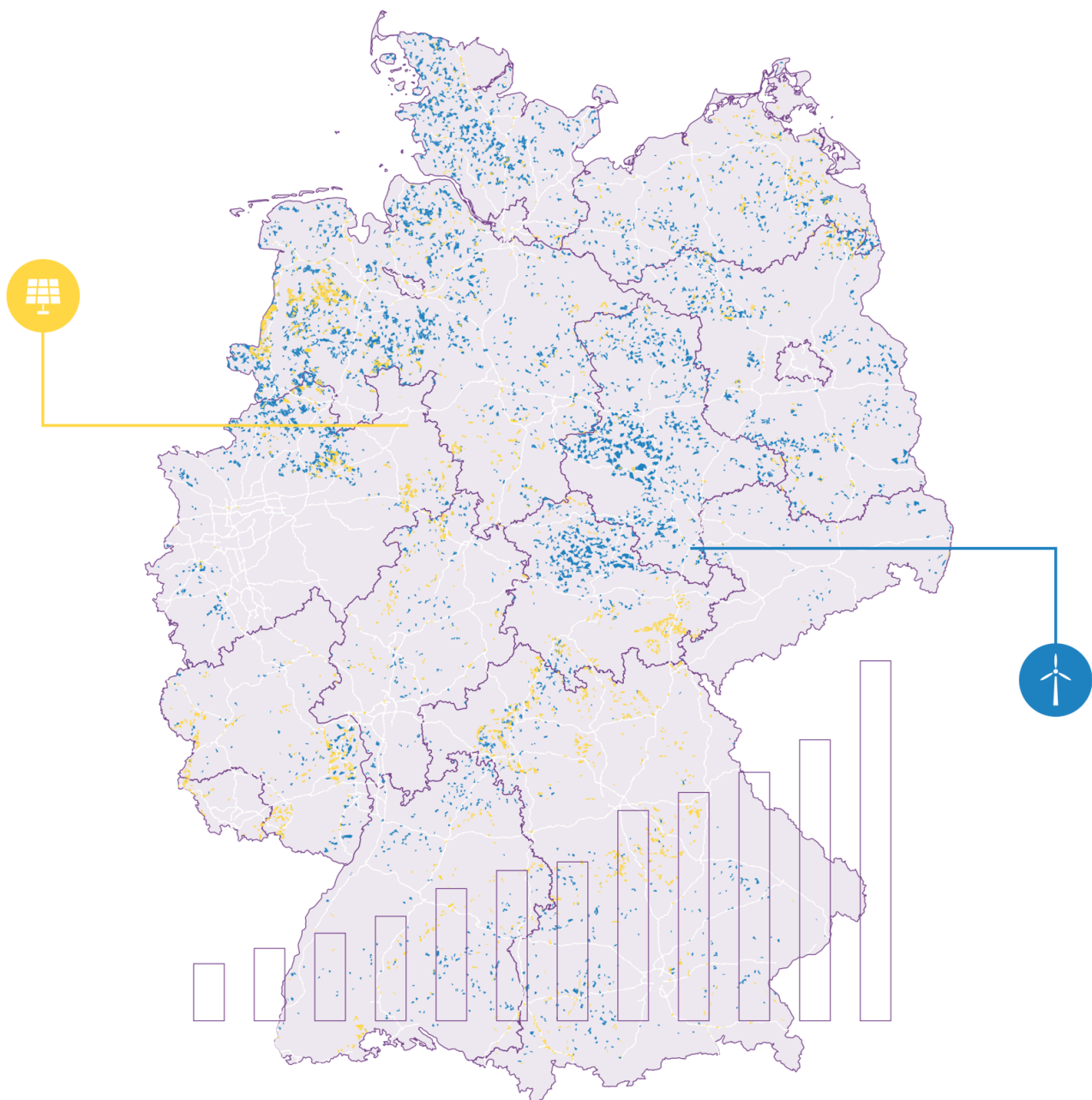


# Der Photovoltaik- und Windflächenrechner

Methoden und Daten



## Impressum

Begleitdokumentation zur Webapplikation **”Der Photovoltaik- und Windflächenrechner”**

Im Auftrag von Agora Energiewende

Gefördert von der Reiner Lemoine Stiftung

Projektinformationen: <https://reiner-lemoine-institut.de/pv-windflaechenrechner/>

### Veröffentlichung

Berlin, Juli 2022

Version 1.2

App-Version 1.4.8

Erstveröffentlichung: Oktober 2021

### App

via [Agora Energiewende](#)



### Herausgeberin

Reiner Lemoine Institut gGmbH

<https://www.reiner-lemoine-institut.de>

info@rl-institut.de

Rudower Chaussee 12

12489 Berlin

### Diese Dokumentation

DOI: [10.5281/zenodo.4731920](https://doi.org/10.5281/zenodo.4731920)



### BearbeiterInnen

Jonathan Amme, Felix Janiak, Editha Kötter

Deckblattgestaltung: Bryan Lancien

### Versionshistorie

Historie dieses Dokuments siehe Kapitel [7](#).

### Bitte zitieren als:

Reiner Lemoine Institut (2022): *Begleitdokumentation zur Webapplikation ”Der Photovoltaik- und Windflächenrechner”*, Version 1.2, DOI: [10.5281/zenodo.4731920](https://doi.org/10.5281/zenodo.4731920)

### Lizenz

Sofern nicht anders vermerkt, unterliegen alle Inhalte dieses Dokuments der Lizenz CC BY SA 4.0.



# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Einführung</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2 Flächennutzung</b>                                     | <b>5</b>  |
| 2.1 Windenergie . . . . .                                   | 5         |
| 2.1.1 Siedlungen und Infrastruktur . . . . .                | 5         |
| 2.1.2 Ökologisch sensible Gebiete . . . . .                 | 9         |
| 2.1.3 Sonstige Gebiete . . . . .                            | 13        |
| 2.2 Freiflächen-Photovoltaik . . . . .                      | 16        |
| 2.2.1 Siedlungen und Infrastruktur . . . . .                | 16        |
| 2.2.2 Ökologisch sensible Gebiete . . . . .                 | 16        |
| 2.2.3 Sonstige Gebiete . . . . .                            | 17        |
| <b>3 Daten-Pipeline</b>                                     | <b>18</b> |
| <b>4 Bestimmung der Potenzialflächen</b>                    | <b>20</b> |
| 4.1 Windenergie . . . . .                                   | 20        |
| 4.1.1 Nutzungseinstellungen ausgewählter Flächen . . . . .  | 21        |
| 4.1.2 Nutzbarkeit . . . . .                                 | 21        |
| 4.1.3 Ergebnisse . . . . .                                  | 23        |
| 4.2 Freiflächen-Photovoltaik . . . . .                      | 24        |
| 4.2.1 Nutzungseinstellungen ausgewählter Flächen . . . . .  | 28        |
| 4.2.2 Nutzbarkeit . . . . .                                 | 28        |
| 4.2.3 Ergebnisse . . . . .                                  | 29        |
| <b>5 Installierbare Leistung und Energieertrag</b>          | <b>30</b> |
| 5.1 Windenergie . . . . .                                   | 30        |
| 5.2 Freiflächen-Photovoltaik . . . . .                      | 30        |
| <b>6 Daten</b>  | <b>31</b> |
| <b>7 Versionshistorie</b>                                   | <b>32</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                                 | <b>33</b> |
| <b>8 Anhang</b>   | <b>I</b>  |
| 8.1 Ergebnistabellen Potenzialflächen Windenergie . . . . . | I         |
| 8.2 Grafiken . . . . .                                      | III       |
| 8.2.1 Potenzialflächen Windenergie . . . . .                | III       |
| 8.2.2 Potenzialflächen Freiflächen-Photovoltaik . . . . .   | XV        |

## 1. Einführung

Ein zügiger Ausbau der Freiflächen-Photovoltaik (PV) sowie der Windenergie an Land gehören zu den Grundbedingungen für das Gelingen der Energiewende in Deutschland. Doch wo können diese Anlagen gebaut werden? Für sie müssen konkrete Flächen identifiziert und ausgewiesen werden – aufgrund aktueller Nutzung der Flächen und deren Umgebung kommen nur bestimmte Gebiete überhaupt infrage. Der Photovoltaik- und Windflächenrechner von Agora Energiewende bildet diese Potenzialflächen ab, die vom Reiner Lemoine Institut auf Basis von Daten und Annahmen errechnet wurden.

In diesem Begleitdokument werden die Daten und Annahmen, die zur Ermittlung der Potenzialflächen verwendet wurden, beschrieben und erläutert. Wind- und Photovoltaik-Potenzialflächen sind im Tool die Flächen, die übrig bleiben, wenn alle ausgeschlossenen Flächen abgezogen wurden, wie beispielsweise Siedlungsflächen oder Naturschutzgebiete. Je nach Bestimmungen wird ergänzend ein Abstand um Ausschlussflächen berücksichtigt.

Annahmen zu Abständen und restriktiven Flächen werden dabei einheitlich für Deutschland getroffen, auch wenn diese teilweise in den Bundesländern unterschiedlich geregelt sind. Weiterhin sind lokale Besonderheiten nicht abgebildet. Somit sind die ermittelten Potenzialflächen als Diskussionsgrundlage für die Ausweisung vor Ort und den Überblick auf Bundesebene zu verstehen.

In Kapitel 2 wird die zugrunde liegende Flächennutzung beschrieben. Die Daten wurden mit Hilfe einer Daten-Pipeline erzeugt, die auf dem Workflow-Management-System *snakemake* aufbaut [1], siehe Kapitel 3. Verwendet wurden ausschließlich freie oder öffentlich verfügbare Geodaten, die innerhalb der Pipeline aufbereitet, angereichert und verschnitten wurden. Die Methoden zur Bestimmung der resultierenden PV- und Windpotenzialflächen sind Gegenstand von Kapitel 4, die Berechnung der Energieerträge wird in Kapitel 5 erläutert. Zu den in der App verwendeten Daten, siehe Kapitel 6.



## 2. Flächennutzung

### 2.1. Windenergie

Zur Ermittlung von potenziell geeigneten Flächen für die Nutzung der Windenergie sind zunächst Ausschlussgebiete zu bestimmen, in denen aus rechtlichen oder physikalischen Gründen eine Errichtung von Windenergieanlagen (WEA) nicht vereinbar ist. Für unterschiedliche Flächen- bzw. Objekttypen ist ein Ausschluss der Windenergienutzung und/oder die Einhaltung eines Mindestabstands notwendig. Als Grundlage für die Abstände werden technische Richtwerte, Erfahrungswerte und die aktuelle Rechtsprechung herangezogen. Im Folgenden werden die in Tabelle 1 aufgeführten Flächen detaillierter beschrieben.

#### 2.1.1. Siedlungen und Infrastruktur

| Flächenkategorie                             | Ausschluss | Pufferzone [m]                            |
|--|------------|---|
| Industrie- und Gewerbeflächen                | Ja         | -   |
| Siedlungsgebiete                             | Ja         | 400, 600, 800, 1000 (je nach Einstellung) |
| Bundesautobahn                               | Ja         | 40  |
| Sonstige Straßen                             | Ja         | 20  |
| Schienenstrecken                             | Ja         | 50  |
| Bahngelände                                  | Ja         | -   |
| Flughäfen                                    | Ja         | 5000                                      |
| Flugplätze                                   | Ja         | 1760                                      |
| Freileitungen (HöS und HS)                   | Ja         | 141                                       |
| Militärische Sperrgebiete und Liegenschaften | Ja         | -   |
| Drehfunkfeuer                                | Ja         | 3000                                      |

**Tabelle 1: Flächennutzung: Siedlungen und Infrastrukturen**

**Industrie und Gewerbeflächen** enthalten ausschließlich Gewerbebetriebe jeglicher Art, wie z.B. Lagerhäuser, Geschäfts- und Bürogebäude und solche, die andernorts nicht zulässig sind. Diese Gebiete sind von der Potenzialermittlung für Windenergie ausgeschlossen.

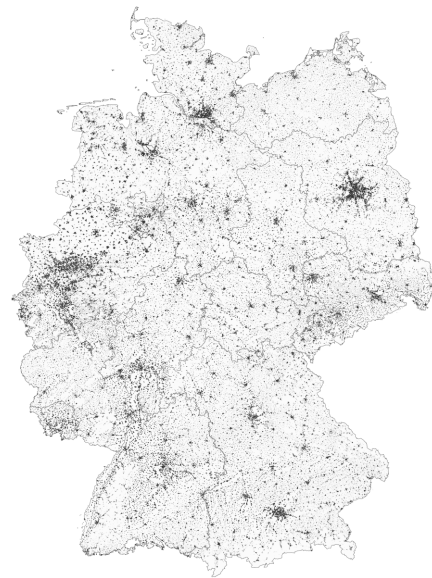
**Siedlungsgebiete** sind grundsätzlich für die Nutzung von Windenergie ausgeschlossen. Zum Schutz der Menschen vor Einwirkungen der Windenergieanlagen (Lärm und bedrängende Wirkung) sind Schutzabstände zu den genutzten Flächen notwendig. Der Abstand ergibt sich aus den immissionsschutzrechtlichen Anforderung zum Schutz der in diesen Gebieten lebenden Menschen nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in Verbindung mit der TA Lärm. Zu den Siedlungsgebieten zählen bebaute und unbebaute Innenbereichsflächen (im Sinne von §34 BauGB) mit überwiegender Wohn- und Erholungsnutzung, bauplanungsrechtlich für überwiegende Wohn- und Erholungsnutzung gesicherte Außenbereichsflächen (§30 BauGB), Kur- und Klinikgebiete (§11 Abs. 2 BauNVO), Sondergebiete, die der Erholung dienen (§10 BauNVO) sowie Einzelhäuser und Splittersiedlungen im Außenbereich. Im abschließenden Geneh-

migungsverfahren von Windenergieanlagen müssen für diese ausreichende Abstände zu den Immissionsorten nachgewiesen werden. Der notwendige Abstand ist u.a. abhängig vom Anlagentyp, der Anzahl und Anordnung der Anlagen [2–5] und unterliegt zudem Bundesland-spezifischen Mindestabständen [6].



**Abbildung 1: Industrie- und Gewerbeflächen**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [7, 8]  
(Daten verändert)



**Abbildung 2: Siedlungen**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [7, 8],  
©OpenStreetMap-Mitwirkende [9] (Daten verändert)

**Straßen** werden von der Ermittlung des Flächenpotenzials ausgenommen. Außerdem gelten an Bundesautobahnen Anbauverbotszonen für Hochbauten jeglicher Art. Die Breite der Zonen beläuft sich auf 40 m für Bundesautobahnen und 20 m für Bundesstraßen (§9 Abs. 1 FStrG) [2, 10]. Die Breite der Straßen wurde berücksichtigt und anhand der Spuranzahl sowie üblichen Regelquerschnitten des jeweiligen Straßentyps ermittelt. Außer Betrieb gesetzte Straßen wurden nicht einbezogen, im Bau befindliche Straßen hingegen berücksichtigt.

**Schienerverkehr** beinhaltet Objekte wie Bahnhofsanlagen und Schienenstrecken. Diese Flächen sind von der Nutzung durch Windenergie ausgeschlossen. Zur Vermeidung von möglichen Gefährdungs-, Schädigungs- oder Störpotenzialen sind bei der Errichtung von Windenergieanlagen Anforderungen an Sicherheitsabstände zu bestehenden Bahnanlagen einzuhalten. Da hinsichtlich der Abstände keine rechtlichen Vorgaben existieren, wurde ein Abstand von 50 m zu Schienenstrecken und kein zusätzlicher Abstand zu Bahnanlagen angenommen. Die Breite der Bahntrassen wurde über die Spuranzahl und typische Trassenbreiten berücksichtigt. Außer Betrieb gesetzte Schienenstrecken wurden nicht einbezogen, im Bau befindliche hingegen berücksichtigt.



**Abbildung 3: Bundesautobahnen und sonstige Straßen**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [7, 8]  
(Daten verändert)



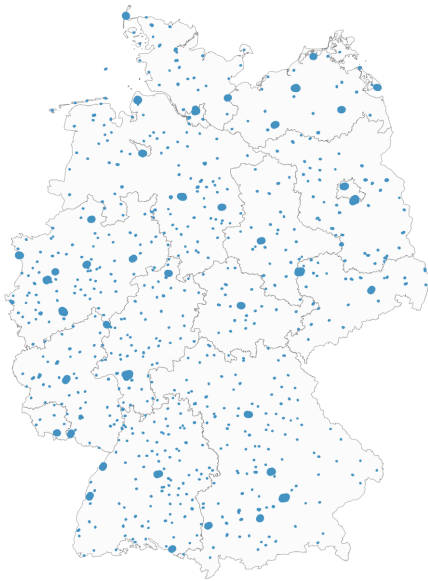
**Abbildung 4: Schienenverkehr**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [7, 8]  
(Daten verändert)

**Flughäfen und Flugplätze** sind für die Nutzung der Windenergie aufgrund der luftverkehrsrechtlichen Genehmigungen sowie aus Sicherheitsgründen ungeeignet. Für größere Flughäfen gelten Bauschutzbereiche nach §12 LuftVG [11, 12]. Das Umweltbundesamt (UBA) errechnete anhand dieser einen Mindestabstand von 5000 m für die Errichtung von WEA. Für kleinere Flugplätze hingegen existieren keine einheitlichen Richtlinien. Auf Basis der Empfehlungen des Bund-Länder-Fachausschusses Luftfahrt gelangt das UBA zu einem radialen Abstand von ca. 1760 m um die Landebahn kleinerer Flugplätze [2].

**Freileitungen (HöS und HS)** müssen bei der Errichtung von WEA mit Mindestabständen berücksichtigt werden. Diese sind in der Norm DIN EN 50 341-3-4 / VDE 0210-2-4 festgehalten. Demnach ist bei Freileitungen über AC 45 kV ein Abstand entsprechend dem dreifachen Rotordurchmesser notwendig, wenn die Freileitungen nicht über Schwingschutzmaßnahmen verfügen. Bei entsprechenden Maßnahmen gilt ein Mindestabstand des einfachen Rotordurchmessers [11, 13]. Es wird angenommen, dass der Rotor zukünftiger WEA oberhalb von Freileitungen liegt, sodass diese nicht in der Nachlaufströmung liegen. Somit wird ein Abstand des einfachen Rotordurchmessers als ausreichend angenommen, um Störwirkungen auszuschließen.

**Militärische Sperrgebiete und Liegenschaften** werden für die Windenergienutzung ausge-



**Abbildung 5: Flughäfen und Flugplätze**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [7, 8],  
©OpenStreetMap-Mitwirkende [9] (Daten  
verändert)



**Abbildung 6: Freileitungen (HöS und HS)**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [7, 8]  
(Daten verändert)



**Abbildung 7: Drehfunkfeuer**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8],  
©BAF [14] (Daten verändert)

schlossen.

**Drehfunkfeuer** sind Navigationsanlagen am Boden für den Luftverkehr (VOR – Very High Frequency Omnidirectional Radio Range). Die Deutsche Flugsicherung (DFS) legt für die Drehfunkfeuer einen Anlagenschutzbereich von 15 km fest. Dieser gliedert sich in mehrere Zonen. Im Abstand von 3 km dürfen keine Windenergieanlagen gebaut werden (§18 a Abs. 1 LuftVG). In einem Radius von 10 – 15 km trifft das Bundesamt für Flugsicherung (BFS) Einzelfallentscheidungen [11, 12]. Die Auswirkungen von Windenergieanlagen innerhalb der äußeren Schutzbereichszone ist Gegenstand von Forschungsvorhaben [15], in der Webapplikation wird die minimale Pufferzone von 3 km als Ausschlussgebiet festgelegt.

### 2.1.2. Ökologisch sensible Gebiete

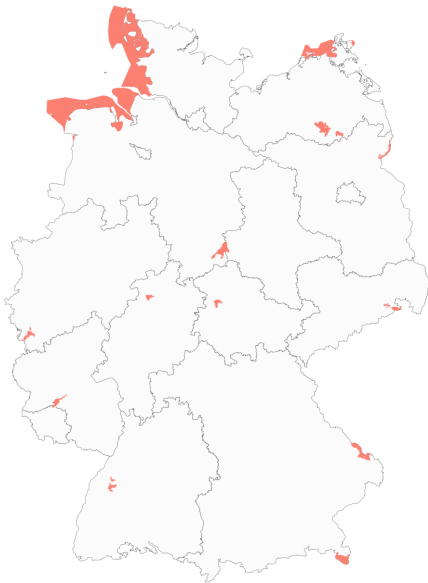
| Flächenkategorie                            | Ausschluss          | Pufferzone [m] |
|---|---------------------|----------------|
| Nationalparks                               | Ja                  | -              |
| Naturschutzgebiete                          | Ja                  | -              |
| Vogelschutzgebiete                          | Ja                  | -              |
| Feuchtgebiete (nach Ramsar-Konvention)      | Ja                  | -              |
| Biosphärenreservate (Kern- und Pflegezonen) | Ja                  | -              |
| Landschaftsschutzgebiete                    | je nach Einstellung | -              |
| Flora-Fauna-Habitat-Gebiete                 | Ja                  | -              |
| Trinkwasserschutzgebiete                    | Ja                  | -              |

**Tabelle 2: Flächennutzung: Ökologisch sensible Gebiete**

**Nationalparks** sind größere Gebiete, die in ihren Eigenschaften denen von Naturschutzgebieten ähneln und wie diese streng geschützt sind [2]. Sie werden daher gem. BNatschG / LNatSchG von einer Nutzung durch Windenergie ausgeschlossen [16].

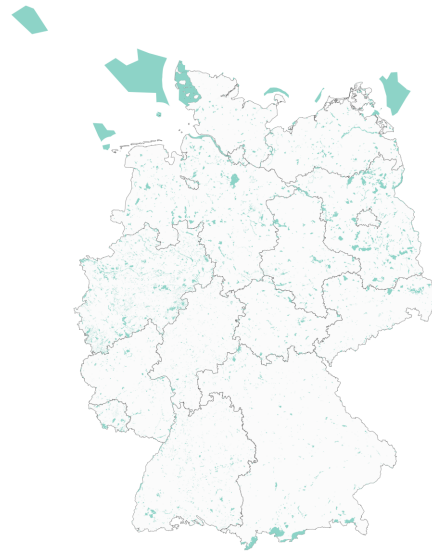
**Naturschutzgebiete** sind rechtsverbindlich festgesetzte Gebiete, in denen ein besonderer Schutz von Natur und Landschaft in ihrer Ganzheit oder in einzelnen Teilen zur Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung von Lebensstätten, Biotopen oder Lebensgemeinschaften bestimmter wild lebender Tier- und Pflanzenarten, aus wissenschaftlichen, naturhistorischen oder landeskundlichen Gründen oder wegen ihrer Seltenheit, besonderen Eigenart oder hervorragenden Schönheit erforderlich ist (gem. §23 BNatSchG). Die Errichtung und der Betrieb von Windenergieanlagen in Naturschutzgebieten ist verboten, eine Befreiung hiervon ist nicht möglich [16, 17].

**Vogelschutzgebiete** (EU-SPA gem. RL 2009/147/EG) sind für alle Veränderungen und Störungen, die zu einer erheblichen Beeinträchtigung eines Gebietes oder seiner Bestandteile



**Abbildung 8: Nationalparke**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8],  
©BfN [18] (Daten verändert)



**Abbildung 9: Naturschutzgebiete**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8],  
©BfN [18] (Daten verändert)

führen können, unzulässig (gem. §33 BNatSchG). Die Flächennutzung durch Windenergie ist demnach ausgeschlossen [16, 17].

**Feuchtgebiete** nach Ramsar-Konvention sind international bedeutende Feuchtwiesen, Moor- und Sumpfgebiete oder Gewässer sowie anschließende Ufer- und Küstenbereiche [2]. Diese werden von der Errichtung von Windenergieanlagen ausgeschlossen. Indirekt geregelt ist dies über §§14, 44 BNatSchG sowie §35 Abs. 3 Nr. 5 BauGB [3, 11, 16].

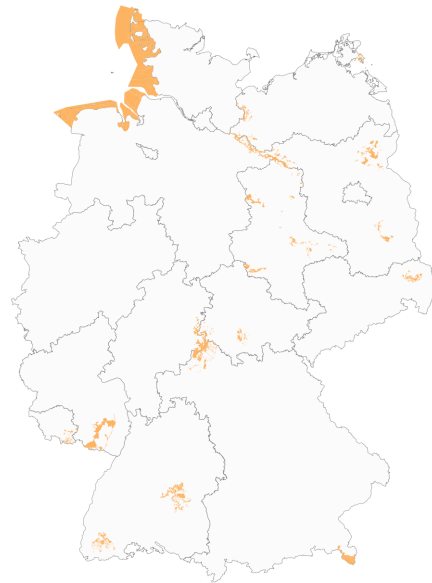
**Biosphärenreservate** dienen dem Schutz von vielfältig beeinflussten Kulturlandschaften und der darin enthaltenen Arten- und Biotopvielfalt. Biosphärenreservate erfüllen größtenteils die Voraussetzungen eines Naturschutzgebiets sowie eines Landschaftsschutzgebiets [2]. Kern- und Pflegezonen werden als Ausschlussfläche definiert, nicht jedoch Entwicklungszonen. Einzelheiten sind in §25 BNatSchG geregelt [16].

**Landschaftsschutzgebiete** sind rechtsverbindlich festgesetzte Gebiete, in denen ein besonderer Schutz von Natur und Landschaft zur Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder der Regenerationsfähigkeit und nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter einschließlich des Schutzes der Lebensstätten und Lebensräume bestimmter wild lebender Tier- und Pflanzenarten, wegen der Vielfalt,



**Abbildung 10: Feuchtgebiete (Nach Ramsar-Konvention)**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8],  
©BfN [18] (Daten verändert)



**Abbildung 11: Biosphärenreservate (Kern- und Pflegezonen)**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8],  
©BfN [18] (Daten verändert)

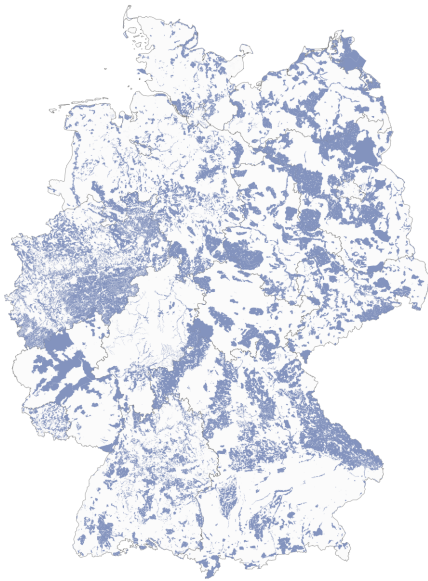
Eigenart und Schönheit oder der besonderen kulturhistorischen Bedeutung der Landschaft oder wegen ihrer besonderen Bedeutung für die Erholung erforderlich ist (gem. §26 BNatSchG) [16, 17].

Landschaftsschutzgebiete werden nicht ausdrücklich per Gesetz von der Errichtung von Windenergieanlagen ausgeschlossen. Es bedarf hierbei Einzelfallprüfungen durch Landschaftsplanung und Naturschutzbehörden [11]. Daher bilden sie in der Webapplikation einen separaten Freiheitsgrad – ihre Nutzung kann in der App eingestellt werden. Werden sie jedoch von anderen Restriktionen überlagert, stehen sie für die Nutzung nicht zur Verfügung.

**Flora-Fauna-Habitate** gem. RL 92/43/EWG sind für alle Veränderungen und Störungen, die zu einer erheblichen Beeinträchtigung eines Gebietes in seinen für die Erhaltungsziele oder den Schutzzweck maßgeblichen Bestandteilen führen können, gem. §33 BNatSchG unzulässig [16, 17]. Auch wenn der Nutzung nach einer vorhergehenden Verträglichkeitsprüfung im Einzelfall stattgegeben werden kann [19], werden FFH-Gebiete für der Nutzung durch Windenergie ausgeschlossen. Standort- bzw. artenspezifische Mindestabstände konnten aufgrund der mangelhaften Datenlage nicht berücksichtigt werden.

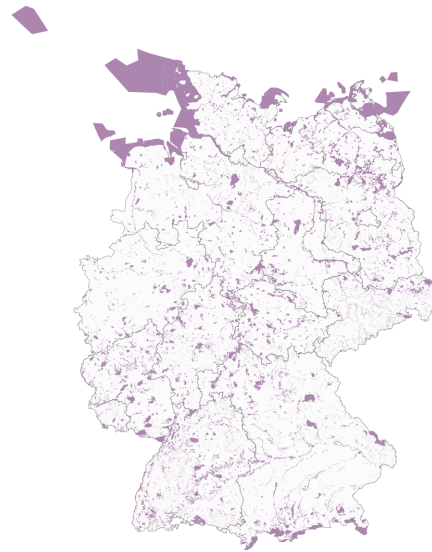
**Trinkwasserschutzgebiete** stellen die öffentliche Wasserversorgung sicher. Sie dienen der





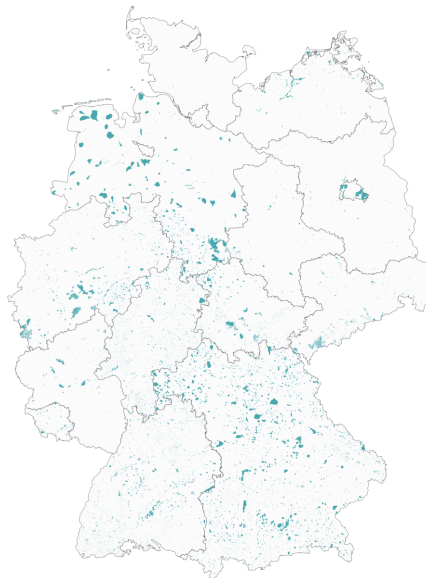
**Abbildung 12: Landschaftsschutzgebiete**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8],  
©BfN [18] (Daten verändert)



**Abbildung 13: Flora-Fauna-Habitat-Gebiete**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8],  
©BfN [18] (Daten verändert)



**Abbildung 14: Trinkwasserschutzgebiete**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8],  
©BfG [20] (Daten verändert)



Grundwasseranreicherung und Vermeidung von schädlichen Eintragungen von z.B. Dünge- oder Pflanzenschutzmitteln [2]. Trinkwasserschutzgebiete der Zonen I und II sind von der Errichtung baulicher Anlagen ausgeschlossen (gem. BImSchG / WVO) [5, 11]. Da der Datensatz der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) [20] zu Trinkwasserschutzgebieten in Deutschland die Bundesländer Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz nicht beinhaltete, wurden diese zwei fehlenden Datensätze manuell ergänzt. Weiterhin sind die Bezeichnungen der einzelnen Trinkwasserschutzgebietszonen innerhalb des BfG-Datensatzes, je nach Bundesland, unterschiedlich und mussten vereinheitlicht werden. Die Zonierungs-Bezeichnungen in den beiden einzelnen Datensätzen wurden dementsprechend auch angepasst. So wurde ein einheitlicher und vollständiger Datensatz der Trinkwasserschutzgebietszonen für Deutschland erstellt.

### 2.1.3. Sonstige Gebiete

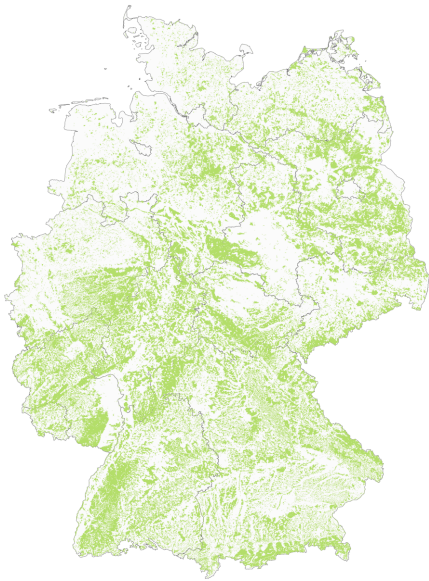
| Flächenkategorie             | Ausschluss | Wertung                    |
|------------------------------|------------|----------------------------|
| Wald                         | Teilweise  | Anteil je nach Einstellung |
| Gewässer (stehend, fließend) | Ja         | 5m / 50m                   |
| Überschwemmungsgebiete       | Ja         | Ausschluss                 |
| Gelände                      | Ja         | Hangneigung > 30°          |

**Tabelle 3: Flächennutzung: Sonstige Gebiete**

**Wald** ist durch die großen Höhen moderner Windenergieanlagen keine generelle Ausschlussfläche mehr. Die Bundesländer gehen sehr unterschiedlich mit der Errichtung von WEA in Wäldern um. Es ist außerdem zu berücksichtigen, dass der Wald viele wichtige Funktionen erfüllt, die in Konkurrenz zur Windenergienutzung stehen und Vorrang haben (besonders geschützte Waldgebiete gem. §12 BWaldG) [2, 21]. Waldflächen wurden dementsprechend im Rahmen der Potenzialermittlung nicht grundsätzlich ausgeschlossen und bilden einen Freiheitsgrad in der Webapplikation.

**Gewässer** sind nach §6 WHG nachhaltig zu bewirtschaften und unterliegen dem Genehmigungsvorbehalt. Wenn sie sich in einem natürlichen oder naturnahen Zustand befinden, soll dieser gem. §6 Abs. 2 WHG erhalten bleiben [17, 22]. Dazu dienen die Gewässerrandstreifen, die an oberirdischen Gewässern im Außenbereich 5-10 m breit sind (§38 Abs. 3 WHG). Hier wurde ein Abstand von 5 m als Schutzbereich angesetzt. Darüber hinaus wurde ein Schutzabstand von 50 m für Bundeswasserstraßen und stehende Gewässer mit einer Größe von mehr als einem Hektar berücksichtigt, der für die Errichtung baulicher Anlagen erforderlich ist [2, 17, 22].

**Überschwemmungsgebiete** im Sinne des §76 WHG sind gem. §77 WHG in ihrer Funktion als Rückhalteflächen zu erhalten. In festgesetzten Überschwemmungsgebieten ist gem. §78



**Abbildung 15: Waldgebiete**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [7, 8]  
(Daten verändert)



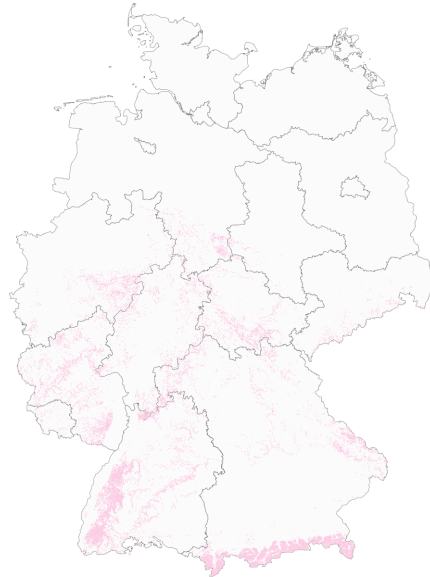
**Abbildung 16: Gewässer**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [7, 8]  
(Daten verändert)



**Abbildung 17: Überschwemmungsgebiete**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [7, 8], ©BfG [20] (Daten verändert)



**Abbildung 18: Gelände mit Hangneigung >30°**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8, 23] (Daten verändert)

WHG die Errichtung oder Erweiterung baulicher Anlagen untersagt. Auch wenn hiervon im Einzelfall abgewichen werden kann, werden sie aufgrund ihrer Bodenbeschaffenheit und dem daraus resultierenden Schadenspotenzial bei der Potenzialermittlung ausgeschlossen.

**Gelände** beschreibt die Höhenstruktur und Hangneigungen, um Flächen mit zu starker Hangneigung auszuschließen. Basierend auf einer Analyse von Bestandsanlagen [24] werden als Obergrenze für die Potenzialermittlung 30° Neigung angesetzt.

## 2.2. Freiflächen-Photovoltaik

Die Ursachen von Nutzungseinschränkungen für PV-Freiflächenanlagen entsprechen in weiten Teilen jenen der Windenergie in Abschnitt 2.1. Hier werden daher die Annahmen zusammengefasst und lediglich Unterschiede und Besonderheiten detaillierter dargelegt.

### 2.2.1. Siedlungen und Infrastruktur

| Flächenkategorie                             | Ausschluss | Pufferzone [m] |
|--|------------|----------------|
| Industrie- und Gewerbeflächen                | Ja         | -              |
| Siedlungsgebiete                             | Ja         | 100            |
| Bundesautobahn                               | Ja         | 15             |
| Sonstige Straßen                             | Ja         | -              |
| Schienenstrecken                             | Ja         | 15             |
| Bahngelände                                  | Ja         | -              |
| Flughäfen                                    | Ja         | -              |
| Flugplätze                                   | Ja         | -              |
| Militärische Sperrgebiete und Liegenschaften | Ja         | -              |

**Tabelle 4: Flächennutzung: Siedlungen und Infrastrukturen**

Für **Siedlungsgebiete** existiert kein vorgegebener Sicherheitsabstand. In der unmittelbaren Umgebung sind jedoch häufig keine Flächen verfügbar und es muss mit Schattenwurf gerechnet werden, daher wird ein Puffer von 100 m angenommen.

Entlang von **Bundesautobahnen und Schienenstrecken** ist nach §37 EEG 2021 ein Korridor von 15 m freizuhalten (vgl. 4.2).

### 2.2.2. Ökologisch sensible Gebiete

| Flächenkategorie                            | Ausschluss | Pufferzone [m] |
|---|------------|----------------|
| Nationalparks                               | Ja         | -              |
| Naturschutzgebiete                          | Ja         | -              |
| Vogelschutzgebiete                          | Ja         | -              |
| Feuchtgebiete (nach Ramsar-Konvention)      | Ja         | -              |
| Biosphärenreservate (Kern- und Pflegezonen) | Ja         | -              |
| Landschaftsschutzgebiete                    | Ja         | -              |
| Flora-Fauna-Habitat-Gebiete                 | Ja         | -              |
| Trinkwasserschutzgebiete                    | Ja         | -              |

**Tabelle 5: Flächennutzung: Ökologisch sensible Gebiete**

In **Landschaftsschutzgebieten und Flora-Fauna-Habitaten** erfordert die Nutzung eine vorhergehende positive Einzelfallprüfung (vgl. 2.1.2). Vor diesem Hintergrund werden diese Flächen im Tool ausgeschlossen.

### 2.2.3. Sonstige Gebiete

| Flächenkategorie             | Ausschluss | Pufferzone [m] |
|------------------------------|------------|----------------|
| Wald                         | Ja         | 100            |
| Gewässer (stehend, fließend) | Ja         | 5 / 50         |
| Überschwemmungsgebiete       | Ja         | -              |

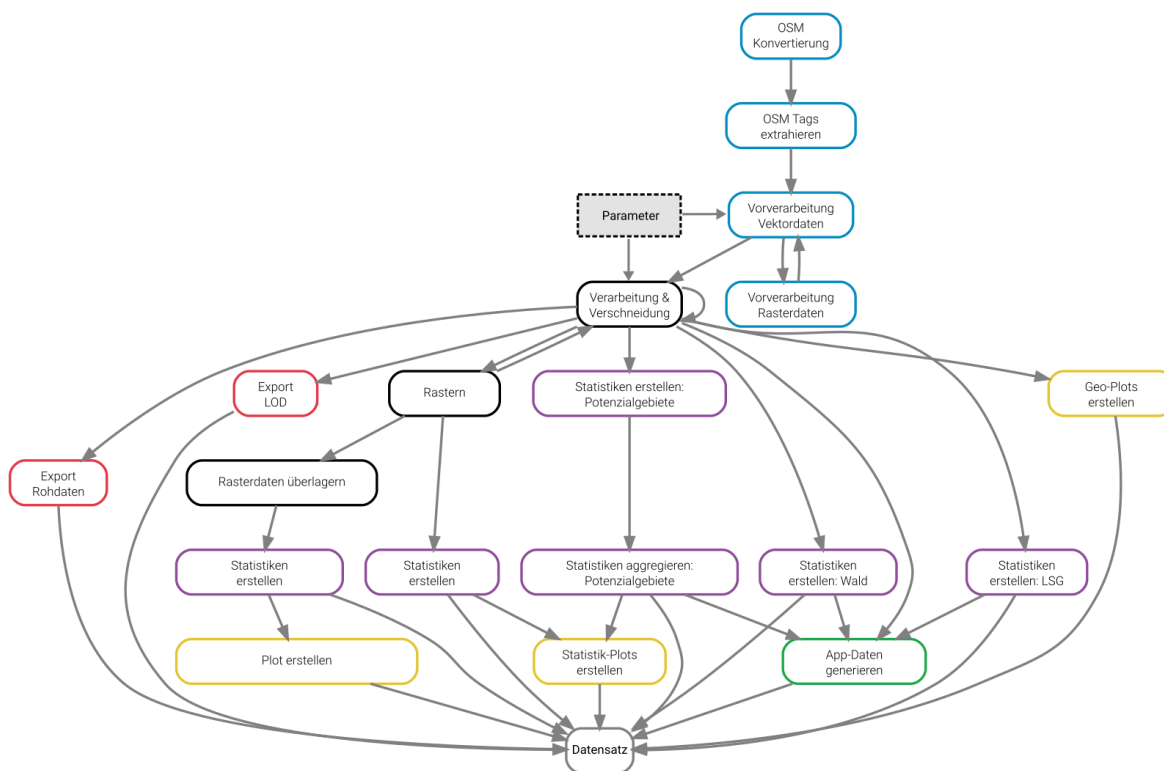
**Tabelle 6: Flächennutzung: Sonstige Gebiete**

**Wälder** werden aufgrund ungünstiger Einstrahlungsbedingungen ausgeschlossen und wegen Schattenwurf ein zusätzlicher Mindestabstand von 100 m angesetzt.

### 3. Daten-Pipeline

Die Daten wurden mit Hilfe einer Daten-Pipeline erzeugt, die auf dem Workflow-Management-System *snakemake* aufbaut [1]. Abbildung 19 zeigt den Aufbau der Daten-Pipeline. Zugunsten der Übersicht sind hier lediglich die Verarbeitungsschritte, nicht jedoch die Eingangsdatensätze dargestellt.

In ersten Schritt werden Vektor- und Rasterdaten zu den in Kapitel 2 beschriebenen restriktiven Flächen **vorverarbeitet** (blau). Hierbei werden aus den Rohdaten benötigte Attribute extrahiert, die Geodaten in ein flächentreues Koordinatenreferenzsystem transformiert und nach Objekten gefiltert, die innerhalb Deutschlands liegen. Sofern verfügbar, werden Vektor-Rohdaten verwendet. Daten, die nur als Rasterdaten vorlagen, werden vektorisiert.



**Abbildung 19: Verarbeitungsschritte der Daten-Pipeline**

Eig. Darstellung

Die **Verarbeitung** dieser Daten stellt den Kern der Daten-Pipeline dar (schwarz). In diesem zweiten Schritt werden Daten einer Kategorie, aber unterschiedlicher Quellen, vereint (z.B. Siedlungen aus *BKG DLM 250* und *OpenStreetMap*). Darüber hinaus werden Daten gefiltert (z.B. nur in Betrieb befindliche Bahnstrecken) und Pufferzonen um restriktive Flächen erstellt, beispielsweise um die in Tabelle 1 aufgeführten Siedlungen und Infrastrukturen. Anschließend werden die Potenzialflächen im Falle der Windenergie durch das Bilden der Differenz der Fläche Deutschlands und allen restriktiven Flächen ermittelt. Bei Freiflächen-PV stellen die in 4.2

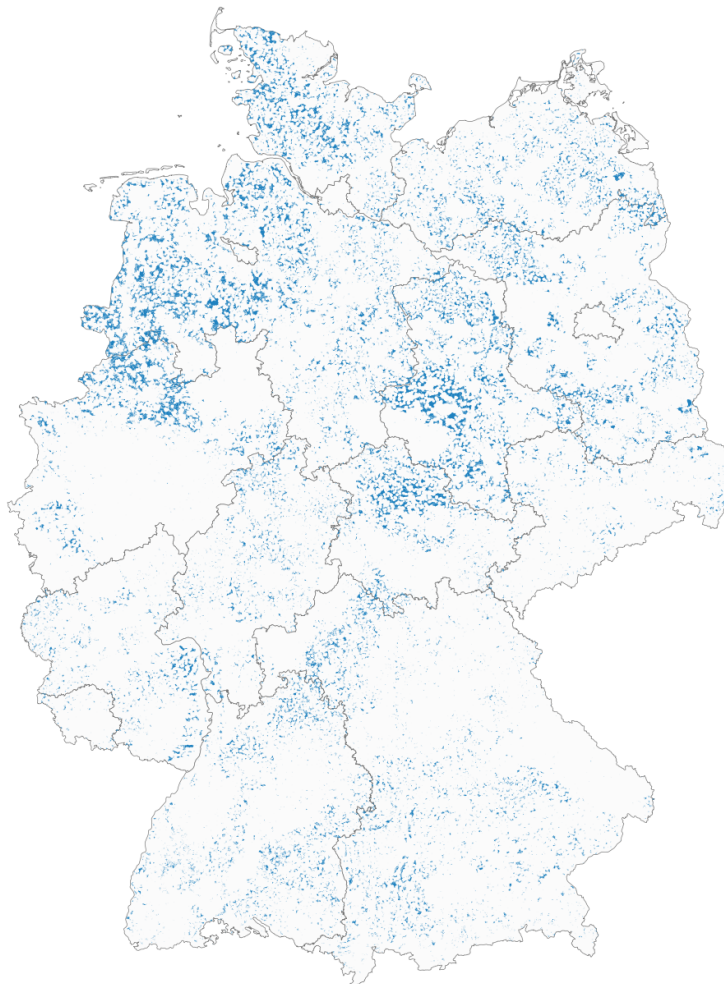
beschriebenen Flächen die Ausgangsdatenbasis dar. Dieser Prozess wird für verschiedene Konfigurationen entsprechend den möglichen Einstellungen in der Webapplikation durchgeführt. Hierzu zählen bei Windenergie verschiedene Siedlungsabstände sowie Nutzungsgrade von Wäldern und Landschaftsschutzgebieten (s. 4.1.1), bei Freiflächen-PV die Berücksichtigung benachteiligter Gebiete (s. 4.2.1).

Für die Darstellung der Flächennutzung innerhalb der Webapplikation werden diese separat **exportiert** (rot). Zudem werden weitere Daten exportiert, die für die Berechnung der installierbaren Windenergieleistung und -erträge in der App benötigt werden (grün). Für eine aggregierte Auswertung und Darstellung werden Statistiken (violett) und Grafiken (gelb) generiert.

## 4. Bestimmung der Potenzialflächen

### 4.1. Windenergie

Die Potenzialflächen bilden jene Flächen ab, die für die Nutzung durch Windenergie grundsätzlich zur Verfügung stehen. Die räumliche Ermittlung dieser Flächen erfolgt durch bilden der Differenz von der Fläche Deutschlands mit der Überlagerung aller restriktiven Flächen. Abbildung 20 zeigt beispielhaft die sich ergebenden Potenzialflächen für einen Abstand zu Siedlungen von 1000 m ohne die Nutzung von Wäldern und Landschaftsschutzgebieten. Weitere Geoplots können Anhang 8.2.1 entnommen werden.



**Abbildung 20: Potenzialflächen Windenergie mit Siedlungsabstand von 1000m**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)



#### 4.1.1. Nutzungseinstellungen ausgewählter Flächen

Der Großteil der in Kapitel 2 beschriebenen restriktiven Flächen steht grundsätzlich vollständig nicht für die Nutzung durch Windenergieanlagen zur Verfügung und kann als nicht veränderliche Flächen pauschal ausgeschlossen werden. In der App können jedoch Einstellungen zu drei verschiedenen Flächentypen vorgenommen werden, denen in der aktuellen politischen und gesellschaftlichen Diskussion eine besondere Bedeutung beigemessen werden kann:

1. Abstand zu Siedlungen: 400, 600, 800, 1000 m
2. Nutzung von Waldflächen: 0..X %
3. Nutzung von Landschaftsschutzgebieten (LSG): 0..Y %

Durch die gegenseitige Überlagerung dieser Flächen und ihre variable Einstellung in der App sind sie konkurrierend. Somit hängen die einstellbaren Wertebereiche von 2. und 3. unmittelbar von der Einstellung bei 1. (sowie allen weiteren, statischen restriktiven Flächen) ab und werden innerhalb der App dynamisch angepasst. Bei einem Siedlungsabstand von 800 m stehen beispielsweise maximal 31 % der Wald- und 7 % der LSG-Flächen zur Verfügung.

Darüber hinaus besteht eine Konkurrenz zwischen 2. und 3., für die Auflösung dieser Kopplung wird vereinfacht folgende Annahme getroffen: Waldflächen werden mit einer höheren Restriktivität bewertet, d.h. die Überlappungsflächen mit LSG werden ausschließlich als Wald- und nicht als LSG-Potenzialflächen gewertet. Folglich stehen sie nicht als Windpotenzialfläche innerhalb von LSG zur Verfügung.

#### 4.1.2. Nutzbarkeit

Die Potenzialflächen für Windenergie hängen direkt von den Flächennutzungs-Einstellungen im Tool ab. Jedoch stehen nicht alle Potenzialflächen zur Verfügung, da weitere Belange – beispielsweise auf kommunaler Ebene – berücksichtigt werden müssen. In Einzelfallprüfungen wird im weiteren Verlauf anhand der regionalen Bedingungen über diese Abwägungsflächen entschieden. Zu diesen regionalspezifischen Einschränkungen stehen keine Geodaten zur Verfügung, sie werden daher in Form eines Nutzungsgrades berücksichtigt, der den individuellen Einstellungen der BenutzerInnen unterliegt.

Für die Nutzung bzw. den Nutzungsgrad der Potenzialflächen stehen verschiedene Voreinstellungen zur Verfügung:

**Verwendete Fläche (2020)** setzt den Anteil der zu nutzenden Flächen je Bundesland auf einen theoretischen Wert, sodass die heute installierte Leistung erreicht wird.

Dieser ergibt sich aus dem Quotienten aus theoretisch verwendeter Fläche<sup>1</sup> auf Basis der Ende

---

<sup>1</sup>Bei einer spezifischen Flächenleistung von 21 MW/km<sup>2</sup> [2, 25–27].

2020 installierten Leistung je Bundesland (Daten aus [28]) und verfügbarer Potenzialfläche. Die Nutzungsgrade können Tabelle 7 entnommen werden.

| Bundesland          | Inst. Leistung [MW] | Potenzialfläche ohne Wald u. LSG [km <sup>2</sup> ] | Nutzungsgrad |
|---------------------|---------------------|---|--------------|
| Baden-Württemberg   | 1652.4              | 1267.3  | 6.2 %        |
| Bayern              | 2573.2              | 1863.7  | 6.6 %        |
| Berlin              | 12.4                | 1.4   | 41.3 %       |
| Brandenburg         | 7537.5              | 1635.8  | 21.9 %       |
| Bremen              | 201.2               | 5.8   | 100.0 %      |
| Hamburg             | 122.4               | 4.1   | 100.0 %      |
| Hessen              | 2243.3              | 736.2   | 14.5 %       |
| Mecklenburg-Vorp.   | 3470.4              | 1225.7  | 13.5 %       |
| Niedersachsen       | 11359.5             | 4472.7  | 12.1 %       |
| Nordrhein-Westfalen | 6204.1              | 1621.0  | 18.2 %       |
| Rheinland-Pfalz     | 3750.1              | 616.4   | 29.0 %       |
| Saarland            | 530.5               | 31.3  | 80.7 %       |
| Sachsen             | 1295.7              | 355.8   | 17.3 %       |
| Sachsen-Anhalt      | 5313.9              | 2246.7  | 11.3 %       |
| Schleswig-Holstein  | 6938.1              | 1601.1  | 20.6 %       |
| Thüringen           | 1756.2              | 1104.6  | 7.6 %        |
| Summe               | 54960.9             | 18789.6   | 13.9 %       |

**Tabelle 7: Installierte Windenergieleistung Ende 2020 [28], Potenzialfläche außerhalb von Wald- und Landschaftsschutzgebieten, heute genutzter Anteil (theoretischer Wert bei 21 MW/km<sup>2</sup>)**

**Ausgewiesene Windflächen (2019)** setzt den Anteil der zu nutzenden Flächen auf einen Wert, sodass die Flächen der in 2019 ausgewiesenen oder in der Ausweisung befindlichen Vorranggebiete für Windenergie bzw. Windeignungsgebieten je Bundesland vollständig verwendet werden.

Ausgehend von den in 2019 rechtskräftig ausgewiesenen bzw. in Aufstellung befindlichen Flächen für die Windenergienutzung<sup>2</sup> (Tabelle 8) wird für jedes Bundesland ein nutzbarer Anteil berechnet. Er bezeichnet das Verhältnis der Flächensummen von Windeignungsgebieten zur verfügbaren Potenzialfläche<sup>3</sup>. Beispiel: In Brandenburg sind derzeit Windeignungsgebiete mit einer Gesamtfläche von 302,1 km<sup>2</sup> ausgewiesen oder zur Ausweisung vorgesehen, die Potenzialfläche beträgt 1635,8 km<sup>2</sup>. Es ergibt sich somit ein Nutzungsgrad von rund 18,5 % in der App.

**2 % der Bundesländerflächen** setzt die Regler auf einen Wert, sodass 2 % der jeweiligen Bundeslandfläche verwendet werden, mindestens jedoch die bereits ausgewiesenen Fläche.

Ausgehend von diesen vorkonfigurierten Szenarien können die Werte je Bundesland frei eingestellt werden. Neben dem manuellen Verschieben der Regler kann unter **Benutzerdefiniert** +/- 5 % verwendet sowie das Szenario auf 0 % der zu nutzenden Flächen zurückgesetzt werden.

<sup>2</sup>Eingeschlossen werden alle Gebiete die durch die Regionalpläne ausgewiesen wurden oder werden sowie ggf. jene in der kommunalen Bauleitplanung vorgesehenen. Daten aus Befragungen im Zuge des Szenariorahmens des Netzentwicklungsplan 2021 [29].

<sup>3</sup>Randbedingungen für Flächenreferenz: Abstand zu Siedlungen: 1000 m, Waldnutzung 0 %, Nutzung LSG 0 %

| Bundesland             | Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ] | WEG Fläche [km <sup>2</sup> ] | Anteil WEG an Gesamtfläche | Nutzungsgrad |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------|
| Baden-Württemberg      | 35748,6                         | 244,5                         | 0,68 %                     | 19,3 %       |
| Bayern                 | 70544,9                         | 365,7                         | 0,52 %                     | 19,6 %       |
| Berlin                 | 891,8                           | 0,0                           | 0,00 %                     | 0,0 %        |
| Brandenburg            | 29654,2                         | 302,1                         | 1,02 %                     | 18,5 %       |
| Bremen                 | 402,4                           | 3,3                           | 0,81 %                     | 55,6 %       |
| Hamburg                | 742,5                           | 1,7                           | 0,23 %                     | 41,7 %       |
| Hessen                 | 21115,2                         | 389,6                         | 1,85 %                     | 52,9 %       |
| Mecklenburg-Vorpommern | 23073,5                         | 171,4                         | 0,74 %                     | 14,0 %       |
| Niedersachsen          | 47659,8                         | 231,8                         | 0,49 %                     | 5,2 %        |
| Nordrhein-Westfalen    | 34110,7                         | 472,1                         | 1,38 %                     | 29,1 %       |
| Rheinland-Pfalz        | 19856,5                         | 274,3                         | 1,38 %                     | 44,5 %       |
| Saarland               | 2571,0                          | 53,6                          | 2,09 %                     | 171,2 %      |
| Sachsen                | 18448,9                         | 34,2                          | 0,19 %                     | 9,6 %        |
| Sachsen-Anhalt         | 20552,3                         | 215,4                         | 1,05 %                     | 9,6 %        |
| Schleswig-Holstein     | 15623,0                         | 318,1                         | 2,04 %                     | 19,9 %       |
| Thüringen              | 16200,8                         | 127,6                         | 0,79 %                     | 11,5 %       |
| Summe                  | 357196,1                        | 3205,2                        | 0,90 %                     | 17,1 %       |

**Tabelle 8: Rechtskräftig ausgewiesene bzw. in Aufstellung befindliche Flächen für die Windenergienutzung in Anlehnung an [29]**

Die eingestellten Werte hängen somit direkt von den in Abschnitt 4.1.1 beschriebenen Flächeneinstellungen ab.

Hinweise:

- Beim Start der App wird der Anteil der zu nutzenden Flächen auf geringfügig niedrigere Werte gesetzt, um die in 2020 durch Windenergieanlagen real bereitgestellte Energiemenge von 108 TWh [30] zu erreichen.
- Aufgrund der begrenzten Schrittzahl der Regler kann es zu geringfügigen Rundungsdifferenzen in den Ergebnissen kommen.
- Eine parallele Nutzung von Potenzialflächen durch Windenergie und Freiflächen-Photovoltaik wird zugelassen. Die Überschneidungsfläche<sup>3</sup> beträgt 1136,8 km<sup>2</sup>. Dies entspricht 3,1 % der Windpotenzialfläche bzw. 16,1 % der Potenzialfläche für Freiflächen-PV. Da wie oben beschrieben für beide Technologien nur ein Teil der Potenzialflächen tatsächlich genutzt werden kann bzw. benötigt wird, fallen diese Überlappungen deutlich geringer aus oder können vollständig vermieden werden.

### 4.1.3. Ergebnisse

Tabelle 9 zeigt die aggregierten Potenzialflächen außerhalb von Waldflächen und Landschaftsschutzgebieten sowie innerhalb dieser beiden Flächentypen, jeweils für einen Abstand zu

<sup>3</sup>Randbedingungen für Flächenreferenz Wind: Abstand zu Siedlungen: 1000 m, Waldnutzung 100 %, Nutzung LSG 100 %. Randbedingung für Flächenreferenz FF-PV: Potenzialflächen auf Acker- und Grünland inner- und außerhalb benachteiligter Gebiete.

Siedlungen von 1000 m. Diese Flächen sind reine Potenzialflächen, in welchen die in Abschnitt 4.1.2 beschriebene tatsächliche Nutzbarkeit nicht berücksichtigt wurde. Ergebnisse für weitere Siedlungsabstände können dem Anhang entnommen werden

| Bundesland             | Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ] | Potenzialflächen bei 1000m Siedlungsabstand [km <sup>2</sup> ] |          |         |        |
|------------------------|---------------------------------|--|----------|---------|--------|
|                        |                                 | Ohne Wald und LSG  | Nur Wald | Nur LSG | Anteil |
| Baden-Württemberg      | 35749                           | 1267,3   | 2714,4   | 277,1   | 11,9 % |
| Bayern                 | 70545                           | 1863,7   | 4791,8   | 430,7   | 10,0 % |
| Berlin                 | 892                             | 1,4  | 5,2      | 1,5     | 0,9 %  |
| Brandenburg            | 29654                           | 1635,8   | 3626,1   | 460,1   | 19,3 % |
| Bremen                 | 402                             | 5,8  | 0,2      | 2,3     | 2,1 %  |
| Hamburg                | 743                             | 4,1  | 0,9      | 1,0     | 0,8 %  |
| Hessen                 | 21115                           | 736,2  | 2157,3   | 32,7    | 13,9 % |
| Mecklenburg-Vorpommern | 23073                           | 1225,7   | 1011,0   | 173,5   | 10,4 % |
| Niedersachsen          | 47660                           | 4472,7   | 3248,1   | 718,1   | 17,7 % |
| Nordrhein-Westfalen    | 34111                           | 1621,0   | 1452,1   | 1441,0  | 13,2 % |
| Rheinland-Pfalz        | 19856                           | 616,4  | 1300,8   | 189,2   | 10,6 % |
| Saarland               | 2571                            | 31,3   | 89,9     | 30,6    | 5,9 %  |
| Sachsen                | 18449                           | 355,8  | 986,0    | 162,0   | 8,2 %  |
| Sachsen-Anhalt         | 20552                           | 2246,7   | 1806,2   | 661,1   | 22,9 % |
| Schleswig-Holstein     | 15623                           | 1601,1   | 322,1    | 176,0   | 13,4 % |
| Thüringen              | 16201                           | 1104,6   | 1210,6   | 131,7   | 15,1 % |
| Summe                  | 357196                          | 18789,6  | 24722,8  | 4888,5  | 13,6 % |

**Tabelle 9: Potenzialflächen Windenergie je Bundesland bei 1000 m Siedlungsabstand, Anteil aller drei Flächenkategorien an der Gesamtfläche**

Die Potenzialflächen können hier heruntergeladen werden: [10.5281/zenodo.6728381](https://zenodo.org/record/6728381/files/10.5281).

## 4.2. Freiflächen-Photovoltaik

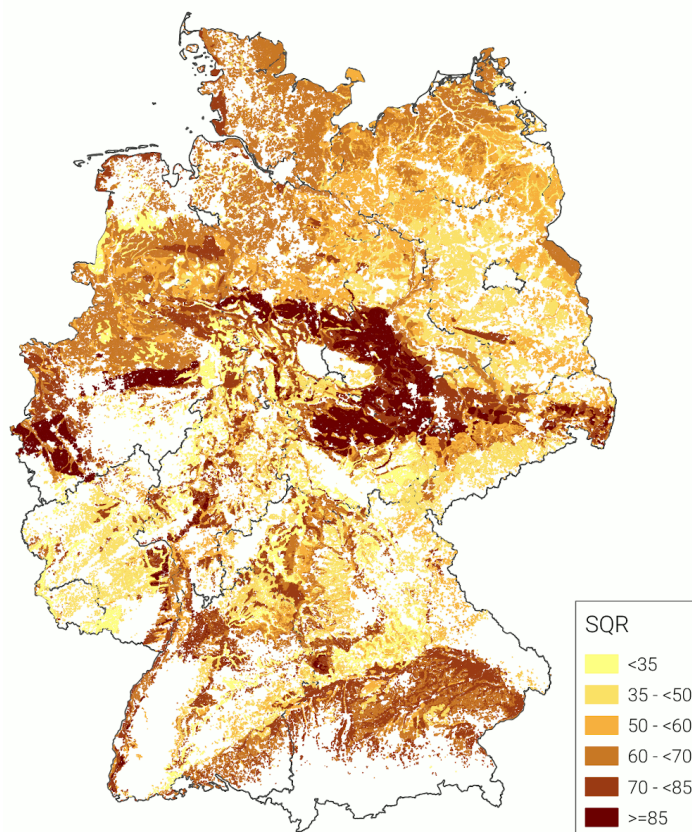
Die Potenzialflächen bilden jene Flächen ab, die für die Nutzung durch Freiflächen-Photovoltaikanlagen grundsätzlich zur Verfügung stehen. Sie orientieren sich an der aktuellen Förderkulisse und wurden anhand des Flächenumfangs sowie den verfügbaren Geodaten ausgewählt: Von den in §37 EEG 2021 definierten Flächen werden Flächen nach §37 Absatz 1 Nummer 2 Buchstaben c, h und i berücksichtigt:

1. **Acker- und Grünland in benachteiligten Gebieten.** Abweichend von § 37c wird angenommen, dass alle Bundesländer von der Länderöffnungsklausel Gebrauch gemacht haben bzw. diese durch eine entsprechende bundesweite Regelung abgelöst wurde.
2. **Flächen längs von Autobahnen oder Schienenwegen in einer Entfernung von bis zu 200 Metern, gemessen vom äußeren Rand der Fahrbahn mit 15 Meter breitem Korridor.** Abweichend hiervon wird ein Abstand von 500 m angenommen, der 15 m-Korridor bleibt erhalten.

Aufgrund der ungenügenden Datenlage und des vergleichsweise geringeren Flächenpotenzials [31] finden die übrigen in §37 EEG 2021 definierten Flächen wie bspw. Konversionsflächen,

versiegelte Flächen oder jene auf ehemaligen Abfallbeseitigungsanlagen keine Berücksichtigung. Wenngleich Konversionsflächen in den Ausschreibungsrunden der letzten Jahre einen großen Anteil ausmachten [32], ist hier laut Fachleuten zukünftig mit einem sinkenden Ausbau zu rechnen.

Daten zu **Acker- und Grünland in benachteiligten Gebieten** wurden [33] entsprechend der Richtlinie 86/465/EWG [34] i.S.d. Artikels 3.4 der Richtlinie 75/268/EWG [35] in der Fassung 97/172/EG [36] entnommen. Hiernach werden benachteiligte Gebiete u.a. über eine geringe Landwirtschaftliche Vergleichszahl (LVZ) von Acker- und Grünland definiert (<29). Dieser Datensatz enthält jedoch lediglich die Ausmaße und keine darüber hinaus gehende Klassifikation der Ertragsfähigkeit auf den enthaltenen Flächen, zudem basieren die Daten auf potenziell veralteten Erhebungen. Daher werden für eine differenziertere Betrachtung Daten zum ackerbaulichen Ertragspotenzial des BBSR herangezogen [37], welche die Bodengüte – analog zur LVZ – anhand des sog. Soil Quality Rating (SQR) quantifizieren, Abbildung 21.



**Abbildung 21: Soil Quality Rating (SQR)**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8], ©BGR [37] (Daten verändert)

Eine Einteilung des SQR kann nach [38] wie folgt vorgenommen werden:

| SQR    | <20         | 20 - 40 | 40 - 60 | 60 - 80 | >80      |
|--------|-------------|---------|---------|---------|----------|
| Klasse | sehr gering | gering  | moderat | gut     | sehr gut |

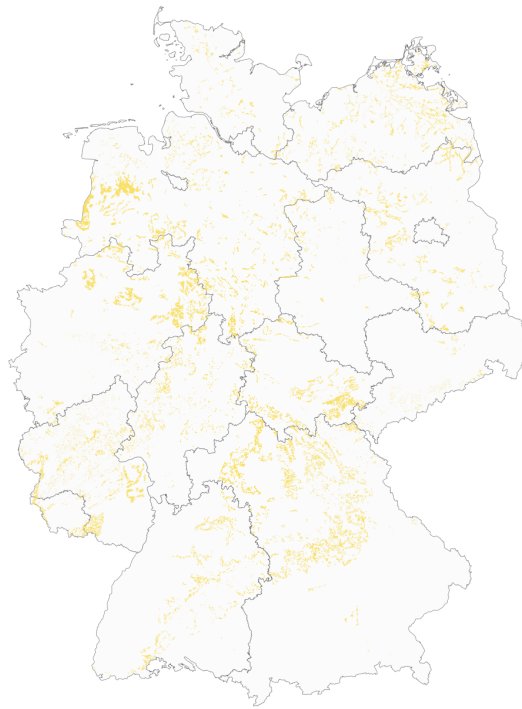
**Tabelle 10: Einteilung des Soil Quality Ratings (SQR) nach [38]<sup>4</sup>**

Um die Flächenkonkurrenz zwischen landwirtschaftlicher Nutzung und Energiegewinnung zu minimieren, wird als Grenzwert ein SQR von 40 angenommen, es werden also lediglich Flächen mit sehr geringer und geringer Ertragsfähigkeit als potenzielle Standorte für PV-Freiflächenanlagen berücksichtigt (Abbildung 22).

Um eine Förderfähigkeit innerhalb des aktuellen Förderregimes dennoch sicherzustellen, werden ausschließlich Flächen innerhalb von benachteiligten Gebieten verwendet.

Gegenüber dem ursprünglichen Datensatz ergeben sich durch dieses Verfahren differenziertere Potenzialflächen auf Acker- und Grünland.

<sup>4</sup>Eine ähnliche Klassifikation findet sich in [39].



**Abbildung 22: Acker- und Grünlandflächen mit Soil Quality Rating <40**

Fig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8], ©BGR [37] (Daten verändert)

Die **Flächen längs von Autobahnen oder Schienenwegen** werden durch Erstellen einer 500 m breiten Pufferzone abzüglich einer 15 m breiten Pufferzone gebildet. Acker- und Grünlandflächen innerhalb dieser Korridore werden auch hier nur mit einem SQR von max. 40 als zulässig betrachtet, ertraglich höherwertige Flächen hingegen ausgeschlossen.

Analog zum Vorgehen bei der Windenergie (4.1) erfolgt die Ermittlung der letztendlichen Potenzialflächen durch bilden der Differenz dieser Flächen mit der Überlagerung aller restriktiven Flächen. Als weiteres Kriterium wird aus wirtschaftlichen Gründen eine minimale Flächengröße von 10 ha bzw. 10 MWp festgelegt, d.h. kleinere Flächen bleiben als Potenzialflächen unberücksichtigt. Weitere (lokalspezifische) technische und operative Ausschlusskriterien (Verschattung, Zugänglichkeit etc.) werden vernachlässigt.

Bei Überschneidungen von Potenzialflächen aus 1. und 2. wird letzteren eine höhere Priorität zugewiesen, da innerhalb der letzten Jahre ein deutlicher Anstieg der Flächennutzung entlang von Autobahnen und Schienenwegen zu beobachten ist [32]. Zudem wird die Akzeptanz von PV-Anlagen auf diesen Flächen im Allgemeinen als höher angenommen.

Die berechneten Potenzialflächen sind in Anhang 8.2.2 dargestellt.

#### 4.2.1. Nutzungseinstellungen ausgewählter Flächen

Wie im vorangegangenen Abschnitt detailliert beschrieben, werden lediglich Acker- und Grünlandflächen geringer Bodengüte innerhalb benachteiligter Gebiete als Potenzialflächen gewertet, um die derzeitigen Bedingungen des EEG widerzuspiegeln. Es wird davon ausgegangen, dass die Bedeutung der EEG-Förderung für PV-Projekte zukünftig deutlich abnehmen und sie perspektivisch von Stromabnahmeverträgen (PPAs) abgelöst werden wird. Auch für ältere Anlagen jenseits der maximalen Förderungsdauer können PPAs den Weiterbetrieb ermöglichen. Daher stellen benachteiligte Gebiete nach o.g. EU-Richtlinie innerhalb der App eine optionale Einschränkung dar und können aktiviert oder deaktiviert werden, ohne die Ertragsfähigkeit der Böden als zentrales Kriterium zu vernachlässigen.

#### 4.2.2. Nutzbarkeit

Die Potenzialflächen hängen direkt von den Flächennutzungs-Einstellungen im Tool ab. Analog zur Windenergie (4.1.2) stehen auch hier aus regionalspezifischen Gründen nicht alle Potenzialflächen für die Nutzung durch Freiflächen-PV zur Verfügung. Diese Einschränkungen können anhand von Geodaten nicht abgebildet werden und gehen als Nutzungsgrad ein, der den individuellen Einstellungen der BenutzerInnen unterliegt. Als Standardwert für den Nutzungsgrad wird der Quotient aus theoretisch verwendeter Fläche<sup>5</sup> auf Basis der Ende 2020 installierten Leistung je Bundesland (Daten aus [28, 41]) und verfügbarer Potenzialfläche verwendet. Die Nutzungsgrade können Tabelle 11 entnommen werden.

Für die Nutzung der Potenzialflächen stehen verschiedene Voreinstellungen zur Verfügung:

**Verwendete Fläche (2020)** setzt den Anteil der zu nutzenden Flächen je Bundesland auf einen Wert, sodass die Ende 2020 installierte Leistung erreicht wird.<sup>6</sup>

**Gleichverteilung zur Zielerreichung** setzt die Regler auf einen Wert, sodass 0,64 % der jeweiligen Bundeslandfläche verwendet werden.<sup>7</sup>

Ausgehend von diesen vorkonfigurierten Szenarien können die Werte je Bundesland frei eingestellt werden. Neben dem manuellen Verschieben der Regler kann unter **Benutzerdefiniert +/- 5 %** verwendet sowie das Szenario auf 0 % der zu nutzenden Flächen zurückgesetzt werden.

---

<sup>5</sup>bei einer spezifischen Flächenleistung von 100 MW/km<sup>2</sup> [31, 40].

<sup>6</sup>Randbedingung für Flächenreferenz: Potenzialflächen auf Acker- und Grünland nur innerhalb benachteiligter Gebiete.

<sup>7</sup>Mit einer Flächennutzung von 0,64 % der Bundeslandflächen kann der Zielwert aus der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ [42] erreicht werden.



Aufgrund der begrenzten Schrittzahl der Regler kann es zu geringfügigen Rundungsdifferenzen in den Ergebnissen kommen.

### 4.2.3. Ergebnisse

Tabelle 11 zeigt die Ende 2020 installierte Leistung, die verfügbaren Potenzialflächen sowie den heutigen, theoretischen Nutzungsgrad dieser Flächen. Der Nutzungsgrad ist bezogen auf die Flächensumme von: (I) Acker- und Grünlandflächen inkl. Einschränkungen durch benachteiligte Gebiete sowie (II) innerhalb eines 500 m-Korridors entlang von Autobahnen und Schienenwegen. Beispielsweise sind in Sachsen-Anhalt derzeit 1815,7 MW Freiflächen-PV installiert, bezogen auf das Gesamtpotenzial von 118,4 km<sup>2</sup> ergibt sich ein theoretischer Flächennutzungsgrad von rund 15,3 %.

| Bundesland          | Inst. Leistung [MW] | Potenzialfläche [km <sup>2</sup> ] |        |                   | Nutzungsgrad mit BG |
|---------------------|---------------------|------------------------------------|--------|-------------------|---------------------|
|                     |                     | Acker- u. Grünland ohne BG         | mit BG | BAB u. Schienenw. |                     |
| Baden-Württemberg   | 565,0               | 368,2                              | 222,5  | 332,8             | 1,0 %               |
| Bayern              | 3613,7              | 1199,9                             | 1008,0 | 811,5             | 2,0 %               |
| Berlin              | 2,2                 | 0,0                                | 0,0    | 9,2               | 0,2 %               |
| Brandenburg         | 3091,8              | 331,1                              | 222,3  | 144,9             | 8,4 %               |
| Bremen              | 1,0                 | 0,0                                | 0,0    | 17,9              | 0,1 %               |
| Hamburg             | 1,1                 | 0,0                                | 0,0    | 13,6              | 0,1 %               |
| Hessen              | 363,5               | 385,4                              | 263,0  | 164,2             | 0,9 %               |
| Mecklenburg-Vorp,   | 1428,4              | 509,0                              | 282,0  | 159,2             | 3,2 %               |
| Niedersachsen       | 659,8               | 1457,5                             | 1091,0 | 612,2             | 0,4 %               |
| Nordrhein-Westfalen | 812,4               | 440,8                              | 161,3  | 205,3             | 2,2 %               |
| Rheinland-Pfalz     | 573,9               | 472,8                              | 275,4  | 260,8             | 1,1 %               |
| Saarland            | 153,1               | 63,3                               | 11,1   | 38,4              | 3,1 %               |
| Sachsen             | 1113,5              | 27,7                               | 25,3   | 88,3              | 9,8 %               |
| Sachsen-Anhalt      | 1815,7              | 95,7                               | 43,4   | 75,0              | 15,3 %              |
| Schleswig-Holstein  | 581,0               | 174,3                              | 133,7  | 314,1             | 1,3 %               |
| Thüringen           | 824,6               | 402,3                              | 342,0  | 121,1             | 1,8 %               |
| Summe               | 15600,7             | 5928,1                             | 4081,0 | 3368,6            | 2,1 %               |

**Tabelle 11: Installierte Leistung Freiflächen-PV Ende 2020 [28, 41], Potenzialflächen auf Acker- und Grünlandflächen mit SQR<40 mit und ohne Einschränkungen durch benachteiligte Gebiete (BG), Potenzialflächen entlang von Bundesautobahnen und Schienenwegen (500 m-Korridor), heute genutzter Anteil (theoretischer Wert bei 100 MW/km<sup>2</sup>)**

Die Potenzialflächen können hier heruntergeladen werden: [10.5281/zenodo.6728381](https://zenodo.org/record/6728381).

## 5. Installierbare Leistung und Energieertrag

### 5.1. Windenergie

Die installierbare Windleistung wird auf Basis der Potenzialflächen anhand eines pauschalen Faktors von 21 MW/km<sup>2</sup> bestimmt [2, 25–27].

Die Berechnung der erzeugten Energiemenge erfolgt auf Basis von Bundesland-spezifischen, mittleren Volllaststunden. Grundlage hierfür bildet eine Prognose der Volllaststunden für 4 Zonen (Schleswig-Holstein, Norden, Mitte, Süden) in Deutschland [43]. Sie berücksichtigt sowohl die künftige technische Anlagenentwicklung und die optimale Anlagenwahl für jede Zone für das Jahr 2030. Zudem wurden die Daten darin um netzengpassbedingte Abregelungen (Einspeisemanagement) korrigiert.

Diese stark aggregierten Volllaststunden jeder Zone werden im letzten Schritt auf Bundeslandebene regionalisiert, indem sie mit der mittleren jährlichen Windleistungsdichte in 150 m Höhe gewichtet werden (Daten aus *Global Wind Atlas* [44]). In einem letzten Schritt werden die bundeslandscharfen Volllaststunden linear auf die mittleren Volllaststunden der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ [42] von 2131 h skaliert, um konsistente, vergleichbare Ergebnisse zu erzeugen. Anhand der installierbaren Leistung und den Volllaststunden wird letztendlich der Ertrag berechnet. Die Ergebnisse für verschiedene Einstellungen können der Webapplikation entnommen werden.

### 5.2. Freiflächen-Photovoltaik

Die installierbare Leistung von PV-Freiflächenanlagen wird mit einem pauschalen Faktor von 100 MW/km<sup>2</sup> bestimmt [31, 40].

Analog zur Windenergie wird die generierte Energiemenge anhand von Bundesland-spezifischen, mittleren Volllaststunden berechnet. Hierbei werden als Mittelwert die in der o.g. Studie [42] gegebenen 965 Volllaststunden als Bezugsgröße verwendet. Die Gewichtung erfolgt anhand von modellierten Erträgen von großen PV Freiflächenanlagen aus dem *Global Solar Atlas* [45], für die eine optimale vertikale sowie horizontale Ausrichtung angenommen wird. Weiterhin werden dort elektrische Verluste sowie Verluste aufgrund von Fehlanpassung, Verschmutzung und Verfügbarkeit berücksichtigt (insg. 9,5%). Weitere Details zur verwendeten Methodik können der technischen Begleitdokumentation entnommen werden [46].

## 6. Daten

Die Potenzialflächen können hier heruntergeladen werden: [10.5281/zenodo.6728381](https://doi.org/10.5281/zenodo.6728381).

Im Photovoltaik- und Windflächenrechner werden ausschließlich freie oder öffentlich verfügbare Geodaten verwendet, deren Metadaten in der App eingesehen und heruntergeladen werden können (Menü → Quellen).

Alle Metadaten werden für größtmögliche Transparenz im *Open Energy Metadata-Standard* v1.41 [47] bereitgestellt.

## 7. Versionshistorie

In der folgenden Liste sind alle Änderungen dieser methodischen Begleitdokumentation aufgeführt.

### **Version 1.2 (05.07.2022)**

- Link zu Geodaten hinzugefügt

### **Version 1.1 (10.11.2021)**

- Korrektur Kapazitäten FF-PV: Die installierte Leistung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen für das Jahr 2020 wurde anhand der Registerdaten der Bundesnetzagentur korrigiert (betrifft Abschnitt 4.2.3).
- Versionshistorie hinzugefügt

### **Version 1.0 (07.10.2021)**

- Erste Version

## Literaturverzeichnis

- [1] Snakemake. <https://snakemake.readthedocs.io>. Zugriff: 12.03.2021.
- [2] Kirsten Adlunger Insa Lütkehaus Hanno Salecker. *Potenzial der Windenergie an Land*. Hrsg. von Umweltbundesamt. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/potenzial\\_der\\_windenergie.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/potenzial_der_windenergie.pdf). Juni 2013.
- [3] Die Bundesregierung. *Baugesetzbuch*. <https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/BJNR003410960.html>. 2017.
- [4] Die Bundesregierung. *Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung)*. <https://www.gesetze-im-internet.de/baunvo/BJNR004290962.html>. 2017.
- [5] Die Bundesregierung. *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundesimmissionsschutzgesetz)*. <https://www.gesetze-im-internet.de/bimschg/BJNR007210974.html>. 2020.
- [6] Fachagentur Windenergie an Land e.V. *Überblick zu den Abstandsempfehlungen zur Ausweisung von Windenergiegebieten in den Bundesländern*. [https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/PlanungGenehmigung/FA\\_Wind\\_Abstandsempfehlungen\\_Laender.pdf](https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/PlanungGenehmigung/FA_Wind_Abstandsempfehlungen_Laender.pdf). Zugriff: 19.04.2021. 2021.
- [7] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG). *Digitales Landschaftsmodell 1:250000 (DLM250, Ebenen), Stand 31.12.2020*. 2020. URL: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/open-data/digitales-landschaftsmodell-1-250-000-ebenen-dlm250-ebenen.html>.
- [8] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG). *Verwaltungsgebiete 1:250 000 VG250 (Ebenen), Stand 01.01.2021*. 2021. URL: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/verwaltungsgebiete/verwaltungsgebiete-1-250-000-ebenen-stand-01-01-vg250-ebenen-01-01.html>.
- [9] Geofabrik GmbH und OpenStreetMap-Mitwirkende. *OpenStreetMap Data Extracts, Stand 01.01.2021*. 2021. URL: <https://download.geofabrik.de/europe/germany-210101.osm.pbf>.
- [10] Die Bundesregierung. *Bundesfernstraßengesetz*. <https://www.gesetze-im-internet.de/fstrg/BJNR009030953.html>. 2020.
- [11] Monika Agatz. *Windenergie Handbuch*. <http://windenergie-handbuch.de/wp-content/uploads/2020/03/Windenergie-Handbuch-2019.pdf>. Dezember 2019.
- [12] Die Bundesregierung. *Luftverkehrsgesetz*. <https://www.gesetze-im-internet.de/luftvg/BJNR006810922.html>. 2019.
- [13] VDE DIN EN. *DIN EN 50341-2-4 VDE 0210-2-4:2019-09 Freileitungen über AC 1 kV*. 2019.
- [14] Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF). *Schutzbereiche ziviler Flugsicherungsanlagen, Stand 22.12.2020*. per E-Mail erhalten. 2020.
- [15] DFS Deutsche Flugsicherung GmbH. *Flugsicherung und Windenergie*. [https://www.dfs.de/dfs\\_homepage/de/Flugsicherung/Umwelt/Windkraft/](https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Flugsicherung/Umwelt/Windkraft/). Zugriff: 22.03.2021.

- [16] Die Bundesregierung. *Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz)*. [https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg\\_2009/BJNR254210009.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/BJNR254210009.html). 2021.
- [17] Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg. *Sachlicher Teilplan: Nutzung der Windenergie in der Planungsregion Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg*. [https://www.planungsregion-abw.de/wp-content/uploads/2018/08/Teilplan\\_Wind\\_II\\_Final\\_genehmigt\\_01082018.pdf](https://www.planungsregion-abw.de/wp-content/uploads/2018/08/Teilplan_Wind_II_Final_genehmigt_01082018.pdf). Mai 2018.
- [18] Bundesamt für Naturschutz (BfN). *Geofachdaten Schutzgebiete, Stand 19.11.2020*. per E-Mail erhalten. 2020.
- [19] Fachagentur Windenergie an Land e.V. *Windenergienutzung und Gebietsschutz*. [https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/FA\\_Wind\\_Bestandsaufnahme\\_WE\\_und\\_Gebietsschutz\\_3-2017.pdf](https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/FA_Wind_Bestandsaufnahme_WE_und_Gebietsschutz_3-2017.pdf). Zugriff: 19.04.2021. 2017.
- [20] Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). *Bewirtschaftungsgebiete, Schutzgebiete, geregelte Gebiete und Berichterstattungseinheiten, Stand 09.11.2020*. 2020. URL: <https://geoportal.bafg.de/inspire/download/AM/drinkingWaterProtectionArea/datasetfeed.xml>.
- [21] Die Bundesregierung. *Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz)*. <https://www.gesetze-im-internet.de/bwaldg/BJNR010370975.html>. 2017.
- [22] Die Bundesregierung. *Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz)*. [https://www.gesetze-im-internet.de/whg\\_2009/BJNR258510009.html](https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/BJNR258510009.html). 2020.
- [23] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG). *Digitales Geländemodell (DGM200), Stand 31.12.2019*. 2020. URL: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitales-gelaendemodell-gitterweite-200-m-dgm200.html>.
- [24] Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. *Regionalisierung des Ausbaus der Erneuerbaren Energien – Begleitdokument zum Netzentwicklungsplan 2030 (v2019)*. [https://www.ffe.de/attachments/article/909/FfE\\_Begleitstudie\\_Regionalisierung\\_EE-Ausbau\\_\(2018\).pdf](https://www.ffe.de/attachments/article/909/FfE_Begleitstudie_Regionalisierung_EE-Ausbau_(2018).pdf). 2018.
- [25] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland – Modul 2: Modelle und Modellverbund*. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/berichtsmodul-2-modelle-und-modellverbund.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/berichtsmodul-2-modelle-und-modellverbund.pdf?__blob=publicationFile&v=6). September 2017.
- [26] Stadt- und Raumforschung (BBSR) Bundesinstitut für Bau-, Räumliche differenzierte Flächenpotentiale für erneuerbare Energien in Deutschland. Hrsg. von Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvi/bmvi-online/2015/DL\\_BMVI\\_Online\\_08\\_15.pdf](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvi/bmvi-online/2015/DL_BMVI_Online_08_15.pdf). August 2015.
- [27] Arbeitsgruppe Repowering. *Abschlussbericht der interministeriellen Arbeitsgruppe Repowering*. [https://mlv.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/MLV/MLV/Service/Publikationen/Abschlussbericht\\_der\\_interministeriellen\\_](https://mlv.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLV/MLV/Service/Publikationen/Abschlussbericht_der_interministeriellen_)

- Arbeitsgruppe *\_Repowering \_zur \_Modernisierung \_von \_Windenergieanlagen \_in \_Sachsen-Anhalt.pdf*. November 2018.
- [28] Guido Pleßmann et al. *open-MaStR power unit registry*. Hrsg. von Reiner Lemoine Institut. 2021. URL: <https://sandbox.zenodo.org/record/808086>.
- [29] Bundesnetzagentur für Elektrizität Gas Telekommunikation Post und Eisenbahnen. *Genehmigung des Szenariorahmens 2021-2035*. [https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/Szenariorahmen\\_2035\\_Genehmigung.pdf](https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/Szenariorahmen_2035_Genehmigung.pdf). Juni 2020.
- [30] Agora Energiewende. *Die Energiewende im Corona-Jahr: Stand der Dinge 2020 – Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2021*. [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2020\\_01\\_Jahresauswertung\\_2020/200\\_A-EW\\_Jahresauswertung\\_2020\\_WEB.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2020_01_Jahresauswertung_2020/200_A-EW_Jahresauswertung_2020_WEB.pdf). Januar 2021.
- [31] Tobias Kelm, Jochen Metzger und Anna-Lena Fuchs. *Untersuchung zur Wirkung veränderter Flächenrestriktionen für PV-Freiflächenanlagen*. Techn. Ber. Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, 2019. URL: [https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user\\_upload/PDFs/Aktuelles/2019/politischer-dialog-pv-freiflaechenanlagen-studie-333788.pdf](https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Aktuelles/2019/politischer-dialog-pv-freiflaechenanlagen-studie-333788.pdf).
- [32] Silvana Tiedemann et al. *Evaluierungsbericht der Ausschreibungen für erneuerbare Energien*. Hrsg. von Navigant Energy Germany GmbH. 2019. URL: [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi\\_de/evaluierungsbericht-der-ausschreibungen-fuer-erneuerbare-energien.pdf](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi_de/evaluierungsbericht-der-ausschreibungen-fuer-erneuerbare-energien.pdf).
- [33] European Environment Agency. *Less favoured areas Dataset*. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/less-favoured-areas>. 2009.
- [34] Rat der europäischen Gemeinschaften. *Richtlinie 86/465/EWG des Rates vom 14. Juli 1986 betreffend das Gemeinschaftsverzeichnis der benachteiligten landwirtschaftlichen Gebiete im Sinne der Richtlinie 75/268/EWG (Deutschland)*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1986/465/oj>. 1989.
- [35] Rat der europäischen Gemeinschaften. *Richtlinie 75/268/EWG des Rates vom 28. April 1975 über die Landwirtschaft in Berggebieten und in bestimmten benachteiligten Gebieten*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1975/268/oj>. 1975.
- [36] Die Kommission der europäischen Gemeinschaften. *Entscheidung der Kommission vom 10. Februar 1997 zur Änderung der Abgrenzung der gemäß Richtlinie 75/268/EWG in Deutschland benachteiligten Gebiete*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/1997/172/oj>. 1997.
- [37] Kruse Klaus. *Ackerbauliches Ertragspotential der Böden in Deutschland 1:1.000.000 (WMS)*. Hrsg. von Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). 2013. URL: <https://produktcenter.bgr.de/terraCatalog/OpenSearch.do?search=47BE6C4F-409A-11E3-8643-8851FB422C62&type=/Query/OpenSearch.do>.
- [38] Lothar Mueller, Uwe Schindler, Axel Behrendt, Frank Eulenstein, Ralf Dannowski. *The Muencheberg Soil Quality Rating (SQR)*. Hrsg. von Leibniz-Zentrum fuer Agrarland-

- schaftsforschung (ZALF). 2007. URL: [https://www.zalf.de/de/forschung\\_lehre/publikationen/Documents/Publikation\\_Mueller\\_L/field\\_mueller.pdf](https://www.zalf.de/de/forschung_lehre/publikationen/Documents/Publikation_Mueller_L/field_mueller.pdf).
- [39] U. Stegger. *Ackerbauliches Ertragspotential der Böden in Deutschland*. Hrsg. von Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe. 2013. URL: [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Produkte/Karten/Downloads/karte\\_AckerbaulichesErtragspotential\\_A0\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Produkte/Karten/Downloads/karte_AckerbaulichesErtragspotential_A0_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2).
- [40] Harry Wirth. *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*. Techn. Ber. Fraunhofer ISE, August 2021. URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>.
- [41] Bundesnetzagentur für Elektrizität Gas Telekommunikation Post und Eisenbahnen. *EEG in Zahlen 2019*. [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEGinZahlen\\_2019.xlsx?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEGinZahlen_2019.xlsx?__blob=publicationFile&v=4). April 2021.
- [42] Agora Energiewende. *Klimaneutrales Deutschland 2045 – Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann (Zusammenfassung)*. [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021\\_04\\_KNDE45/A-EW\\_209\\_KNDE2045\\_Zusammenfassung\\_DE\\_WEB.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf). Mai 2021.
- [43] Deutsche Windguard. *Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land - Entwicklung, Einflüsse, Auswirkungen*. <https://www.lee-nrw.de/data/documents/2020/11/23/532-5fbb61e5e6bb2.pdf>. Oktober 2020.
- [44] Technical University of Denmark, Vortex, World Bank Group. *Global Wind Atlas 3.0. Dataset: Long-term wind power density 150m for Germany (POWER-DENSITY)*. <https://globalwindatlas.info/api/gis/country/DEU/power-density/150>. Oktober 2019.
- [45] Solargis, World Bank Group. *Global Solar Atlas 2.0. Dataset: Long-term global photovoltaic power potential for Germany (LTAYm\_YearlyMonthlyTotals)*. <https://globalsolaratlas.info/download/germany>. July 2021.
- [46] Renewable Energy Resource Mapping. *Global Solar Atlas 2.0: Technical report*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/529431592893043403/pdf/Global-Solar-Atlas-2-0-Technical-Report.pdf>. November 2019.
- [47] Open Energy Family. *Open Energy Metadata Description v1.4.1*. [https://github.com/OpenEnergyPlatform/oemetadate/blob/master/metadata/v141/metadata\\_key\\_description.md](https://github.com/OpenEnergyPlatform/oemetadate/blob/master/metadata/v141/metadata_key_description.md). 2021.



## 8. Anhang

### 8.1. Ergebnistabellen Potenzialflächen Windenergie

| Bundesland             | Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ] | Potenzialflächen bei 400m Siedlungsabstand [km <sup>2</sup> ] |          |         |       | Anteil |
|------------------------|---------------------------------|---|----------|---------|-------|--------|
|                        |                                 | Ohne Wald und LSG   | Nur Wald | Nur LSG |       |        |
| Baden-Württemberg      | 35749                           | 5338.1  | 5919.8   | 1051.5  | 34.4% |        |
| Bayern                 | 70545                           | 10790.8   | 12425.0  | 2541.3  | 36.5% |        |
| Berlin                 | 892                             | 11.0  | 22.2     | 6.7     | 4.5%  |        |
| Brandenburg            | 29654                           | 4905.9  | 6085.3   | 1405.4  | 41.8% |        |
| Bremen                 | 402                             | 15.4  | 1.9      | 9.7     | 6.7%  |        |
| Hamburg                | 743                             | 24.4  | 7.0      | 11.5    | 5.8%  |        |
| Hessen                 | 21115                           | 3261.5  | 4020.6   | 174.1   | 35.3% |        |
| Mecklenburg-Vorpommern | 23073                           | 5547.4  | 2123.6   | 871.7   | 37.0% |        |
| Niedersachsen          | 47660                           | 12588.2   | 5452.9   | 1938.2  | 41.9% |        |
| Nordrhein-Westfalen    | 34111                           | 3658.7  | 3155.9   | 3813.9  | 31.2% |        |
| Rheinland-Pfalz        | 19856                           | 2858.9  | 3016.3   | 796.4   | 33.6% |        |
| Saarland               | 2571                            | 213.5   | 338.1    | 122.7   | 26.2% |        |
| Sachsen                | 18449                           | 2548.8  | 2295.2   | 1014.5  | 31.8% |        |
| Sachsen-Anhalt         | 20552                           | 5677.6  | 2810.9   | 1790.3  | 50.0% |        |
| Schleswig-Holstein     | 15623                           | 5280.9  | 779.9    | 753.9   | 43.6% |        |
| Thüringen              | 16201                           | 3657.6  | 2393.6   | 519.2   | 40.6% |        |
| Summe                  | 357196                          | 66378.6   | 50848.1  | 16821.1 | 37.5% |        |

**Tabelle 12: Potenzialflächen Windenergie je Bundesland bei 400 m Siedlungsabstand, Anteil aller drei Flächenkategorien an der Gesamtfläche**

| Bundesland             | Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ] | Potenzialflächen bei 600m Siedlungsabstand [km <sup>2</sup> ] |          |         |        |
|------------------------|---------------------------------|---|----------|---------|--------|
|                        |                                 | Ohne Wald und LSG   | Nur Wald | Nur LSG | Anteil |
| Baden-Württemberg      | 35749                           | 3540.0  | 4896.7   | 701.1   | 25.6%  |
| Bayern                 | 70545                           | 6447.3  | 9715.5   | 1509.6  | 25.1%  |
| Berlin                 | 892                             | 4.9   | 14.5     | 4.2     | 2.6%   |
| Brandenburg            | 29654                           | 3663.8  | 5348.7   | 1028.8  | 33.9%  |
| Bremen                 | 402                             | 11.2  | 0.8      | 6.5     | 4.6%   |
| Hamburg                | 743                             | 13.2  | 4.3      | 5.9     | 3.2%   |
| Hessen                 | 21115                           | 2165.3  | 3481.2   | 106.7   | 27.2%  |
| Mecklenburg-Vorpommern | 23073                           | 3785.7  | 1793.3   | 566.5   | 26.6%  |
| Niedersachsen          | 47660                           | 9290.8  | 4778.1   | 1450.8  | 32.6%  |
| Nordrhein-Westfalen    | 34111                           | 2810.2  | 2471.8   | 2746.0  | 23.5%  |
| Rheinland-Pfalz        | 19856                           | 1870.5  | 2442.8   | 527.5   | 24.4%  |
| Saarland               | 2571                            | 122.3   | 238.9    | 85.2    | 17.4%  |
| Sachsen                | 18449                           | 1457.3  | 1847.7   | 606.3   | 21.2%  |
| Sachsen-Anhalt         | 20552                           | 4453.3  | 2531.7   | 1364.6  | 40.6%  |
| Schleswig-Holstein     | 15623                           | 3777.2  | 623.6    | 502.9   | 31.4%  |
| Thüringen              | 16201                           | 2612.8  | 2049.3   | 354.2   | 31.0%  |
| Summe                  | 357196                          | 46025.6   | 42239.0  | 11566.6 | 27.9%  |

**Tabelle 13: Potenzialflächen Windenergie je Bundesland bei 600 m Siedlungsabstand, Anteil aller drei Flächenkategorien an der Gesamtfläche**

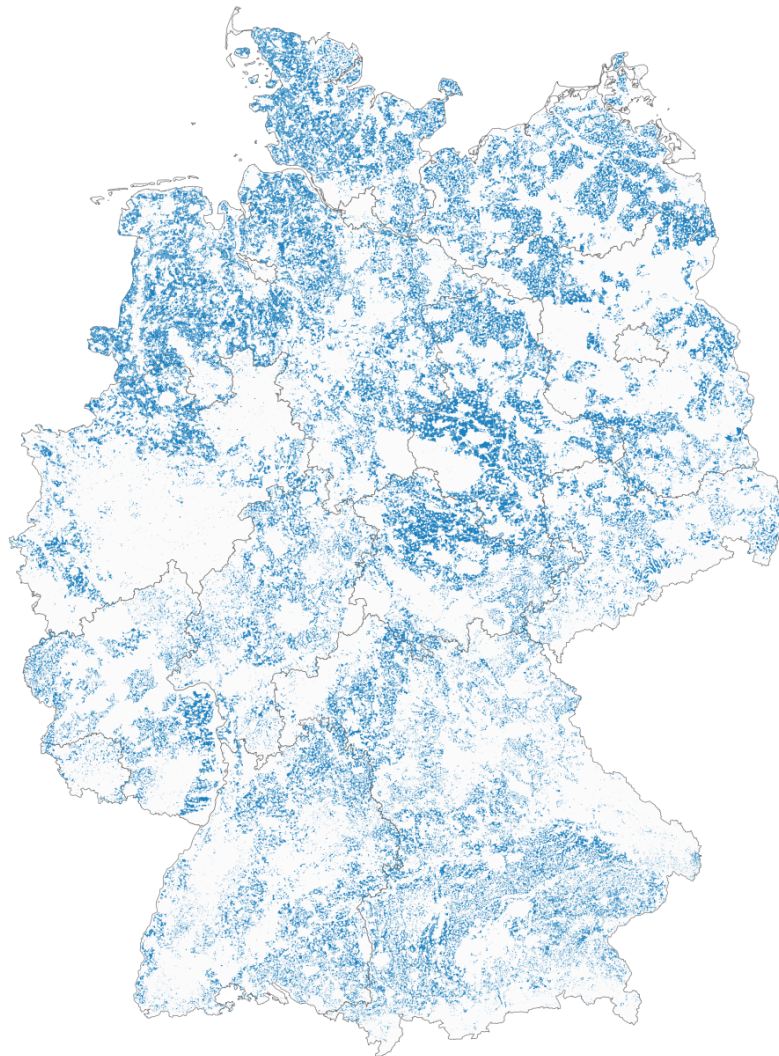
| Bundesland             | Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ] | Potenzialflächen bei 800m Siedlungsabstand [km <sup>2</sup> ] |          |         |        |
|------------------------|---------------------------------|---|----------|---------|--------|
|                        |                                 | Ohne Wald und LSG   | Nur Wald | Nur LSG | Anteil |
| Baden-Württemberg      | 35749                           | 2180.6  | 3763.3   | 446.0   | 17.9%  |
| Bayern                 | 70545                           | 3564.2  | 7012.8   | 827.0   | 16.2%  |
| Berlin                 | 892                             | 2.5   | 9.0      | 2.6     | 1.6%   |
| Brandenburg            | 29654                           | 2540.5  | 4507.4   | 706.0   | 26.1%  |
| Bremen                 | 402                             | 8.1   | 0.3      | 3.9     | 3.1%   |
| Hamburg                | 743                             | 6.9   | 2.4      | 2.6     | 1.6%   |
| Hessen                 | 21115                           | 1313.2  | 2831.7   | 60.1    | 19.9%  |
| Mecklenburg-Vorpommern | 23073                           | 2287.2  | 1401.3   | 329.5   | 17.4%  |
| Niedersachsen          | 47660                           | 6561.1  | 4020.4   | 1039.7  | 24.4%  |
| Nordrhein-Westfalen    | 34111                           | 2141.8  | 1901.6   | 1987.3  | 17.7%  |
| Rheinland-Pfalz        | 19856                           | 1116.0  | 1839.5   | 326.7   | 16.5%  |
| Saarland               | 2571                            | 63.4  | 153.1    | 53.4    | 10.5%  |
| Sachsen                | 18449                           | 743.6   | 1394.0   | 325.2   | 13.3%  |
| Sachsen-Anhalt         | 20552                           | 3271.6  | 2183.7   | 976.3   | 31.3%  |
| Schleswig-Holstein     | 15623                           | 2527.0  | 463.1    | 309.3   | 21.1%  |
| Thüringen              | 16201                           | 1742.8  | 1632.3   | 223.5   | 22.2%  |
| Summe                  | 357196                          | 30070.5   | 33115.7  | 7619.2  | 19.8%  |

**Tabelle 14: Potenzialflächen Windenergie je Bundesland bei 800 m Siedlungsabstand, Anteil aller drei Flächenkategorien an der Gesamtfläche**

## 8.2. Grafiken

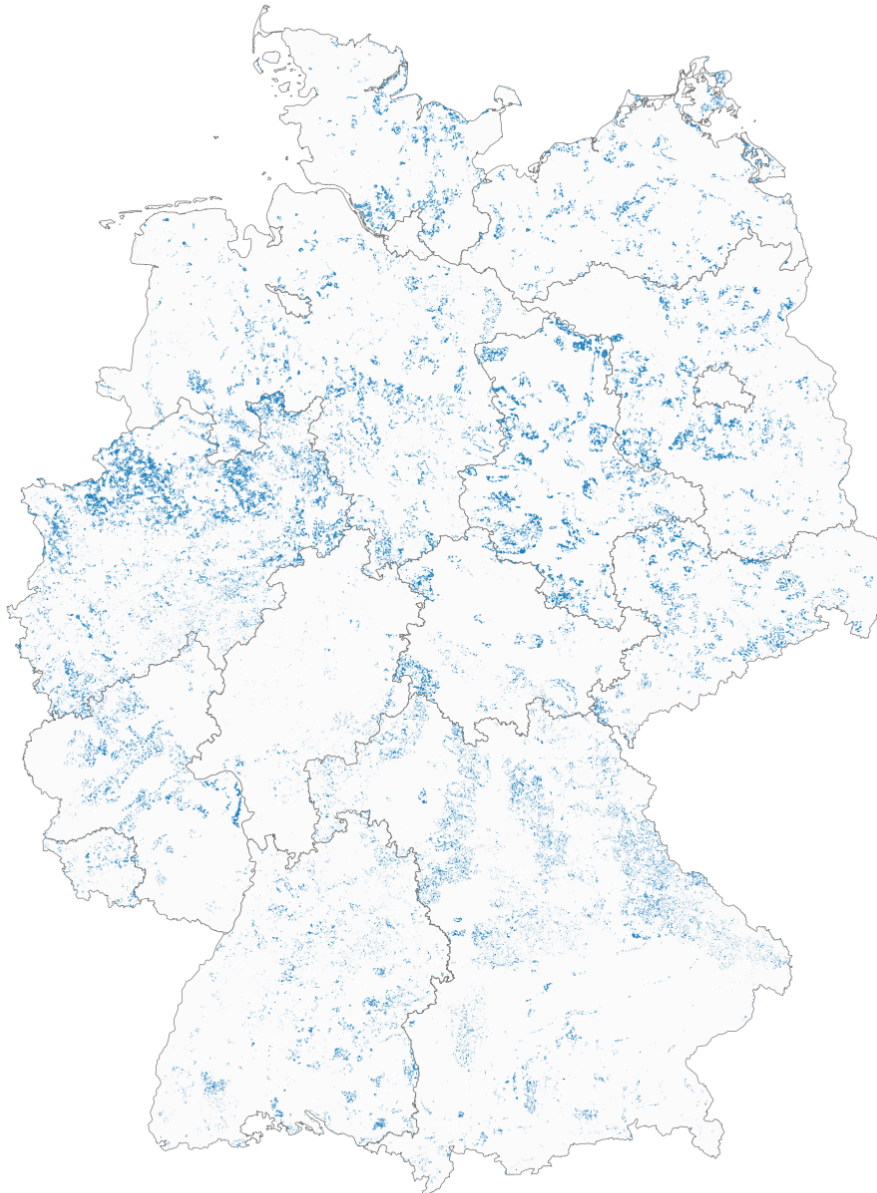
### 8.2.1. Potenzialflächen Windenergie

Im Folgenden sind die Potenzialflächen innerhalb von Wäldern, innerhalb von Landschaftsschutzgebieten sowie außerhalb beider für die in der App verfügbaren Siedlungsabstände dargestellt.



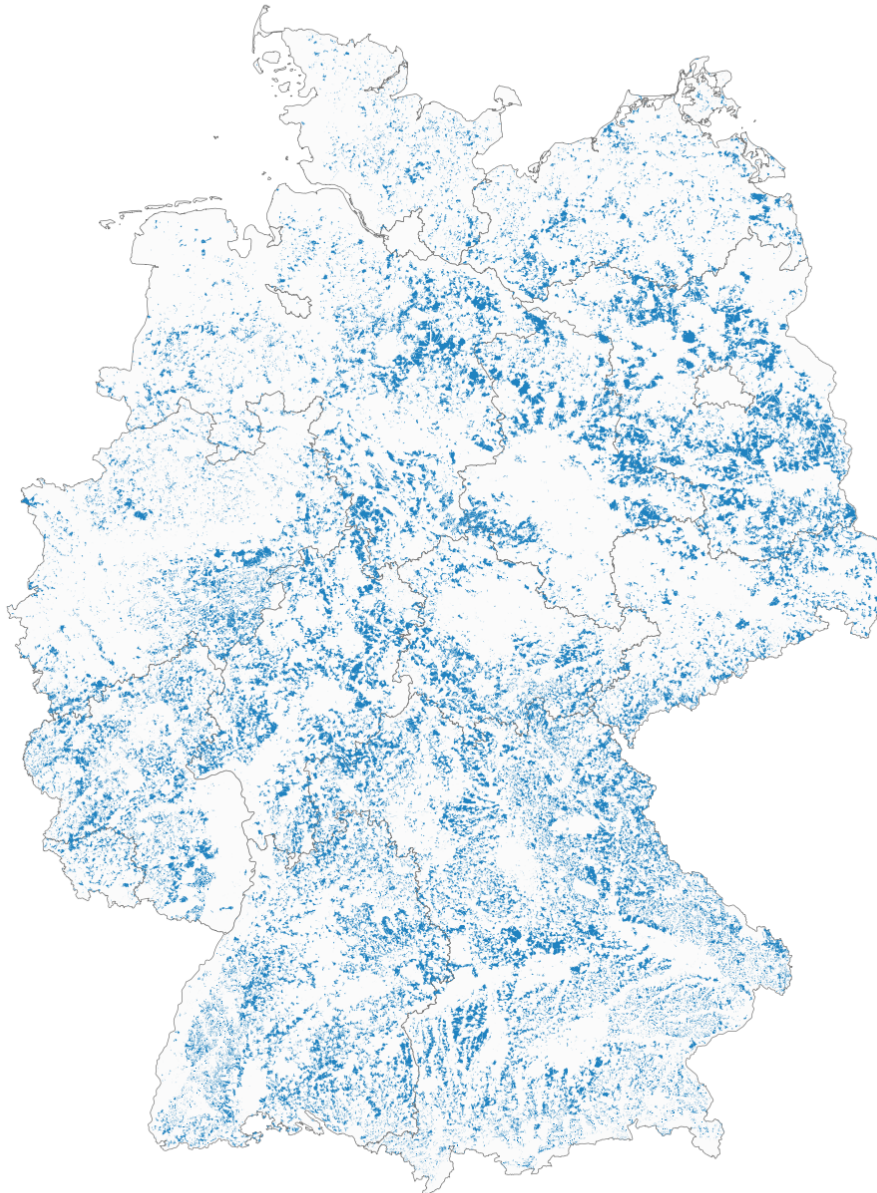
**Abbildung 23: Potenzialflächen Windenergie mit Siedlungsabstand 400m**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8]



**Abbildung 24: Potenzialflächen Windenergie in Landschaftsschutzgebieten mit Siedlungsabstand 400m**

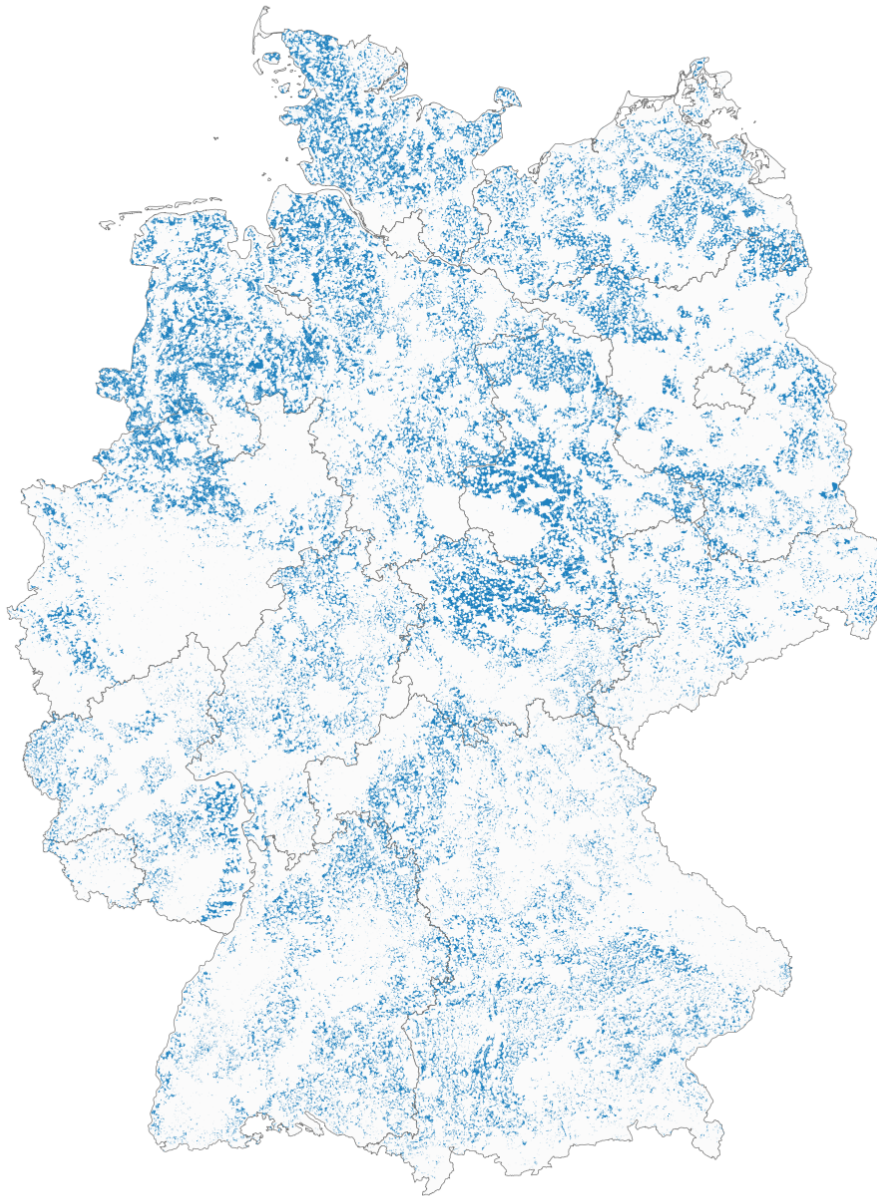
Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)



**Abbildung 25: Potenzialflächen Windenergie in Wäldern mit Siedlungsabstand 400m**

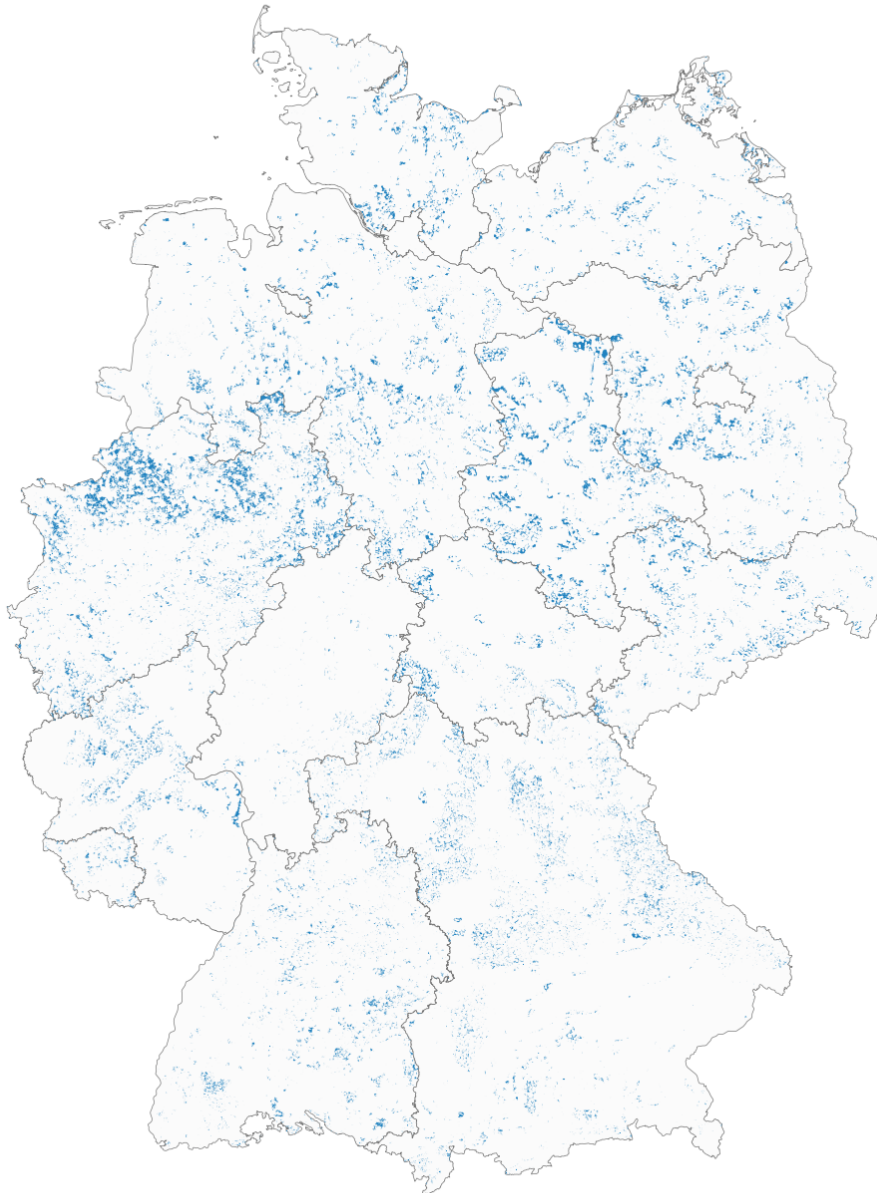
Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)





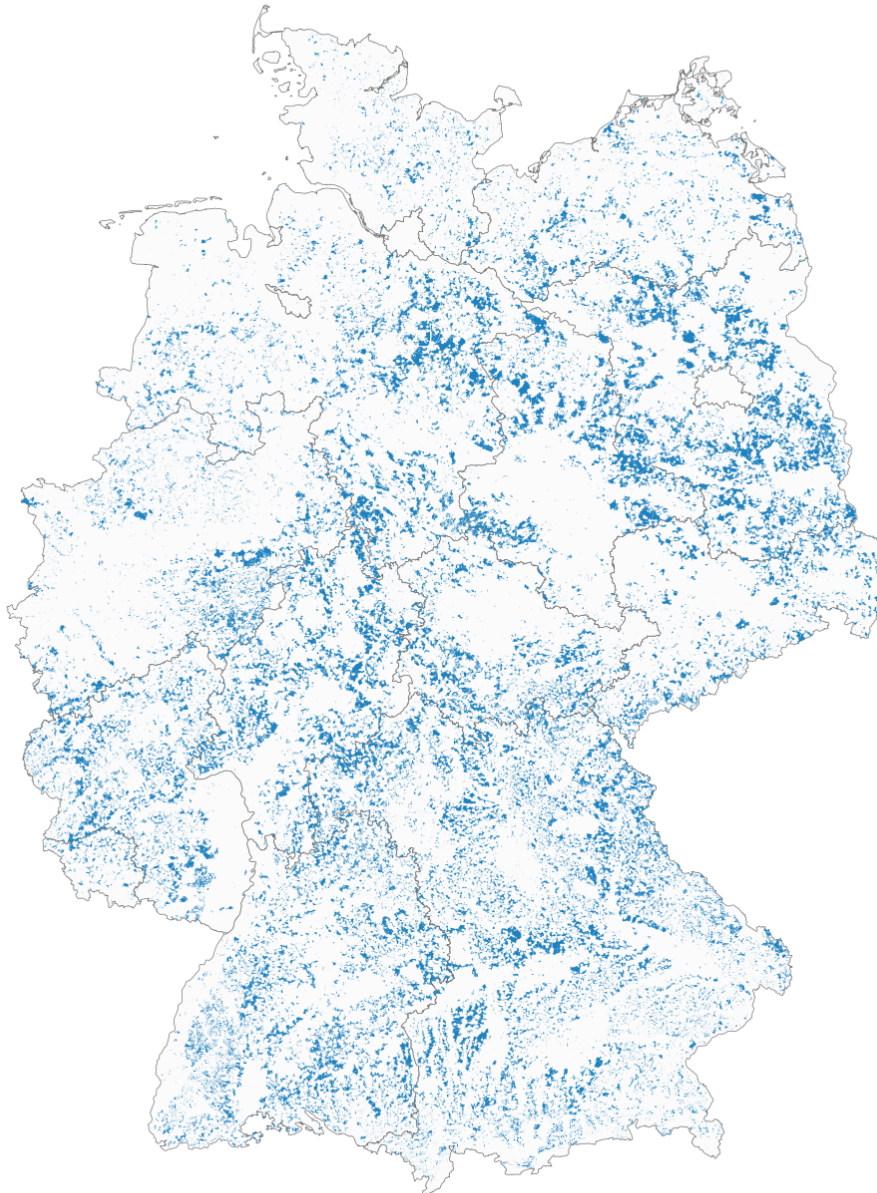
**Abbildung 26: Potenzialflächen Windenergie mit Siedlungsabstand 600m**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)



**Abbildung 27: Potenzialflächen Windenergie in Landschaftsschutzgebieten mit Siedlungsabstand 600m**

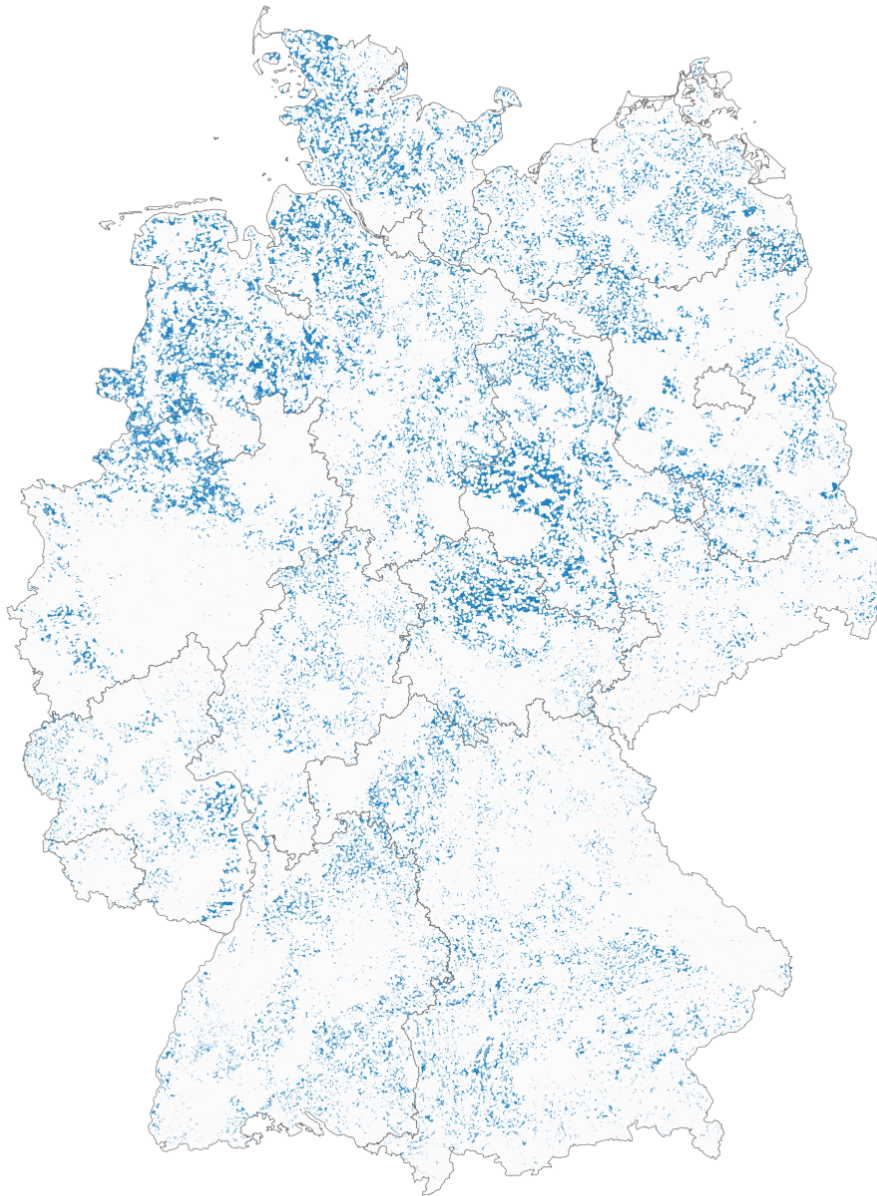
Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)



**Abbildung 28: Potenzialflächen Windenergie in Wäldern mit Siedlungsabstand 600m**

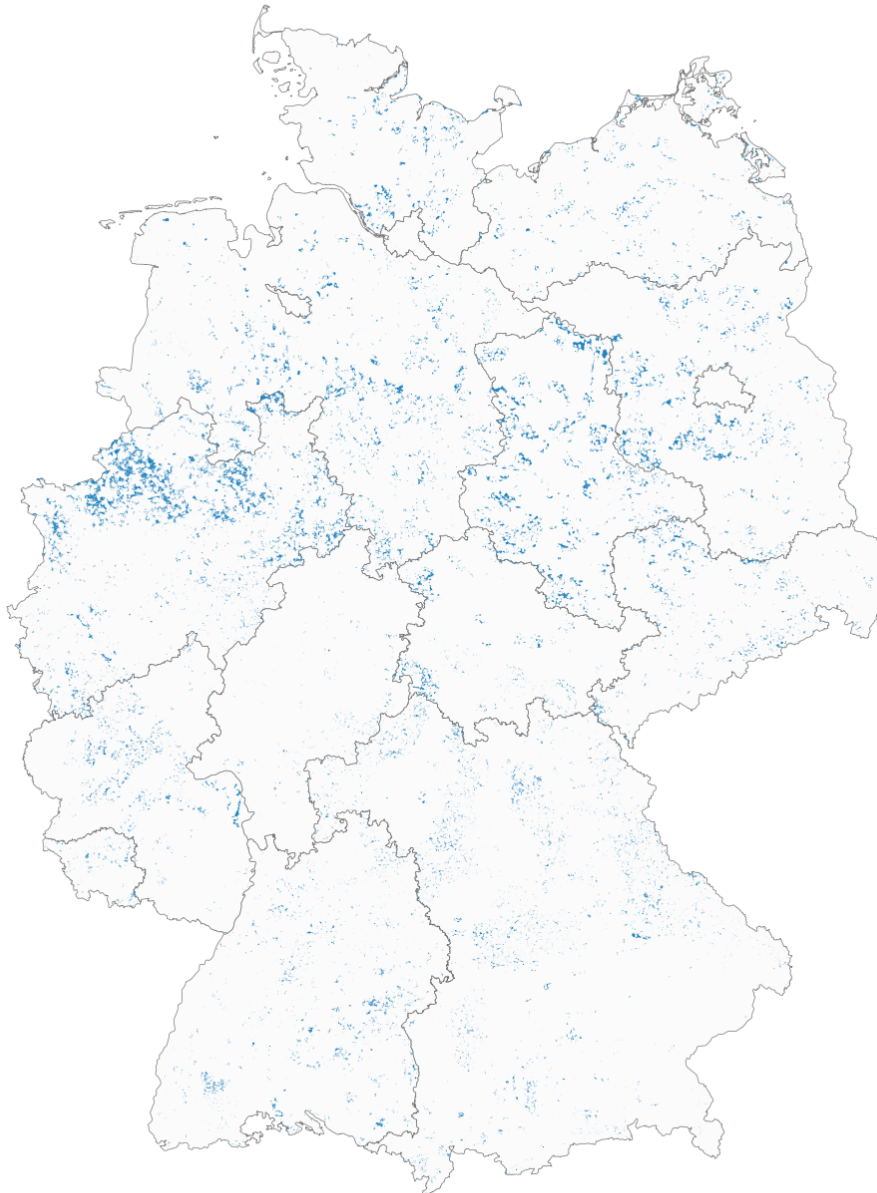
Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)





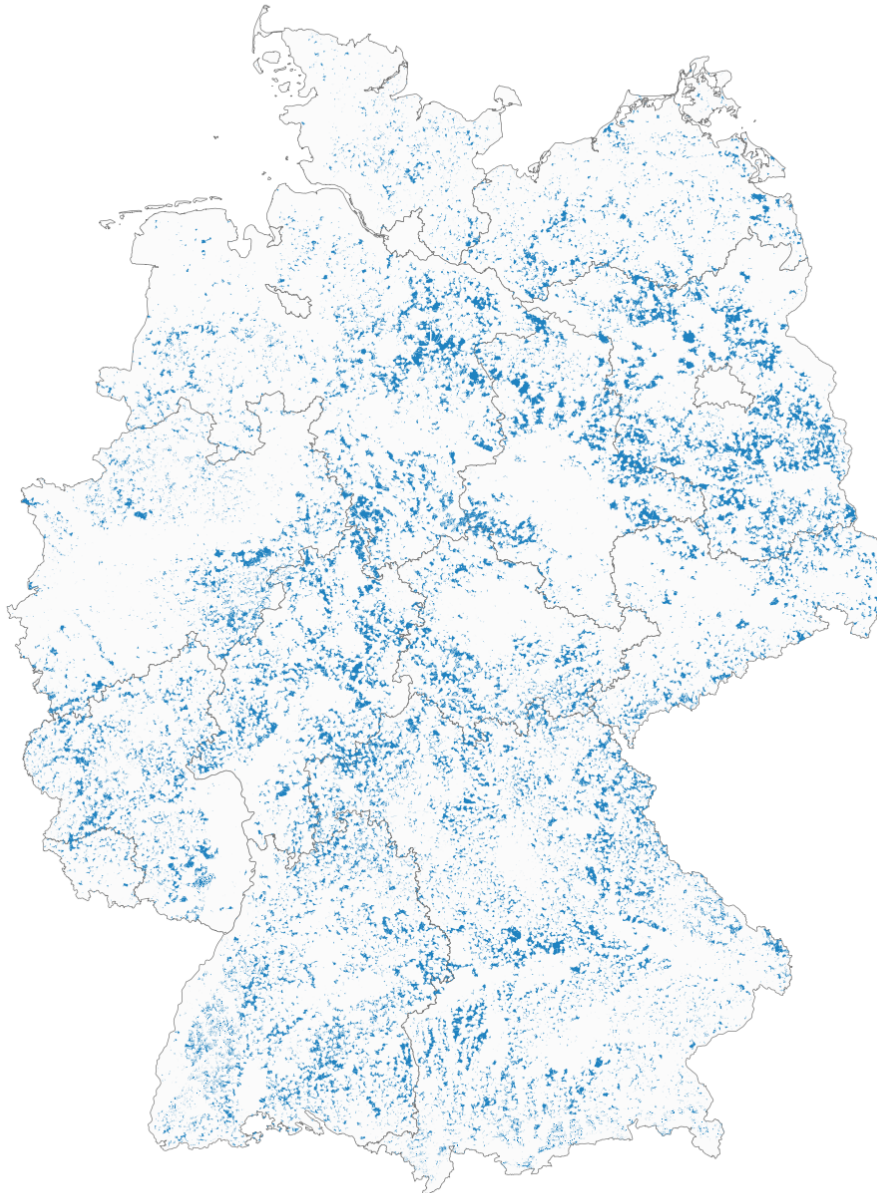
**Abbildung 29: Potenzialflächen Windenergie mit Siedlungsabstand 800m**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)



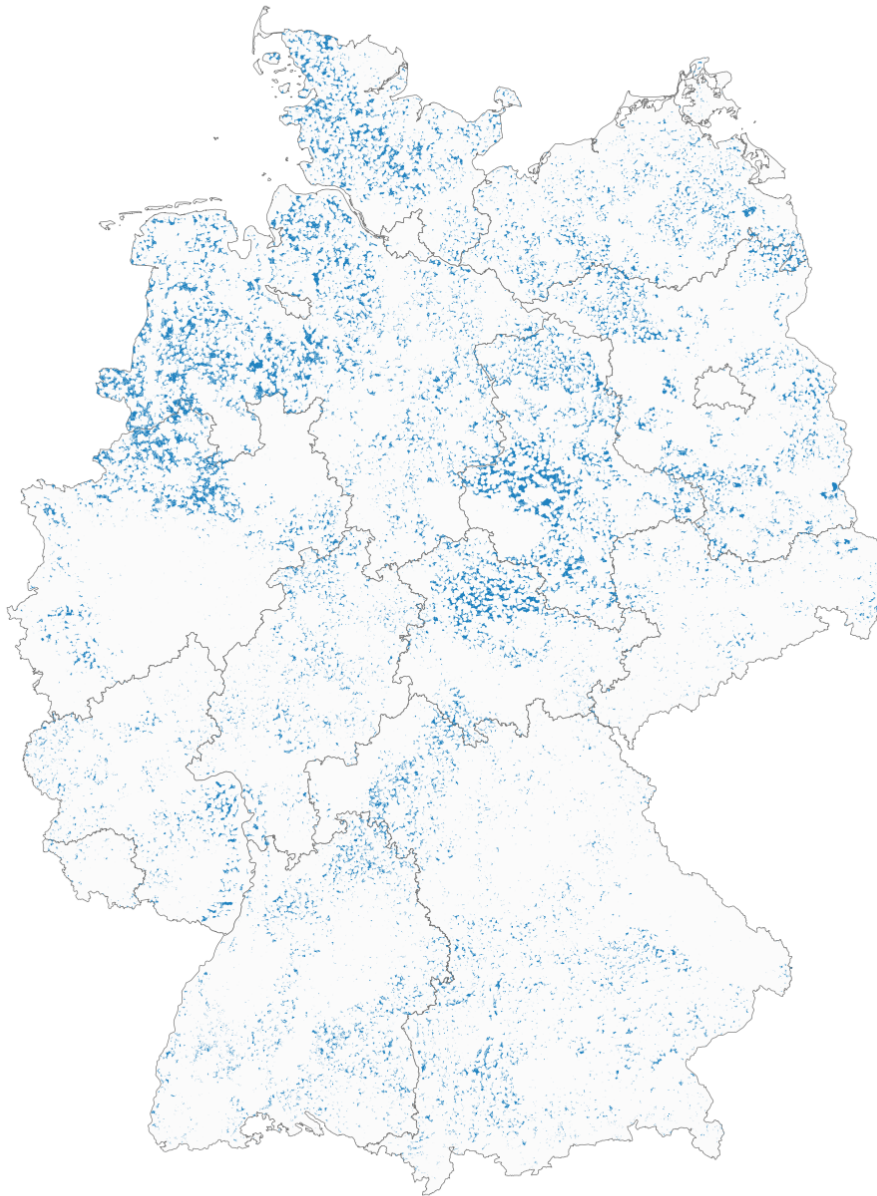
**Abbildung 30: Potenzialflächen Windenergie in Landschaftsschutzgebieten mit Siedlungsabstand 800m**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)



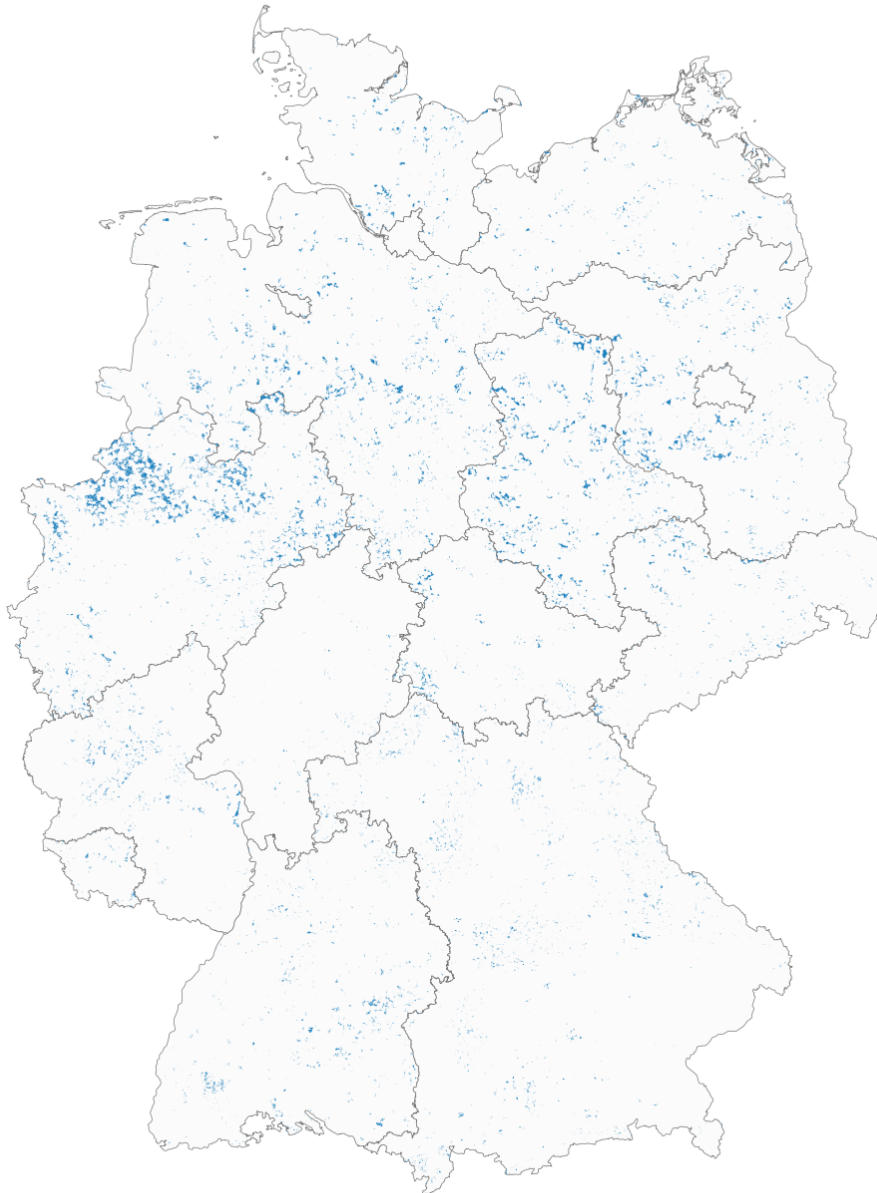
**Abbildung 31: Potenzialflächen Windenergie in Wäldern mit Siedlungsabstand 800m**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)



**Abbildung 32: Potenzialflächen Windenergie mit Siedlungsabstand 1000m**

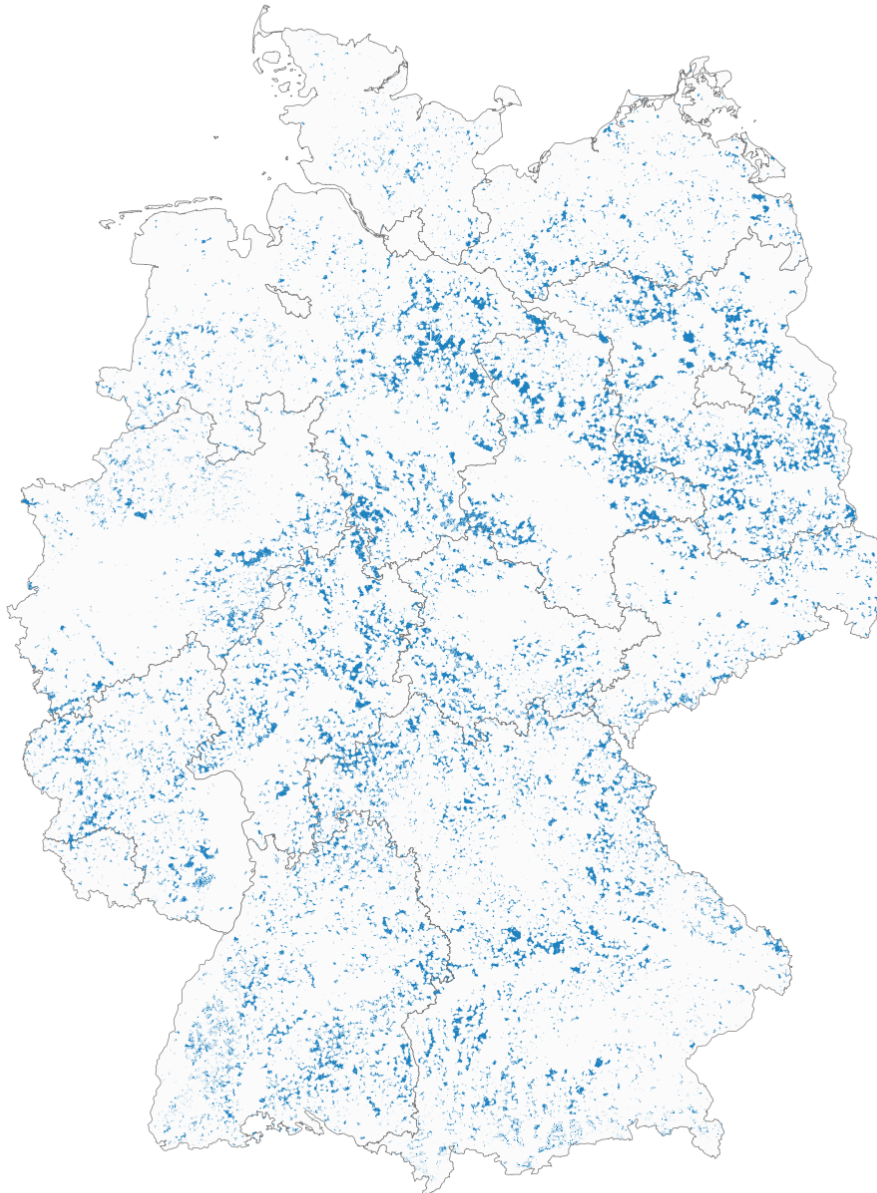
Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)



**Abbildung 33: Potenzialflächen Windenergie in Landschaftsschutzgebieten mit Siedlungsabstand 1000m**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)

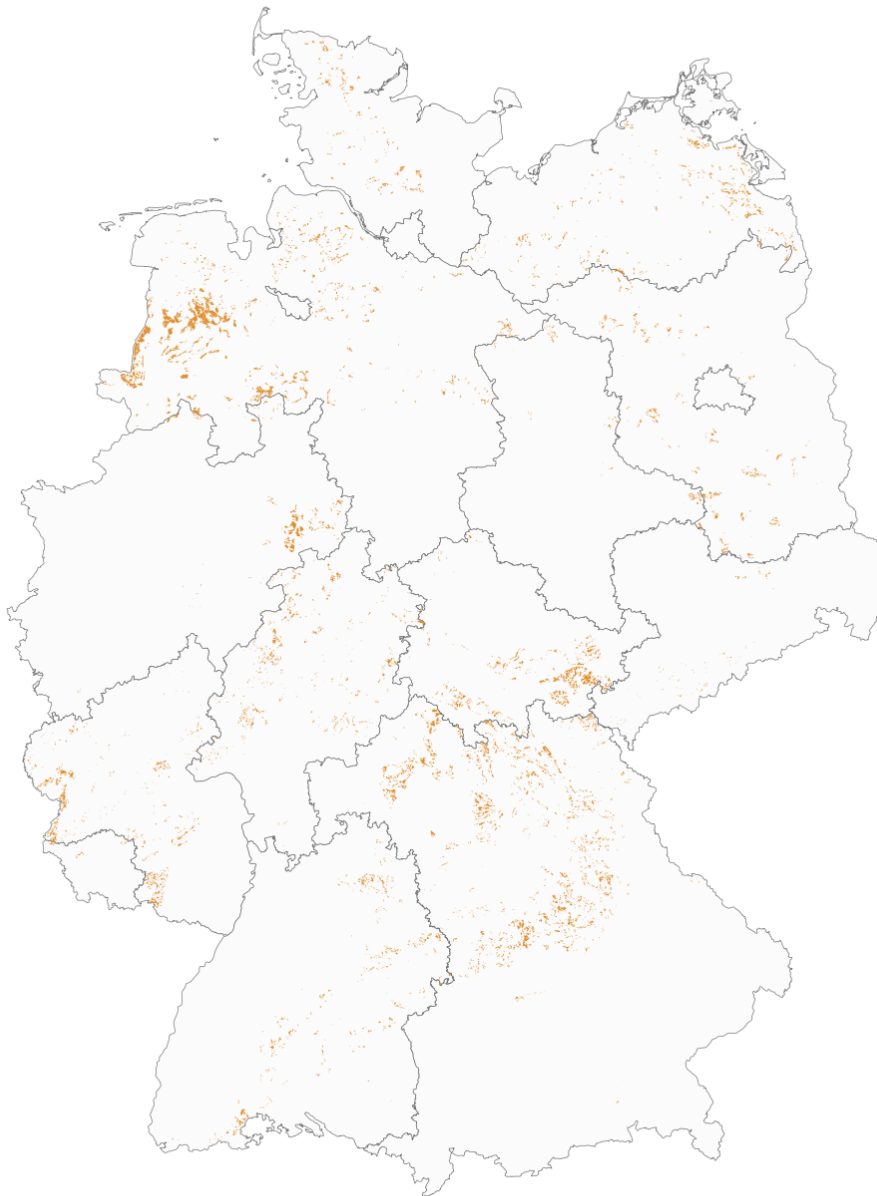




**Abbildung 34: Potenzialflächen Windenergie in Wäldern mit Siedlungsabstand 1000m**

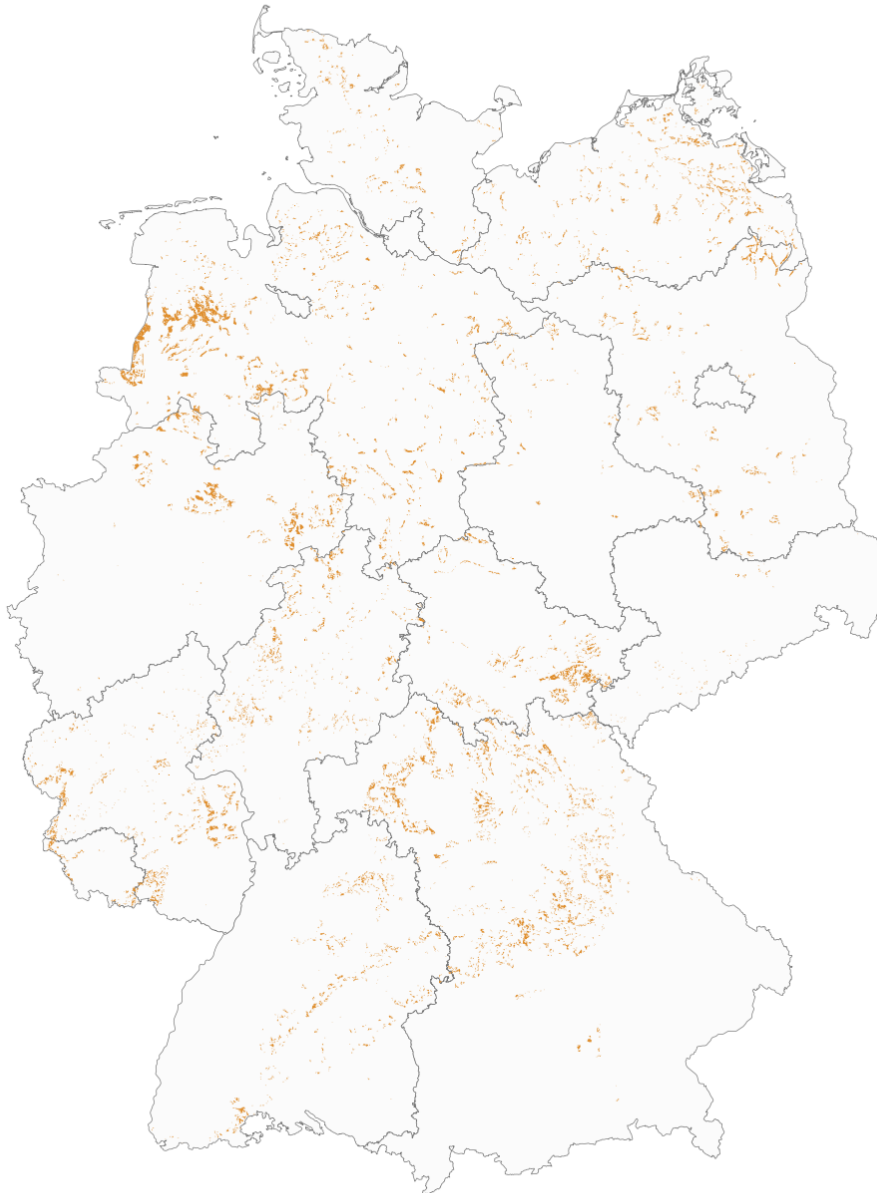
Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)

### 8.2.2. Potenzialflächen Freiflächen-Photovoltaik



**Abbildung 35: Potenzialflächen Freiflächen-PV auf Acker- und Grünland mit SQR<40 mit Einschränkungen durch benachteiligte Gebiete**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)



**Abbildung 36: Potenzialflächen Freiflächen-PV auf Acker- und Grünland mit SQR<40 ohne Einschränkungen durch benachteiligte Gebiete**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)





**Abbildung 37: Potenzialflächen Freiflächen-PV entlang von BAB und Schienenwegen (500 m-Korridor)**

Eig. Darstellung, ©GeoBasis-DE/BKG [8] (Daten verändert)