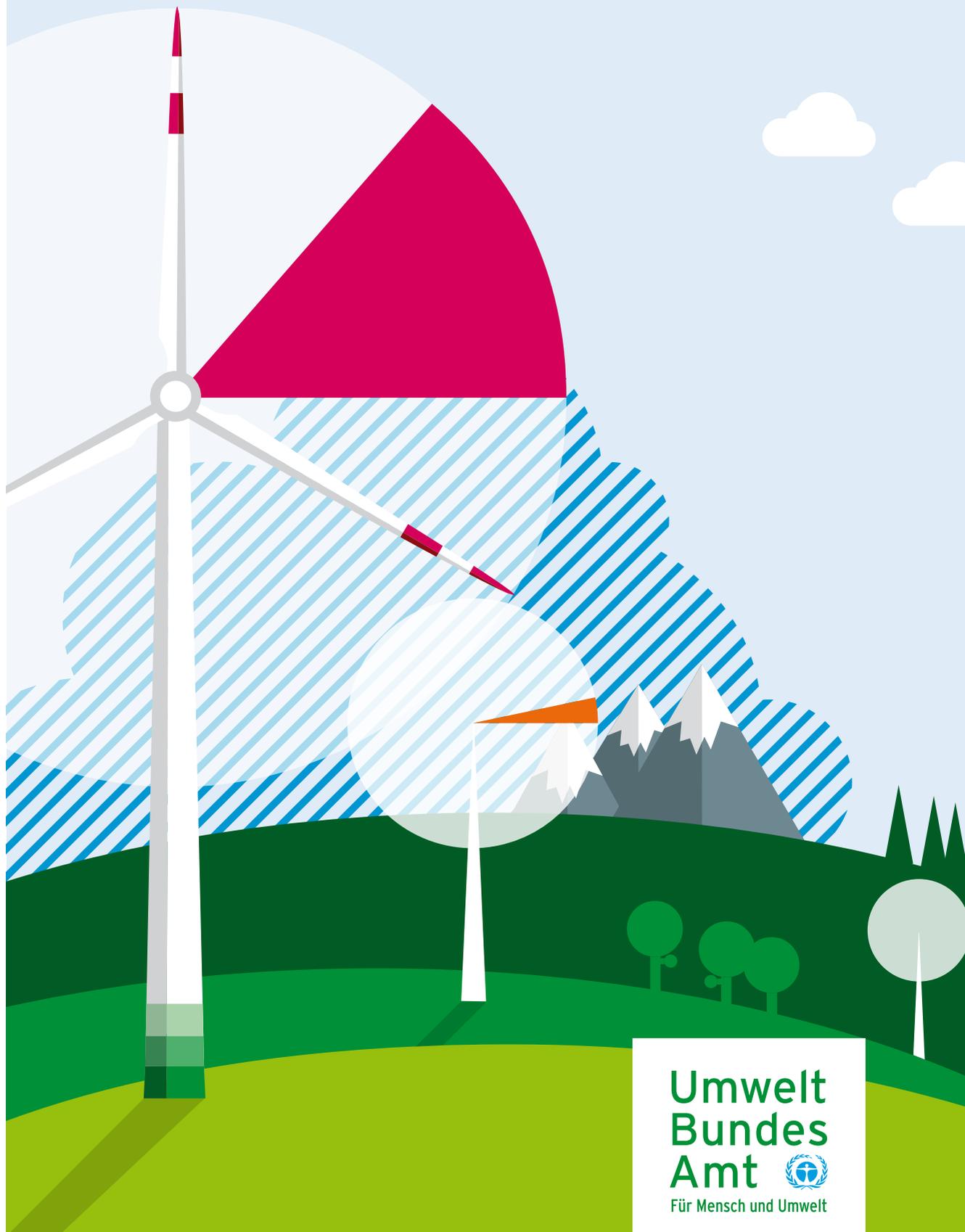


# POTENZIAL DER WINDENERGIE AN LAND

Studie zur Ermittlung des bundesweiten Flächen- und Leistungspotenzials der Windenergienutzung an Land



Umwelt  
Bundes  
Amt   
Für Mensch und Umwelt

# POTENZIAL DER WINDENERGIE AN LAND

Studie zur Ermittlung des bundesweiten Flächen- und Leistungspotenzials der Windenergienutzung an Land

## **Autoren:**

Insa Lütkehus, Hanno Salecker, Kirsten Adlunger

## **mit Beiträgen von:**

Thomas Klaus, Carla Vollmer, Carsten Alsleben,  
Raphael Spiekermann, Andrea Bauerdorff,  
Jens Günther, Gudrun Schütze

## **Modellierung und Berechnung:**

Raphael Spiekermann, Dr. Stefan Bofinger  
Fraunhofer-Institut für Windenergie und  
Energiesystemtechnik (IWES), Kassel

## **Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Roßlau  
Telefon: 0340/2103-0  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)  
[www.fuer-mensch-und-umwelt.de](http://www.fuer-mensch-und-umwelt.de)

## **Redaktion:**

Insa Lütkehus, Hanno Salecker, Carla Vollmer, Thomas Klaus

## **Gestaltung:**

Studio GOOD, Berlin  
[www.studio-good.de](http://www.studio-good.de)

## **Auflage:**

1.000 Exemplare  
Gedruckt mit mineralölfreien Druckfarben  
auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.

## **Fotonachweis:**

Seiten 6, 11, 22, 25: shutterstock.com,  
Seite 28: plainpicture/Müller, C.

 [facebook.com/umweltbundesamt.de](https://facebook.com/umweltbundesamt.de)

Dessau-Roßlau, Juni 2013

**Umwelt  
Bundes  
Amt**   
Für Mensch und Umwelt



Diese Publikation ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit  
des Umweltbundesamtes. Sie ist kostenlos erhältlich.

Broschüre bestellen:

Telefon: 030/18 305 33 55 (zum Ortstarif)

Fax: 030/18 305 33 56

E-Mail: [uba@broschuerenversand.de](mailto:uba@broschuerenversand.de)

Das Themenheft steht auch im Internet als

PDF-Dokument unter: [www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/4467.html](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/4467.html)

# POTENZIAL DER WINDENERGIE AN LAND

Studie zur Ermittlung des bundesweiten Flächen- und Leistungspotenzials der Windenergienutzung an Land

# ZUSAMMENFASSUNG

---

Im Rahmen der vorliegenden GIS<sup>1</sup>-basierten Studie wurde das Potenzial der Windenergie an Land ermittelt. **Auf Basis der getroffenen Annahmen und gewählten Windenergieanlagentechnik ergibt sich ein grundsätzlich verfügbares Flächenpotenzial von rund 49.400 km<sup>2</sup> bzw. 13,8 % der Landesfläche der Bundesrepublik Deutschland. Dies entspricht einem Potenzial von rund 1.190 GW installierbarer Leistung mit einem Ertrag von 2.900 TWh/a.** Bei der Potenzialermittlung wurde keine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt, sondern nur technische und ökologische Restriktionen berücksichtigt. Allerdings konnten Belange, die Einzelfallbetrachtungen bedürfen (vor allem der besondere Artenschutz, aber auch z. B. Radaranlagen) im Rahmen der Studie nicht sinnvoll abgebildet werden. **Das technisch-ökologische Potenzial, bei dem u. a. auch der besondere Artenschutz zu berücksichtigen ist, fällt somit erheblich kleiner aus.**

Das davon realisierbare Potenzial für die Windenergienutzung an Land ist **nochmals deutlich geringer**. Wesentliche Einflussfaktoren, die in der Potenzialstudie nicht berücksichtigt wurden, aber in der Praxis der konkreten Realisierung von Windenergievorhaben entgegenstehen können, sind unter anderem

- räumliche Entwicklungsziele der Gebietskörperschaften (z. B. Vorranggebiete für Siedlungsentwicklung),
- Einwände und Vorbehalte der Flächeneigentümer oder Anwohner vor Ort aufgrund fehlender Akzeptanz,
- wirtschaftliche Bedingungen im konkreten Einzelfall (z. B. Investitionskosten im Verhältnis zur Windhöflichkeit) sowie
- Nutzungsansprüche, die anhand der zugrunde liegenden Daten nicht erfasst werden konnten (z. B. zivile und militärische Funk- oder Radaranlagen sowie weitere militärische Belange).

Zudem wurden für zwei zentrale Einflussgrößen, die zu diesem hohen ermittelten Potenzial beigetragen haben, Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Das große ermittelte Potenzial resultiert maßgeblich aus der modernen heute verfügbaren Windenergieanlagentechnik, die wegen großer Nabenhöhen und Rotordurchmesser eine Erschließung von Standorten im Binnenland sowie aufgrund geringer Lärmemissionen auch die Einhaltung der Anforderungen des Lärmschutzes im Nahbereich von Siedlungen ermöglicht. Mit den beiden zugrunde gelegten Referenzanlagen (siehe Kapitel 4.1) können im bundesweiten Mittel **2.440 Volllaststunden pro Jahr** erreicht werden. Heute liegt der Bundesdurchschnitt aller Anlagen bei 1.700 Volllaststunden. **Bei einer Vernachlässigung von Standorten, an denen die als Referenzanlage der Studie zugrunde gelegte Schwachwindanlage weniger als 2.200 Volllaststunden<sup>2</sup> erreicht,** ergibt sich ein Potenzial von **930 GW installierbarer Leistung** mit einem potenziellen Ertrag von **2.400 TWh pro Jahr**. Einen besonders großen Einfluss auf das Potenzial haben darüber hinaus die zugrunde gelegten Schutzabstände zu sensiblen Bereichen, insbesondere zu Wohnbauflächen. So hat eine weitere Sensitivätsberechnung am Beispiel der Wohnbauflächen ergeben, dass eine Verdopplung des angenommenen Mindestabstandes der Referenzanlagen zur Wohnbebauung das Flächenpotenzial um 75 % reduzieren würde.

Trotz der hohen Abhängigkeit der Ergebnisse der bundesweiten Windpotenzialstudie von den zugrunde gelegten Annahmen wird deutlich: Die Windenergie an Land kann ihrer **Schlüsselrolle im Portfolio der erneuerbaren Energien** gerecht werden und

auch einen erhöhten Strombedarf, z. B. im Zuge eines Einsatzes im Wärmesektor oder einer Zunahme der Elektromobilität, kompensieren. Es existieren ausreichend Standorte, die in Verbindung mit modernen Windenergieanlagen eine **gleichmäßige Strom-einspeisung** durch eine hohe Auslastung versprechen.

Im bundesweiten Betrachtungsmaßstab lässt das ermittelte Potenzial den Schluss zu, dass für den zukünftigen Ausbau der Windenergie an Land zunächst die **Erschließung möglichst konfliktarmer und kosteneffizienter Standorte** in Betracht gezogen werden kann. Ungeachtet der Ergebnisse der Studie kann in einzelnen Planungsräumen der Windenergie nur dann substantiell Raum geschaffen werden, wenn Kriterien für die Ausweisung von Windenergiegebieten entsprechend angepasst werden. In welchem Umfang das ermittelte Potenzial letztendlich ausgenutzt werden kann und soll, hängt von den oben genannten Einflussfaktoren ab und ist Gegenstand gesellschaftlicher und politischer Entscheidungen sowie planerischer Abwägung auf den verschiedenen Ebenen.

---

#### WELCHE RÜCKSCHLÜSSE DIE STUDIE ZULÄSST:

1. Die Windenergie an Land kann ihrer Schlüsselrolle im Portfolio der erneuerbaren Energien gerecht werden.
2. Grundsätzlich stehen ausreichend Standorte für die Windenergienutzung zur Verfügung.
3. Das ermittelte Potenzial ist über ganz Deutschland verteilt.
4. Moderne Windenergieanlagen können auch im Binnenland eine sehr hohe Auslastung erreichen.
5. Im bundesweiten Betrachtungsmaßstab ermöglicht das ermittelte Potenzial eine Nutzung der Windenergie an möglichst konfliktarmen und kosteneffizienten Standorten.

#### WAS BEI DER INTERPRETATION DER ERGEBNISSE ZU BEACHTEN IST:

1. Das tatsächlich realisierbare Potenzial für die Windenergienutzung an Land ist deutlich geringer einzuschätzen.
2. Die Studie ist nicht als Grundlage oder Empfehlung für die Planungs- und Genehmigungspraxis der Länder oder Kommunen geeignet.
3. Aufgrund des Betrachtungsmaßstabes einer bundesweiten Potenzialstudie sind vereinfachende Annahmen getroffen worden, die einen Vergleich mit der Planungs- und Genehmigungspraxis in den Ländern und Kommunen nicht erlauben.

---

#### FUSSNOTEN

1 Geoinformationssystem

2 Die Höhe der Volllaststunden ist immer in direktem Zusammenhang mit der gewählten Referenzanlage zu sehen. Andere Anlagen können am gleichen Standort zu deutlich abweichenden Ergebnissen führen. Insbesondere sind bei guten Schwachwindanlagen auch deutlich höhere Volllaststunden möglich.

# VERZEICHNISSE



## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Entwicklung der jährlich neu installierten Windenergieleistung ... 7  
**Abbildung 2:** Potenzialbegriff ... 9  
**Abbildung 3:** Anlagenkonfigurationen von Windparks ... 17  
**Abbildung 4:** Isometrische Darstellung der Hindernisbegrenzungsflächen für den Abflug ... 20  
**Abbildung 5:** Ermittlung der Ausschlussflächen bei Flughäfen ... 21  
**Abbildung 6:** Ausschlussflächen bei der Genehmigung von WEA im Umfeld von Flugplätzen ... 21  
**Abbildung 7:** Methodische Vorgehensweise ... 29  
**Abbildung 8:** Positionen der ersten drei WEA innerhalb eines Windparks ... 31  
**Abbildung 9:** Positionen der ersten elf WEA innerhalb eines Windparks ... 31  
**Abbildung 10:** Ausschlusswirkungen der unterschiedlichen Flächenkategorien ... 36  
**Abbildung 11:** Häufigkeitsverteilung der Volllaststunden der Referenzanlagen im Bundesgebiet ... 37  
**Abbildung 12:** Einfluss des Abstands zu Wohnbauflächen auf die Höhe des ermittelten Flächenpotenzials ... 38  
**Abbildung 13:** Potenzieller Ertrag aus Schwachwindanlagen in Abhängigkeit der Mindestauslastung ... 39

## Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1:** Technische Daten der Referenzanlagen ... 16  
**Tabelle 2:** Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden ... 17  
**Tabelle 3:** Lärminduzierte Abstandswerte ... 18  
**Tabelle 4:** Abstände zu Infrastrukturen ... 19  
**Tabelle 5:** Ausschlussgebiete sowie Schutzabstände zu Schutzgebieten ... 23  
**Tabelle 6:** Beurteilung bedeutender Waldfunktionen ... 27  
**Tabelle 7:** Gewässerbezogene Ausschlussflächen sowie Schutzabstände ... 27  
**Tabelle 8:** Ermitteltes Flächenpotenzial ... 35  
**Tabelle 9:** Ermitteltes Leistungspotenzial ... 36  
**Tabelle 10:** Ermitteltes Ertragspotenzial und mittlere Volllaststunden ... 36  
**Tabelle 11:** Einfluss des Abstands zu Wohnbauflächen ... 38  
**Tabelle 12:** Auswertung der Sensitivitätsanalyse Mindestauslastung ... 39

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AdV</b>	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
<b>BauGB</b>	Baugesetzbuch
<b>BauNVO</b>	Baunutzungsverordnung
<b>BfN</b>	Bundesamt für Naturschutz
<b>BImSchG</b>	Bundes-Immissionsschutzgesetz
<b>BLWE</b>	Bund-Länder-Initiative Windenergie
<b>BMU</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
<b>BMVBW</b>	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
<b>BMWi</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
<b>BNatSchG</b>	Bundesnaturschutzgesetz
<b>BWaldG</b>	Bundeswaldgesetz
<b>dB</b>	Dezibel
<b>DGM</b>	Digitales Geländemodell
<b>DFS</b>	Deutsche Flugsicherung
<b>DLM</b>	Digitales Landschaftsmodell
<b>DVGW</b>	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
<b>DWD</b>	Deutscher Wetterdienst
<b>EE</b>	Erneuerbare Energien
<b>FBV</b>	Flächen für den Biotopverbund
<b>FFH</b>	Fauna-Flora-Habitat
<b>FStrG</b>	Bundesfernstraßengesetz
<b>GIS</b>	Geoinformationssystem
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GW</b>	Gigawatt
<b>ha</b>	Hektar
<b>kV</b>	Kilovolt
<b>LSG</b>	Landschaftsschutzgebiet
<b>LuftVG</b>	Luftverkehrsgesetz
<b>LuftVO</b>	Luftverkehrsordnung
<b>LWaldG</b>	Landeswaldgesetz
<b>m/s</b>	Meter pro Sekunde
<b>MW</b>	Megawatt
<b>OVG</b>	Oberverwaltungsgericht
<b>TA Lärm</b>	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
<b>TWh</b>	Terawattstunden
<b>WEA</b>	Windenergieanlage
<b>WHG</b>	Wasserhaushaltsgesetz

# INHALT



## EINLEITUNG

6-7



## VORBEMERKUNGEN

8-10



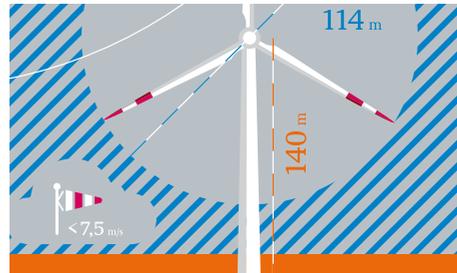
## DATENGRUNDLAGE

12-13



## VORGEHENSWEISE

15-33

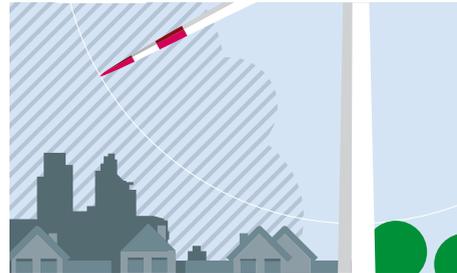


- 15 Referenzanlagen
- 16 Annahmen für die Ermittlung des Flächenpotenzials
- 29 Berechnungsvorgang

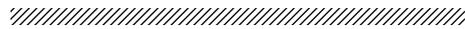


## ERGEBNISSE

35-40

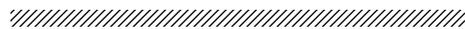


- 35 Flächenpotenzial
- 36 Leistungspotenzial und Erträge
- 37 Sensitivitätsanalysen
- 40 Einordnung der Ergebnisse



## SCHLUSSFOLGERUNGEN

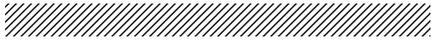
41



- 42 Glossar
- 46 Literatur- und Quellenverzeichnis
- 48 Anhang



# 1 — EINLEITUNG

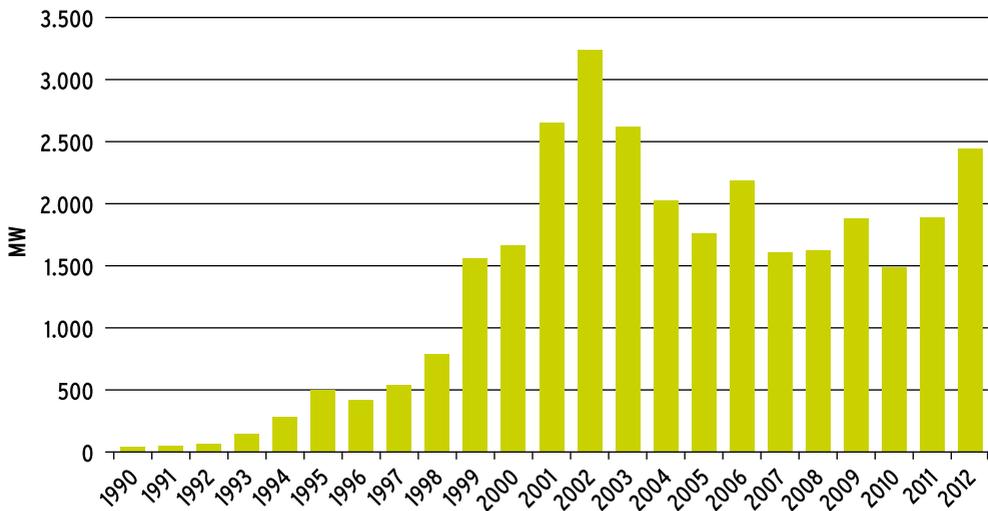


Bis zum Jahr 2020 soll der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung in Deutschland auf mindestens 35 % gesteigert werden, wobei die Windenergie an Land den größten Anteil daran haben soll. Trotz ambitionierter Zielsetzungen bei der Windenergie auf See wird die Windenergie an Land ihre bedeutende Rolle beibehalten, da sie kurz- und mittelfristig das kostengünstigste Ausbaupotenzial innerhalb der erneuerbaren Energien hat.

Die Windenergienutzung an Land leistete im Jahr 2011 mit einem Anteil von 8 % am Bruttostromverbrauch den weitaus größten Beitrag an der regenerativen Stromerzeugung in Deutschland<sup>3</sup>. Die Bedeutung der Windenergie wird auch in Zukunft weiter zunehmen. So wird in den Langfristszenarien 2011<sup>4</sup> im Basisszenario 2011 A<sup>5</sup> für die Windenergie an Land von einer installierten Leistung von 39 GW für das Jahr 2020 ausgegangen. Unter den dort getroffenen Annahmen ließen sich damit ca. 82 TWh Strom pro Jahr produzieren, was 13,5 % des heutigen Bruttostromverbrauchs entspricht<sup>6</sup>. Für das Jahr 2050 wird in diesem Szenario von einer installierten Leistung von knapp 51 GW und einer jährlichen Stromproduktion von 132 TWh aus Windenergie an Land ausgegangen<sup>7</sup>. Die Windenergie an Land würde damit die bedeutendste Quelle erneuerbarer Stromerzeugung bleiben und einen Anteil von 21,8 % des heutigen Bruttostromverbrauchs decken können.

Während die jährlich installierte Windenergieleistung seit Beginn der 1990er Jahre stark zugenommen hat, war seit 2003 zwischenzeitlich ein rückläufiger Trend erkennbar (siehe Abb. 1). Im Jahr 2010 wurde mit rund 1.500 MW neu installierter Leistung der niedrigste Stand seit 1999 verzeichnet. Diese rückläufige Tendenz wurde insbesondere auf zu wenige planungsrechtlich ausgewiesene Flächen für die Windenergienutzung zurückgeführt. Viele der ausgewiesenen Gebiete waren bereits weitgehend mit Windenergieanlagen (WEA) belegt<sup>8</sup>. Seither gibt es daher in vielen Bundesländern Bestrebungen, mehr Flächen für die Windenergienutzung bereitzustellen. Diese Gebietsausweisungen und die günstigen förderpolitischen Rahmenbedingungen haben dazu geführt, dass in 2011 (1.900 MW) und 2012 (2.400 MW) wieder eine deutliche Zunahme der jähr-

**Abbildung 1: Entwicklung der jährlich neu installierten Windenergieleistung (Rückbau aufgrund von Repowering nicht berücksichtigt)**



Quelle: eigene Darstellung auf Basis von BMU 2012a und Ender 2013

lichen installierten Leistung zu verzeichnen ist. Insgesamt waren Ende 2012 in Deutschland etwa 23.000 WEA mit einer Leistung von rund 31.000 MW an Land installiert<sup>9</sup>.

Unabhängig von den bereits heute installierten WEA verfolgt die vorliegende Studie das Ziel, das gesamte Potenzial der Windenergie an Land in Deutschland aufzuzeigen, das unter technischen und ökologischen Gesichtspunkten zur Verfügung steht.

Die Ermittlung des Potenzials erfolgte in zwei Schritten:

1. Auf Basis detaillierter digitaler Daten wurde zunächst das Flächenpotenzial ermittelt, indem nicht nutzbare Flächen definiert und diese ausgeschlossen wurden.
2. Im zweiten Schritt wurde anhand moderner WEA das mögliche Leistungs- und Ertragspotenzial modelliert.

Das so ermittelte Potenzial erlaubt eine Einschätzung, welchen Stellenwert die Windenergie an Land im Rahmen der Energiewende in Deutschland einnehmen kann.

#### FUSSNOTEN

<sup>3</sup> BMU 2012a

<sup>4</sup> BMU 2012b: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global.

<sup>5</sup> „Szenario 2011 A stellt bezüglich des EE-Ausbaus im Stromsektor das mittlere Szenario dar. Die Fahrzeuge mit Elektroantrieb (rein elektrische Fahrzeuge und Plug-in-Hybride) erreichen einen Anteil an der Fahrleistung des PKW-Verkehrs im Jahr 2050 von 50%. Der übrige Verkehr wird mit Biokraftstoffen sowie mittels Wasserstoff nutzenden Fahrzeugen bei insgesamt effizienteren Fahrzeugen abgedeckt. Wasserstoff wird als chemischer Speicher von EE-Strom darüber hinaus in der Kraft-Wärme-Kopplung zur Strom- und Wärmebereitstellung und kurzzeitig auch zur reinen Rückverstromung eingesetzt. Der Kernenergieausstieg wird entsprechend des Bundestagsbeschlusses vom 30. Juni 2011 (13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes) berücksichtigt.“ BMU 2012b, S. 2.

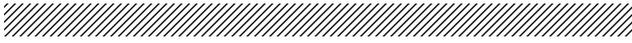
<sup>6</sup> BMU 2012c; der Bruttostromverbrauch in Deutschland betrug im Jahr 2011 605,8 TWh.

<sup>7</sup> BMU 2012b

<sup>8</sup> BMU 2011

<sup>9</sup> Ender 2013

## 2 — VORBEMERKUNGEN



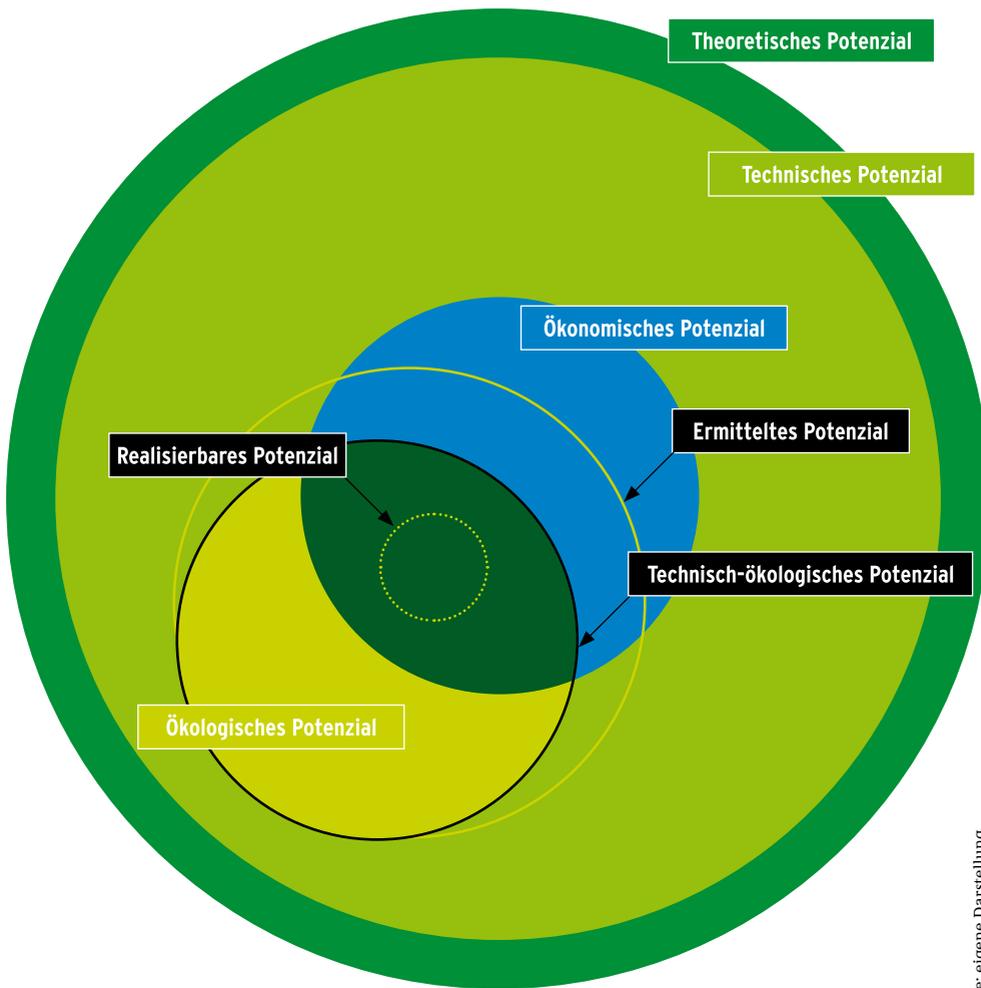
Ursprüngliches Ziel dieser Studie war es, das technisch-ökologische Potenzial der Windenergie in Deutschland zu ermitteln. Vor allem aufgrund der verfügbaren Daten war dies jedoch nicht möglich. Das im Rahmen der vorliegenden Studie ermittelte Potenzial ist vor allem aufgrund von Belangen, welche einer Einzelfallbetrachtung bedürfen (z. B. besonderer Artenschutz oder Radaranlagen) erheblich größer als das technisch-ökologische Potenzial.

Als technisch-ökologisches Potenzial wird der Teil des theoretischen Potenzials verstanden, welcher unter Berücksichtigung von technischen wie auch ökologischen Restriktionen nutzbar ist. Dabei umfasst das **theoretische Potenzial** das theoretisch physikalisch nutzbare Energieangebot des Windes. Das **technische Potenzial** ist der Teil dieser Energie, welcher bei der Umwandlung in elektrische Energie durch den Betrieb von WEA genutzt werden kann. Dabei ist von der aktuell besten am Markt verfügbaren Technik auszugehen. Das **technisch-ökologische Potenzial** stellt schließlich den Teil des technischen Potenzials dar, der unter Berücksichtigung ökologischer Restriktionen nutzbar ist. Unter „Ökologischen Restriktionen“ wird der Ausschluss von Flächen verstanden, die dazu dienen, erhebliche Beeinträchtigungen von Tieren und Pflanzen sowie ihrer Lebensräume und schadhafte Einflüsse auf den Menschen (z. B. durch Lärm) zu vermeiden. Mit einer bundesweiten GIS-basierten Potenzialermittlung kann die Studie dem Anspruch eines technisch-ökologischen Potenzials der Windenergie an Land jedoch nicht vollständig gerecht werden. Insbesondere kann der besondere Artenschutz<sup>10</sup> nicht berücksichtigt werden, obwohl er einer Realisierung von Windenergievorhaben oftmals entgegensteht. In der Praxis werden aufwändige Voruntersuchungen zum Vorkommen windenergiesensibler Arten und deren Bewegungsmustern durchgeführt, anhand derer in jedem Einzelfall entschieden wird, ob eine WEA genehmigungsfähig ist oder nicht. Dies ist in einer bundesweiten Potenzialstudie nicht sinnvoll abzubilden<sup>11</sup>.

Das **ökonomische Potenzial** ist der Teil des technischen Potenzials, welcher unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Gesichtspunkten erschließbar ist. Die Größe des ökonomischen Potenzials hängt in hohem Maße von den ökonomischen Rahmenbedingungen wie z. B. den Preisen für Energieträger und den Kosten der CO<sub>2</sub>-Emissionen ab. Damit sind auch die energiepolitischen Rahmenbedingungen eine wichtige Einflussgröße. Die vorliegende Studie quantifiziert das ökonomische Potenzial nicht.

Das **realisierbare Potenzial** stellt schließlich nur einen kleinen Teil des Potenzials dar, das sich aus der Schnittmenge des technisch-ökologischen und technisch-ökonomischen Potenzials ergibt. Es umfasst viele weitere Restriktionen wie z. B. landschaftsästhetische Gesichtspunkte oder die Akzeptanz der Bevölkerung vor Ort. Die Ermittlung eines realisierbaren Potenzials der Windenergie an Land in Deutschland würde daher umfangreiche weitere Untersuchungen etwa über die lokale Akzeptanz erfordern. Dies ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Potenzialstudie.

Abbildung 2: Potenzialbegriff



Quelle: eigene Darstellung

Die Qualität der Datengrundlage, die zugrunde gelegten Annahmen und die Eingangsgrößen bestimmen maßgeblich die Ergebnisse der vorliegenden Studie. Zur Beurteilung des ermittelten Potenzials sollten insbesondere die folgenden Hinweise beachtet werden:

- Grundlage für die Bewertung verschiedener Flächen- und Objektkategorien im Hinblick auf die Windenergienutzung sind die vorliegenden Geodaten (siehe Kapitel 3). In dieser Studie wurden die detailliertesten, deutschlandweit vorhandenen Geodaten bzw. Flächennutzungsdaten (Basis-DLM) verwendet. Es existieren jedoch Nutzungsarten, welche in den Geodaten nicht dargestellt sind, aber dennoch in Konkurrenz zur Windenergienutzung stehen und das ermittelte Potenzial einschränken. Verschiedene Objektkategorien konnten daher aufgrund fehlender oder unvollständiger Datengrundlagen nicht als Ausschlussflächen berücksichtigt werden. Dazu gehören z. B. Wasserschutz- und Überschwemmungsgebiete.
- Weiterhin können z. B. der Betrieb ziviler und militärischer Funk- oder Radaranlagen sowie weitere militärische Belange durch WEA im Nahbereich beeinträchtigt werden. Eine Berücksichtigung im Genehmigungsprozess findet hier üblicherweise in Einzelfallprüfung statt, welche im Rahmen einer Potenzialstudie nicht erfolgen kann. Zudem sind die Standorte militärischer Sendeanlagen grundsätzlich nicht öffentlich verfügbar. In der Realität können sich hier weitere Ausschlussflächen ergeben.

- Der Ausbau der Windenergie berührt neben dem Gebietsschutz im Sinne des Bundesnaturschutzgesetzes auch Aspekte des besonderen Artenschutzes. Wie bereits erwähnt, ist es im Rahmen dieser Studie nicht möglich, Einschränkungen des Potenzials aufgrund artenschutzrechtlicher Belange zu berücksichtigen. Dies führt zu einer erheblichen Überschätzung des Potenzials.
- Bei den Wetterdaten wurde auf die besten bundesweit verfügbaren Daten mit einer horizontalen Auflösung von 2,8 km zurückgegriffen. Dadurch ergibt sich eine verhältnismäßig grobe Auflösung. Gegenüber mikroskaligen Modellen, wie sie auf Länderebene zur Potenzialermittlung eingesetzt werden, ist eine Darstellung lokaler Windverhältnisse, insbesondere in den Gebirgsregionen, nur begrenzt möglich. Für eine Potenzialermittlung auf Bundesebene sind die Daten jedoch ausreichend genau.
- Die verwendeten Daten der Waldfunktionenkartierung der Bundesländer sind sehr heterogen. Einerseits liegen für einige Länder keine oder nur vereinzelte Datensätze vor, so dass Hochrechnungen vorgenommen werden mussten (vgl. Kap. 4.3.3). Andererseits ist die Kartierungspraxis in den Ländern teils sehr unterschiedlich. Dies muss bei der Einordnung des ermittelten Potenzials der Windenergie berücksichtigt werden.

Einige Bundesländer haben in den letzten Jahren eigene Potenzialstudien zur Windenergie erstellt oder erarbeiten diese derzeit. Die Ergebnisse dieser Studie sind mit den Potenzialberechnungen der Länder jedoch nur bedingt vergleichbar, daher sind abweichende Ergebnisse möglich und wahrscheinlich. Zum einen ist dies auf unterschiedliche Vorgehensweisen, Ausschlusskriterien und die jeweils verwendeten Datengrundlagen zurückzuführen. Zum anderen flossen bei der vorliegenden Potenzialermittlung keine Aspekte der Planungs- und Genehmigungspraxis ein. Bei der Ermittlung des Flächenpotenzials wurden bundesweit einheitliche Annahmen und Restriktionen zugrunde gelegt. Die Potenzialstudien der Länder orientieren sich dagegen in der Regel an den in den jeweiligen Windenergieerlass vorgegebenen Kriterien.

Darüber hinaus hat die Auswahl der Referenzanlagen einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse. Die gewählte Nabenhöhe und das Verhältnis von Rotordurchmesser zur Generatorleistung bestimmen die Erträge und die Auslastung der Anlagen. Die niedrigen Schallemissionen der Referenzanlagen haben einen unmittelbaren Einfluss auf den Abstand, der auf Grundlage der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) zu Siedlungsbereichen eingehalten werden muss, und somit auch auf das ermittelte Flächenpotenzial. In der Praxis unterscheiden sich die Schallemissionen zwischen den unterschiedlichen Anlagentypen erheblich.

#### FUSSNOTEN

---

- 10 Vgl. § 44 BNatSchG. Es ist grundsätzlich verboten, besonders geschützte Arten zu töten, zu stören oder ihre Fortpflanzungs- und Ruhestätten zu beschädigen. Besonders geschützte Tiere, die bei Windenergieplanungen eine bedeutende Rolle spielen können, sind Vogelarten wie z. B. Rotmilane, Wiesenweihen oder Seeadler sowie diverse Fledermausarten.
- 11 Es wurden verschiedene Vorgehensweisen diskutiert, wie eine Berücksichtigung des besonderen Artenschutzes im Rahmen der Studie erfolgen könnte. Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen hat beispielsweise im Rahmen seiner Windpotenzialstudie einen Datensatz zu Schwerpunktorkommen neun windenergiesensibler Vogelarten erstellt (vgl. LANUV 2012). Eine Überlagerung des Datensatzes mit dem ermittelten Potenzial zeigte, dass ca. 30 % der potenziellen WEA-Standorte in den Schwerpunktorkommen liegen. Dieser Datensatz dient aber lediglich als Hilfestellung für artenschutzrechtliche Fragestellungen bei Windenergieplanungen. Es wurden keine Standorte im Rahmen der Potenzialermittlung ausgeschlossen, zumal auch nicht alle relevanten Arten betrachtet wurden. Die Verwendung von GIS-Daten auf Bundesebene ist umso schwieriger, da bundesweite Daten zu Artenvorkommen in der benötigten Qualität nicht verfügbar bzw. auch gar nicht erhebbar sind. Die Überlegung, artenschutzrechtliche Einschränkungen mit einem pauschalen Abschlag auf das ermittelte Flächenpotenzial zu berücksichtigen, wurde verworfen, da hierzu momentan keine belastbare Aussage auf Basis von Studien getroffen werden kann. Letztendlich handelt es sich immer um Einzelfallentscheidungen, die im Rahmen einer bundesweiten Studie nicht berücksichtigt werden können.



# 3 — DATENGRUNDLAGE



Quelle: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Zur Identifizierung und Festlegung des Flächenpotenzials für die Windenergie an Land wurden mehrere Datensätze herangezogen:

## **GEOGRAPHISCHE BASISDATEN**

Für die grundlegende Beurteilung der allgemeinen Flächennutzungsstrukturen wurde das maßstabs- und abbildungsunabhängige Basis-DLM (Digitales Landschaftsmodell) herangezogen. Dieses Modell umfasst auf Basis des ATKIS<sup>12</sup>-Objektartenkatalogs im Vektorformat geotopographische Informationen, die die zuständigen Landesvermessungseinrichtungen in verschiedenen Realisierungsstufen erfassen. Der Detaillierungsgrad der Daten kann somit in den verschiedenen Ländern leicht unterschiedlich sein. Dennoch ist das Basis-DLM derzeit das Modell mit dem höchsten Detailgrad. So können im Siedlungsbereich auch kleine Siedlungen und Einzelgehöfte dargestellt und bei der Potenzialberechnung berücksichtigt werden<sup>13</sup>.

## **GELÄNDEDATEN**

Zur Abbildung der Geländeformen wurde auf das Digitale Geländemodell (DGM) 25 zurückgegriffen. Dieses bildet die Höhenstrukturen der Geländeoberfläche in einem 25 x 25-Meter-Raster ab<sup>14</sup>. Der Einbezug der Höhendaten ist notwendig, um Flächen mit zu starken Hangneigungen von der Potenzialerfassung auszuschließen.

## **SCHUTZGEBIETSDATEN**

Für eine möglichst aktuelle und einheitliche Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte wurde ein Datensatz durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) bereitgestellt, der folgende von den Ländern zum 01.01.2011 gemeldeten Schutzgebiete umfasst:

- Nationalparke,
- Naturschutzgebiete,
- Vogelschutzgebiete (Special Protection Areas – SPA),
- Feuchtgebiete nach Ramsar-Konvention,
- Biosphärenreservate mit Angaben zur Zonierung,
- Landschaftsschutzgebiete (LSG),
- Flora-Fauna-Habitat-Gebiete (FFH-Gebiete),
- Naturparke und
- geschützte Landschaftsbestandteile.

## **FLÄCHEN FÜR DEN BIOTOPVERBUND**

Neben den Schutzgebieten wurde zur Berücksichtigung ökologischer Restriktionen auch ein Datensatz des BfN zu den Flächen für den Biotopverbund mit länderübergreifender Bedeutung einbezogen. Dieser Datensatz fasst besonders wertvolle Flächen zusammen, in denen bestimmte Zielarten vorkommen und die aufgrund ihrer Größe und Unzerschnittenheit eine hohe Qualität aufweisen. Grundlage des Datensatzes waren u. a. die Biotopkartierungen der Bundesländer<sup>15</sup>.

## **WALDFUNKTIONENKARTIERUNG**

Im Basis-DLM wird zwischen Laub-, Nadel- und Mischwald unterschieden. Um Waldgebiete mit wichtigen ökologischen oder fortwirtschaftlichen Funktionen für die Windenergie ausschließen zu können, liegen der Studie die Daten der Waldfunktionskartierung der Landesforstbehörden zugrunde.

Die Länder Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Thüringen stellten vollständige Datensätze zur Verfügung. Für Hessen liegen lediglich Daten für den Staats- und Körperschaftswald vor, in Nordrhein-Westfalen nur zu Naturwaldzellen und Saatgutbeständen. Im Saarland sind die Waldfunktionen nicht umfassend kartiert, es sind aber Informationen über Referenzflächen sowie Alt- und Totholzbiozönosen vorhanden. Für Sachsen-Anhalt konnten die Geodaten nicht zur Verfügung gestellt werden.

## **WETTERDATEN**

Die Genauigkeit von Ertragsberechnungen ist in hohem Maße von der Art der verwendeten Wetterdaten abhängig. Zum derzeitigen Stand ermöglichen sogenannte numerische Analysedaten aus mesoskaligen Wettermodellen eine vergleichsweise genaue Darstellung der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhen von mehr als 100 m. Diese Studie basiert auf den Analysedaten des COSMO-DE-Modells des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Es handelt sich hierbei um ein Gitterpunktmodell, welches vom DWD zur täglichen Wettervorhersage eingesetzt wird. Es stellt die zeitliche Entwicklung der Modellvariablen (Luftdruck, Temperatur, Windgeschwindigkeit etc.) in einem dreidimensionalen Gitter vom Erdboden bis zur Obergrenze der Atmosphäre dar. Das Modell bietet eine horizontale Auflösung von 2,8 km<sup>16</sup>.

Für die Genauigkeit der Berechnungen ist weiterhin die Berücksichtigung der klimatischen Variabilität, d. h. der intra- und interdekadischen Schwankungen der durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten, von entscheidender Bedeutung. Aus meteorologischer Sicht wird daher eine Datengrundlage von Zeitreihen aus 30 Jahren als repräsentativ angesehen<sup>17</sup>. Das COSMO-DE-Modell bietet jedoch nur Zeitreihen über die letzten fünf Jahre. Aus diesem Grund wurde eine Kalibrierung der COSMO-DE-Analysedaten mit langjährigen Reanalysedaten vorgesehen. Dazu wurden Winddaten des Projektes „ERA interim“ des Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) verwendet, welche jedoch nur über eine sehr grobe Auflösung verfügen. Die COSMO-DE-Daten wurden anhand von Kalibrierungsfaktoren korrigiert, welche die mittlere Windgeschwindigkeit sowie die Windleistungsdichte der beiden Modelle ins Verhältnis setzen. Ergebnis dieser Kalibrierung waren Weibull-Parameter der langzeitkalibrierten Windgeschwindigkeiten aus dem COSMO-DE-Modell in 100 und 140 m Höhe. Damit lassen sich die Vorteile beider Wettermodelle – Genauigkeit der Darstellung von Windgeschwindigkeiten in großen Höhen einerseits sowie Berücksichtigung der klimatischen Variabilität andererseits vereinen. Die Kalibrierung der Wetterdaten wurde in einem separaten Forschungsvorhaben durchgeführt<sup>18</sup>.

---

## **FUSSNOTEN**

12 Amtlich Topographisch-Kartographisches Informationssystem

13 AdV 2012, AdV 2003

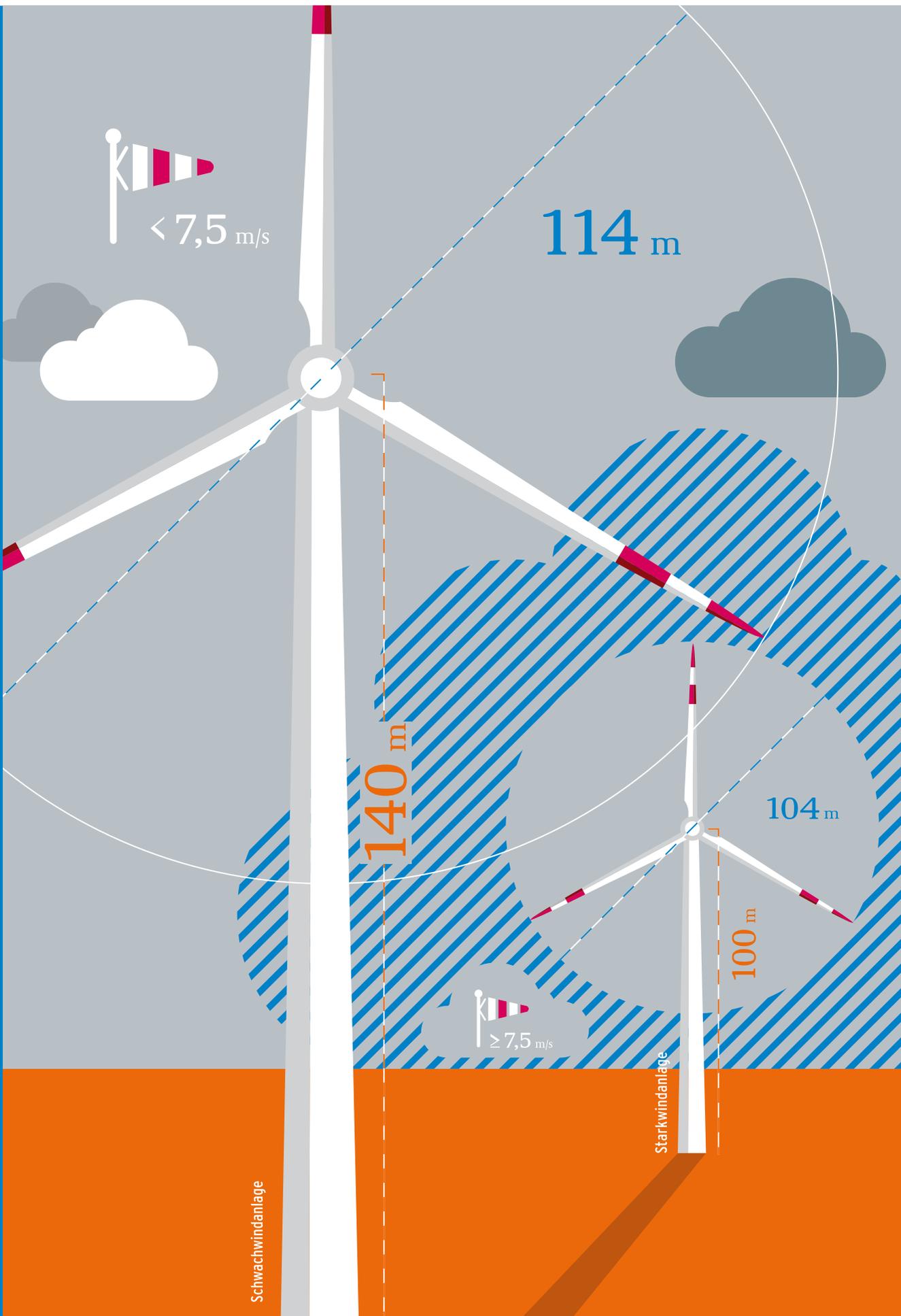
14 AdV 2012

15 BfN 2010

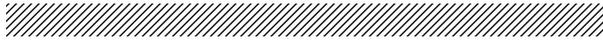
16 Baldauf et al. 2011

17 MEASNET 2009

18 ForWind 2012



# 4 — VORGEHENSWEISE



Die Berechnung des Flächen- und Leistungspotenzials sowie der potenziellen Erträge der Windenergie an Land erfolgte in zwei Schritten:

- Zuerst wurden Flächen identifiziert, die aus verschiedenen Gründen nicht für WEA nutzbar sind. Die unterstellte Anlagentechnik hat hier insbesondere bei den Abständen zu Siedlungen aufgrund der Anlagenhöhe und der Schallemissionen einen Einfluss. Nach Ausschluss dieser Flächen lag das Flächenpotenzial für die Windenergie an Land vor.
- Anschließend wurde das Flächenpotenzial in das Leistungs- und Ertragspotenzial umgerechnet. Hierzu wurden die ermittelten Flächen schrittweise – unter Berücksichtigung der erforderlichen Abstände zwischen den Anlagen – mit WEA belegt. Über diesen Ansatz kann ein wesentlich genaueres und höheres Leistungs- und Ertragspotenzial ermittelt werden, als etwa mit einer pauschalen durchschnittlichen Umrechnung der Flächen in Leistung über einen Faktor von z. B. 6 ha je MW.

Für die Berechnung der Abstände von den WEA zu Siedlungen aus Lärmschutzgründen sowie zur Erfassung des Leistungs- und Ertragspotenzials dienten spezifische Referenzanlagen.

## 4.1 REFERENZANLAGEN

Zur Bestimmung der Referenzanlagen wurden zunächst Anlagenkennwerte verschiedener Hersteller anhand unterschiedlicher Kriterien verglichen und darauf aufbauend eine Auswahl getroffen. Wichtige Kriterien bei der Auswahl der Referenzanlagen waren ein hohes Verhältnis aus Rotorfläche und Generatorleistung sowie niedrige Schallemissionen. Die Wahl der Referenzanlagen bildet den aktuellen Stand der Technik ab.

Um eine unter heutigen Rahmenbedingungen sinnvolle Erschließung der Standorte im Rahmen der Studie anzunehmen, wurde zwischen zwei Anlagentypen differenziert.

- **Starkwindanlage:** Ab einer mittleren Windgeschwindigkeit von 7,5 m/s<sup>19</sup> in Nabenhöhe wurde eine Starkwindanlage mit einer Nabenhöhe von 100 m, einem Rotordurchmesser von 104 m und einer Generatorleistung von 3,4 MW eingesetzt.
- **Schwachwindanlage:** Lagen niedrigere mittlere Windgeschwindigkeiten unterhalb von 7,5 m/s vor, kam eine Schwachwindanlage mit 140 m Nabenhöhe, einem Rotordurchmesser von 114 m sowie einer Generatorleistung von 3,2 MW zum Einsatz.

Für beide Anlagentypen wurden die Leistungskennlinien (Generatorleistung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit) von den Anlagenherstellern zur Verfügung gestellt.

Ein entscheidender Faktor bei der Auswahl der Referenzanlagen war der Schallleistungspegel. Dieser ist maßgeblich für die Berechnung der Mindestabstände zu Siedlungsflächen nach der TA Lärm (siehe Kapitel 4.2.1). Die Angaben sind Garantiewerte des Herstellers und enthalten bereits einen Sicherheitszuschlag von 1 dB(A). Die gewählten Referenzanlagen verfügen über einen schallreduzierten Betriebsmodus. Bei drehzahlvariablen Anlagen können so durch eine Drosselung der Drehzahl Pegelminderungen von bis zu 5,7 dB(A) und damit eine Einhaltung der nächtlichen Grenzwerte nach TA Lärm bei kürzeren Mindestabständen zu Siedlungsflächen erreicht werden. Der schallreduzierte Betrieb zur Nachtzeit führt zwar zu einer Verringerung des jährlichen

Stromertrags um ca. 5 bis 10 % für die einzelnen Anlagen, ermöglicht aber zugleich eine deutliche Reduzierung der Schallbelastung im Einflussbereich der Anlage und erheblich geringere Abstände zu Siedlungsflächen. Dadurch ist ein größeres Flächenpotenzial möglich.

Für den Abstand der WEA zueinander wurde als gängiger Wert aus der Praxis der 5-fache Rotordurchmesser in Hauptwindrichtung und 3-fache Rotordurchmesser in Nebenwindrichtung angenommen<sup>20</sup>. Da die Hauptwindrichtung nicht in die Simulationsrechnungen eingeht, wurde hier vereinfachend von einem radialen Anlagenabstand in Höhe des 4-fachen Rotordurchmessers ausgegangen. Maßgeblich bei der Platzierung ist hierbei der Rotordurchmesser der Schwachwindanlage. Der radiale Anlagenabstand beträgt damit 456 m.

Tabelle 1: Technische Daten der Referenzanlagen		
Standort	Schwachwind	Starkwind
Mittlere Windgeschwindigkeit in 140 m Höhe	< 7,5 m/s	> 7,5 m/s
<b>Referenzanlage</b>		
Nabenhöhe	140 m	100 m
Rotordurchmesser	114 m	104 m
Gesamthöhe	197 m	152 m
Generatornennleistung	3,2 MW	3,4 MW
Schalleistungspegel (Lärmreduzierter Modus)	99,5 dB(A)	100 dB(A)
Schalleistungspegel (Standard-Betriebsmodus)	105,2 dB(A)	105,6 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung

## 4.2 ANNAHMEN FÜR DIE ERMITTLUNG DES FLÄCHENPOTENZIALS

Basis bei der Ermittlung des Flächenpotenzials sind die für die Windenergie potenziell nutzbaren Offenland- und Waldgebiete. Punkt- oder linienförmige Objekte wurden nur berücksichtigt, soweit Abstände zu diesen definiert wurden, wie etwa bei Freileitungen oder Straßen. Somit wurden nur flächenrelevante Kriterien im Rahmen der Potenzialermittlung erfasst. Im Folgenden wird der Umgang mit besonders wichtigen Bereichen detailliert dargestellt.

### 4.2.1 Siedlungsbereiche

Siedlungsgebiete sind für eine Windenergienutzung grundsätzlich ausgeschlossen. Darüber hinaus ist zum Schutz des Menschen vor Einflüssen von WEA im direkten Umfeld die Einhaltung von Schutzabständen zu verschiedenen baulich genutzten Flächen notwendig. In diesem Abschnitt findet eine Bestimmung der Schutzabstände unter den Gesichtspunkten **Lärmschutz** und **bedrängende Wirkung** statt.

#### Lärmschutz

Um den Menschen vor schädlichen Lärmeinwirkungen zu schützen, gibt die Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) – die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) – einzuhaltende Immissionsrichtwerte für unterschiedliche Arten der baulichen Nutzung in Anlehnung an die Baunutzungsverordnung (BauNVO) vor. Ein Schutz vor schädlicher Geräuschbelastung ist demnach gewährleistet, wenn die Gesamtbelastung am maßgeblichen Immissionsort die in Tabelle 2 aufgeführten Richtwerte außerhalb von Gebäuden nicht überschreitet. Die Immissionsrichtwerte für nicht explizit in der TA Lärm aufgeführte bauliche Nutzungen sind gemäß Ziffer 6.6 anhand dieser Werte entsprechend der Schutzbedürftigkeit zu beurteilen.

**Tabelle 2: Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden<sup>21</sup>**

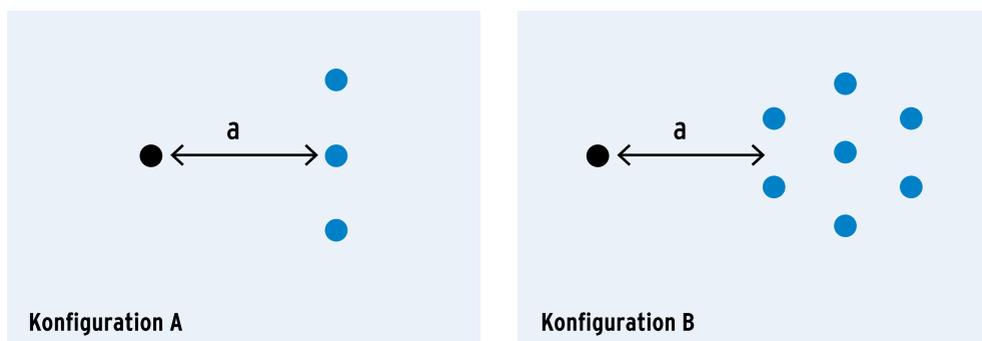
Art der baulichen Nutzung	Tags	Nachts
Industriegebiet	70 dB(A)	70 dB(A)
Gewerbegebiet	65 dB(A)	50 dB(A)
Kern-, Dorf-, Mischgebiet	60 dB(A)	45 dB(A)
Allgemeines Wohngebiet, Kleinsiedlungsgebiet	55 dB(A)	40 dB(A)
Reines Wohngebiet	50 dB(A)	35 dB(A)
Kurgebiet, Krankenhaus, Pflegeanstalt <sup>22</sup>	45 dB(A)	35 dB(A)

Quelle: eigene Darstellung

Je nach Geländebeschaffenheit und Umgebungsgeräuschen trägt der Schall einer WEA unterschiedlich weit in die Umgebung hinein. Wichtige Parameter für die Bestimmung des Abstands vom Emissionsort zu Siedlungen sind Anzahl sowie Konfiguration der WEA, deren Höhe sowie der Schalleistungspegel der Einzelanlagen. Während in der Praxis die Genehmigung einer WEA stets eine Einzelfallentscheidung ist, waren im Rahmen dieser Studie vereinfachende Annahmen zur Ermittlung von Mindestabständen erforderlich. Für eine Bewertung der Mindestabstände der Windparks zu verschiedenen Siedlungsflächen ist eine genaue Bewertung der Immissionspegel auf Grundlage der Referenzanlagen notwendig. Gemäß TA Lärm wurde die Prognose der Geräuschimmissionen der WEA nach dem sogenannten „Alternativen Verfahren“ entsprechend DIN ISO 9613-2, Entwurf Ausgabe September 1997<sup>23</sup> durchgeführt. Dazu wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Zur Bestimmung der Mindestabstände für die Potenzialstudie wurde der Gesamtimmissionspegel am maßgeblichen Immissionsort für verschiedene Konfigurationen von Windparks berechnet. Diese Konfigurationen sollen verschiedene Situationen der Schallbelastung am Immissionsort repräsentieren. Bei der Platzierung der Anlagen wurden diese Mindestabstände dann unabhängig von der Anzahl der Anlagen im Windpark pauschal angewendet. Die betrachteten Konfigurationen sind in Abbildung 3 dargestellt. Bei Konfiguration A handelt es sich um drei WEA, die alle im Mindestabstand  $a$  vom Immissionsort entfernt aufgestellt sind. Konfiguration B setzt sich aus zwei WEA in erster Reihe, drei in zweiter und zwei in dritter Reihe zusammen. Die Abstände der WEA zueinander ergeben sich aus dem in Kapitel 4.1 genannten Mindestabstand in Höhe des vierfachen Rotordurchmessers. Bei größeren Windparks leisten die zusätzlichen Anlagen in den hinteren Reihen aufgrund der großen Entfernungen nur noch einen marginalen Beitrag zu den Schallimmissionen, so dass auch hier die Immissionsrichtwerte eingehalten werden können.

**Abbildung 3: Anlagenkonfigurationen von Windparks**



Quelle: eigene Darstellung

$a$  = Abstand    ● Immissionsort    ● WEA

- Die Bestimmung der Mindestabstände fand unter Berücksichtigung eines nächtlichen schallreduzierten Betriebs statt. Die WEA kann bei Bedarf zur Einhaltung der Immissionsrichtwerte von 22:00 bis 06:00 Uhr im schallreduzierten Modus betrieben werden. Dies ist jedoch nur für Anlagen erforderlich, die sich in der Nähe zum Immissionsort befinden (siehe Tabelle 3, letzte Spalte). Diese Betriebsweise wird im Folgenden als kombinierter Betrieb bezeichnet. Darüber hinaus ist ein Betrieb von WEA im Standard-Betriebsmodus ohne Restriktionen möglich.
- Die Angaben zu den Schalleistungspegeln enthalten bereits herstellerseitig einen garantierte Sicherheitsreserve von 1 dB(A). Bei der Ermittlung der Mindestabstände wurde eine zusätzliche Sicherheitsreserve von 1 dB(A) berücksichtigt.

Auf Grundlage dieser Annahmen wurden die Mindestabstände zu den betrachteten Siedlungsflächen berechnet (siehe Tabelle 3). Beispielsweise ist zur Erreichung von max. 35 dB(A) grundsätzlich ein Abstand von mindestens 900 m vom Windpark zum Immissionsort notwendig. In einer Entfernung von 900 bis 2000 m Abstand vom Windpark zum Immissionsort müssen die WEA in diesem Fall nachts im schallreduzierten Modus betrieben werden, um den Immissionsrichtwert einzuhalten. Befindet sich der Windpark mehr als 2000 m entfernt, können die Anlagen im Standard-Betrieb laufen.

Tabelle 3: Lärminduzierte Abstandswerte			
Art der baulichen Nutzung nach Basis-DLM	Immissionsrichtwert (nachts)	Abstand der ersten WEA zum Immissionsort	Abstandsbereich für den schallreduzierten Betrieb
Industrie- und Gewerbeflächen	50 dB(A)	250 m	250 – 500 m
Wohnbauflächen	40 dB(A)	600 m	600 – 1.400 m
Wochenend- und Ferienhausbebauung, Campingplätze	35 dB(A)	900 m	900 – 2.000 m

Quelle: eigene Darstellung

Da die vorliegenden Daten zu Siedlungsgebieten im Basis-DLM nicht den Gebietstypen der TA Lärm bzw. BauNVO laut Tabelle 2 entsprechen, wurde für Industrie- und Gewerbeflächen ein einheitlicher Immissionsrichtwert von 50 dB(A) angenommen. Innerhalb der Wohnbauflächen konnte nicht zwischen allgemeinen und reinen Wohngebieten, Misch- und Dorfgebieten etc. differenziert werden. Hier wurde ein einheitlicher Immissionsrichtwert von 40 dB(A) angenommen<sup>24</sup>. Für Dorfgebiete wurde mit 40 dB(A) mit einem wesentlich strengeren Grenzwert gerechnet als mit den gemäß TA Lärm geforderten 45 dB(A).

Die daraus resultierenden Abstände zu den verschiedenen Siedlungsflächen sind Tabelle 3 zu entnehmen. Zu Feldscheunen wurde abweichend zu den zuvor genannten Abständen zu Siedlungsbereichen kein Abstand eingeplant<sup>25</sup>.

#### *Bedrängende Wirkung*

Ebenfalls entscheidend für die Abstände von Windparks zu Siedlungsbereichen ist die optisch bedrängende Wirkung von WEA. Das Oberverwaltungsgericht Nordrhein-Westfalen (OVG NRW)<sup>26</sup> hat hierzu grobe Anhaltswerte definiert, nach denen die Einzelfallprüfung bei einem Abstand von weniger als dem Zweifachen der Gesamthöhe der Anlage überwiegend zu dem Ergebnis kommen dürfte, dass von einer optisch bedrängenden Wirkung auszugehen ist, bei einem Abstand von mehr als dem Dreifachen nicht mehr. Zwischen dem zwei- und dreifachen Abstand liegt ein intensiver Prüfungsbereich vor. Da zur Beachtung des Lärmschutzes, wie in Tabelle 3 dargestellt, ein Abstand von 600 m zu allgemeinen Wohngebieten für die Berechnung zugrunde gelegt wurde, ist auch dieses Kriterium bei Anlagenhöhen der Referenzanlagen von unter 200 m ebenfalls berücksichtigt.

#### 4.2.2 Infrastrukturen

Bei verschiedenen Flächen- bzw. Objekttypen sind ein Ausschluss der Windenergienutzung und die Einhaltung eines Mindestabstands notwendig. Diese Abstände beruhen auf technischen Richtwerten, Erfahrungswerten oder der aktuellen Rechtsprechung. Bei Angaben, welche sich auf den Rotordurchmesser bzw. -radius oder die Anlagenhöhe beziehen, gilt jeweils der Wert der höheren Referenzanlage.

Die folgende Tabelle stellt die Ausschlusskriterien für die unterschiedlichen Kategorien im Bereich Infrastruktur dar. Auf einzelne relevante Kategorien wird im Folgenden näher eingegangen.

Tabelle 4: Abstände zu Infrastrukturen		
	Ausschluss	Abstand vom Fundament in m
Bundesautobahnen	Ja	100
Sonstige Straßen	Ja	80
Schienenstrecken	Ja	250
Seilbahnen	Ja	300
Flughäfen	Ja	ca. 5.000 +/- 50 bis 100 *
Flugplätze	Ja	ca. 1760
Freileitungen	Ja	120

Quelle: eigene Darstellung

\* Abhängig von der Länge der Landebahn, siehe Kap. 4.2.2.3

##### 4.2.2.1 Straßen

Straßen wurden bei der Potenzialermittlung ausgeschlossen<sup>27</sup>. Weiterhin gelten gemäß § 9 Abs. 1 Bundesfernstraßengesetz (FStrG) an Bundesautobahnen Anbauverbotszonen für Hochbauten jeglicher Art in einer Breite von 40 m und für Bundesstraßen von 20 m. Daneben bedürfen Baugenehmigungen oder andere Zulassungen baulicher Anlagen längs der Bundesautobahnen in einer Entfernung bis zu 100 m und längs der Bundesstraßen bis zu 40 m der Zustimmung der obersten Landesstraßenbaubehörde<sup>28</sup>. Im Fall von WEA beziehen sich die Abstände dabei jeweils auf den Abstand vom äußersten Rand der befestigten Fahrbahn zur äußersten Rotorblattspitze<sup>29</sup>.

Durch den Rotorradius von 60 m und die einzuhaltenen Mindestabstände von 40 bzw. 20 m ergeben sich gemessen von der Mitte des Fundaments der WEA zu berücksichtigende Abstände von 100 m zu Bundesautobahnen und 80 m zu sonstigen Straßentypen.

Für Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen treffen die Landesstraßengesetze eigene Regelungen. Mindestabstände von 20 m und Zustimmungsvorbehalte der Straßenbaubehörden bis zu 40 m Abstand vom Fahrbahnrand zu Land- und Kreisstraßen sind dabei üblich. Für Gemeindestraßen sind kommunale Satzungsrechte zur Abstandsbestimmung in den Landesstraßengesetzen vorgesehen. Hier wurde notwendigerweise vereinfachend davon ausgegangen, dass Gemeindestraßen wie Landes- oder Kreisstraßen zu beurteilen sind.

##### 4.2.2.2 Schienenverkehr

Anlagen des Schienenverkehrs wie Bahnhofsanlagen und Schienenstrecken wurden von der Potenzialermittlung ausgenommen<sup>30</sup>. Bezüglich einzuhaltender Mindestabstände von WEA existieren derzeit weder verbindliche Abstandsregelungen noch ein technisches Regelwerk. Dennoch sind bei der Errichtung von WEA Anforderungen an Sicherheitsabstände zu den bestehenden Eisenbahnbetriebsanlagen zu beachten, um denkbare Gefährdungs-, Schädigungs- oder Störpotenziale und damit mögliche nachteilige Auswirkungen bei der Errichtung von WEA für die Sicherheit und den Ablauf

des Bahnbetriebes zuverlässig ausschließen zu können. Als Träger öffentlicher Belange fordert das Eisenbahn-Bundesamt im Rahmen der Genehmigung im Einzelfall erforderliche Abstände und Maßnahmen<sup>31</sup>.

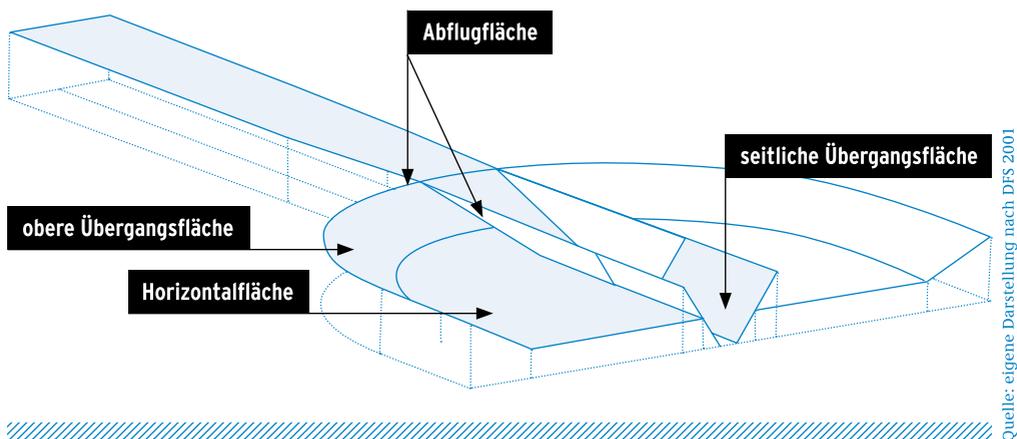
Gemäß einer Empfehlung des Eisenbahn-Bundesamtes<sup>32</sup> beträgt der Mindestabstand entweder die Entfernung des zweifachen Rotordurchmessers oder mindestens die maximale Höhe der WEA. Der größere Wert hat dabei Relevanz. Deshalb wurde in dieser Studie der zweifache Rotordurchmesser zzgl. einem Sicherheitsabstand von ca. 20 m berücksichtigt. Dies entspricht einem Abstand von 250 m.

#### 4.2.2.3 Flughäfen

Größere Flughäfen, die im Instrumentenflugbetrieb angesteuert werden, bedürfen in der Regel eines Bauschutzbereichs nach § 12 Luftverkehrsgesetz (LuftVG). Eine technische Richtlinie des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen aus dem Jahr 2001<sup>33</sup> beschreibt die sogenannten Hindernisbegrenzungsflächen bei Flughäfen, welche im Instrumentenflug angefliegen werden. Diese von jeglichen Hochbauten freizuhaltenden Flächen sind entsprechend der Skizze in Abbildung 4 metergenau einschließlich der jeweiligen GPS-Koordinaten im Luftfahrthandbuch Deutschland ausgewiesen.



**Abbildung 4:** Isometrische Darstellung der Hindernisbegrenzungsflächen für den Abflug



Typischerweise ist die laterale Ausdehnung der trichterförmigen An- bzw. Abflugflächen bei Start- und Landebahnen von mehr als 1.200 m 15 km lang und steigt mit einer Neigung von 1:50. Die Basisbreite der Abflugfläche beträgt 180 m. Die Seitenbegrenzungen haben ein Öffnungsverhältnis zur verlängerten Startbahnmittellinie von 12,5 % und eine Endbreite von 1.800 m. Die seitlichen Übergangsflächen beginnen in 150 m Entfernung zur Startbahnmittellinie. Sie steigen mit einer Neigung von 1:7 und enden in einem Höhenabstand von 100 m zu ihren Basislinien<sup>34</sup>.

Die geometrische Komplexität der Hindernisbegrenzungsflächen erfordert vereinfachende Annahmen im Rahmen der Potenzialberechnung. Dazu wurde zunächst die Projektionsfläche der oben dargestellten Hindernisbegrenzungsflächen für den An- und Abflugtrichter berechnet. Die An- und Abflugfläche wurde nur bis zu einer Länge von 10 km berücksichtigt, da sie nach 10 km mit einer Neigung von 1:50 über 200 m Höhe und damit über der Gesamthöhe der WEA liegt. Nun wurden die Seitenflächen parallel zur Landebahn als Ausschlussflächen hinzugezogen. Mit der Berechnung eines konstanten (von der Länge der Landebahn abhängigen) Radius R um die Landebahn, mit der sich eine Fläche identischer Größe ergibt (siehe Abbildung 5), konnte nun eine Ermittlung der Ausschlussflächen um die Flughäfen erfolgen. Es zeigte sich, dass sich daraus in der Regel ein Abstand von ca. 5000 m +/- 50 bis 100 m ergibt.





#### 4.2.2.5 Freileitungen

Die Mindestabstände von WEA zu Drehstrom-Freileitungen über 45 kV sind in der Norm DIN EN 50 341-3-4 / VDE 0210-3 vorgeschrieben. Demnach ist bei Freileitungen ohne Schwingungsschutzmaßnahmen ein Abstand entsprechend dem dreifachen Rotordurchmesser notwendig. Wurden entsprechende Maßnahmen installiert bzw. nachgerüstet, gilt ein Mindestabstand des einfachen Rotordurchmessers.

Bei der Nabenhöhe der betrachteten Referenzanlagen (100 bzw. 140 m) liegen die Freileitungen jedoch nur in den seltensten Fällen innerhalb der Nachlaufströmung der WEA. In diesen Fällen kann auf schwingungsdämpfende Maßnahmen verzichtet werden und es gilt grundsätzlich ein Mindestabstand von einem Rotordurchmesser<sup>37</sup>. Auf dieser Grundlage wurde für die Potenzialermittlung ein Abstand in Höhe des einfachen Rotordurchmessers von aufgerundet 120 m zu Drehstrom-Freileitungen gewählt.

#### 4.2.3 Ökologisch sensible Gebiete

Zur Berücksichtigung ökologischer Restriktionen wurden die nach dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) geschützten Gebiete, gesetzlich geschützte Biotope und die Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund betrachtet. Wie eingangs dargestellt, wurden die Belange des besonderen Artenschutzes nicht berücksichtigt, da diese als Restriktionen bei einer bundesweiten GIS-basierten Potenzialstudie nicht einbezogen werden können. In der Praxis ergeben sich jedoch häufig Konflikte zwischen der Windenergienutzung und dem besonderen Artenschutz, die dazu führen können, dass WEA nicht genehmigt werden (siehe auch Kapitel 2).

##### 4.2.3.1 Geschützte Teile von Natur und Landschaft

Die für die Beurteilung der Vereinbarkeit von Windenergienutzung und naturschutzrechtlichen Schutzgebieten maßgeblichen Regelungen zu Schutzgebietstypen und Schutzzwecken finden sich in Kapitel 4 des BNatSchG. Die Beurteilung der Zulässigkeit von WEA in Schutzgebieten kann in Abhängigkeit vom jeweiligen Schutzzweck unterschiedlich ausfallen.

In dieser Studie wurde die Windenergienutzung in verschiedenen Schutzgebietstypen ausgeschlossen (vgl. Tabelle 5). Freilich sollte diese Einstufung als notwendigerweise abstrakte Grundlage einer bundesweiten Potenzialstudie nicht überbewertet werden. Sie kann und soll nicht die in der Praxis in jedem Zulassungsverfahren vorzunehmende rechtliche Bewertung anhand der Schutzgebietsausweisung und des Landes- und Bundesnaturschutzgesetzes ersetzen. In der folgenden Tabelle wird aufgeführt, wie die unterschiedlichen Schutzgebiete in der Potenzialberechnung berücksichtigt wurden.

**Tabelle 5: Ausschlussgebiete sowie Schutzabstände zu Schutzgebieten**

Schutzgebiet	Ausschluss	Schutzabstand
Nationalpark	Ja	200 m
Naturschutzgebiet (NSG)	Ja	200 m
Vogelschutzgebiet	Ja	200 m
Flora-Fauna-Habitat-Gebiet (FFH)	Ja	-
FFH-Gebiet mit Zweck Fledermausschutz	Ja	200 m
Feuchtgebiete nach Ramsar-Konvention	Ja	-
Biosphärenreservat (Kern- und Pflegezone)	Ja	-
Biosphärenreservat (Entwicklungszone)	-	-
Landschaftsschutzgebiet (LSG)	mind. 75 % *	-
Naturpark	-	-
Naturdenkmal	- **	-
Geschützter Landschaftsbestandteil	Ja	-

\* max. 25 % der LSG-Fläche eines Bundeslandes wird als Potenzialfläche behandelt

\*\* Es existiert kein bundesweiter Datensatz zu Naturdenkmälern. Sie sind aufgrund ihrer geringen Größe aber zu vernachlässigen.

Quelle: eigene Darstellung

Nationalparke, Naturschutzgebiete, Natura 2000-Gebiete, Feuchtgebiete nach Ramsar-Konvention, Kern- und Pflegezone von Biosphärenreservaten sowie geschützte Landschaftsbestandteile wurden als Ausschlussflächen definiert. Darüber hinaus wurde bei besonders streng geschützten Gebieten (Nationalparke und Naturschutzgebiete) sowie bei Schutzgebieten, in denen ein erhöhtes Vorkommen windenergiesensibler Arten anzunehmen ist (Vogelschutzgebiete und FFH-Gebiete mit dem Zweck des Fledermausschutzes), ein zusätzlicher Schutzabstand von 200 m einberechnet<sup>38</sup>.

Dagegen wurden die Entwicklungszonen von Biosphärenreservaten, Naturparke und Teile von Landschaftsschutzgebieten nicht als Ausschlussflächen betrachtet, sofern sie nicht zusätzlich durch eine der oben genannten strengen Schutzgebietsfestlegungen geschützt werden.

- Entwicklungszonen von Biosphärenreservaten und Naturparke unterliegen einem geringeren Schutzstatus, werden sehr großflächig ausgewiesen und erlauben verschiedene Nutzungen<sup>39</sup>. Deshalb wurden sie bei dieser Potenzialbetrachtung auch nicht für die Windenergienutzung ausgeschlossen.
- Landschaftsschutzgebiete werden ebenfalls sehr großflächig ausgewiesen. Daher ist es in der Praxis nicht unüblich, kleinere (Rand-)Flächen aus Landschaftsschutzgebieten auszugliedern, um eine bauliche und wirtschaftliche Nutzung durch Errichtung und Ausbau von Siedlungs- und Gewerbegebieten zu ermöglichen. Aus diesem Grund sollten sie auch für eine Nutzung der Windenergie nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Für die Potenzialstudie wurde daher als Operationalisierungshilfe bestimmt, dass je Bundesland maximal 25 % der als Landschaftsschutzgebiet ausgewiesenen Fläche in der Potenzialbetrachtung berücksichtigt werden<sup>40</sup>. In der Praxis ist für jeden Einzelfall eine rechtliche und planerische Bewertung durchzuführen.

#### 4.2.3.2 Gesetzlich geschützte Biotop und Flächen für den Biotopverbund

Bestimmte Teile von Natur und Landschaft stehen gemäß § 30 BNatSchG als gesetzlich geschützte Biotop unter Schutz (z. B. Moore, Auenwälder). Zusätzlich werden weitere Biotop landesgesetzlich geschützt. Handlungen, die zur Zerstörung oder erheblichen Beeinträchtigung solcher Biotop führen können, sind verboten. Die Errichtung von WEA in gesetzlich geschützten Biotop kommt daher nicht in Betracht.

Einige Biotoptypen wie Moore und Sümpfe sind in den DLM-Daten verzeichnet und konnten in dieser Studie ausgeschlossen werden. Darüber hinaus war es aufgrund der Datenlage aber nicht möglich, mit einem Datensatz bundesweit alle gesetzlich geschützten Biotop auszuschließen. Daher wurde der Datensatz des BfN zu den Flächen für den Biotopverbund mit länderübergreifender Bedeutung berücksichtigt. In diesem Datensatz werden Flächen aufgeführt, die „aufgrund ihrer aktuellen biotischen und abiotischen Ausstattung geeignet sind, die nachhaltige Sicherung von (Teil-)Populationen oder Individuen standort- und naturraumtypischer Arten und ihrer Lebensräume zu gewährleisten und die selbst Ausgangsbereiche für Wiederbesiedlungsprozesse sein können“<sup>41</sup>. Im Ergebnis werden 2,15 % der Bundesfläche im Offenland und 3,87 % im Wald als national bedeutsame Flächen für den Biotopverbund dargestellt<sup>42</sup>. Diese wurden im Rahmen der Potenzialstudie als Ausschlussflächen betrachtet.

#### 4.2.4 Wald

Moderne WEA haben inzwischen Höhen erreicht, die eine Windenergienutzung im Wald ermöglichen. Da Deutschland mit rund 30 % einen hohen Waldanteil hat, bietet sich theoretisch ein großes Potenzial an, das bislang erst wenig erschlossen wurde. Die Waldanteile der Bundesländer sind dabei aber sehr verschieden hoch: von 10 % der Landesfläche in Schleswig-Holstein bis 42 % in Rheinland-Pfalz. Dementsprechend gehen die Bundesländer auch sehr unterschiedlich mit der Errichtung von WEA in Wäldern um.

Im Rahmen dieser Potenzialstudie wurden Waldflächen nicht grundsätzlich ausgeschlossen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Wald viele wichtige, insbesondere ökologische Funktionen erfüllt, die nicht durch die Windenergienutzung beeinträchtigt werden sollten. Grundsätzlich kommen daher vor allem intensiv forstwirtschaftlich genutzte Waldgebiete als Potenzialflächen in Frage<sup>43</sup>.



Eine Unterscheidung von Waldflächen gemäß ihrer forstwirtschaftlichen Nutzung oder ökologischen Bedeutung ist allerdings auf Grundlage des Basis-DLM nicht möglich, da dieses nur zwischen Nadel-, Laub- und Mischwald unterscheidet. Zur Beurteilung der Waldflächen wurde daher die Waldfunktionenkartierung der Bundesländer zugrunde gelegt (siehe unten). Waldflächen in Bundesländern mit einem stark unterdurchschnittlichen Waldanteil von 15 % oder weniger wurden bei der Potenzialermittlung jedoch nicht einbezogen. Damit soll berücksichtigt werden, dass Klein- und Restwaldflächen in waldarmen Gebieten eine besondere Bedeutung für die Gesamtökologie haben und oftmals viele verschiedene Funktionen erfüllen<sup>44</sup>. Waldflächen in Gegenden mit einem Waldanteil von 15 % oder weniger werden daher in vielen Bundesländern besonders geschützt<sup>45</sup>. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, schieden Waldflächen in Bremen, Hamburg und Schleswig-Holstein aus der Untersuchung aus. Detaillierte Bezugseinheiten (z. B. Landkreise, Gemeinden) konnten aufgrund des bundesweiten Ansatzes der Studie und der Datenverfügbarkeit nicht gewählt werden.

Wald erfüllt neben seiner wirtschaftlichen Nutzfunktion auch Schutz- und Erholungsfunktionen. Aufgrund dieser Funktionen ist der Wald gemäß § 1 Bundeswaldgesetz (BWaldG) zu erhalten, erforderlichenfalls zu mehren und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern. Falls notwendig, kann Wald dazu als Schutzwald (§ 12 BWaldG) oder Erholungswald (§ 13 BWaldG) erklärt werden. Diese Schutzkategorien und weitere Unterkategorien (z. B. Naturwaldzellen, Bannwald) werden auch in den meisten Landeswaldgesetzen angeführt.

Die Länder stellen die vielfältigen Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes im Rahmen der Waldfunktionenkartierung dar. Soweit es aufgrund der Datenlage möglich war, wurden Waldflächen daher auf Basis der Geodaten zu Waldfunktionenkartierung differenziert. Dabei wurde nicht berücksichtigt, ob ein landesgesetzlicher Schutz für eine Waldfläche besteht oder ihr eine Funktion ohne rechtliche Bindung zugeschrieben wurde, da die Ausweisungs- und Kartierungspraxis in den Ländern zu unterschiedlich ist. Ausschlussflächen im Wald wurden nur aufgrund ihrer Funktion bestimmt. Bedeutende Waldfunktionen, die in fast allen Ländern kartiert werden, sind Bodenschutz-, Sichtschutz-, Klimaschutz-, Erholungs-, Immissionsschutz- und Lärmschutzfunktion.

Über die erwähnten Waldfunktionen hinaus werden in vielen Ländern weitere Funktionen von Waldflächen kartiert, auf die hier im Einzelnen nicht eingegangen werden soll. Der Großteil dieser Flächen wurde ausgeschlossen, da es sich zumeist um Waldflächen handelt, die wichtige ökologische oder kulturelle Funktionen erfüllen (z. B. Naturwaldzellen, historische Waldbewirtschaftungsformen), sowie um forstwirtschaftliche bedeutende Waldflächen (z. B. Saatgutbestände). Besonders sensible Waldbereiche sind darüber hinaus oftmals als Schutzgebiete im Sinne des BNatSchG geschützt oder sind in den Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund erfasst. Diese Waldflächen wurden gemäß den in Kapitel 4.2.3 genannten Kriterien ausgeschlossen. Waldflächen in Siedlungsnähe werden auch durch die nach TA Lärm einzuhaltenen Schutzabstände zu Wohngebieten ausgeschlossen. Erwähnenswert ist noch, dass der Wald in Berlin komplett ausgeschlossen wurde, da er nach § 10 LWaldG Berlin vollständig als Schutzwald gemäß § 12 BWaldG unter Schutz gestellt ist. Die folgende Tabelle stellt dar, welche bedeutenden Waldfunktionen bei der Ermittlung des Flächenpotenzials als Ausschlussflächen berücksichtigt wurden.

**Bodenschutzwald** und **Sichtschutzwald** wurden als Ausschlussflächen definiert, da die Errichtung von WEA in solchen Waldflächen der zugewiesenen Funktion grundsätzlich zuwiderlaufen würde.

Beim **Klimaschutzwald** ist davon auszugehen, dass Waldflächen mit einer lokalen Klimaschutzfunktion aufgrund ihrer Bedeutung für Siedlungs- und Erholungsbereiche und auch wegen ihrer räumlichen Nähe zu Siedlungsgebieten weniger für die Errichtung von WEA geeignet sind. Dagegen werden Waldgebiete mit regionaler Klimaschutzfunktion nur marginal und kleinräumig von der Windenergienutzung in ihrer Funktion beeinträchtigt und wären daher als Potenzialfläche einzustufen. Problematisch ist, dass nicht alle Bundesländer zwischen lokalem und regionalem Klimaschutzwald unterscheiden.

**Tabelle 6: Beurteilung bedeutender Waldfunktionen**

Wald	Ausschluss
Wald in Bundesländern mit einem Waldanteil von unter 15 %	Ja
Bodenschutzwald	Ja
Sichtschutzwald	Ja
Klimaschutzwald (lokal und regional)	-
Erholungswald (Stufe I und II)	mind. 75 %*
Immissionsschutzwald	-
Lärmschutzwald	-

Quelle: eigene Darstellung

\* Max. 25 % der Erholungswaldfläche je Bundesland werden als Potenzialfläche behandelt

Um ein bundeseinheitliches Vorgehen zu gewährleisten, wurden Wälder mit Klimaschutzfunktion somit als Eignungsflächen betrachtet.

Es ist davon auszugehen, dass **Erholungswald** der Stufe I eher weniger für die Errichtung von WEA geeignet ist, während im Erholungswald der Stufe II durchaus ein Potenzial für die Windenergie zu sehen ist. Bei der Beurteilung der Waldfunktion „Erholungswald“ ist jedoch problematisch, dass die Länder nur zum Teil eine Einteilung der Waldfunktion in zwei Stufen vornehmen. Teilweise werden im Rahmen der Waldfunktionenkartierung auch pauschal alle Waldflächen in einem bestimmten Umkreis um eine Stadt bzw. Gemeinde als Erholungswald erfasst. Aufgrund der unterschiedlichen Praxis der Länder und der teilweise sehr großflächigen Ausweisung von Erholungswald fand daher dasselbe Verfahren wie bei den Landschaftsschutzgebieten Anwendung: Maximal 25 % der Erholungswaldflächen eines Bundeslandes wurden in die Potenzialermittlung einbezogen<sup>46</sup>.

Waldflächen mit **Immissionsschutz-** oder **Lärmschutzfunktion** werden vor allem in der direkten Umgebung von Emissionsquellen ausgewiesen, insbesondere an Verkehrsstrassen. Auch wenn bei der konkreten Realisierung von WEA zu gewährleisten ist, dass Immissions- und Lärmschutz sichergestellt sind, wurden diese in der vorliegenden Studie nicht als Ausschlussflächen betrachtet. Damit soll dem Umstand Rechnung getragen werden, dass insbesondere vorbelastete Standorte für die Realisierung von WEA in Frage kommen.

#### 4.2.5 Gewässer

Weitere Ausschlussflächen ergeben sich aus Gewässerflächen. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die gewässerbezogenen Potenzial- und Ausschlussgebiete sowie zusätzlichen Schutzabstände.

**Tabelle 7: Gewässerbezogene Ausschlussflächen sowie Schutzabstände**

Flächenkategorie	Ausschluss	Schutzabstand
Strom, Fluss, Bach (1. Ordnung)	Ja	65 m
Strom, Fluss, Bach (2. und 3. Ordnung)	Ja	5 m
Kanal (Schifffahrt)	Ja	65 m
Kanal (Wasserwirtschaft)	Ja	-
Binnensee	Ja	5 m

Quelle: eigene Darstellung



Gewässerrandstreifen dienen der Erhaltung und Verbesserung der ökologischen Funktionen von Gewässern. Nach § 38 Abs. 3 WHG sind sie an oberirdischen Gewässern im Außenbereich 5 m breit, weshalb dieser Abstand als Schutzbereich zu allen Gewässern angesetzt wurde. Ausgenommen wurden Wasserwirtschaftskanäle, da es sich dabei lediglich um sehr kleine Entwässerungsgräben handelt. Zusätzlich wurden schiffbare Gewässer (Fließgewässer 1. Ordnung und Kanäle für die Schifffahrt) aus Sicherheitsgründen mit einem zusätzlichen Schutzabstand von einem Rotorradius (60 m) versehen<sup>47</sup>.

Neben den oberirdischen Gewässern können auch Wasser-, Heilquellen- und Überschwemmungsschutzgebiete eine Windenergienutzung ausschließen. Diese Gebiete konnten im Rahmen der vorliegenden Studie allerdings nicht berücksichtigt werden, da keine oder nur vereinzelte Informationen dazu im Basis-DLM vorhanden sind.

#### 4.2.6 Topografie

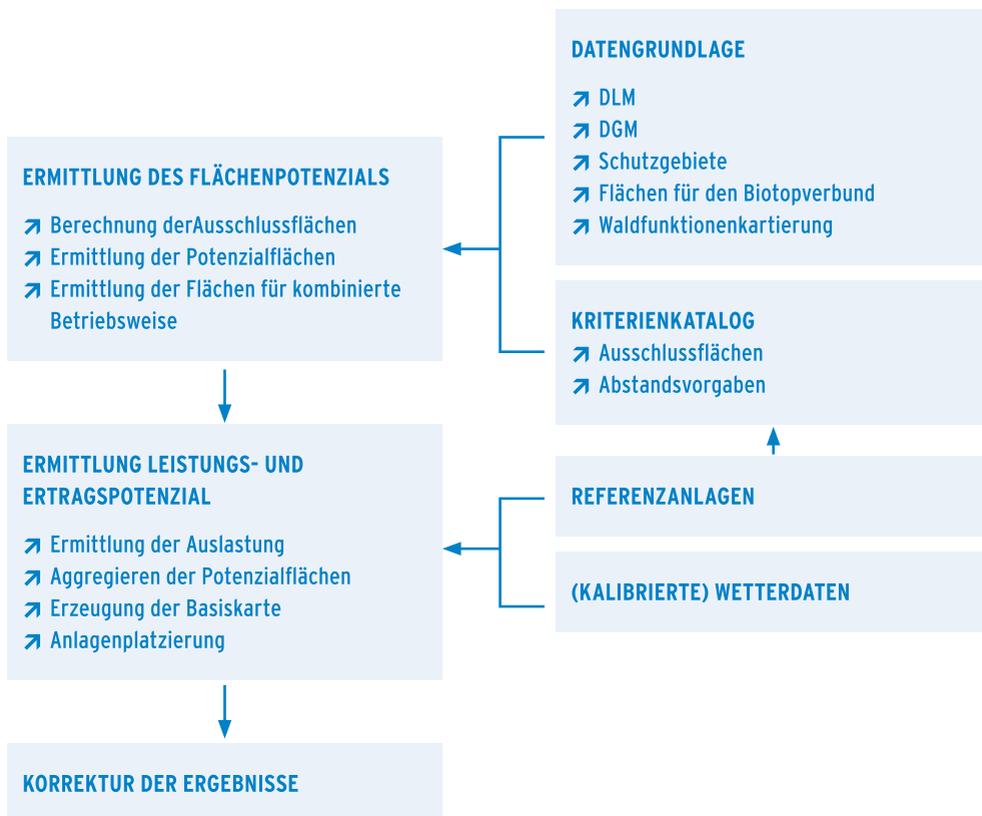
Eine weitere Limitierung erfährt die Windenergie aufgrund der topographischen Gegebenheiten, da ab einem bestimmten Neigungswinkel eine Installation aus bautechnischen Gründen nicht mehr realisierbar ist. In der vorliegenden Studie wurde ein Grenzwert von 30 Grad Neigung angesetzt, ab dem keine geeignete Nutzungsmöglichkeit für die Windenergie mehr besteht<sup>48</sup>.

### 4.3 BERECHNUNGSVORGANG

In den folgenden Abschnitten wird das methodische Vorgehen bei der Berechnung der Ergebnisse erläutert. Die einzelnen Berechnungsschritte und deren jeweilige Datengrundlage sind in Abbildung 7 schematisch dargestellt.



**Abbildung 7: Methodische Vorgehensweise**



Quelle: eigene Darstellung

#### 4.3.1 Ermittlung des Flächenpotenzials

Aufgrund der Tatsache, dass die Basis-DLM-Daten länderweise vorliegen, wurde das Flächenpotenzial zunächst für alle Bundesländer getrennt berechnet und erst später zusammengefasst.

##### *Berechnung der Ausschlussflächen*

Zunächst wurden alle Ausschlussflächen gepuffert, für die ein zusätzlicher Abstand definiert wurde (vgl. Kap. 4.2). Anschließend wurden sämtliche Ausschlussflächen nach Objektbereichen (z. B. Siedlungen, Gewässer, Verkehr) geordnet und durch Überlagerung zusammengefasst. Für die Berücksichtigung der Hangneigung wurde für jeden Punkt anhand der Rasterdaten des digitalen Geländemodells (DGM) die Hangneigung bestimmt und die jeweiligen Rasterflächen mit einer Neigung von mehr als 30 % ausgeschlossen.

##### *Ermittlung der Potenzialflächen*

Die Potenzialflächen ergeben sich aus der Überlagerung aller Ausschlussflächen innerhalb des betrachteten Bundeslandes sowie der Ausschlussflächen aller angrenzenden Bundesländer, um über die Landesgrenzen hinausragende Pufferzonen der Nachbarländer mit zu berücksichtigen. Ergänzend wurden in diesem Schritt die Objektkategorien berücksichtigt, in denen die Potenzialflächen auf maximal 25 % je Bundesland begrenzt werden sollten (Landschaftsschutzgebiete, Erholungswälder). Dazu wurden für jedes Bundesland die Schnittflächen der Potenzialfläche mit den jeweiligen Objektkategorien gebildet und anschließend das Verhältnis zur Gesamtfläche berechnet. Ist der Wert kleiner als 25 %, wird die Anforderung automatisch erfüllt. Bei einer Überschreitung wurden die Potenzialflächen auf einen Anteil von 25 % reduziert.

##### *Potenzialflächen für kombinierte Betriebsweise*

Alle Objektarten, für die zeitweise schallreduzierter, d. h. kombinierter Betrieb vorgesehen ist, wurden zusätzlich mit dem definierten Abstandsbereich gepuffert (siehe Kap. 4.2.1). Durch eine Verschneidung mit den ermittelten Potenzialflächen ergibt sich der Teil der Potenzialflächen, in denen WEA in kombinierter Betriebsweise vorgesehen werden müssen. In den verbleibenden Potenzialflächen ist ein Normalbetrieb von WEA zulässig.

#### 4.3.2 Berechnung des Leistungs- und Ertragspotenzials

##### *Ermittlung der Auslastung*

Mit den kalibrierten Wetterdaten wurde das Ertragspotenzial für jeden Rasterpunkt ermittelt<sup>49</sup>. Die Ertragswerte wurden anschließend jeweils durch die Nennleistung des Anlagentyps geteilt. Somit erhält man die Auslastung der Anlagen (als jährliche Volllaststundenzahlen) für jeden Rasterpunkt, für beide Anlagentypen und jeweils kombinierten und normalen Betrieb.

Zuletzt fand eine Differenzierung von Schwach- und Starkwindstandorten statt. Für jeden Rasterpunkt, an dem die mittlere Windgeschwindigkeit in der Höhe von 140 m einen Wert von 7,5 m/s übersteigt, wurde dazu die Auslastung der Starkwindanlage zugrunde gelegt. An allen anderen Rasterpunkten kam potenziell eine Schwachwindanlage zum Einsatz, d. h. hier wurde die Auslastung der höheren Anlage gewählt. So ergeben sich für jeden Rasterpunkt zwei Werte für die Auslastung – einer für die Volllaststunden im Normalbetrieb und einer für kombinierten Betrieb.

##### *Aggregieren der Potenzialflächen zu Windparkflächen*

Würden alle ermittelten Potenzialflächen bei der Anlagenplatzierung gesondert betrachtet, so könnten an gegenüberliegenden Rändern zweier Flächen, die näher als 456 m beieinander liegen, WEA platziert werden. Um den beschriebenen Fall systematisch auszuschließen, wurden alle Flächen, deren geringster Abstand zueinander kleiner als 456 m ist, zu Windparkflächen zusammengefasst und die Anlagenplatzierung für jede dieser aggregierten Flächen vorgenommen. Auf den Ausschlussflächen innerhalb dieser Bereiche wurden keine WEA platziert.

### Erzeugen einer Basiskarte für die Anlagenplatzierung

Als Grundlage für die Platzierung der Anlagen wurde eine Rasterkarte mit einer Auflösung von 25 x 25 m erzeugt und jedem Rasterpunkt eine Eigenschaft zugeordnet: Ausschlussfläche, Potenzialfläche für Normalbetrieb oder Potenzialfläche für kombinierten Betrieb. Je nach Betriebsweise wurde dem jeweiligen Rasterpunkt ein Wert für die Volllaststunden zugeordnet. Die resultierende Rasterkarte enthält an jedem Punkt, der innerhalb einer Potenzialfläche liegt, einen Wert für die potenziell erreichbaren Volllaststunden und an allen übrigen Punkten den Wert Null. Sie dient als Entscheidungsgrundlage für die Platzierung der WEA im nächsten Schritt.

### Platzierung der Anlagen

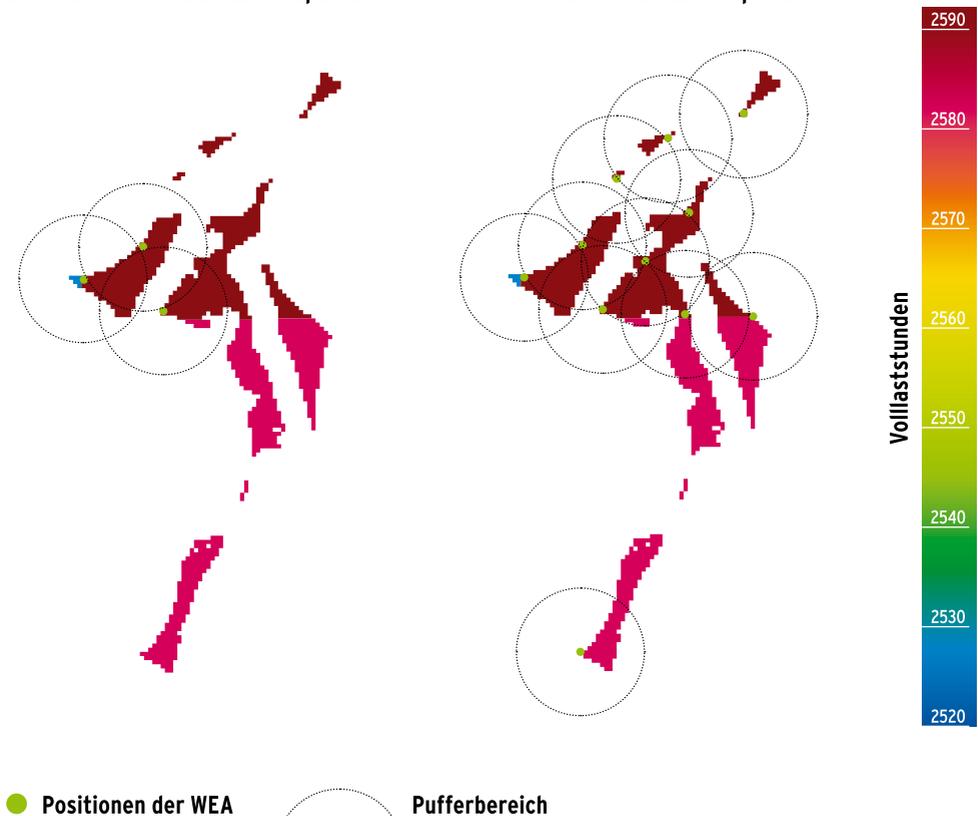
Bei der Platzierung der Anlagen wurde nach folgendem System vorgegangen:

1. Innerhalb der Rasterkarte für einen Windpark wurde der Rasterpunkt gesucht, der den höchsten Wert für die Volllaststunden aufweist.
2. Dieser Rasterpunkt wurde als potenzieller Anlagenstandort mit seinen Koordinaten, dem Wert der mittleren Windgeschwindigkeit, dem potenziellen Ertrag und der Volllaststundenzahl sowie dem zugehörigen Anlagentyp, der vorgeschriebenen Betriebsweise und der Nummer der Windparkfläche abgespeichert.
3. Da zwischen den WEA ein Mindestabstand von 456 m einzuhalten ist (siehe Kap. 4.1), wurden in der Rasterkarte alle Punkte innerhalb eines Radius von 456 m um den besetzten Rasterpunkt mit Null belegt, d. h. als Ausschlussfläche definiert.
4. Die Schritte 1 bis 3 wurden so lange wiederholt, bis die Rasterkarte vollständig belegt ist.

Dieser Vorgang wurde für alle Windparkflächen ausgeführt. Anhand der gespeicherten Informationen zu den platzierten Anlagen konnten anschließend die Summe der platzierten Anlagenleistung, der potenziellen Erträge, die durchschnittliche Volllaststundenzahl aller Anlagen und die durchschnittliche mittlere Windgeschwindigkeit der Standorte berechnet werden. In Abbildung 8 und Abbildung 9 sind beispielhaft die Positionen der ersten drei bzw. elf platzierten WEA eines Windparks zusammen mit den Pufferbereichen um die Anlagen dargestellt.

**Abbildung 8:** Positionen der ersten drei WEA innerhalb eines Windparks

**Abbildung 9:** Positionen der ersten elf WEA innerhalb eines Windparks



Quelle: FHG IWES

In dieser Studie wurde von einer vollständigen Neubelegung ausgegangen. Das bedeutet, dass das Potenzial zum jetzigen Zeitpunkt geringer ist, da geeignete Flächen möglicherweise bereits mit Anlagen belegt sind. Mittelfristig können diese jedoch mit leistungsstärkeren, neuen WEA ersetzt werden, die eine bessere Flächenausnutzung ermöglichen.

#### **4.3.3 Korrektur der Ergebnisse**

In einigen Bundesländern lagen die zur Verfügung gestellten Daten zur Waldfunktionskartierung nicht vollständig vor. Daher wurde zunächst aus den Bundesländern, in denen die Daten vollständig vorlagen, der mittlere Anteil der ausgeschlossenen Waldflächen an den gesamten Waldflächen berechnet. Anschließend wurde dieser Mittelwert auf die nicht durch Waldfunktionen definierten Waldflächen der verbleibenden Bundesländer bezogen, um so die zusätzliche Ausschlussfläche zu bestimmen. Das in Kapitel 4.3.2 ermittelte Leistungs- und Ertragspotenzial wurde um das Verhältnis dieser zusätzlichen Ausschlussfläche zum gesamten Potenzial verringert. Auf dieselbe Weise wurde für Hessen eine Hochrechnung der Biotopverbundflächen im Offenland vorgenommen, da hier keine entsprechenden Daten zur Verfügung stehen.

Um die aerodynamischen Verluste innerhalb der Windparks zu berücksichtigen, wurde ein Abschlag in Höhe von 10 % auf den Ertrag vorgenommen. Darüber hinaus wurde die Nichtverfügbarkeit von Anlagen aufgrund von Wartungsarbeiten, Reparaturen etc. mit einem Abschlag von 3 % auf den Ertrag berücksichtigt.

#### **4.3.4 Sensitivitätsanalyse**

Für eine Einschätzung der Belastbarkeit der Ergebnisse wurde für zwei Aspekte, welche einen großen Einfluss auf die Höhe des realisierbaren Potenzials haben, eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dies betrifft zum einen die Mindestabstände der WEA zu Wohnbauflächen<sup>50</sup> sowie die Auslastung der Anlagen, d. h. die Volllaststunden, die am Standort erreicht werden.

##### *Abstände der WEA zu Wohnbauflächen*

Die geringen Lärmemissionen der gewählten Referenzanlagen und die Annahme, dass die Anlagen nachts schallreduziert betrieben werden, führen dazu, dass der Mindestabstand nach TA Lärm mit 600 m zu Wohnbauflächen vergleichsweise gering ausfällt. In der Praxis können jedoch lautere Anlagen oder die Akzeptanz entsprechend höhere Abstände zu Wohnbauflächen erfordern. Eine signifikante Verringerung des Potenzials wäre die Folge. Um diesen Aspekt zu untersuchen, wurde der Abstand zu Wohnbauflächen in einer Sensitivitätsanalyse variiert. Dazu wurden der Abstand zu den Objektarten „Wohnbaufläche“<sup>51</sup> und „Flächen gemischter Nutzung“<sup>52</sup> ausgehend von dem Minimalwert von 600 m im schallreduzierten Betrieb schrittweise um 200 m erhöht und die Potenzialfläche ermittelt.

##### *Volllaststunden*

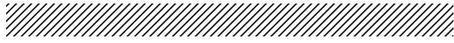
Die ermittelten Potenzialflächen verfügen über unterschiedliche Windverhältnisse. Gleichwohl können damit jedoch keine direkten Rückschlüsse auf die Wirtschaftlichkeit des Standorts gezogen werden, da diese wesentlich von anderen Faktoren abhängt. Eine Betrachtung ökonomischer Aspekte fand im Rahmen dieser Studie grundsätzlich nicht statt. Um zu analysieren, welchen Einfluss der Ausschluss besonders windschwacher Standorte auf die Höhe des Potenzials hat, wurde diese Sensitivitätsanalyse folgendermaßen durchgeführt.

Die Untergrenze der Volllaststunden, welche eine Erschließung des Standorts durch eine Schwachwindanlage ermöglicht, wurde schrittweise variiert und der Einfluss auf das Leistungs- und Ertragspotenzial analysiert. Die Höhe der Volllaststunden ist jedoch immer in direktem Zusammenhang mit der Referenzanlage zu sehen. Andere Anlagen können am gleichen Standort zu deutlich abweichenden Ergebnissen führen. Insbesondere sind bei Windenergieanlagen, die speziell auf Schwachwindstandorte ausgelegt sind, auch deutlich höhere Volllaststunden möglich. Die Analyse wurde nur für Schwachwindstandorte durchgeführt, da vorausgesetzt wird, dass Starkwindstandorte bereits über eine ausreichende Windhöufigkeit verfügen. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind in Kapitel 5.3 dargestellt.

- 19 Der Grenzwert orientiert sich an der mittleren Windgeschwindigkeit, bei der gemäß Klassifizierung durch die International Electrotechnical Commission (IEC) eine Aufstellung der Schwachwindanlage am Standort möglich ist.
- 20 Piorr 2011
- 21 Nach TA Lärm, Ziffer 6
- 22 Die Kategorie „Kurgebiet, Krankenhaus, Pflegeanstalt“ gibt es in der BauNVO nicht. Diese Einrichtungen werden als sonstige Sondergebiete nach § 11 BauNVO ausgewiesen.
- 23 TA Lärm, Anhang 2.3.1
- 24 Mit dieser Vereinfachung wird in Kauf genommen, dass im Einzelfall für reine Wohngebiete größere Abstände eingehalten werden müssten. Da jedoch im Gegenzug z. B. für Dorfgebiete mit einem Richtwert von 40 statt 45 dB(A) gerechnet wird, für Industriegebiete mit 50 statt 70 dB(A), ist zu erwarten, dass hier ein Ausgleich durch Mittelung stattfindet.
- 25 Es gibt im Basis-DLM viele Einzelgebäude im Außenbereich, die nicht zu Wohnzwecken genutzt werden und bei denen aus Lärmschutzsicht keine Abstände erforderlich sind (Feldscheunen). Sie können anhand der DLM-Daten jedoch nicht eindeutig identifiziert werden, da sie weder als eigene Objektart noch als Attributart innerhalb einer Objektart definiert sind. Daher wurde ein Verfahren entwickelt, anhand dessen mit hoher Trefferquote mutmaßliche Feldscheunen aus den Objektarten „Industrie- und Gewerbefläche“ und „Flächen gemischter Nutzung“ herausgefiltert werden können. Zwar sind einige, mit diesem Verfahren als Feldscheunen eingestufte Objekte tatsächlich Industrie- oder Gewerbeobjekt, dafür werden aber weit mehr tatsächliche Feldscheunen nicht als solche erkannt, wie die Prüfung einer Reihe von Stichproben zeigte.
- 26 OVG NRW 2006
- 27 Straßen werden im Basis-DLM als linienhafte Objekte geführt, deren Breite i. d. R. als Attribut im Datensatz festgehalten wird. Teilweise fehlt diese Angabe jedoch oder es sind Platzhalter eingefügt. Dabei sind fehlende Angaben überwiegend bei Autobahnen und Bundesstraßen zu finden, Platzhalter überwiegend bei Gemeinde- oder auch Kreisstraßen. Bei fehlenden Breitenangaben wurde daher pauschal eine Breite von 20 m angenommen, die Platzhalter wurden pauschal durch einen Wert von 6 m ersetzt.
- 28 § 9 Abs. 2 FStG
- 29 BLWE 2012
- 30 Wie zum Teil bei Straßen, fehlt auch bei den Objekten „Schienenbahn“ und „Bahnkörper“ teilweise eine Breitenangabe. Hier wurde eine pauschale Breite von 6 m angesetzt.
- 31 BLWE 2012
- 32 Gemäß einer Anfrage vom 05.03.2012 beim Eisenbahn-Bundesamt
- 33 BMVBW 2001
- 34 DFS 2001
- 35 § 21a Luftverkehrsordnung (LuftVO)
- 36 DFS 2000
- 37 BLWE 2012
- 38 Bei Feuchtgebieten nach Ramsar-Konvention wurde aufgrund des geringeren Schutzstatus dieser Gebiete und der weitestgehend kongruenten Ausweisung mit Vogelschutzgebieten auf einen zusätzlichen Abstand verzichtet.
- 39 Das Nationalkomitee des UNESCO-Programms „Der Mensch und die Biosphäre“ hat die Möglichkeit der Errichtung von WEA in der Entwicklungszone von Biosphärenreservaten in seinem Positionspapier unterstrichen (MAB-Nationalkomitee 2012).
- 40 Im Mittel wurden nach Ausschluss aller definierten Ausschlussflächen rund 11 % der landesweit als Landschaftsschutzgebiet ausgewiesenen Fläche als Potenzial ermittelt.
- 41 Burkhardt et al. 2004, S. 11 zit. in: BfN 2010, S. 39
- 42 BfN 2010
- 43 BfN 2011
- 44 Volk/Schirmer 2003
- 45 So z. B. in Brandenburg und Sachsen, wobei die Bezugsebene, auf die sich der Waldanteil von 15 % bezieht, variiert.
- 46 Dies war in nur drei Bundesländern der Fall. Ähnlich wie bei Landschaftsschutzgebieten liegt auch bei Erholungswäldern der nach Ausschluss aller definierten Gebiete verbleibende Anteil mit im Mittel rund 11 % deutlich niedriger als 25 %.
- 47 Für einige Bundesländer liegen im Basis-DLM keine Angaben zur Gewässerordnung vor. Hier wurde mit dem größeren Abstandswert gerechnet.
- 48 AL-PRO 2011
- 49 Die Berechnung des Ertragspotenzials für den Normalbetrieb konnte direkt über die Verrechnung der kalibrierten Wetterdaten (Weibullverteilungen) mit der entsprechenden Leistungskennlinie erfolgen. Für den kombinierten Betrieb musste auf Windgeschwindigkeitszeitreihen und daher auf die nicht kalibrierten Daten zurückgegriffen werden. Um die Korrektur der Kalibrierung trotzdem berücksichtigen zu können, wurde vorab ein Kalibrierungsfaktor für die beiden Betriebsweisen an jedem Rasterpunkt bestimmt und nachträglich eine Ertragskorrektur durchgeführt.
- 50 Der Begriff „Wohnbauflächen“ wird im Folgenden verallgemeinernd für die Objektarten „Wohnbaufläche“ und „Flächen gemischter Nutzung“ des Basis-DLM genutzt. Mit diesen Objektarten werden die entscheidenden Flächen erfasst, die der Wohnnutzung dienen.
- 51 „Baulich geprägte Fläche, die ausschließlich oder vorwiegend dem Wohnen dient. Neben den Wohngebäuden sind z. B. anzutreffen: der Versorgung der Fläche dienende Läden, nichtstörende Handwerksbetriebe, Einrichtungen für kirchliche, kulturelle, soziale und gesundheitliche Zwecke.“ (AdV 2003)
- 52 „Baulich geprägte Fläche, auf der keine Art der baulichen Nutzung vorherrscht. Solche Flächen sind insbesondere ländlich-dörflich geprägte Flächen mit land- und forstwirtschaftlichen Betrieben, Wohngebäuden u. a. sowie städtisch geprägte Kerngebiete mit Handelsbetrieben und zentralen Einrichtungen für die Wirtschaft und Verwaltung.“ (AdV 2003)



# 5 — ERGEBNISSE



## 5.1 FLÄCHENPOTENZIAL

Das unter den in der vorliegenden Studie zugrunde gelegten Annahmen und in Kapitel 2 genannten Einschränkungen ermittelte Flächenpotenzial für die Windenergienutzung in Deutschland beträgt 49.361 km<sup>2</sup> bzw. 13,8 % der Landesfläche der Bundesrepublik (vgl. Tabelle 8). Dabei entfällt der größte Anteil des Flächenpotenzials auf die norddeutschen Bundesländer. Aber auch für den mittleren und südlichen Teil Deutschlands wurde ein großes Potenzial errechnet<sup>53</sup>.

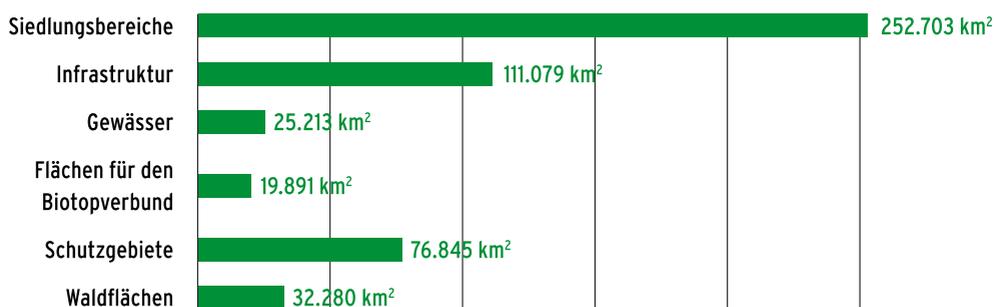
Tabelle 8: Ermitteltes Flächenpotenzial

	Anteil an der Gesamtfläche	Potenzialfläche [km <sup>2</sup> ]	Anteil am bundesweiten Flächenpotenzial
<b>Norden</b> Berlin, Brandenburg, Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein (= 38,9 % der Fläche Deutschlands)	16,4 %	22.851	46,3 %
<b>Mitte</b> Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen (= 30,7 % der Fläche Deutschlands)	10,2 %	11.200	22,7 %
<b>Süden</b> Baden-Württemberg, Bayern, Saarland (= 30,4 % der Fläche Deutschlands)	14,1 %	15.310	31,0 %
<b>Deutschland gesamt</b>	<b>13,8 %</b>	<b>49.361</b>	<b>100,0 %</b>

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 10 stellt die Ausschlusswirkung der verschiedenen Flächennutzungen grafisch dar. Hierbei ist jedoch jeweils nur die Ausschlusswirkung der jeweiligen Kategorie dargestellt. Eine Überschneidung der verschiedenen Nutzungsstrukturen ist nicht erfasst. Es wird deutlich, dass Siedlungsflächen inklusive der einzuhaltenden Schutzabstände den größten Einfluss auf die Höhe der Potenzialflächen haben. Wie im Kapitel 4.3.4 beschrieben, wurde in einer Sensitivitätsanalyse näher untersucht, wie sich das Flächenpotenzial in Abhängigkeit vom angenommenen Abstand zu Wohnbauflächen verändert.

**Abbildung 10: Ausschlusswirkungen der unterschiedlichen Flächenkategorien**  
(Überschneidungen der Flächenkategorien wurden nicht berücksichtigt)



Quelle: eigene Darstellung

## 5.2 LEISTUNGSPOTENZIAL UND ERTRÄGE

Wie in Kapitel 4.3.2 dargestellt, wurden die ermittelten Potenzialflächen schrittweise mit Referenzanlagen belegt, um das Leistungs- und Ertragspotenzial zu ermitteln. Insgesamt beträgt das unter den in der vorliegenden Studie zugrunde gelegten Annahmen und in Kapitel 2 genannten Einschränkungen ermittelte Leistungspotenzial 1.188 GW (vgl. Tabelle 9) mit einem Ertragspotenzial von 2.898 TWh pro Jahr (vgl. Tabelle 10).

**Tabelle 9: Ermitteltes Leistungspotenzial**

	Ermitteltes Leistungs- potenzial [GW]	Anteil am ermittelten bundesweiten Leistungspotenzial
<b>Norden</b> Berlin, Brandenburg, Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein (= 38,9 % der Fläche Deutschlands)	525,86	44,3 %
<b>Mitte</b> Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen (= 30,7 % der Fläche Deutschlands)	286,67	24,1 %
<b>Süden</b> Baden-Württemberg, Bayern, Saarland (= 30,4 % der Fläche Deutschlands)	375,31	31,6 %
<b>Deutschland gesamt</b>	<b>1.187,84</b>	<b>100 %</b>

Quelle: eigene Darstellung

**Tabelle 10: Ermitteltes Ertragspotenzial und mittlere Volllaststunden**

	Ermitteltes Ertragspotenzial [TWh]	Anteil am ermittel- ten bundesweiten Ertragspotenzial	Mittlere Volllaststunden
<b>Norden</b> Berlin, Brandenburg, Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein (= 38,9 % der Fläche Deutschlands)	1.378,46	47,6 %	2.621
<b>Mitte</b> Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen (= 30,7 % der Fläche Deutschlands)	728,06	25,1 %	2.540
<b>Süden</b> Baden-Württemberg, Bayern, Saarland (= 30,4 % der Fläche Deutschlands)	791,27	27,3 %	2.108
<b>Deutschland gesamt</b>	<b>2.897,87</b>	<b>100,0 %</b>	<b>2.440</b>

Quelle: eigene Darstellung

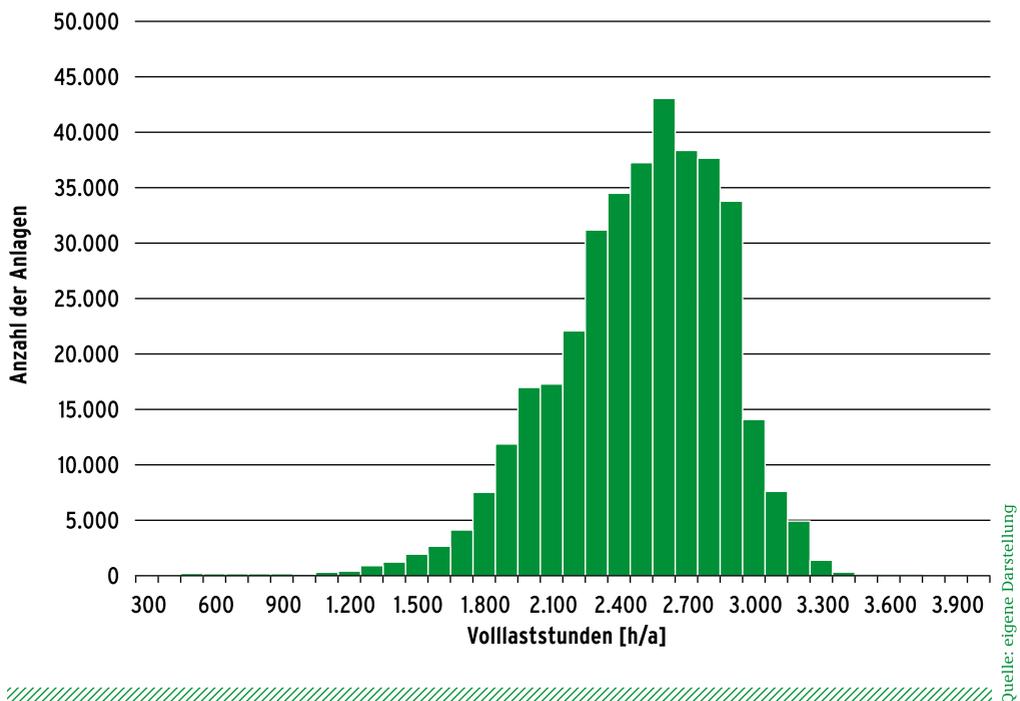
Analog zum ermittelten Flächenpotenzial ist auch das Leistungs- und Ertragspotenzial in den nördlichen Bundesländern am größten. Das Ertragspotenzial ist auch deshalb höher, weil die platzierten Referenzanlagen aufgrund der insgesamt besseren Standortbedingungen im nördlichen Teil Deutschlands eine höhere Auslastung als Anlagen im Süden erreichen.

Die Auslastung aller Windenergieanlagen wurde in Abbildung 11 zu einer Häufigkeitsverteilung aufgetragen. Es überwiegen ganz deutlich Standorte mit einer Auslastung von 2.300 bis 2.900 mittleren Volllaststunden pro Jahr. Deutschlandweit ergeben sich im Mittel 2.440 Volllaststunden.

Da die installierbare Anlagenleistung, die Erträge und die Höhe der Volllaststunden maßgeblich von der Wahl der Referenzanlage bzw. des Verhältnisses aus Rotorfläche und Generatorleistung abhängig sind, können andere Anlagentypen zu anderen Ergebnissen führen. Insbesondere können Anlagen, die noch stärker auf Schwachwindverhältnisse optimiert sind, auch deutliche höhere Volllaststunden erreichen. An einigen Standorten ist die Erschließung aufgrund unzureichender Windverhältnisse nicht wahrscheinlich. Da jedoch die Auslastung von der eingesetzten Anlagentechnik abhängig ist und sich daraus allein keine Aussage zur Wirtschaftlichkeit des Standorts ableiten lässt, wurden grundsätzlich alle Standorte berücksichtigt. Darüber hinaus wurde der Einfluss auf das Leistungs- und Ertragspotenzial beim Ausschluss der ertragschwächsten Standorte im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse (siehe Kapitel 4.3.4) untersucht.



**Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung der Volllaststunden der Referenzanlagen im Bundesgebiet**

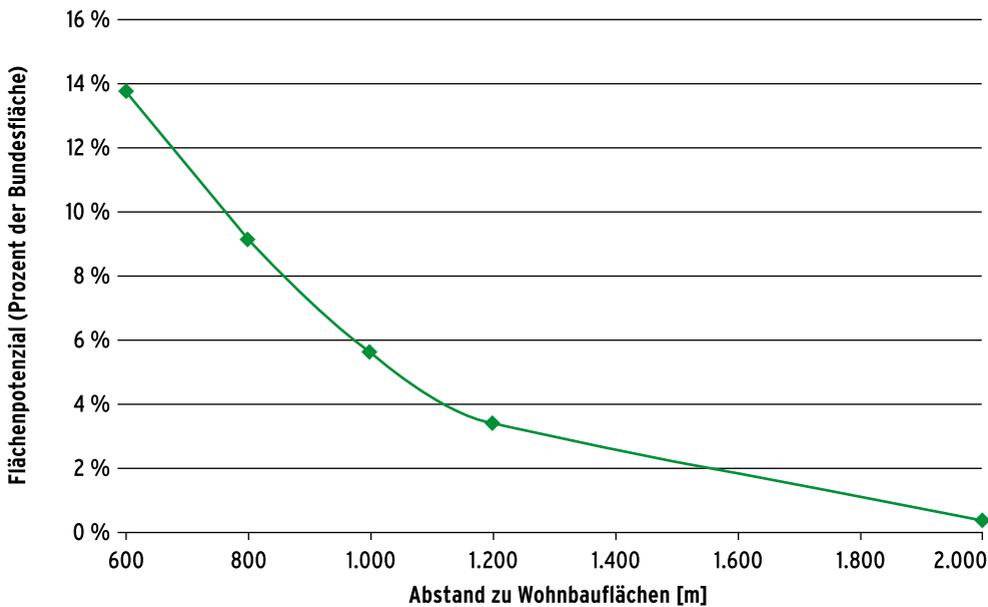


### 5.3 SENSITIVITÄTSANALYSEN

#### *Abstände der WEA zu Wohnbauflächen*

Wie in Abschnitt 4.3.4 erläutert, wurde zunächst der Abstand zu Wohnbauflächen in einer Sensitivitätsanalyse variiert. Ziel war es, zu untersuchen wie sich das Potenzial verringert, wenn größere Abstände vorausgesetzt werden. In Abbildung 12 sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse dargestellt. Im Diagramm ist das bundesweite Flächenpotenzial aufgetragen, welches sich bei einer schrittweisen Erhöhung des Mindestabstands zu Wohnbauflächen ergibt.

**Abbildung 12: Einfluss des Abstands zu Wohnbauflächen auf die Höhe des ermittelten Flächenpotenzials**



Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 11: Einfluss des Abstands zu Wohnbauflächen					
Abstand zu Wohnbauflächen	600 m	800 m	1.000 m	1.200 m	2.000 m
Flächenpotenzial	13,8 %	9,1 %	5,6 %	3,4 %	0,4 %
Anteil des ermittelten Flächenpotenzials	100 %	66,3 %	40,9 %	24,8 %	2,8 %

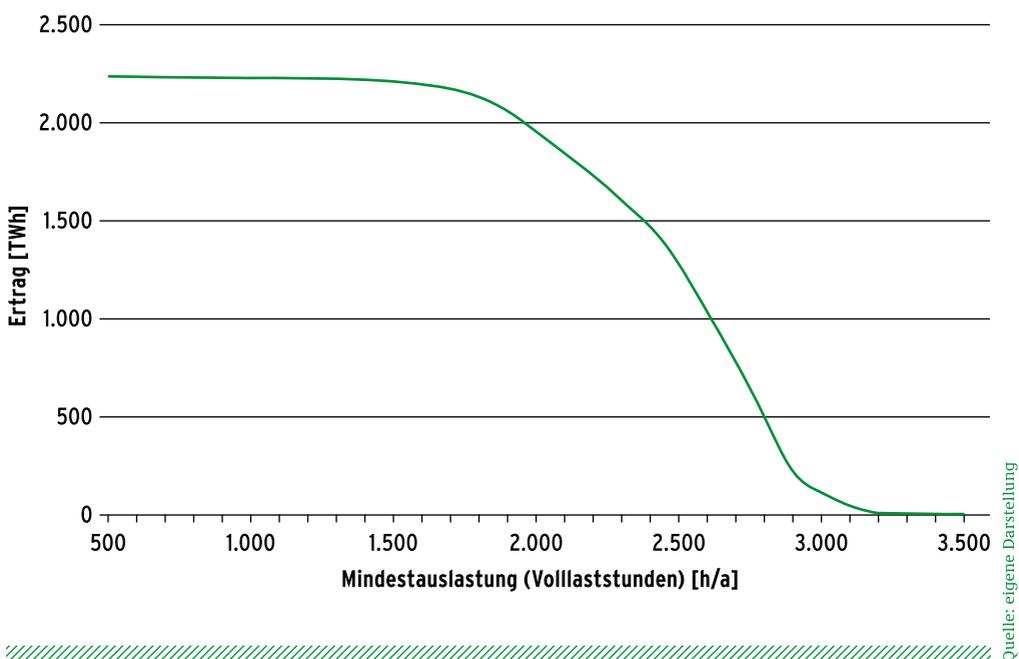
Quelle: eigene Darstellung

Es zeigt sich, dass bereits die Erhöhung des Mindestabstandes auf 800 m das Flächenpotenzial um ein Drittel reduziert (vgl. Tabelle 11). Bei einer Verdopplung des Abstandes auf 1.200 m verbleibt nur noch ein Viertel des ermittelten Flächenpotenzials. Bei einem Abstand von 2.000 m reduziert sich das ermittelte Flächenpotenzial auf 0,4 % der deutschen Landesfläche. Dabei muss berücksichtigt werden, dass für dieses Flächenpotenzial ebenfalls die in Kapitel 2 genannten Einschränkungen für das realisierbare Potenzial gelten, d.h. insbesondere die Belange des besonderen Artenschutzes schränken das bei der Sensitivitätsanalyse ermittelte Potenzial in der Realität zusätzlich erheblich ein.

*Volllaststunden*

Im nächsten Schritt wurde untersucht, wie sich die Einführung einer Mindestauslastung in Form einer Mindestanzahl von Volllaststunden auf die Höhe des Potenzials auswirkt. Das Kriterium der Mindestauslastung wurde nur für Standorte mit Schwachwindanlagen angewendet, da an Starkwindstandorten ausreichende Windverhältnisse vorausgesetzt wurden. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind in Abbildung 13 dargestellt. Das Diagramm zeigt den Einfluss auf den potenziellen Ertrag, der sich bei der entsprechenden Mindestauslastung der Schwachwindanlagen ergibt. Das Diagramm stellt nur den Ertrag aus Schwachwindanlagen dar, da die Starkwindstandorte im Rahmen der Sensitivitätsanalyse nicht betrachtet wurden.

**Abbildung 13: Potenzieller Ertrag aus Schwachwindanlagen in Abhängigkeit der Mindestauslastung**  
(dargestellt ist ausschließlich der Ertrag aus Schwachwindanlagen)



Zur Verdeutlichung ist in Tabelle 12 das jeweilige Leistungs- und Ertragspotenzial aufgeführt, das sich aufgrund des Ausschlusses der Standorte unterhalb der Mindestauslastung von 1.600, 2.200 sowie 2.800 Volllaststunden ergibt. Im Vergleich dazu beträgt die mittlere Auslastung in Deutschland über die letzten fünf Jahre etwa 1.700 Volllaststunden<sup>54</sup>.

Es zeigt sich, dass bei einer Mindestauslastung von 1.600 Volllaststunden nur ein sehr geringer Anteil von Standorten ausgeschlossen wird. Bei einer Mindestauslastung von 2.200 h/a wird ein signifikanter Anteil der Standorte ausgeschlossen. Der Abschlag auf den potenziellen Ertrag beträgt hier nur etwa 17 % gegenüber einer Verringerung der installierbaren Leistung um etwa 22 %. Bei einer Mindestauslastung von 2.800 h/a wird bereits der Großteil der Standorte über alle Bundesländer ausgeschlossen, in den südlichen Bundesländern verblieben nahezu keine nutzbaren Standorte.

**Tabelle 12: Auswertung der Sensitivitätsanalyse Mindestauslastung \***

Mindestauslastung der Schwachwindanlage		Keine	1.600 h/a	2.200 h/a	2.800 h/a
Installierbare Leistung [GW]	Norden	526	526	524	338
	Mitte	287	286	254	100
	Süden	375	349	148	9
	Deutschland gesamt	1.188	1.162	930	450
Potenzieller Ertrag [TWh]	Norden	1.378	1.378	1.375	889
	Mitte	728	728	662	270
	Süden	791	755	363	27
	Deutschland gesamt	2.898	2.862	2.407	1.191

Quelle: eigene Darstellung

\* Dargestellt ist Gesamtertrag aus Stark- und Schwachwindanlage – das Kriterium der Mindestauslastung wurde jedoch nur auf Schwachwindanlagen angewendet

## 5.4 EINORDNUNG DER ERGEBNISSE

Im Rahmen dieser Studie wurde ein hohes Potenzial für die Windenergie an Land ermittelt. Es sind jedoch die in Kapitel 2 dargestellten Einschränkungen zu berücksichtigen. Das technisch-ökologische Potenzial ist erheblich niedriger als das hier ermittelte Potenzial, weil verschiedene Belange, die in der Praxis einer Einzelfallentscheidung bedürfen (wie vor allem der besondere Artenschutz), bei der Potenzialermittlung nicht berücksichtigt werden konnten. Das technisch-ökologische Potenzial kann mit den aktuell deutschlandweit verfügbaren GIS-Daten und vor dem Hintergrund einer jeweils notwendigen Einzelfallbetrachtung nicht ermittelt werden.

Es war zudem nicht Ziel der Studie, ein realisierbares Potenzial der Windenergie an Land zu ermitteln. Dieses ist nochmals deutlich geringer. Wesentliche Einflussfaktoren, die in der Potenzialstudie nicht berücksichtigt wurden, aber in der Praxis der konkreten Realisierung von Windenergievorhaben entgegenstehen können, sind unter anderem

- räumliche Entwicklungsziele der Gebietskörperschaften (z. B. Vorranggebiete für Siedlungsentwicklung),
- Einwände und Vorbehalte der Flächeneigentümer oder Anwohner vor Ort aufgrund fehlender Akzeptanz,
- wirtschaftliche Bedingungen im konkreten Einzelfall (z. B. Investitionskosten im Verhältnis zur Windhöflichkeit) sowie
- Nutzungsansprüche, die anhand der zugrunde liegenden Daten nicht erfasst werden konnten (z. B. zivile und militärische Radaranlagen).

Das realisierbare Potenzial ist somit nur ein kleiner Teil des ermittelten Potenzials. Zu welchem Grade dieses ausgeschöpft werden kann und soll, ist nicht Fragestellung der Studie, sondern Gegenstand politischer und gesellschaftlicher Entscheidungen sowie planerischer Abwägung auf den verschiedenen Ebenen (Bund, Länder und Kommunen).

Die Ergebnisse sind in hohem Maße von den getroffenen Annahmen, insbesondere den Ausschlusskriterien, Abständen und der verfügbaren Technik abhängig. So ist zum Beispiel das hohe Flächen- und Leistungspotenzial maßgeblich auf die gewählten Referenzanlagen zurückzuführen. Die sehr geringen Schallemissionen der Anlagen im schallreduzierten Betriebsmodus führen dazu, dass die Abstände zu Siedlungsflächen (unter Einhaltung der TA Lärm) vergleichsweise gering sind und das Flächenpotenzial dementsprechend hoch ist. Würden z. B. aus Akzeptanzgründen größere Abstände eingeplant, ergäbe sich ein dementsprechend geringeres Potenzial.

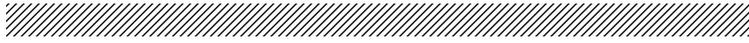
---

### FUSSNOTEN

53 Die Einteilung der Bundesländer in Norden, Mitte und Süden erfolgte einerseits vor dem Hintergrund, dass die Länder jeweils vergleichbare Naturräume sowie durchschnittliche mittlere Windgeschwindigkeiten aufweisen.

54 IWES 2012

# 6 — SCHLUSSFOLGERUNGEN



Unter den im Rahmen der Studie zugrundeliegenden Annahmen wurde für die Windenergie an Land ein Flächenpotenzial von rund 49.400 km<sup>2</sup> bzw. etwa 13,8 % der Landesfläche der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. Dies entspricht **einem Potenzial von rund 1.190 GW installierbarer Leistung mit einem Ertrag von 2.900 TWh/a.** Bei der Potenzialermittlung wurde keine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt, sondern nur technische und ökologische Restriktionen berücksichtigt. Allerdings konnten Belange, die Einzelfallbetrachtungen bedürfen (vor allem der besondere Artenschutz, aber auch z. B. Radaranlagen) im Rahmen der Studie nicht sinnvoll abgebildet werden. **Das technisch-ökologische Potenzial, bei dem u. a. auch der besondere Artenschutz zu betrachten ist, fällt somit erheblich kleiner aus.** Das unter planerischen Rahmenbedingungen realisierbare Ausbaupotenzial für die Windenergienutzung an Land ist deutlich geringer einzuschätzen (vgl. Kapitel 2 und 5.4).

Das große ermittelte Potenzial resultiert maßgeblich aus der modernen Windenergieanlagentechnik, die wegen großer Nabenhöhen und Rotordurchmesser eine Erschließung von Standorten im Binnenland sowie aufgrund geringer Lärmemissionen auch die Einhaltung der Anforderungen des Lärmschutzes im Nahbereich von Siedlungen ermöglicht.

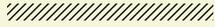
Eine Sensitivitätsanalyse zeigte, dass die zugrunde gelegten Schutzabstände zu sensiblen Bereichen, insbesondere zu Wohnbauflächen einen besonders großen Einfluss auf das Potenzial haben. In einer weiteren Sensitivitätsanalyse wurde untersucht, wie sich der Ausschluss von den ertragsschwächsten Standorten auf das Gesamtpotenzial auswirkt. Die ertragsschwächsten Standorte befinden sich demnach hauptsächlich in den süddeutschen Bundesländern.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Windenergie an Land ihrer Schlüsselrolle im Portfolio der erneuerbaren Energien gerecht werden kann. Falls sich der Strombedarf in Zukunft erhöhen sollte, z. B. im Zuge eines Einsatzes im Wärmesektor oder einer Zunahme der Elektromobilität, könnte dies kompensiert werden. Es existieren ausreichend Standorte, die in Verbindung mit modernen Windenergieanlagen eine gleichmäßige Stromeinspeisung durch eine hohe Auslastung versprechen.

Schließlich lässt sich die allgemeine Aussage ableiten, dass grundsätzlich ausreichend Flächen zur Verfügung stehen, so dass vorrangig die Erschließung möglichst konfliktarmer und kosteneffizienter Standorte in Betracht gezogen werden sollte. Ungeachtet der Ergebnisse der Studie kann in einzelnen Planungsräumen der Windenergie möglicherweise nur dann substantiell Raum geschaffen werden, wenn Kriterien für die Ausweisung von Windenergiegebieten entsprechend angepasst werden.

**In welchem Umfang das Potenzial der Windenergie an Land letztendlich ausgenutzt werden kann und soll ist Gegenstand gesellschaftlicher und politischer Entscheidungen sowie planerischer Abwägung auf den verschiedenen Ebenen.**

# GLOSSAR



## **ALLGEMEINES WOHNGEBIET:**

Allgemeine Wohngebiete dienen vorwiegend dem Wohnen. Neben Wohngebäuden sind außerdem Läden, die der Versorgung des Gebietes dienen, Gastronomiebetriebe und nicht störende Handwerksbetriebe sowie Anlagen für soziale und kulturelle Zwecke zulässig. Ausnahmsweise können weitere Einrichtungen wie etwa Tankstellen oder nicht störende Gewerbegebiete zugelassen werden (vgl. § 4 BauNVO).

## **BESONDERER ARTENSCHUTZ:**

Es ist grundsätzlich verboten, Individuen besonders oder streng geschützter Arten zu töten, zu stören oder ihre Fortpflanzungs- und Ruhestätten zu beschädigen bzw. sie aus der Natur zu entnehmen oder sie oder ihre Standorte zu beschädigen oder zu zerstören. Welche Tier- und Pflanzenarten unter den besonderen Artenschutz fallen, ist in § 7 Abs. 2 Nr. 13 BNatSchG geregelt. Besonders geschützte Tierarten, die bei Windenergieplanungen eine bedeutende Rolle spielen können, sind Vogelarten wie z. B. Rotmilane, Wiesenweihen oder Seeadler sowie diverse Fledermausarten. Die Regelungen zum besonderen Artenschutz finden sich in §§ 44 ff. BNatSchG.

## **BIOSPHERENRESERVAT:**

Biosphärenreservate dienen dem Schutz von durch hergebrachte vielfältige Nutzungen geprägten Kulturlandschaften und der darin historisch gewachsenen Arten- und Biotopvielfalt. Sie werden in Kern-, Pflege- und Entwicklungszonen unterteilt. Biosphärenreservate erfüllen in wesentlichen Teilen ihres Gebiets die Voraussetzungen eines Naturschutzgebiets, im Übrigen überwiegend eines Landschaftsschutzgebiets. Einzelheiten sind in § 25 BNatSchG geregelt.

## **BODENSCHUTZWALD:**

Bodenschutzwald hat die Funktion seinen Standort sowie benachbarte Flächen vor den Auswirkungen von Erosionen durch Wasser, Wind und Steinschlag zu schützen<sup>55</sup>. Bei Bodenschutzwald handelt es sich meist um Wald an Steilhängen und sonstigen erosionsgefährdeten Flächen.

## **ERHOLUNGSWALD:**

Wälder, die eine Erholungsfunktion erfüllen, haben eine besondere Bedeutung für die Erholung der Bevölkerung. Sie werden in einigen Bundesländern in Erholungswald (Stufe I) und Erholungswald (Stufe II) unterschieden. Der Leitfaden zur Waldfunktionskartierung<sup>56</sup> gibt dazu folgende Orientierungswerte für die Kartierung an:

- Wälder mit intensiver Erholungsfunktion (Stufe I): über 10 Besucher je ha und Tag
- Wälder mit überdurchschnittlicher Erholungsfunktion (Stufe II): 1 bis 10 Besucher je ha und Tag

## **FFH-GEBIET:**

Fauna-Flora-Habitat-Gebiete (FFH-Gebiete) sind Bestandteil des europäischen Schutzgebietsnetzwerks Natura 2000. FFH-Gebiete sollen die Artenvielfalt durch die Erhaltung natürlicher Lebensräume sowie wild lebender Tiere und Pflanzen sichern und sind als geschützte Teile von Natur und Landschaft gemäß § 20 Abs. 2 BNatSchG zu schützen.

## **GESCHÜTZTE LANDSCHAFTSBESTANDTEILE:**

Geschützte Landschaftsbestandteile sind oftmals kleinräumige Teile von Natur und Landschaft, die z. B. zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes oder zur Gliederung des Ort- oder Landschaftsbildes geschützt werden, wie etwa wertvolle Alleen oder Baumgruppen (vgl. § 29 BNatSchG).

**GEWERBEGEBIET:**

In Gewerbegebieten sind z. B. nicht erheblich belästigende Gewerbebetriebe jeglicher Art, Lagerhäuser, Geschäfts- und Bürogebäude zulässig. Dagegen werden andere Nutzungen wie z. B. Wohnungen und Einrichtungen für soziale oder kulturelle Zwecke nur ausnahmsweise zugelassen (vgl. § 8 BauNVO).

**IMMISSIONSSCHUTZWALD:**

Wald, der eine Immissionsschutzfunktion erfüllt, soll Wohn-, Arbeits- und Erholungsbereiche sowie sonstige Nutzungen vor nachteiligen Wirkungen, die durch Gase, Stäube, Aerosole und Strahlen entstehen, schützen oder diese vermindern.

**INDUSTRIEGEBIET:**

Industriegebiete dienen ausschließlich der Unterbringung von Gewerbebetrieben und zwar insbesondere solcher, die andernorts nicht zulässig sind. Andere Nutzungen wie z. B. dem Gewerbebetrieb untergeordnete Wohnungen und Einrichtungen für soziale oder kulturelle Zwecke werden nur ausnahmsweise zugelassen (vgl. § 9 BauNVO).

**KLIMASCHUTZWALD:**

Wald, der eine Klimaschutzfunktion erfüllt, wird in einigen Bundesländern in lokalen und regionalen Klimaschutzwald unterschieden. Lokaler Klimaschutzwald schafft einen Ausgleich von Temperatur- und Feuchtigkeitsextremen und schützt z. B. Siedlungs- und Erholungsbereiche vor Kaltluftschäden und ungünstigen Windeinwirkungen. Regionaler Klimaschutzwald trägt durch großräumigen Luftaustausch allgemein zur Verbesserung des Klimas bei.

**LANDSCHAFTSSCHUTZGEBIET:**

Neben der Entwicklung und Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes zielen Landschaftsschutzgebiete insbesondere auf den Erhalt des Landschaftscharakters und dessen Schönheit ab. Landschaftsschutzgebiete sind Gebiete mit einem geringeren Schutzstatus als etwa Naturschutzgebiete oder Nationalparke und unterliegen daher weniger strengen Nutzungsbeschränkungen (vgl. § 26 BNatSchG). Landschaftsschutzgebiete sind von ihrer Gestalt meist großflächiger und weisen einen Flächenanteil von rund 28,5 % an der Bundesfläche auf.

**LÄRMSCHUTZWALD:**

Lärmschutzwald soll negativ empfundene Geräusche im Umfeld von Wohn-, Arbeits- und Erholungsbereichen dämpfen oder fernhalten. Waldflächen mit Lärmschutzfunktion werden vor allem an Verkehrsstrassen ausgewiesen.

**NATIONALPARK:**

Nationalparke sind größere, einheitlich zu schützende Gebiete, die in ihren Eigenschaften denen von Naturschutzgebieten ähneln und wie diese streng geschützt sind (vgl. § 24 BNatSchG).

**NATURA 2000-GEBIET:**

Als Natura 2000-Gebiete werden Vogelschutzgebiete und Flora-Fauna-Habitat-Gebiete (FFH-Gebiete) bezeichnet, die im Rahmen des europäischen Schutzgebietsnetzwerks Natura 2000 ausgewiesen werden. Das Netzwerk gilt in der europäischen Union als bedeutendstes Instrument zum Schutz der biologischen Vielfalt. In Deutschland sind rund 15 % der Landesfläche als Natura 2000-Gebiete unter Schutz gestellt (vgl. §§ 32 ff. BNatSchG).

**NATURDENKMAL:**

Naturdenkmäler sind Einzelschöpfungen der Natur (wie wertvolle Bäume) oder bis zu 5 ha große Flächen, die z. B. aus naturgeschichtlichen Gründen oder wegen ihrer Eigenart geschützt werden (vgl. § 28 BNatSchG).

→

**NATURPARK:**

Naturparke sind großflächigere Kulturlandschaften, in denen der Schutz der Kulturlandschaft und der dortigen Biodiversität eng mit der Erholungsfunktion für den Menschen verbunden ist. In ihnen werden vielfach Projekte zum nachhaltigen Tourismus und zu umweltverträglichen Landnutzungen und Wirtschaftsweisen umgesetzt. Einzelheiten regelt § 27 BNatSchG. Insgesamt haben Naturparke einen Anteil von rund 27 % an der bundesdeutschen Fläche.

**NATURSCHUTZGEBIET:**

Naturschutzgebiete werden zum besonderen Schutz von Natur und Landschaft ausgewiesen und sind streng geschützt. Jede Handlung, die zu einer Beschädigung oder nachhaltigen Störung eines Naturschutzgebietes führen kann, ist verboten (vgl. § 23 BNatSchG).

**FEUCHTGEBIETE NACH RAMSAR-KONVENTION:**

Bei Feuchtgebieten nach Ramsar-Konvention handelt es sich um international bedeutende Feuchtwiesen, Moor- und Sumpfbereiche oder Gewässer sowie anschließende Ufer- und Küstenbereiche. Mitte 2010 gab es in Deutschland insgesamt 34 Ramsar-Feuchtgebiete<sup>57</sup>.

**REINES WOHNGEBIET:**

In reinen Wohngebieten sind in der Regel nur Wohngebäude zulässig. Ausnahmsweise können auch andere Nutzungen wie z. B. kleinere Läden und Einrichtungen, die den Bedürfnissen der Bewohner dienen, zugelassen werden (vgl. § 3 BauNVO).

**SCHALLLEISTUNGSPEGEL:**

Mit der Schalleistung wird die abgegebene Energie einer Schallquelle angegeben. Gebräuchlicher als die Angabe der Schalleistung (in Watt) ist der logarithmische Schalleistungspegel in Dezibel (dB).

**SICHTSCHUTZWALD:**

Sichtschutzwald soll Objekte wie z. B. Industrieanlagen, die das Landschaftsbild beeinträchtigen, verdecken und vor unerwünschten Einblicken schützen.

**ÜBERSCHWEMMUNGSGEBIET:**

Überschwemmungsgebiete sind nach § 76 Abs. 1 WHG Gebiete, die bei Hochwasser überschwemmt, durchflossen oder die für Hochwasserentlastung oder Rückhaltung beansprucht werden.

**VOGELSCHUTZGEBIET:**

Vogelschutzgebiete sind Bestandteil des europäischen Netzwerks Natura 2000. Vogelschutzgebiete haben den Zweck, den Bestand natürlich vorkommender Vogelarten zu erhalten und sind als geschützte Teile von Natur und Landschaft gemäß § 20 Abs. 2 BNatSchG zu schützen (vgl. §§ 32 ff. BNatSchG).

**WASSERSCHUTZGEBIET:**

Wasserschutzgebiete werden festgesetzt, um eine öffentliche Wasserversorgung sicherzustellen, Grundwasser anzureichern und schädliche Eintragungen bspw. von Düngemitteln oder Pflanzenschutzmitteln in die Gewässer zu vermeiden. Welche Handlungen in den einzelnen Wasserschutzgebieten erlaubt sind, richtet sich nach den jeweiligen Schutzgebietsverordnungen. Der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) gemeinsam mit der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser technische Regeln erarbeitet, die eine Bautätigkeit in der Schutzzone I und II generell untersagen<sup>58</sup>.

**FUSSNOTEN**

<sup>55</sup> Alle Erläuterungen zu Waldfunktionen nach Volk/Schirmer 2003.

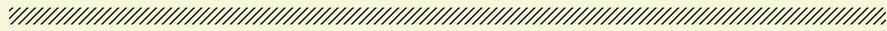
<sup>56</sup> ebd.

<sup>57</sup> BMU 2010

<sup>58</sup> DVGW 1995



# LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS



**AL-PRO 2011** – AL-PRO (2011): Kurzfassung des überarbeiteten Endberichtes zur Windpotenzialstudie Saarland. Großheide.

**AdV 2003** – Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (2003): Amtliches Topographisches-Kartographisches Informationssystem – ATKIS. Objektartenkatalog Teil D0. München.

**AdV 2012** – Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (2012): Landschafts- und Geländemodelle. <http://www.adv-online.de/icc/extdeu/broker.jsp?uMen=8dd0216a-4653-5313-9038-207072e13d63>, abgerufen am 25.05.2012.

**Baldauf et al. 2011** – Baldauf, M.; Förstner, J.; Klink, S.; Reinhardt, T.; Schraff, C.; Seifert, A. & Stephan, K. (2011): Kurze Beschreibung des Lokal-Modells Kurzzeit COSMO-DE (LMK) und seiner Datenbanken auf dem Datenserver des DWD. Deutscher Wetterdienst. Offenbach.

**BauGB** – Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S. 2414), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 22. Juli 2011 (BGBl. I S. 1509).

**BfN 2010** – Bundesamt für Naturschutz (2010): Länderübergreifender Biotopverbund in Deutschland. Grundlagen und Fachkonzept. Münster.

**BfN 2011** – Bundesamt für Naturschutz (2011): Windkraft über Wald – Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz. Bonn.

**BImSchG** – Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 27. Juni 2012 (BGBl. I S. 1421).

**BNatSchG** – Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 6. Februar 2012 (BGBl. I S. 148).

**BMU 2010** – Neukirchen, C. (2010): Handbuch der Ramsar-Konvention. Ein Leitfaden zum Übereinkommen über Feuchtgebiete von internationaler Bedeutung. Bonn.

**BMU 2011** – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2011): Erfahrungsbericht 2011 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG-Erfahrungsbericht) Entwurf. Stand: 03.05.2011.

**BMU 2012a** – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2012): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Juli 2012. Berlin.

**BMU 2012b** – Nitsch, J.; Pregger, T.; Naegler, T.; Heide, D.; Luca de Tena, D.; Scholz, Y.; Nienhaus, K.; Gerhardt, N.; Sterner, M.; Trost, T.; von Oehsen, A.; Schwinn, r.; Pape, C.; Hahn, H.; Wickert, M. & Wenzel, B. (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Stuttgart, Kassel, Teltow.

**BMU 2012c** – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012): Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011. Grafiken und Tabellen. Unter Verwendung aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Stand: März 2012. Berlin.

**BMU/BMWi 2010** – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2010): Energiekonzept. Für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin.

**BMVBW 2001** – Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2001): Richtlinien über die Hindernisfreiheit für Start- und Landebahnen mit Instrumentenflugbetrieb – Stand 02.11.2001. Berlin.

**Bundesregierung 2011** – Bundesregierung (2011): Der Weg zur Energie der Zukunft – sicher, bezahlbar und umweltfreundlich. Eckpunktepapier der Bundesregierung zur Energiewende. Stand: 06.06.2011.

**BRD 2010** – Bundesrepublik Deutschland (2010): Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Berlin.

**BLWE 2012** – Bund-Länder-Initiative Windenergie (2012): Handreichung zu Windenergieanlagen an Infrastrukturtrassen. Berlin.

**DFS 2000** – Deutsche Flugsicherung (2000): NfL Nachrichten für Luftfahrer II 37/00, 20. April 2000. Offenbach a. M..

**DFS 2001** – Deutsche Flugsicherung (2001): NfL Nachrichten für Luftfahrer I 328/01, 29. November 2001. Offenbach a. M..

**DVGW 2006** – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (2006): Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete. Technische Regel, Arbeitsblatt W 101. Bonn.

**DIN EN 50 341-3-4 / VDE 0210-3 2011** – Freileitungen über AC 45 kV – Teil 3: Nationale Normative Festlegungen (NNA).

**DIN ISO 9613-2 1997** – Dämpfung des Schalls bei Ausbreitung im Freien. Entwurfsfassung September 1997.

**Ender 2013** – Ender, C.: Windenergienutzung in Deutschland – Stand 31.12.2012. In: DEWI MAGAZIN NO. 42, Februar 2013. Wilhelmshaven.

**ForWind 2012** – Tambke, J.; v. Bremen, L.: Kalibrierung von Wetterdaten zur Ermittlung der Onshore-Windpotenziale (FKZ 36301429). Erstellt im Auftrag des Umweltbundesamtes. Unveröffentlicht.

**FStrG** – Bundesfernstraßengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. Juni 2007 (BGBl. I S. 1206), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585).

**IWES 2012** – Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) (2012): Windenergie Report Deutschland 2011. April 2012. Kassel.

**LANUV 2012** – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2012): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW – Teil 1 Windenergie. LANUV-Fachbericht 40. Recklinghausen.

**MAB-Nationalkomitee 2012** – Nationalkomitee des UNESCO-Programms „Der Mensch und die Biosphäre“ (2012): Positionspapier des MAB-Nationalkomitees zur Nutzung von Windkraft und Biomasse in Biosphärenreservaten. 5. September 2012. Blieskastel.

**MEASNET 2009** – MEASNET Procedure: Evaluation of Site Specific Wind Conditions. Version 1, November 2009.

**OVG NRW 2006** – Oberverwaltungsgericht Nordrhein-Westfalen (2006): Optisch bedrängende Wirkung von Windenergieanlagen auf bewohnte Nachbargrundstücke. In: Zeitschrift für neues Energierecht (ZNER) 2006, Heft 4, S. 361 – 364.

**TA Lärm** – Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503).

**UBA 2010** – Klaus, T.; Vollmer, C.; Werner, K.; Lehmann, H. & Müschen, K. (2010): Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen. Dessau-Roßlau.

**UBA 2011** – Umweltbundesamt (2011): Entstehung und Minderung der Geräusche von Windenergieanlagen. – In: VDI-WISSENSFORUM – FACHKONFERENZ. Schall und Schallemissionen von Windenergieanlagen. Hamburg.

**Volk/Schirmer 2003** – Volk, Dr. H. & Schirmer, C. (Hrsg.) (2003): Leitfaden zur Kartierung der Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes (Waldfunktionenkartierung) (WFK). Projektgruppe Forstliche Landespflege. Frankfurt am Main.

# ANHANG



## Übersicht über die zugrunde gelegten Ausschlussflächen und Schutzabstände

	Ausschluss	Abstand vom Fundament in m
<b>Siedlungsgebiete</b>		
Industrie- und Gewerbegebiete	Ja	mind. 250
Wohngebiete	Ja	mind. 600
Kurgebiete	Ja	mind. 900
<b>Infrastruktur</b>		
Bundesautobahnen	Ja	100
Sonstige Straßen	Ja	80
Schienenverkehr	Ja	250
Seilbahnen	Ja	300
Flughäfen	Ja	ca. 5.000 +/- 50 bis 100*
Flugplätze	Ja	1.760
Freileitungen	Ja	120
<b>Ökologisch sensible Gebiete</b>		
Nationalparke	Ja	200
Naturschutzgebiete	Ja	200
Vogelschutzgebiete	Ja	200
FFH-Gebiete	Ja	-
FFH-Gebiete mit Zweck Fledermausschutz	Ja	200
Feuchtgebiete nach Ramsar-Konvention	Ja	-
Biosphärenreservate (Kern- und Pflegezone)	Ja	-
Biosphärenreservate (Entwicklungszone)	-	-
Landschaftsschutzgebiete	min. 75 %**	-
Geschützte Landschaftsbestandteile	Ja	-
Naturparke	-	-
Flächen für den Biotopverbund	Ja	-
<b>Wald</b>		
Wald in Bundesländern mit einem Waldanteil von unter 15 %	Ja	-
Bodenschutzwald	Ja	-
Sichtschutzwald	Ja	-
Klimaschutzwald (lokal und regional)	-	-
Erholungswald (Stufe I und II)	min. 75 %**	-
Immissionsschutzwald	-	-
Lärmschutzwald	-	-
<b>Gewässer</b>		
Strom, Fluss, Bach (1. Ordnung), Kanal (Schifffahrt)	Ja	65
Strom, Fluss, Bach (2. und 3. Ordnung), Kanal (Schifffahrt)	Ja	5
Kanal (Wasserwirtschaft)	Ja	-
Binnensee	Ja	5
<b>Sonstiges</b>		
Hangneigung	> 30°	-

\* abhängig von Länge der Landebahn

\*\* max. 25 % der LSG- oder Erholungswaldflächen eines Bundeslandes werden als Potenzialfläche behandelt

Quelle: eigene Darstellung

