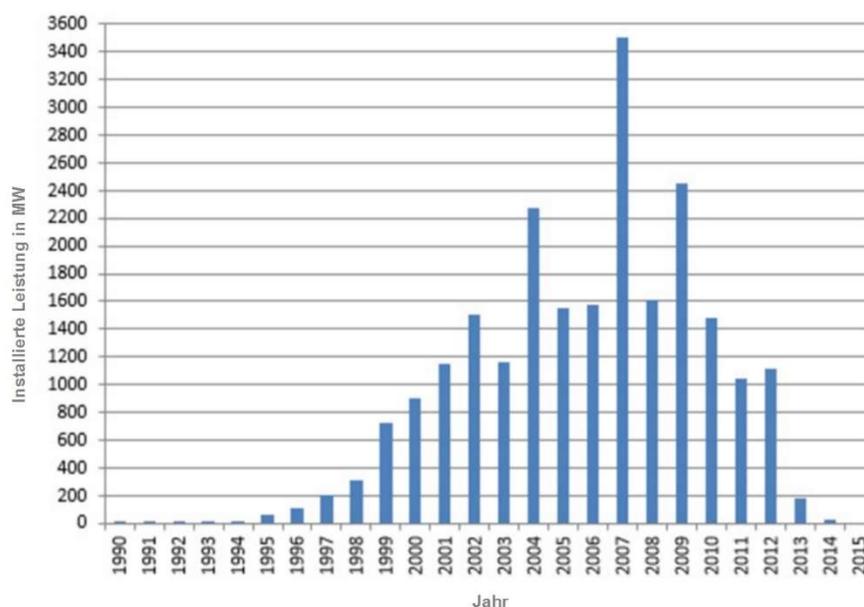


Abbildung 58: Jährlicher Ausbau der Windenergie in Spanien bis 2015 (Quelle: (aee, 2016))

Um das Jahr 1995 begann Spanien die jährlichen Zubauraten konstant zu erhöhen. Vor der Jahrtausendwende lag die installierte Windenergieleistung bei knapp 1,4 GW. Im direkten Vergleich zu Deutschland, konnten diese Ausbautzahlen jedoch nicht mithalten, da dort zu diesem Zeitpunkt bereits ca. 4,4 GW Leistung installiert waren. Der jährliche Zubau steigerte sich jedoch weiter und erreichte im Jahr 2007 ein Maximum von ca. 3,5 GW neue ans Netz angeschlossene Leistung, erreichte. In den letzten sechs Jahren nahm der Zubau jedoch wieder ab und kam im Jahr 2015 sogar

vollkommen zum Erliegen. Es wurde kein einziges neues Windkraftwerk an das Netz gebracht. Somit erreichte der Wert, der installierten Windenergieleistung Ende 2015 in Spanien, knapp 23 GW und damit die Hälfte dessen was Deutschland als Vorreiter angeschlossen hat. Die regionale Verteilung der kumulierten Leistung Ende 2015 wird in Tabelle 24 angeführt (aee, 2016).

Region	Kumulierte Leistung Stand Ende 2015	Anlagen
	MW	
Castilla y León	5561	241
Castilla-La Mancha	3807	139
Analucia	3338	153
Galicia	3328	161
Aragón	1893	87
Cataluña	1269	47
Comunidad Valenciana	1189	38
Navarra	1004	49
Asurias	518	21
La Rioja	447	14
Murcia	262	14
Canarias	177	56
Pais Vacso	153	7
Cantabria	38	4
Baleares	4	46
Gesamt	22988	1077

Tabelle 24: Stand der Windenergie in Spanien Ende 2015 (Quelle: (aee, 2016), eigene Darstellung)

Die meisten Windanlagen sind mit Stand Ende 2015 in der Region Castilla y León vorzufinden. Bei 241 errichteten Anlagen besitzt diese Region eine kumulierte Gesamtleistung von 5561 MW. Mit den Regionen Castilla-La Mancha (3807 MW), Analucia (3338 MW) und Galicia (3328 MW) haben diese vier Regionen über zweidrittel der installierten Leistung Spaniens auf ihren Gebieten errichtet. In Summe verfügte Spanien 2015 über 1077 Windanlagen. Die Offshore Windenergiegewinnung hatte jedoch bis zu diesem Zeitpunkt keine große Bedeutung. Lediglich 5 MW kann den errichteten OWEA angerechnet werden (aee, 2016) (Windenergie-Barometer, 2016).

3.4.3. Ausbaupotential Onshore

Eine detaillierte Zonierung über Eignungszonen für Onshore Windanlagen in den einzelnen Regionen Spaniens konnte nicht eruiert werden. Jedoch wurde auf Grundlage der Winddaten eine Karte über die Windenergiedichte erstellt. Diese unterteilt die Gebiete in Zonen von Energiedichten unter 70 W/m^2 bis über 800 W/m^2 . Aus diesen Daten lassen sich für die Zukunft mögliche zu untersuchende Standorte ableiten, da von Gebieten mit hohen Windenergiedichten sich die vorherrschenden Potentiale installierbarer Leistung abschätzen lassen. Die Windenergieleistungsdichten über Spanien werden in Abbildung 60 dargestellt.



Abbildung 60: Windleistungsdichten von Spanien in 80 Höhe über Grund (Quelle: (IDAE, 2009), bearbeitet)

3.4.4. Ausbaupotential Offshore

Durch das Institut für „Diversifizierung und Energieeinsparung“ wurde im Auftrag des Energieministeriums von Spanien, das Meeresgebiet einer Zonierung unterzogen. Es erfolgte eine Einteilung in als Eignungszonen deklarierte Gebiete, in Flächen die bedingt als Gebiete für Windanlagen geeignet sind und drittens in Ausschlusszonen, für die eine Windkraftnutzung nicht in Frage kommt. Das Ergebnis wird in Abbildung 61 dargestellt.

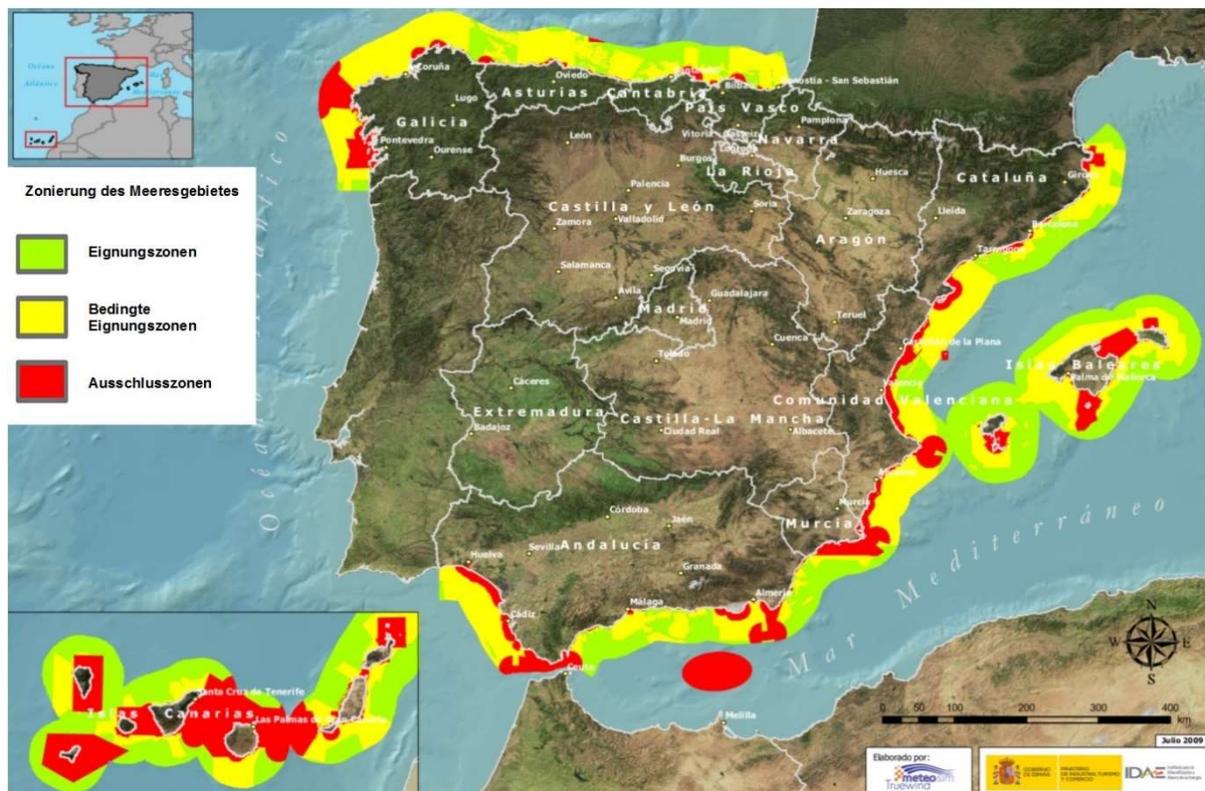


Abbildung 61: Eignungszonen für Offshore Windenergieanlagen im Spanischen Meer (Quelle: IDAE, 2009), bearbeitet)

Vor allem im Mittelmeerraum konnten mehrere Flächen als Eignungszonen ausgewiesen werden. Dies gilt auch für die beiden großen Inselgruppen Spaniens, den Balears und Canarias. Als Ausschlusszonen wurde nur ein mäßiger Teil des gesamten Meeresgebietes bestimmt. Überwiegend ist eine Nutzung für die Windenergiegewinnung möglich und liefert ein großes Potential für den Ausbau der OWEA. In diesem Bereich könnte noch viel in die erneuerbaren Energien Spaniens investiert werden.

4. Schlussfolgerung und Ausblick

Im Zuge der Recherchen konnten viele Potentialflächen für die Windkraftnutzung erörtert werden. Besonders für Deutschland, dem Vorreiter der Windenergie in Europa, konnten viele Studien zu potentiellen und zukünftigen Projekten im Onshore und Offshore Bereich zusammengetragen werden. Es wurde eine durchgängige mögliche Zonierung für Windanlagen im ganzen Land bestimmt. Deutschland wird auch in Zukunft zu den Spitzenreitern in der Windenergiegewinnung zählen.

Das kleine in den Alpen gelegene Binnenland Österreich bietet ebenfalls noch große Ausbaupotentialflächen für die Windkraft. Jedoch zeigt sich besonders in diesem Land, dass eine klare politische Richtung und Gesetzgebung für die Errichtung von Windanlagen notwendig sind. Durch die Eigenverantwortung in den einzelnen Bundesländern und den verschiedenen Richtlinien, gibt es noch keine vollständige detaillierte Erörterung eventueller Eignungszonen für das gesamte Land. Jedoch hat sich gezeigt, dass vor allem der Nordosten des Landes ein großes Windflächenpotential besitzt.

Der Staat Frankreich steht auch noch am Anfang seiner Ausbaumöglichkeiten. Die für jede Region verfügbaren Regionalschemata bilden den Grundstein für die Zukunft der französischen Windkraft. Im ganzen Land finden sich Gebiete, die für Windanlagen geeignet sind.

Spanien weist durch die dort vorherrschenden Windgegebenheiten ebenfalls das Potential auf, den Anteil an erneuerbaren Energien durch Windkraft zu steigern. Besonders im Bereich der Offshore Windenergie, wo das Land noch ganz am Anfang steht. Der flächenmäßig große Meeresgebiet Spaniens bietet viele Eignungszonen die für OWEA genutzt werden können.

Die nötigen Windverhältnisse und Potentialflächen in diesen Ländern sind durchwegs vorhanden. Diese der wirklichen Nutzung zuzuführen bedarf es zum Teil jedoch noch an den entsprechenden Rahmenbedingungen und klare Richtlinien durch die jeweiligen Gesetzgeber. Welche Auswirkungen der Ausbau dieser Potentialflächen, zur Erreichung der Prognosen und Ziele der Länder auf das Versorgungsnetz in Europa hat und inwiefern diese Ziele als realistisch zu betrachten sind, könnte auf Basis der ermittelten möglichen Standorte für Windkraftanlagen simuliert werden.

5. Abkürzungsverzeichnis

ρ	Luftdichte
W	Watt
MW	Megawatt
GW	Gigawatt
v_w	Windgeschwindigkeit
v_1	Windgeschwindigkeit vor dem Wandler
v_2	Windgeschwindigkeit nach dem Wandler
v'	Windgeschwindigkeit am Wandler
A	Luft durchströmende Fläche
A_1	Luft durchströmende Fläche vor dem Wandler
A_2	Luft durchströmende Fläche nach dem Wandler
P	Leistung
P_W	Windleistung
P_{spez}	Windleistungsdichte
P_{mech}	mechanische Leistung
P_{Betz}	maximale entnehmbare Leistung
λ	Schnelllaufzahl
n	Drehzahl
M	Drehmoment
α_A	Anstellwinkel
WA	Windanlage
$OWEA$	Offshore Windenergieanlage
EEG	Erneuerbaren-Energien-Gesetz
$LROP$	Landesraumordnungsprogramm
$RROP$	Regionales Raumordnungsprogramm

6. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energiemix EU in MW (Megawatt) (Quelle: basierend auf Daten von (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016))	14
Tabelle 2: Installierte Windenergieleistung Europa (Quelle: basierend auf den Daten von (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016)).....	17
Tabelle 3: Installierte Offshore Windenergieleistung in der EU-28 (Quelle: basierend auf den Daten von (Windenergie-Barometer, 2016)).....	19
Tabelle 4: Prognostizierte Windenergieleistung bis 2050 MW (Quelle: basierend auf den Daten von (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016), (EU-Reference-Scenario-2016, 2016)).....	20
Tabelle 5: Installierte Windenergieleistung und Anlagenbestände in österreichischen Bundesländern, Stand Ende 2015 (Quelle: basierend auf Daten von (IG-Windkraft, 2016)).....	23
Tabelle 6: Theoretisch realisierbare Potentiale in den österreichischen Bundesländern (Quelle: (Windkraft, 2014), (IG-Windkraft, 2016), eigene Darstellung)	26
Tabelle 7: Kriterien für Potentialflächen in Österreich (Quelle: (Energy, 2010), eigene Darstellung)	28
Tabelle 8: Kriterien für Ausschlusszonen im Bundesland Oberösterreich (Quelle: (Landesregierung, 2012), eigene Darstellung)	32
Tabelle 9: Vorrangzonengebiete Oberösterreich (Quelle: basierend auf Daten von, (Landesregierung, 2012)).....	34
Tabelle 10: Bezeichnungen der Vorrangs- und Eignungszonen in der Steiermark (Quelle: (Steiermark, 2013), eigene Darstellung)	36
Tabelle 11: Kriterien für die Potentialflächenermittlung (Quelle: (Energy, 2010), eigene Darstellung)	41
Tabelle 12: Entwicklung der Windkraft in Deutschland (Quelle: (IWES, 2017), eigene Darstellung)	46
Tabelle 13: Onshore Windenergieausbau erstes Halbjahr 2016 in Deutschland (Quelle: (Windguard, 2016), eigene Darstellung).....	47
Tabelle 14: Durchschnittliche Onshore Anlagenkonfiguration im 1. Halbjahr 2016 in Deutschland (Quelle: (Windguard, 2016), eigene Darstellung).....	49
Tabelle 15: Regionale Verteilung der kumulierten Onshore Leistung mit Stand 30.06.2016 (Quelle: (Windguard, 2016), eigene Darstellung).....	50

Tabelle 16: Zubau und Stand der Offshore Windenergie mit 31.12.2016 (Quelle: (Windguard, 2017), eigene Darstellung).....	51
Tabelle 17: Durchschnittliche Offshore Anlagenkonfiguration in Deutschland (Quelle: (Windguard, 2017), eigene Darstellung).....	52
Tabelle 18: Maximales abgeschätztes Potential in Deutschland (Quelle: basierend auf Daten von (Windenergie, 2011)).....	59
Tabelle 19: Nutzbare Flächen für Windenergie in Niedersachsen (Quelle: (Windenergie, 2011)).....	60
Tabelle 20: Ausschlussgebiete für die Windkraftnutzung in Diepholz (Quelle: (Kreisentwicklung, 2016), eigene Darstellung)	62
Tabelle 21: Ausschreibungstermine für Offshore Projekte bis 2025 (Quelle: (Windguard, 2017), eigene Darstellung).....	64
Tabelle 22: Offshore Windparkprojekte, genehmigt oder erörtert (Quelle: (Windguard, 2017), eigene Darstellung)	66
Tabelle 23: Bestehende und geplante Netzanbindungen vor der Küste Deutschlands (Quelle: (Windguard, 2017), eigene Darstellung)	67
Tabelle 24: Stand der Windenergie in Spanien Ende 2015 (Quelle: (aee, 2016), eigene Darstellung)	79

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Strömungsverhältnisse vor und nach dem Wandler (Quelle: (Hau, 2014))	3
Abbildung 2: Leistungsbeiwert in Abhängigkeit des Geschwindigkeitsverhältnisses (Quelle: (Hau, 2014)).....	4
Abbildung 3: Windkraftanlage in Propellerbauweise mit horizontaler Drehachse (Quelle: (Hau, 2014)).....	6
Abbildung 4: Windanlagen mit vertikaler Drehachse (Quelle: (Hau, 2014)).....	7
Abbildung 5: Fundament mit Verstärkung durch Pfähle (Quelle: (Hau, 2014)).....	8
Abbildung 6: Offshore Windanlagenfundament mit Tripod-Gründung (Quelle: (Hau, 2014)).....	9
Abbildung 7: Stall-Effekt (Quelle: (Robert Gasch, 2005)).....	11
Abbildung 8: EU Energiemix im Jahr 2000 (Quelle: (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016), eigene Darstellung).....	13
Abbildung 9: EU Energiemix im Jahr 2015 (Quelle: (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016), eigene Darstellung).....	14
Abbildung 10: Installierte Windenergieleistung in der EU-28 (Quelle: (EWEA-Annual- Statistics-2015, 2016), eigene Darstellung).....	15
Abbildung 11: Europakarte mit der installierten Windenergieleistung in GW, Stand 2015 (Quelle: (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016)).....	16
Abbildung 12: Entwicklung der installierten Onshore und Offshore Windenergieleistung, EU-28 (Quelle: (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016), eigene Darstellung).....	18
Abbildung 13: Geplanter Windenergieausbau in der EU bis 2050 (Quelle: basierend auf den Daten von (EU-Reference-Scenario-2016, 2016) (EWEA-Annual-Statistics- 2015, 2016)).....	19
Abbildung 14: Installierte Windenergieleistung Österreichs (Quelle: (IG-Windkraft, 2016), eigene Darstellung).....	21
Abbildung 15: Verteilung nach Bundesländer der Windkraftanlagen in Österreich Stand Ende 2015 (Quelle: (Österreich, 2017), basierend auf den Daten von (IG-Windkraft, 2016) bearbeitet).....	22
Abbildung 16: Mittlere Jahreswindgeschwindigkeiten in Österreich 50 m über Grund (Quelle: (Windatlas, 2016)).....	24

Abbildung 17: Mittlere Jahreswindgeschwindigkeiten in Österreich 100 m über Grund (Quelle: (Windatlas, 2016)).....	25
Abbildung 18: Potentiale in den österreichischen Bundesländern (Quelle: basierend auf den Daten von (Windkraft, 2014), (IG-Windkraft, 2016))	27
Abbildung 19: Windeignungszonen in Österreich (> 4 m/s) (Quelle: (Energy, 2010))28	
Abbildung 20: Ausschlusszonen „Technisches Potential“ in Österreich (Quelle: (Energy, 2010)).....	29
Abbildung 21: Ausschlusszonen "Reduziertes technisches Potential" in Österreich (Quelle: (Energy, 2010))	30
Abbildung 22: Österreichkarte mit Eignungsgebieten für Windkraftanlagen (Quelle: (Dedering, 2010), bearbeitet).....	31
Abbildung 23: Ausschlusszonierung Oberösterreich (Quelle: (Landesregierung, 2012) bearbeitet)	33
Abbildung 24: Vorrangzonierung Oberösterreich (Quelle: (Landesregierung, 2012) bearbeitet)	35
Abbildung 25: Zonierung der Steiermark für Windkraftanlagen (Quelle: (Steiermark, 2013)).....	36
Abbildung 26: Detailansicht der Vorrangzonen Pretul und Steinriegel (Quelle: (Steiermark, 2013), bearbeitet).....	37
Abbildung 27: Windpotentialflächen Vorarlberg (Quelle: (Geodynamik, 2003), bearbeitet)	38
Abbildung 28: Windpotentialflächen inklusive Gebietsbestimmung Vorarlberg (Quelle: (Geodynamik, 2003), bearbeitet).....	39
Abbildung 29: Windpotentialflächen Tirol (Quelle: (OG, 2013), bearbeitet).....	40
Abbildung 30: Windpotentialflächen Tirol mit erweiterten Ausschlusskriterien (Quelle: (OG, 2013), bearbeitet).....	41
Abbildung 31: Gebiete für die Windkraftnutzung im Nordosten Niederösterreichs (Quelle: (Landesregierung, 2014), bearbeitet).....	42
Abbildung 32: Gebiete für die Windkraftnutzung im Südosten Niederösterreichs (Quelle: (Landesregierung, 2014), bearbeitet).....	43
Abbildung 33: Gebiete für die Windkraftnutzung im Südwesten Niederösterreichs (Quelle: (Landesregierung, 2014), bearbeitet).....	43
Abbildung 34: Gebiete für die Windkraftnutzung im Nordwesten Niederösterreichs (Quelle: (Landesregierung, 2014), bearbeitet).....	44

Abbildung 35: Entwicklung der Windkraft in Deutschland (Quelle: (IWES, 2017), eigene Darstellung)	45
Abbildung 36: Zu- und Abbau der kumulierten und installierten Onshore Windenergieleistung (Quelle: (Windguard, 2016)).....	47
Abbildung 37: Entwicklung der Windanlagenleistung in Deutschland (Quelle: (Windguard, 2016)).....	48
Abbildung 38: Offshore Windenergieentwicklung in Deutschland (Quelle: (Windguard, 2017)).....	51
Abbildung 39: Offshore Windparkkarte Deutschlands, Stand 31.12.2016 (Quelle: (Windguard, 2017), bearbeitet).....	53
Abbildung 40: Mittlere Jahreswindgeschwindigkeiten 100 m über Grund in Deutschland von 2004 bis 2013 in m/s (Quelle: (IWES, 2014)).....	54
Abbildung 41: Windzonen des Deutschen Instituts für Bauwesen (DIBt) (Quelle: (IWES, 2015)).....	55
Abbildung 42: Anteile nutzbarer Flächen für Windenergie (Quelle: (Windenergie, 2011), eigene Darstellung)	56
Abbildung 43: Deutschlandkarte mit nutzbaren Flächen für die Windenergie (Quelle: (Windenergie, 2011), bearbeitet).....	57
Abbildung 44: Flächen für Stark- und Schwachwindanlagen in Deutschland (Quelle: (Windenergie, 2011), bearbeitet).....	58
Abbildung 45: Flächen für Stark- und Schwachwindanlagen in Niedersachsen (Quelle: (Windenergie, 2011), bearbeitet).....	60
Abbildung 46: Südlicher Bereich des Landkreises Diepholz mit Vorranggebieten für die Windenergieerzeugung (Quelle: (Kreisentwicklung, 2016), bearbeitet).....	63
Abbildung 47: Geplante Entwicklung der Offshore Windenergieleistung in Deutschland (Quelle: (Windguard, 2017)).....	64
Abbildung 48: Offshore Windparkprojekte in der Nordsee, genehmigt oder erörtert (Quelle: (Windguard, 2017)).....	68
Abbildung 49: Offshore Windparkprojekte in der Ostsee, genehmigt oder erörtert (Quelle: (Windguard, 2017)).....	68
Abbildung 50: Entwicklung der Windenergie in Frankreich (Quelle: basierend auf Daten von (Sarah Florence Gaebler, 2016), (EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016))	69
Abbildung 51: Regionale Verteilung der installierten Windenergieleistung in Frankreich, Stand Ende 2015 (Quelle: (durable, 2016), bearbeitet).....	70

Abbildung 52: Windgeschwindigkeiten über Frankreich in 50 m über Grund (Quelle: (Energien, 2014), bearbeitet).....	71
Abbildung 53: Windgeschwindigkeiten im Französischen Meeresgebiet in 100 m über Grund (Quelle: (Cerema, 2015), bearbeitet).....	72
Abbildung 54: Eignungsflächen für Windkraftanlagen in der Region Centre-Val de Loire (Quelle: (Loire, 2012), bearbeitet).....	74
Abbildung 55: Ermittelte Eignungszonen für Windkraftanlagen in Frankreich aus den regionalen Windschemata (Quelle: (Brawl, 2010), bearbeitet)	75
Abbildung 56: Ausschreibungszonen von Offshore Windparks in Frankreich (Quelle: (durable, 2014), bearbeitet)	76
Abbildung 57: Eignungsflächen für Offshore Windparks (Quelle: (Cerema, 2015), bearbeitet)	77
Abbildung 58: Jährlicher Ausbau der Windenergie in Spanien bis 2015 (Quelle: (aee, 2016)).....	78
Abbildung 59: Mittlere Windgeschwindigkeiten Spaniens in 80 m über Grund (Quelle: (IDAE, 2009), bearbeitet).....	80
Abbildung 60: Windleistungsdichten von Spanien in 80 Höhe über Grund (Quelle: (IDAE, 2009), bearbeitet).....	81
Abbildung 61: Eignungszonen für Offshore Windenergieanlagen im Spanischen Meer (Quelle: (IDAE, 2009), bearbeitet)	82

8. Literaturverzeichnis

ae, 2016. *ae - Asociación Empresarial Eólica*. [Online]

Available at: <http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/la-eolica-en-espana/potencia-instalada/>

[Zugriff am 14 12 2016].

Brawl, T., 2010. *Wikipedia*. [Online]

Available at:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/France_relief_location_cartes_regions_et_departements.png

[Zugriff am 26 01 2017].

Bundeskanzleramt, 2016. *RIS-Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem*.

[Online]

Available at:

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrNO&Gesetzesnummer=20000722>

[Zugriff am 05 11 2016].

Cerema, 2015. *DOCPLAYER*. [Online]

Available at: <http://docplayer.fr/11428730-Analyses-du-vent-et-etude-du-potentiel-technico-economique-eolien-en-mer.html>

[Zugriff am 06 12 2016].

D'Azur, D. P. A.-C., 2012. *Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement*. [Online]

Available at: <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/qu-est-ce-qu-un-schema-regional-eolien-a4032.html>

[Zugriff am 06 01 2017].

Dedering, U., 2010. *Wikipedia*. [Online]

Available at:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Austria_relief_location_map.jpg

[Zugriff am 08 01 2017].

durable, C. g. a. D., 2014. *MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER*. [Online]

Available at: http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2014_05_07_DP_AO2_eolien_en_mer.pdf

[Zugriff am 26 01 2017].

durable, C. g. a. D., 2016. *MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER*. [Online]

Available at: http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Chiffres_et_statistiques/2016/chiffres-stats731-eolien2015t4-fevrier2016-b.pdf

[Zugriff am 22 11 2016].

E-Control, 2014. [Online]

Available at: https://www.e-control.at/documents/20903/388512/Oekostrombericht2014_final.pdf/7e117100-8b19-46e0-97bb-e9dde843fa8f

[Zugriff am 08 08 2015].

Energien, A. f. E., 2017. *Agentur für Erneuerbare Energien*. [Online]

Available at: <https://www.unendlich-viel-energie.de/erneuerbare-energie/wind/artikel1306>

[Zugriff am 19 01 2017].

Energien, D.-f. B. f. e., 2014. *Deutsch-französisches Büro für erneuerbare Energien*. [Online]

Available at: <http://enr-ee.com/de/windenergie/veroeffentlichungen/dfbee-publikationen.html>

[Zugriff am 22 11 2016].

Energiewerkstatt, 2014. *Windatlas*. [Online]

Available at: http://www.windatlas.at/downloads/Follow_Up_Bericht_2014.pdf

[Zugriff am 17 08 2016].

Energy, R., 2010. *regioenergy*. [Online]

Available at: http://regioenergy.oir.at/sites/regioenergy.oir.at/files/uploads/pdf/REGIO-Energy_Endbericht_201013_korr_Strom_Waerme.pdf

[Zugriff am 29 11 2016].

EU-Reference-Scenario-2016, 2016. [Online]

Available at:

<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/referencescenario2016report.pdf>

[Zugriff am 21 08 2016].

EWEA-Annual-Statistics-2015, 2016. [Online]

Available at: <https://windeurope.org/about-wind/statistics/european/>

[Zugriff am 08 08 2016].

Geodynamik, Z. f. M. u., 2003. *Vorarlberg*. [Online]

Available at: <https://www.vorarlberg.at/pdf/daswindenergiepotentialvo.pdf>

[Zugriff am 09 11 2016].

Geodynamik, Z. f. M. u., 2003. *Vorarlberg*. [Online]

Available at: <https://www.vorarlberg.at/pdf/vorarlbergkartemittleresw.pdf>

[Zugriff am 03 01 2017].

Hau, E., 2014. *Windkraftanlagen*. 5. Auflage Hrsg. Krailing bei München, Deutschland: Springer.

IDAE, I. p. I. d. y. a. d. I. e., 2009. *IDAE*. [Online]

Available at: http://atlaseolico.idae.es/inc/get_map.php?pdf=spd80_es

[Zugriff am 14 12 2016].

IDAE, I. p. I. d. y. a. d. I. e., 2009. *IDAE*. [Online]

Available at: http://atlaseolico.idae.es/inc/get_map.php?pdf=EEAL-PM_es

[Zugriff am 14 12 2016].

IDAE, I. p. I. d. y. a. d. I. e., 2009. *IDAE*. [Online]

Available at: http://atlaseolico.idae.es/inc/get_map.php?pdf=pow80_es

[Zugriff am 01 27 2017].

IG-Windkraft, 2016. *IG Windkraft*. [Online]

Available at:

<https://www.igwindkraft.at/mmedia/download/2016.04.21/146123557284249.pdf>

[Zugriff am 17 08 2016].

IG-Windkraft, 2016. *IG Windkraft*. [Online]

Available at: [https://www.igwindkraft.at/?xmlval_ID_KEY\[0\]=1055/](https://www.igwindkraft.at/?xmlval_ID_KEY[0]=1055/)

[Zugriff am 17 08 2016].

IG-Windkraft, 2016. *Windfakten*. [Online]

Available at: [https://www.igwindkraft.at/fakten/?xmlval_ID_KEY\[0\]=1234](https://www.igwindkraft.at/fakten/?xmlval_ID_KEY[0]=1234)

[Zugriff am 17 08 2016].

IWES, F., 2014. *Fraunhofer IWS*. [Online]

Available at:

[http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/windmonitor_de/3 Onshore/3 externe Bedingungen/ertragsindex/](http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/windmonitor_de/3_Onshore/3_externer_Bedingungen/ertragsindex/)

[Zugriff am 23 11 2016].

IWES, F., 2015. *Fraunhofer IWS*. [Online]

Available at: http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-3396662.pdf

[Zugriff am 23 01 2017].

IWES, F., 2017. *Fraunhofer IWS*. [Online]

Available at:

[http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/windmonitor_de/3 Onshore/1 zubau/2 Entwicklung der Windenergie/](http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/windmonitor_de/3_Onshore/1_zubau/2_Entwicklung_der_Windenergie/)

[Zugriff am 17 01 2017].

Kreisentwicklung, F., 2016. *Landkreis Diepholz*. [Online]

Available at: <https://www.diepholz.de/portal/seiten/neuaufstellung-regionales-raumordnungsprogramm-rrrop-2015-2016-900000180-21750.html?rubrik=1000004>

[Zugriff am 06 12 2016].

Landesregierung, A. d. N., 2014. *RIS-Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem*.

[Online]

Available at:

https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Landesnormen/LNO40006757/Anlage_1_Karte_NO.pdf

[Zugriff am 05 11 2016].

Landesregierung, A. d. N., 2014. *RIS-Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem*.

[Online]

Available at:

https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Landesnormen/LNO40006758/Anlage_2_Karte_SO.pdf

[Zugriff am 05 11 2016].

Landesregierung, A. d. N., 2014. *RIS-Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem*.

[Online]

Available at:

https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Landesnormen/LNO40006759/Anlage_3_Karte_SW.pdf

[Zugriff am 05 11 2016].

Landesregierung, A. d. N., 2014. *RIS-Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem*.

[Online]

Available at:

https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Landesnormen/LNO40006760/Anlage_4_Karte_NW.pdf

[Zugriff am 05 11 2016].

Landesregierung, A. d. O., 2012. *Land Oberösterreich*. [Online]

Available at: <https://www.land->

[oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/DokumenteAbt_U/US_Energie_Windkraftmasterplan_Vorrangzonen.pdf](https://www.land-oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/DokumenteAbt_U/US_Energie_Windkraftmasterplan_Vorrangzonen.pdf)

[Zugriff am 6 11 2016].

Landesregierung, A. d. O., 2012. *Land Oberösterreich*. [Online]

Available at: <https://www.land->

[oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/DokumenteAbt_U/US_Energie_Windkraftmasterplan_Ausschlusszone.pdf](https://www.land-oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/DokumenteAbt_U/US_Energie_Windkraftmasterplan_Ausschlusszone.pdf)

[Zugriff am 6 12 2016].

Landesregierung, A. d. O., 2016. *Land Oberösterreich*. [Online]

Available at: <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/110625.htm>

[Zugriff am 6 11 2016].

Loire, D. C.-V. d., 2012. *Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement*. [Online]

Available at: <http://www.centre.developpement->

durable.gouv.fr/IMG/pdf/4_SRCAE_ANNEXE_SRE_vf_cle6dae26.pdf

[Zugriff am 13 12 2016].

OG, e. c., 2013. *gruene-tirol*. [Online]

Available at: <http://gruene-tirol.m->

[otion.at/uploads/cd_page_element/1140853985/Kriterienkatalog-Windenergie_.pdf](http://gruene-tirol.m-otion.at/uploads/cd_page_element/1140853985/Kriterienkatalog-Windenergie_.pdf)

[Zugriff am 06 11 2016].

Österreich, W., 2017. [Online]

Available at: http://ispacevm11.researchstudio.at/index_v.html

[Zugriff am 17 08 2016].

Raumplanung, Ö. I. f., 2010. *oir*. [Online]

Available at:

http://www.oir.at/files2/pdf/projects/700302_RahmenkonzeptWindBgl.pdf

[Zugriff am 03 01 2017].

Robert Gasch, J. T., 2005. *Windkraftanlagen - Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb*. 4. Auflage Hrsg. Berlin: Teubner.

Sarah Florence Gaebler, D., 2016. *Deutsch-Französisches Büro für die Energiewende*. [Online]

Available at: <http://enr-ee.com/de/windenergie/nachrichten/leser/dfbee-barometer-onshore-windenergie-frankreich-gesamtjahr-2015.html>

[Zugriff am 26 01 2017].

Steiermark, L., 2013. *Raumplanung-Steiermark*. [Online]

Available at:

http://www.raumplanung.steiermark.at/cms/dokumente/11825666_2863310/20efdd65/Sapro%20Wind_Publikation%20HP_reduziert.pdf

[Zugriff am 05 11 2016].

Steiermark, L., 2013. *Raumplanung-Steiermark*. [Online]

Available at: <http://www.raumplanung.steiermark.at/cms/beitrag/11825666/2863310/>

[Zugriff am 03 01 2017].

Wikipedia, 2017. *Wikipedia*. [Online]

Available at: [https://de.wikipedia.org/wiki/Region_\(Frankreich\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Region_(Frankreich))

[Zugriff am 26 01 2017].

Windatlas, 2016. [Online]

Available at: http://ispacevm11.researchstudio.at/index_v.html

[Zugriff am 17 08 2016].

Windenergie, B., 2011. *BWE*. [Online]

Available at: [https://www.wind-](https://www.wind-energie.de/sites/default/files/attachments/region/niedersachsen-bremen/niedersachsen-potenzial.pdf)

[energie.de/sites/default/files/attachments/region/niedersachsen-bremen/niedersachsen-potenzial.pdf](https://www.wind-energie.de/sites/default/files/attachments/region/niedersachsen-bremen/niedersachsen-potenzial.pdf)

[Zugriff am 06 12 2016].

Windenergie, B., 2011. *BWE*. [Online]

Available at: [https://www.wind-](https://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/studie-zum-potenzial-der-windenergienutzung-land/bwe_potenzialstudie_kurzfassung_2012-03.pdf)

[energie.de/sites/default/files/download/publication/studie-zum-potenzial-der-windenergienutzung-land/bwe_potenzialstudie_kurzfassung_2012-03.pdf](https://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/studie-zum-potenzial-der-windenergienutzung-land/bwe_potenzialstudie_kurzfassung_2012-03.pdf)

[Zugriff am 09 11 2016].

Windenergie-Barometer, E., 2016. [Online]

Available at: <http://www.euroobserv-er.org/windenergie-barometer-2016/>

[Zugriff am 09 08 2016].

Windguard, D., 2016. *Bundesverband WindEnergie*. [Online]

Available at: [https://www.wind-](https://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/factsheet-status-des-offshore-windenergieausbaus-deutschland-1-halbjahr-2016/factsheet_status_windenergieausbau_an_land_1._halbjahr_2016.pdf)

[energie.de/sites/default/files/download/publication/factsheet-status-des-offshore-windenergieausbaus-deutschland-1-halbjahr-2016/factsheet_status_windenergieausbau_an_land_1._halbjahr_2016.pdf](https://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/factsheet-status-des-offshore-windenergieausbaus-deutschland-1-halbjahr-2016/factsheet_status_windenergieausbau_an_land_1._halbjahr_2016.pdf)

[Zugriff am 23 11 2016].

Windguard, D., 2017. *Bundesverband Windenergie*. [Online]

Available at: [https://www.wind-](https://www.wind-energie.de/sites/default/files/attachments/page/statistiken/factsheet-status-offshore-windenergieausbau-jahr-2016.pdf)

[energie.de/sites/default/files/attachments/page/statistiken/factsheet-status-offshore-windenergieausbau-jahr-2016.pdf](https://www.wind-energie.de/sites/default/files/attachments/page/statistiken/factsheet-status-offshore-windenergieausbau-jahr-2016.pdf)

[Zugriff am 19 01 2017].

Windkraft, I., 2014. *IG Windkraft*. [Online]

Available at:

<https://www.igwindkraft.at/mmedia/download/2014.09.17/1410977218609726.pdf>

[Zugriff am 12 11 2016].