

Konzept und Daten zur Regionalisierung von erneuerbaren Energien

**Grundlage für die Abbildung regionalisierter Szenarien im
Netzentwicklungsplan Strom 2030 Version 2017**

Konzept und Daten zur Regionalisierung von erneuerbaren Energien

**Grundlage für die Abbildung regionalisierter Szenarien im
Netzentwicklungsplan Strom 2030 Version 2017**

Auftraggeber:

**50Hertz
Amprion
TenneT
TransnetBW**

FfE-Auftragsnummer:

Ten-03

Bearbeiter/in:

**Tobias Schmid
Fabian Jetter
Marc Gallet**

Fertigstellung:

Januar 2016

Letzte Überarbeitung

Oktober 2016

Impressum:

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE)

zum Projekt:

Konzept und Daten zur Regionalisierung von
erneuerbaren Energien

Auftraggeber:

50Hertz
Amprion
TenneT
TransnetBW

Kontakt:

Am Blütenanger 71
80995 München
Tel.: +49 (0) 89 158121-0
Fax: +49 (0) 89 158121-10
E-Mail: info@ffe.de
Internet: www.ffe.de

Wissenschaftlicher Leiter:

Prof. Dr.-Ing. U. Wagner

Geschäftsführer:

Prof. Dr.-Ing. W. Mauch

Projekt-Manager:

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. R. Corradini

Inhalt

Regionalisierung des Ausbaus der erneuerbaren Energien.....	1
1 Windenergie onshore	1
2 Photovoltaik	17
3 Biomasse	25
4 Wasserkraft	25
5 Geothermie	26
6 Deponie-/Klär-/Grubengas.....	26
7 Literaturverzeichnis	27
8 Anhang.....	31

Regionalisierung des Ausbaus der erneuerbaren Energien

Als Grundlage für den Netzentwicklungsplan werden im Rahmen dieser Studie regionalisierte Ausbauszenarien für erneuerbare Energien in Deutschland entwickelt. Aufbauend auf dem aktuellen Anlagenbestand, den aktuellen Rahmenbedingungen wie Flächenausweisung und Ausschreibungsverfahren, den Zielen der Bundesländer sowie den Anträgen bei den Verteilnetzbetreibern wird der zu erwartende Ausbau der erneuerbaren Energien technologiespezifisch und räumlich aufgelöst abgebildet. Die Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE) hat bereits im Rahmen des NEP 2025 eine Methodik zur Regionalisierung der zu erwartenden bundesweiten Ausbauziele für Windenergieanlagen onshore (WEA), Photovoltaikanlagen (PVA), Biomasseanlagen, Wasserkraftanlagen und Anlagen zur Nutzung sonstiger erneuerbarer Energien entwickelt. Diese wurde überarbeitet und an die aktuellen Randbedingungen angepasst.

Im Folgenden wird die aktuelle Methodik erläutert.

1 Windenergie onshore

Bestandsanalyse

Zur räumlichen Abbildung des aktuellen Bestands an Windenergieanlagen onshore (WEA) werden die folgenden Datenquellen herangezogen und zusammengeführt:

- OpenStreetMap /OSM-01 10/
- Aufbereitete Anlagenstammdaten der Übertragungsnetzbetreiber /FFE-40 10/
- Anlagenregister der Bundesnetzagentur /BNetzA-09 15/
- Energieatlas Bayern /STMWI-01 15/
- Windkraftanlagen in Baden-Württemberg /LUBW-01 14/
- Windkraftanlagen in Brandenburg /LUGV-01 14/
- Daten der Planungsbehörden in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz
- Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland /DWG-01 15/

In **Abbildung 1-1** ist eine Heatmap basierend auf der Leistungsdichte der in Deutschland zum Stand Mitte 2015 errichteten WEA dargestellt. Die Schwerpunkte der Windstromerzeugung entlang der Küste sowie in Teilen Sachsen-Anhalts, Brandenburg und der Rheinland-Pfalz sind deutlich zu erkennen.

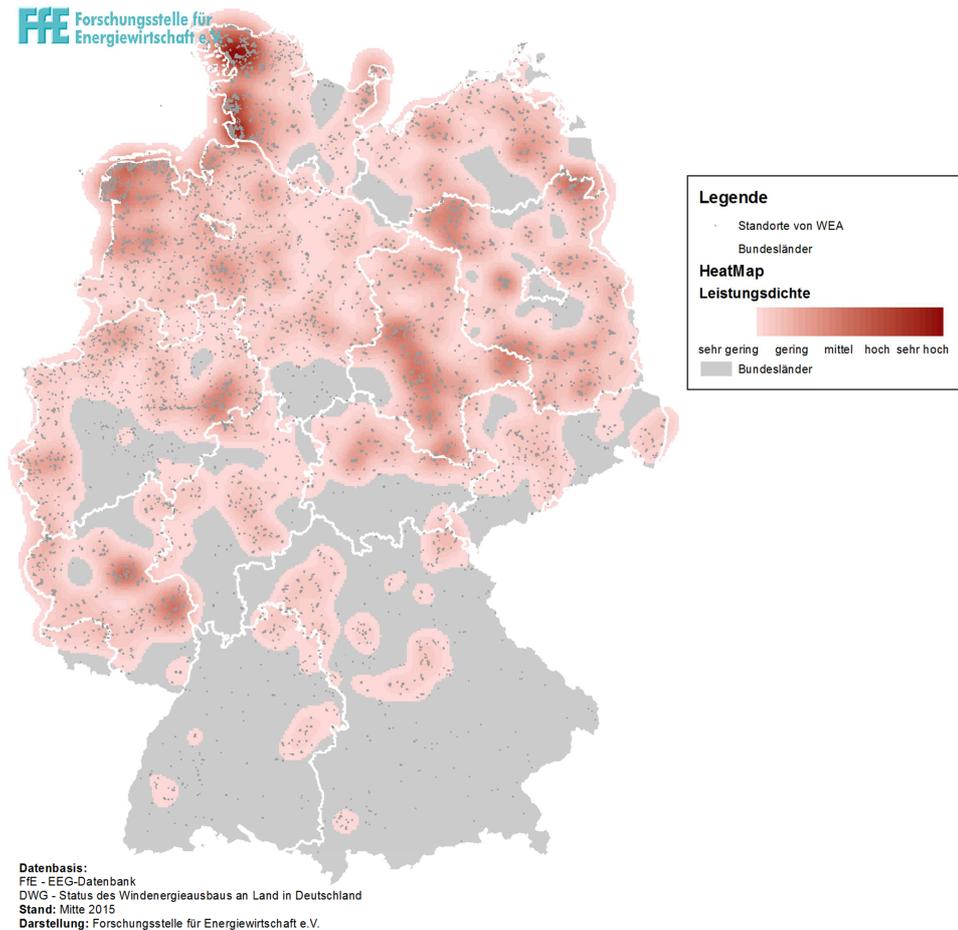


Abbildung 1-1: *Heatmap für die Leistungsdichte der WEA zum Stand Mitte 2015*

In **Tabelle 1-1** ist der georeferenzierte Anlagenbestand – Ausgangsbasis für die weitere Modellierung – dem Anlagenbestand je Bundesland nach /DWG-01 15/, /DWG-01 16/ gegenübergestellt. Durch die Zusammenführung der verschiedenen Bestandslisten (s. o.) kann kein vollständig konsistenter Bestand zu /DWG-01 15/, /DWG-01 16/ erreicht werden. Eine weitere Ursache für Abweichungen ist, dass die Zuordnung einer WEA zu einem Bundesland nahe der Bundeslandgrenze unterschiedlich erfolgen kann. Zum einen über den Anlagenstandort, zum anderen über den Einspeisepunkt in das Stromnetz. Da zunächst ein vollständiger, georeferenzierter Anlagenbestand erstellt wurde, erfolgt nachfolgend die Zuordnung stets über den geographischen Standort der Anlage, nicht über den Einspeisepunkt in das Netz.

Tabelle 1-1: Vergleich des georeferenzierten WEA-Bestands mit /DWG-01 15/, /DWG-01 16/, Angaben in MW.

AGS	Bundesland	Georeferenzierter Bestand	Referenz DWG Ende 2015	Referenz DWG Mitte 2016	Netztransparenzplattform ÜNB
01	SH	5.663	5.389	6.149	5.747
02	HH	61	60	62	64
03	NI	8.746	8.355	8.957	8.357
04	HB	146	167	174	162
05	NW	4.170	3.774	4.319	4.047
06	HE	1.182	1.242	1.477	1.337
07	RP	2.890	2.808	3.003	2.886
08	BW	724	555	880	766
09	BY	1.899	1.618	2.067	1.824
10	SL	304	237	283	311
11	BE	10	4	9	9
12	BB	5.668	5.627	6.099	5.853
13	MV	2.594	2.734	3.006	2.862
14	SN	1.089	1.094	1.134	1.164
15	ST	5.140	4.392	4.689	4.604
16	TH	1.268	1.153	1.242	1.307
	DE	41.554	39.209	43.544	41.302

Analyse der kurzfristigen Entwicklung

Für die Definition des Szenarios ist die kurzfristig zu erwartende Leistung je Bundesland zu ermitteln. Folgende Quellen werden hierfür berücksichtigt:

- Aktueller Anlagenbestand je Bundesland
- Kurzfristig zu erwartende Repoweringmaßnahmen
- Kumulierter historischer Zubau der letzten drei Jahre
- Antragslage bei den Verteil- und Übertragungsnetzbetreibern

Die Berechnung der kurzfristigen Entwicklung erfolgt durch die Übertragungsnetzbetreiber. In **Tabelle 1-2** ist die kurzfristig zu erwartende Entwicklung dem aktuellen Anlagenbestand gegenübergestellt.

Tabelle 1-2: Bestand nach Anlagenregister und kurzfristige Entwicklung. Angaben in MW, Quelle ÜNB.

AGS	Bundesland	Bestand, 31.12.2015	Kurzfristige Entwicklung
01	SH	5.747	7.242
02	HH	64	77
03	NI	8.357	9.591
04	HB	162	190
05	NW	4.047	4.962
06	HE	1.337	1.908
07	RP	2.886	3.721
08	BW	766	1.143
09	BY	1.824	2.417
10	SL	311	392
11	BE	9	13
12	BB	5.853	6.836
13	MV	2.862	3.476
14	SN	1.164	1.281
15	ST	4.604	5.161
16	TH	1.307	1.613
	DE	41.302	50.024

Modell zur kleinräumigen Modellierung neuer WEA

Mit dem Wind-Szenario-Tool (WiSTI) wird der Bau von WEA in einer Auflösung von 200x200m in Anlehnung an /IWES-02 11/ simuliert. **Abbildung 1-2** veranschaulicht schematisch das entsprechende Vorgehen in vier Schritten:

1. Die Zelle mit der höchsten Volllaststundenzahl im Raster wird identifiziert. Dies ist der Standort für die erste WEA.
2. Alle Zellen, die innerhalb eines fest vorgegeben Abstands zur WEA liegen, werden ausgeschlossen. Dieser Abstand beträgt zum Beispiel 5 mal die Länge eines Rotordurchmesser. Der Rotordurchmesser einer WEA beträgt 82 m.
3. Der Algorithmus endet, sobald ein bestimmtes Ausbauziel erreicht ist, oder sobald keine Zellen mehr verfügbar sind - in diesem Fall stellt die resultierende installierte Leistung das gesamte Potenzial für Windkraft dar.

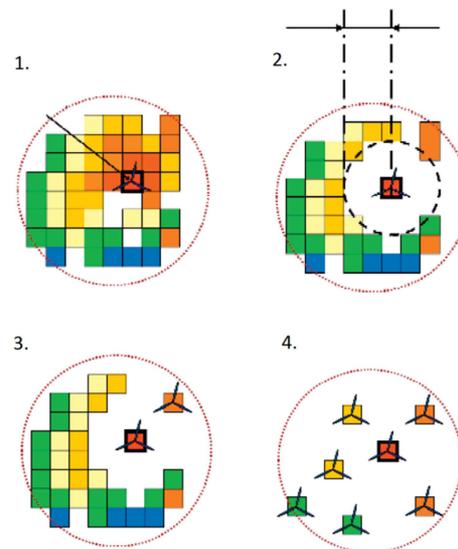


Abbildung 1-2: Methodik zur Standortwahl für WEA in Anlehnung an /IWES-02 11/

Die Grundidee des Modells kann vielseitig eingesetzt werden. Durch die Wahl der Parameter - zum Beispiel Aufwertung der Vorranggebiete, Grenze für die minimalen VLS oder Wahl der Wahrscheinlichkeiten - können verschiedene Fragestellungen beantwortet werden.

Datenbasis „ausgewiesene Flächen“

Als ausgewiesene Flächen werden alle Standorte in Windeignungs-, Windvorrang-, Windvorbehaltsgebieten bezeichnet. Der FfE liegen Geodaten zu aktuellen und geplanten Flächen vor. Nachfolgend sind die Daten der Raumordnungsabfrage der BNetzA, den Raumordnungsplan-Monitor (ROPLAMO) des Bundesinstituts für Bau-Stadt- und Raumforschung (BBSR) und die vorliegenden Geodaten (ohne geplante Gebiete und im Entwurf befindliche Gebiete) gegenübergestellt.

Tabelle 1-3: Vergleich der Flächenausweisung

Bundesland	Raumordnungsabfrage BNetzA [ha]	ROPLAMO-Daten BBSR [ha]	Geodaten [ha]
Baden-Württemberg	18.049	3.687	11.914
Bayern	32.900	26.705	35.722
Berlin/Brandenburg	55.360	22.122	48.902
Bremen	323	--	--
... mit Kommunalplanung	337	--	--
Hamburg	173	--	--
Hessen	51.562	--	56.302
Mecklenburg-Vorpommern	8.400	13.087	14.436
Niedersachsen	20.862	20.460	26.209
Nordrhein-Westfalen	29.600	22.313	37.150
... mit Kommunalplanung	59.227	--	--
Rheinland Pfalz	14.672	10.300	26.153
... mit Kommunalplanung	25.322	--	--
Saarland	849	825	830
... mit Kommunalplanung	4.015	--	--
Sachsen	3.394	3.339	3.333
... mit Kommunalplanung	3.372	--	--
Sachsen-Anhalt	19.410	18.497	20.140

Schleswig Holstein	26.931	26.918	26.931
... mit Kommunalplanung	42.073	--	--
Thüringen	5.294	4.167	2.653

Potenzialanalyse „ausgewiesene Flächen“

Im Rahmen der Potenzialanalyse „ausgewiesene Flächen“ werden alle von den Raumordnungsbehörden zur Verfügung gestellten Shape-Dateien zu den Windvorrang-, Windeigungs- und Windvorbehaltsgebieten ausgewertet. Bei der Parametrierung von WiSTI wird die Erschließungswahrscheinlichkeit für ausgewiesene Flächen auf 100 % gesetzt. Diese Erschließungswahrscheinlichkeit ist unabhängig von der Flächennutzung bzw. Abwertung (Waldgebiete, Landschaftsschutzgebiete,...) des Standorts. Die Erschließungswahrscheinlichkeit außerhalb von ausgewiesenen Flächen wird auf 0 % gesetzt.

Der Abstand zwischen den WEA hat großen Einfluss auf das Potenzial. Der Abstand wird an bestehenden Windparks kalibriert, siehe **Abbildung 1-3**. Es wird angenommen, dass die Hauptwindrichtung in Ost-West-Richtung verläuft. Auf Basis des Abgleichs mit bestehenden Windparks wird in Ost-West-Richtung ein Abstand von 800 m, in Nord-Süd-Richtung von 600 m gewählt. Die Abstandsfläche beschreibt somit ein Oval.

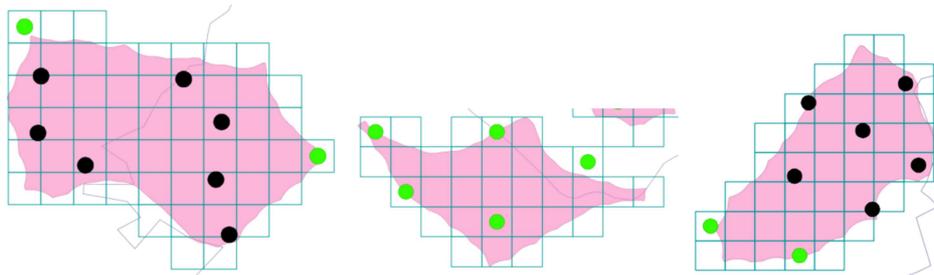


Abbildung 1-3: Bestehende (schwarz) und modellierte (grün) Standorte von WEA

Potenzialanalyse „Repowering“

Die Bestimmung des Repoweringpotenzials erfolgt zunächst unabhängig von einem definierten Ausbaukorridor oder Altersvorgaben für den gesamten Anlagenbestand. Im Rahmen der Modellierung werden bestehende WEA zu Parks zusammengefasst, siehe **Abbildung 1-4**, Schritt 1 und 2. Innerhalb der Windparkfläche werden mittels WiSTI neue WEA errichtet, siehe **Abbildung 1-4**, Schritt 3 und 4. Die Wahl der Parameter entspricht dabei der Potenzialanalyse „ausgewiesene Flächen“.

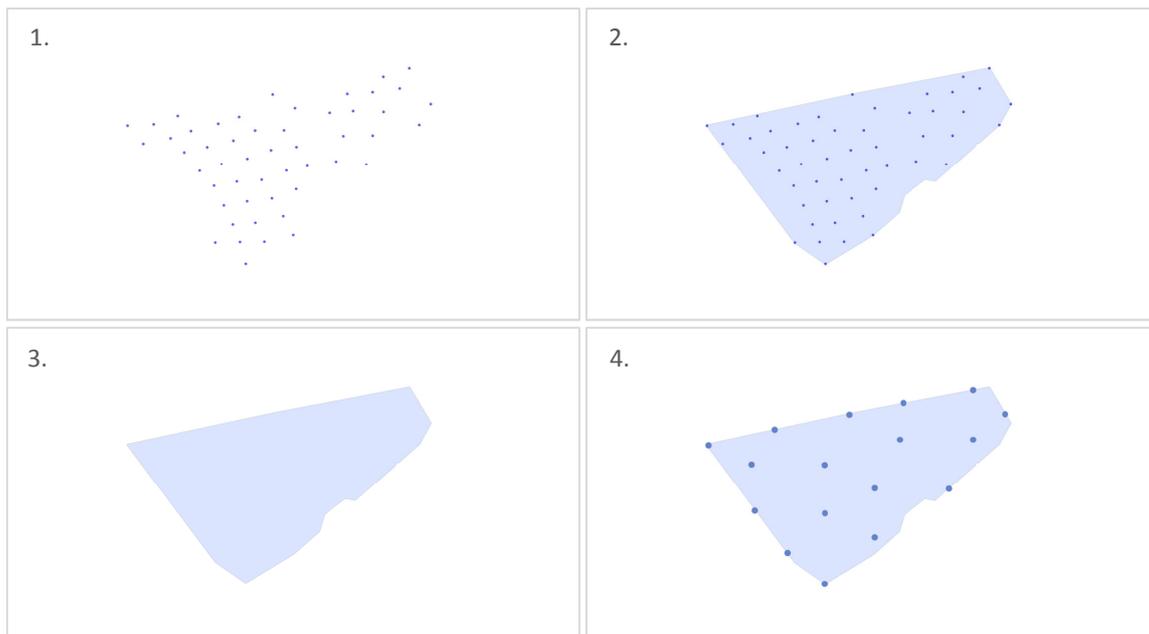


Abbildung 1-4: Schematische Darstellung der Modellierung von Repowering: 1. Bestehende Windenergieanlagen, 2. Definition eines Windparks, der wie eine Vorrangfläche behandelt wird, 3. Außerbetriebnahme der bestehenden Windenergieanlagen, 4. Repowering mit größeren Anlagen

Potenzialanalyse „verfügbare Flächen“

Das Potenzial in allen verfügbaren Flächen weist das maximale Potenzial zur Nutzung der Windkraft in Deutschland aus. Als verfügbare Fläche wird jede nicht grundsätzlich auszuschließende Fläche definiert. Zusätzlich sind bestehende WEA und bereits ausgewiesenen Flächen zu berücksichtigen. Das Ergebnis ist mit weiteren Kriterien wie einem minimalen Ertrag zu begrenzen.

Ausgehend von der gesamten Fläche des Bundesgebietes werden die verschiedenen Flächenkategorien sukzessiv berücksichtigt. Eine vollständige Beschreibung erfolgt in /KLI-01 14/ und entspricht dem Vorgehen in verschiedenen anderen Studie wie /IWES-02 11/, /UBA-04 13/. **Tabelle 1-4** gibt einen Überblick über die verwendeten Geodatenquellen und deren Aktualität.

Tabelle 1-4: *Eingesetzte Geodaten zur Analyse der verfügbaren Fläche für WEA*

Datenquelle		Aktualität
/BKG-01 13/	Digitales Landschaftsmodell topographische Objekte; 1:250.000	2012
/BKG-04 09/	Verwaltungsgrenzen als Vektordaten; 1:250.000	2008, lfd. Aktual.
/OSM-01 12/	OpenStreetMap	2014, lfd. Aktual.
/BFN-01 11/, /BFN-01 13/	Bundesamt für Naturschutz Natura 2000	2012, 2014
/BFG-01 13/	Bundesamt für Gewässerkunde Wasserschutzgebiete in Deutschland	2009-2013
/CLC-01 09/	CORINE Land Cover 1:100.000	2006, 2012
/BKG-02 13/	Digitales Geländemodell, Gitterweite 200 m	2013

Basierend auf diesen Datenquellen wurden die Ausschlussflächen und Abstände nach **Tabelle 1-5** definiert. WEA können nicht in diesen Flächen errichtet werden.

Tabelle 1-5: *Ausschlussflächen und Abstände*

Ausschlussfläche	Abstand in Meter
Gewässer (Still- und Fließgewässer)	50
Flughafen	4000
Schienen	100
Bahnhof	800
Verkehr Autobahn	100
Verkehr Bundesstraße	50
Verkehr Kreisstraße	20
Siedlungsfläche	800
Einzelgebäude	800
Industriefläche	400
Sonstige Fläche	400
Naturschutzgebiet	200
Flora-Fauna-Habitat	200
Nationalpark	200
Vogelschutzgebiet	200
Wasserschutzgebiet (Zone I+II) 0	0
Drehfunkanlagen	15.000
Siedlungen in Bayern	2.000

Wie Tabelle 1-5 zu entnehmen ist, wurden die Drehfunkanlagen und zusätzliche Abstände zu den Siedlungen in Bayern ergänzt. Abweichend von der vorangegangenen Regionalisierung und basierend auf den Anmerkungen der BNetzA vom 30.06.2016 zur Umsetzung zum Szenariorahmen werden nun die 10-H Regel in Bayern und die Drehfunkfeuer (siehe Anhang) in Deutschland berücksichtigt.

Eine Bestandsanalyse hat gezeigt, dass Naturparke und Landschaftsschutzgebiete einen signifikanten Anlagenbestand aufweisen. Ihre Nutzung darf somit nicht vollständig

ausgeschlossen werden. Biosphärenreservate sind differenziert zu betrachten und müssen möglicherweise ausgeschlossen werden. /HSWT-01 13/ beschreibt die Standortfindung in Naturparks mittels Zonierungskonzept. Die Nutzung von Wäldern und notwendige Einschränkungen werden unter anderem in /STMELF-01 13/, /MKUNRW-01 11/, /BSR-01 11/ diskutiert. Eine Nutzung der Wälder wird auch in den Potenzialstudien /IWES-02 11/ und /UBA-04 13/ angenommen. Eine sorgfältige Standortwahl wird vom Bundesamt für Naturschutz in Wäldern gefordert. Eine Fokussierung auf bereits intensiv forstwirtschaftlich genutzte Wälder, wie z. B. Fichten- und Kiefernforste, kommt somit in Frage /BFN-03 11/.

Somit sind Gebiete mit eingeschränkter Nutzbarkeit: Waldgebiete, Biosphärenreservate, Landschaftsschutzgebiete, Naturpark und Ramsargebiete. WEA können unter bestimmten Umständen in diesen Gebieten errichtet werden. Bei der Ausweisung der verfügbaren Fläche sind diese Gebiete zu berücksichtigen. Eine gesonderte Ausweisung ist sinnvoll.

Aufgrund erschwerter Erschließbarkeit und vergleichsweise hohen Investitionen werden Standorte mit großen Hangneigungen seltener erschlossen. Eine Auswertung hierzu ist in **Abbildung 1-5** dargestellt.

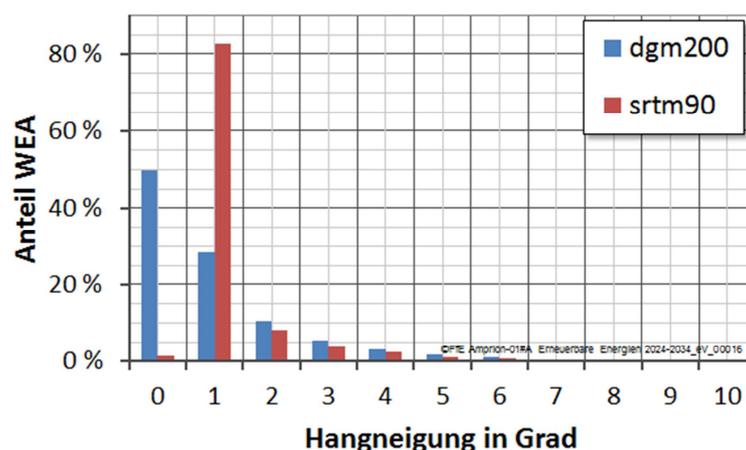


Abbildung 1-5: Standorte von WEA in Abhängigkeit der Hangneigung und des verwendeten Geländemodells; Digitales Geländemodell (dgm) und Shuttle Radar Topography Mission (srtm)

Es wird angenommen, dass Standorte mit einer Hangneigung von mehr als 5° nicht erschlossen werden, siehe **Abbildung 1-7**. Die Hangneigung bezieht sich hierbei aus Modellkompatibilitätsgründen auf das DGM-Raster mit einer Schrittweite von 200 m (siehe auch Schrittweite der DWD-Winddaten). Abweichend hiervon können in Einzelfällen WEA auch an Standorten mit größerer Hangneigung errichtet werden. Nachfolgend bleiben diese Standorte ausgeschlossen.

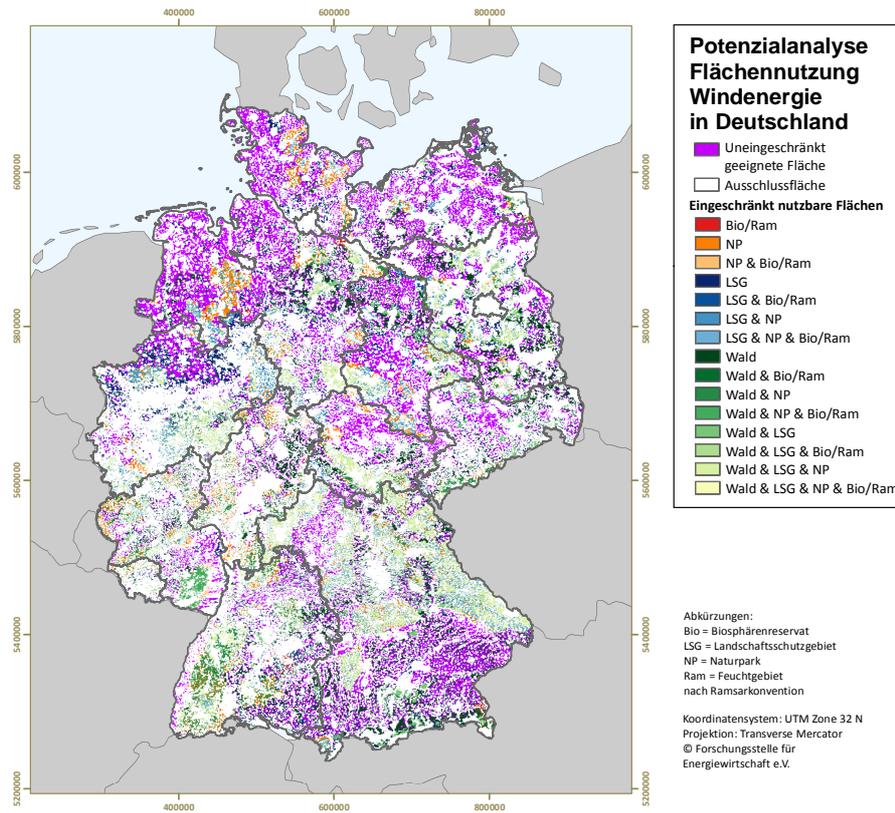


Abbildung 1-6: *Uneingeschränkt und eingeschränkt nutzbare Flächen für Windenergie in Deutschland /KLI-01 14/*

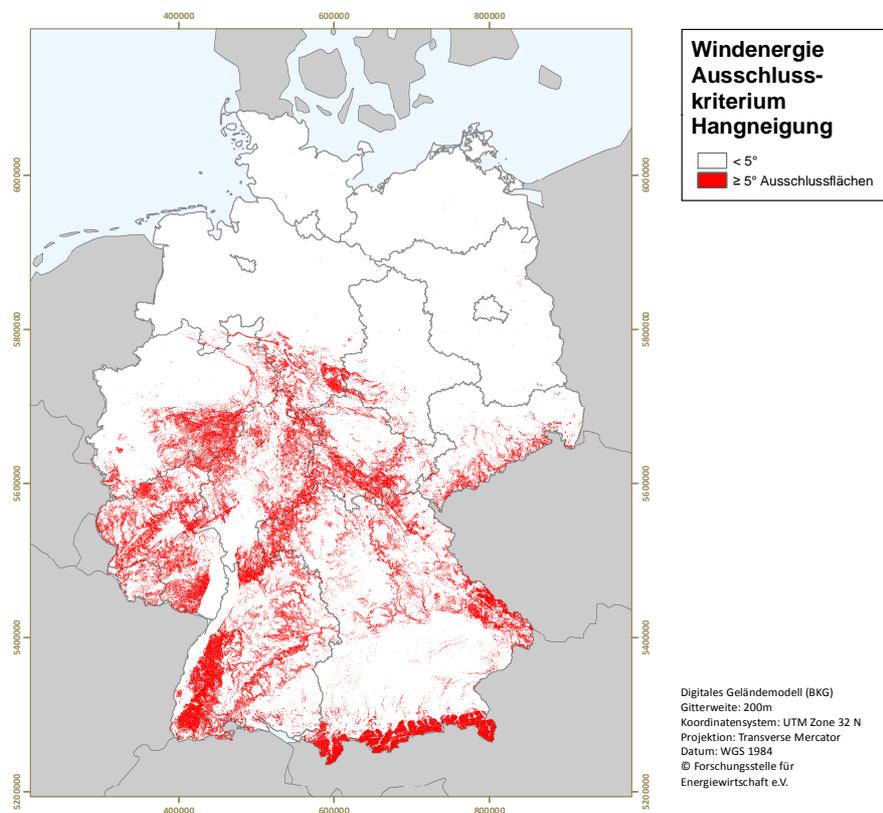


Abbildung 1-7: *Ausschluss von Standorten mit einer Hangneigung von mehr als 5°, Rasterweite 200 m /KLI-01 14/*

Potenzieller Ertrag

Die Standorte der Potenzialanalyse werden zusätzlich durch Berücksichtigung der potenziellen Volllaststunden und Vorgabe eines minimalen Ertrags weiter eingeschränkt. Die potenziellen Volllaststunden werden basierend auf den Weibull-Verteilungen der Windgeschwindigkeit /DWD-02 12/ bestimmt. Diese Daten liegen für ein 200 m-Raster vor und erlauben unter Auswahl einer Kennlinie die Berechnung des potenziellen Ertrags in 80 m Höhe über Grund. Für größere Höhen liegen nur die mittleren Windgeschwindigkeiten vor. Aus diesen können keine potenziellen Volllaststunden berechnet werden. Auch in der BWE-Studie zum Potenzial der Windenergienutzung an Land /IWES-02 11/ werden DWD-Daten in 80 m Höhe verwendet. Die äquivalenten Volllaststunden in größeren Höhen steigen mit etwa 1 % je Höhenmeter. 1.000 h in 80 m Höhe entsprechen somit 1.700 h in 150 m Höhe.

Der Grenzwert nach /IWES-02 11/ für Starkwindanlagen beträgt somit 1.330 h in 80 m Höhe bzw. für Schwachwindanlagen 940 h in 80 m Höhe. Diese Werte passen gut mit den Analysen der Bestandsanlagen überein. In **Abbildung 1-8** sind die potenziellen Volllaststunden für eine Enercon E82 E2 (Leistung: 3,0 MW; Rotordurchmesser: 82 m; typische Nabenhöhe: 78 m) dargestellt.

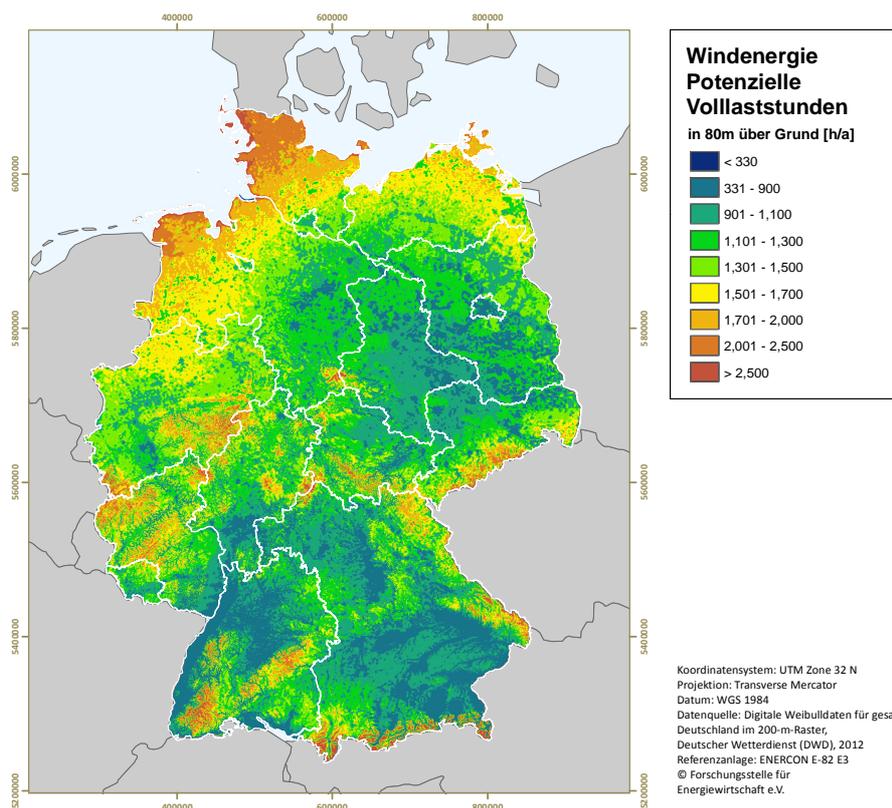


Abbildung 1-8: *Potenzielle Volllaststunden in 80 m über Grund. Visualisierung nach /KLI-01 14/, Datenbasis /DWD-02 12/*

Durch die geringe Höhe über Grund des Datensatzes bildet dieser deutlich die Oberflächenrauigkeit (Wälder, Siedlungen) ab (siehe auch /KLI-01 14/, Abbildung 5). Mit zunehmender Höhe würde diese Information wieder verschwinden.

Bewertung verschiedener Standorte

Die Standorte werden hinsichtlich ihrer Einschränkungen nach Abbildung 1-6 und in Anlehnung an /IWES-02 11/ klassifiziert. Die Bewertung einzelner Standortkategorien ergibt sich aus der aktuellen Erschließungsquote. In **Abbildung 1-9** sind die Ergebnisse nach /IWES-02 11/ und das Potenzial dieser Untersuchung gegenübergestellt. Die unterschiedlichen Punktgrößen der Darstellungen sind bei der Interpretation zu berücksichtigen.

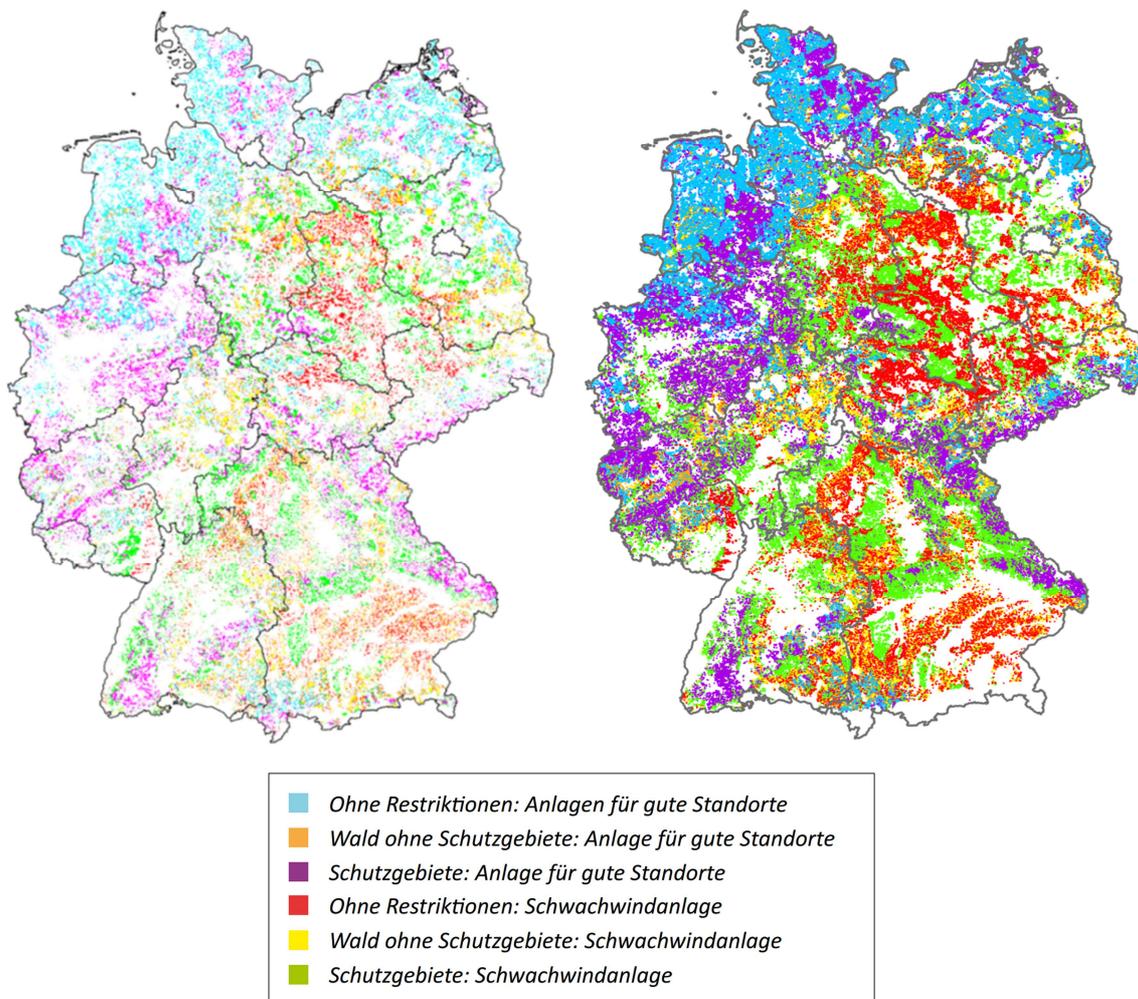


Abbildung 1-9: Potenzielle Standorte für WEA: /IWES-02 11/ (links), FfE (rechts)

Die Berechnung des bewerteten Potenzials erfolgt abweichend von der Klassifizierung nach Abbildung 1-9 mit den in Tabelle 1-6 dargestellten Kategorien und Bewertungen. Standorte in Biosphärenreservaten werden mit 0 % bewertet. Die Bewertungen ergeben sich aus dem Vergleich des Anlagenbestands mit den potenziellen Standorten sowie einer logischen Abstufung verschiedener Standortkategorien untereinander. Schwachwindstandorte werden mit 77 % bewertet. Dies korreliert mit dem größeren Flächenverbrauch bei gleicher Leistung bzw. geringer Leistung bei gleichem Rotordurchmesser und ergibt sich aus dem Verhältnis von 2,3 MW zu 3,0 MW.

Tabelle 1-6: Bewertung verschiedener Standortkategorien

Standortkategorie	Bewertung
uneingeschränkt nutzbarer Standort	100 %
Waldgebiet, keine weitere Einschränkung	50 %
Landschaftsschutzgebiet	40 %
Naturpark	40 %
Landschaftsschutzgebiet und Naturpark	20 %
Waldgebiet, Landschaftsschutzgebiet	20 %
Waldgebiet, Naturpark	20 %
Waldgebiet, Landschaftsschutzgebiet und Naturpark	10 %
Zusätzliche, multiplikative Abwertung	
Schwachwindstandort	75 %

Zusammenfassung der Potenziale

In **Abbildung 1-10** sind die zuvor ermittelten Potenziale gegenübergestellt.

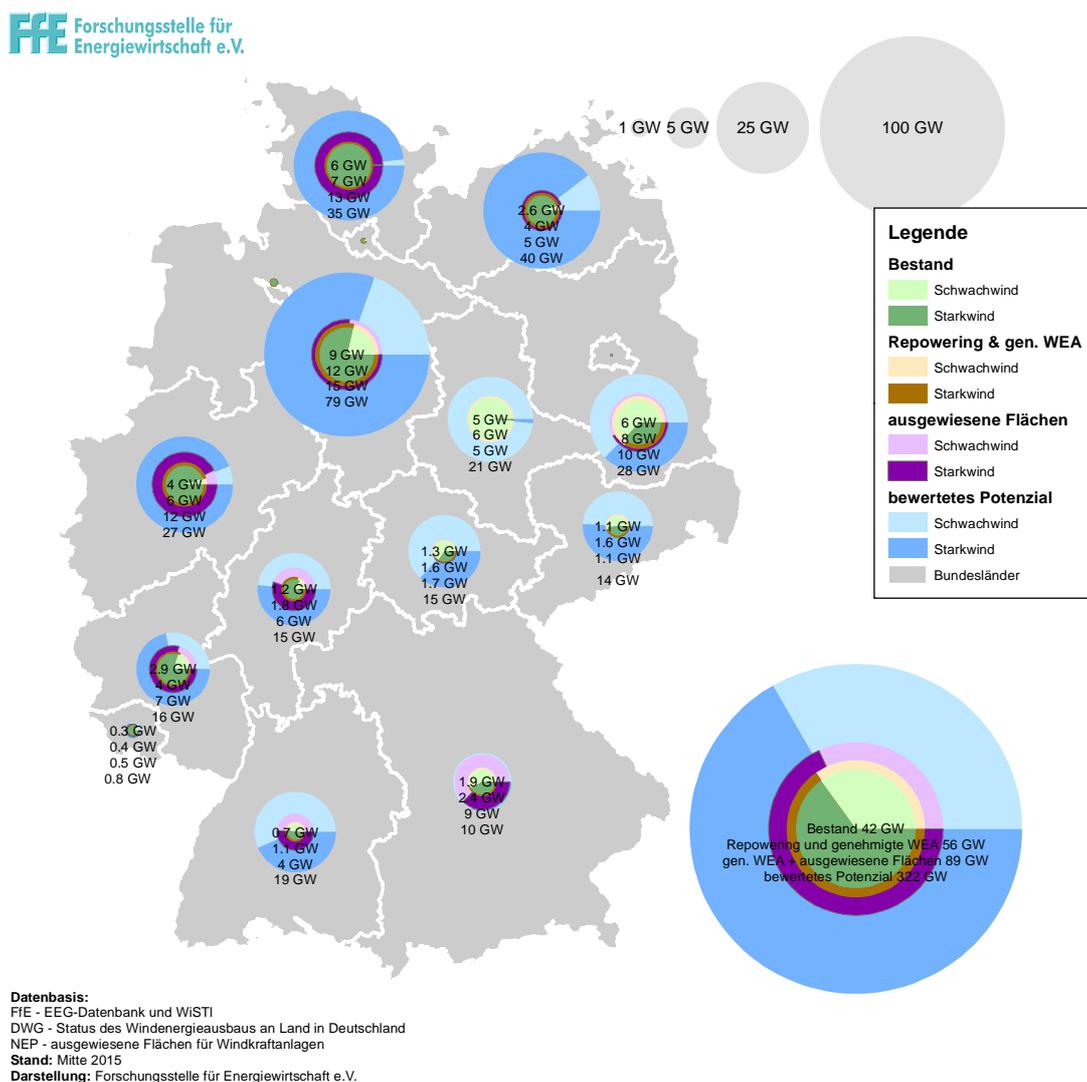


Abbildung 1-10: Bestand und Potenzial je Bundesland und Anlagentyp

Ziele der Bundesländer

Die Ziele der Bundesländer ergeben sich aus den Bundeslandrückmeldungen.

Berechnung der Bundeslandmantelzahl

Die zuvor definierten Potenziale und Ziele sollen als Randbedingungen über einen funktionalen und transparenten Zusammenhang zu einem Szenario zusammengeführt werden. Nachfolgend werden die einzelnen Randbedingungen vorgestellt und der funktionale Zusammenhang erarbeitet. Der funktionale Zusammenhang beschreibt die installierte Leistung je Szenario und Bundesland und stellt die Basis für die nachfolgende kleinräumige Verteilung dar.

Bestand

Der Anlagenbestand je Bundesland zum Stand Ende 2015.

$$P^{2015}(BL) \quad (1-1)$$

Kurzfristiger Zubau

Der kurzfristige Zubau ergibt sich aus dem Mittelwert des Maximums aus den Rückmeldungen der Verteilnetzbetreiber und dem erwarteten Repowering sowie dem historischen Zubau der vergangenen drei Jahre.

$$\Delta P^{Kurz}(BL) = \text{Mittelwert}(\text{Max}(\Delta P^{VNB}(BL); \Delta P^{\text{Repowering}}(BL)); \Delta P^{\text{Historisch}}(BL)) \quad (1-2)$$

Meldung der Bundesländer

Rückmeldungen der Bundesländer.

$$P^{BL}(BL) \quad (1-3)$$

Bewertetes Potenzial

Das bewertete Potenzial in verfügbaren Flächen wird über die Bewertungen nach Tabelle 1-6 berechnet. Das bewertete Potenzial ist unabhängig von ausgewiesenen Flächen oder Ausbauzielen, sondern beschreibt eine rein technische Bewertung der potenziellen Standorte. Als Mindestertrag für neue Standorte außerhalb von Vorrangflächen werden 1.000 h/a in 80 m Höhe angesetzt.

$$P_{Bew}^{Pot}(BL) \quad (1-4)$$

Kurzfristige Erwartung und Repowering

Die kurzfristige Erwartung zuzüglich des zu erwartenden Repowerings wird aus der Summe des kurzfristigen Zubaus und des Repowering bestimmt.

$$P^{Kurz}(BL) = P^{2015}(BL) + \Delta P^{Kurz}(BL) \quad (1-5)$$

Bewertetes Restpotenzial

Das bewertete Restpotenzial berücksichtigt den Bestand und die kurzfristige Entwicklung inkl. der Leistungssteigerung durch Repowering

$$P_{Bew}^{Rest-Pot}(BL) = P_{Bew}^{Pot}(BL) - \Delta P^{Kurz}(BL) \quad (1-6)$$

Szenario „langfristige Entwicklung“

Die Definition des Szenarios „langfristige Entwicklung“ orientiert sich im NEP2030 Version 2017 am Szenario C2030, da dieses gemäß Genehmigung zum Szenariorahmen im Vergleich die höchste installierte Leistung für den Energieträger Wind Onshore aufweist. Dabei werden die ausgewiesenen und verfügbaren Flächen für WEA sowie ein Mindestertrag berücksichtigt. Die Modellierung des Ausbaus erfolgt deutschlandweit mit einheitlichen Parametern. Vorrangflächen werden bevorzugt erschlossen, abgewertete Gebiete (zum Beispiel Waldgebiete) nachrangig mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit. Starkwindstandorte werden eher erschlossen als Schwachwindstandorte. Die Bewertung von Schwachwindstandorten beträgt 75 % des Wertes für einen vergleichbaren Starkwindstandort und resultiert aus den unterschiedlichen Erschließungsquoten nach Abbildung 1-10.

Eine Randbedingung für den maximalen Zubau sind die Ziele der Bundesländer, da unterstellt wird, dass diese eine Rückwirkung auf die Ausweisung von Vorrangflächen haben. Somit stellt das Bundeslandziel eine obere Grenze für den Ausbau dar, die jedoch durch die absehbare, kurzfristige Entwicklung überschritten werden kann.

Szenarien A 2030, B 2030, C 2030, B 2035

Die Berechnung der Szenarien A2030, B2030, C2030 und B2035 basiert auf den zuvor eingeführten Variablen je Bundesland:

- Bestehende WEA
- Kurzfristige Entwicklung
- Szenario „langfristige Entwicklung“

Diese Randbedingungen beeinflussen die zukünftige Ausbaudynamik der einzelnen Bundesländer. Der im Rahmen des NEP 2025 gewählte Ansatz wird weitestgehend übernommen. Somit wird der Teil der Ausbaudynamik, der unabhängig von den Ausbauzielen Deutschlands und den jeweiligen Ausbauzielen der Bundesländer ist, über einen zusätzlichen Stützpunkt abgebildet. Dieser Stützpunkt stellt die zu erwartende, kurzfristige Entwicklung dar.

Bei der Regionalisierung der Windenergie Onshore wird kein zeitlicher Verlauf des Ausbaus modelliert, sondern es werden lediglich die Stützjahre regionalisiert abgebildet. Daher kann auch dem zuvor definierten zusätzlichen Stützpunkt kein exaktes Jahr zugeordnet werden, sondern repräsentiert lediglich die absehbare, kurzfristige Entwicklung des Ausbaus. Er orientiert sich jedoch an einem Zeitraum von drei Jahren.

Die Szenarien werden durch eine Interpolation zwischen der kurzfristige Erwartung inkl. Repowering und dem Ergebnis aus dem Szenario „langfristige Entwicklung“ gebildet. Zunächst wird der gesamte Zubau des Szenarios „langfristige Entwicklung“ je Bundesland bestimmt.

$$\Delta P^{Zukunft}(BL) = P^{Zukunft}(BL) - P^{2015}(BL) - \Delta P^{Kurz}(BL) \quad (1-7)$$

Die Ableitung der installierten Leistungen je Bundesland erfolgt jeweils basierend auf den Mantelzahlen je Jahr und Szenario

$$P^{A30}(BL) = P^{Kurz}(BL) + \Delta P^{Zukunft}(BL) \cdot \frac{P^{A30}(DE) - \sum_{BL} P^{Kurz}(BL)}{P^{Zukunft}(DE) - \sum_{BL} P^{Kurz}(BL)} \quad (1-8)$$

$$P^{B30}(BL) = P^{Kurz}(BL) + \Delta P^{Zukunft}(BL) \cdot \frac{P^{B30}(DE) - \sum_{BL} P^{Kurz}(BL)}{P^{Zukunft}(DE) - \sum_{BL} P^{Kurz}(BL)} \quad (1-9)$$

$$P^{C30}(BL) = P^{Kurz}(BL) + \Delta P^{Zukunft}(BL) \cdot \frac{P^{C30}(DE) - \sum_{BL} P^{Kurz}(BL)}{P^{Zukunft}(DE) - \sum_{BL} P^{Kurz}(BL)} \quad (1-10)$$

Abbildung 1-11 zeigt beispielhaft wie die unterschiedliche Ausbaudynamik der einzelnen Bundesländer über entsprechende Stützpunkte abgebildet wird.

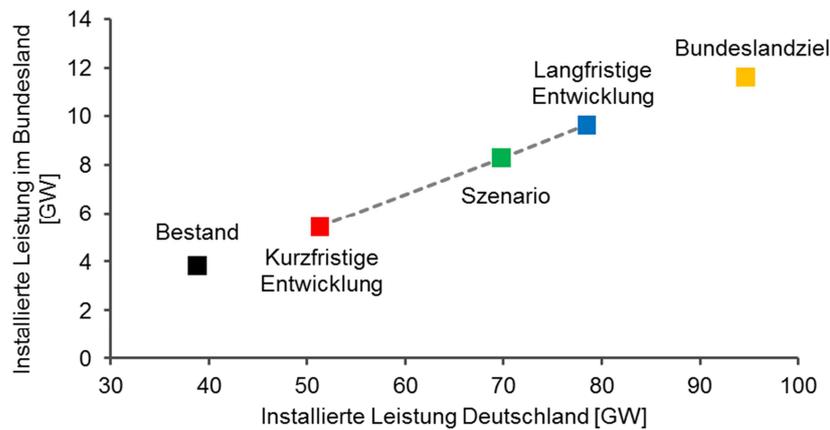


Abbildung 1-11: Visualisierung der Berechnung

2 Photovoltaik

Bestandsanalyse

Die FfE-EEG-Datenbank (EEGDB) führt die Anlagenregister der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) zusammen und reichert die Anlagendaten mit zusätzlichen Informationen an. Die Erfassung des Anlagenbestands erfolgt über monatliche Downloads der aktuellen Anlagenregister der ÜNB von deren Internetseiten sowie über jährliche Downloads der Anlagenregister (Jahresmeldung) und Bewegungsdaten im August, siehe **Abbildung 2-1**. In einer weiteren Tabelle wird eine eindeutige Liste der Kombinationen aus Anlagenschlüssel und Übertragungsnetzbetreiber gesichert. Temporäre bzw. provisorische Anlagenschlüssel werden gefiltert und gehen nicht in diese Liste ein.

Ab August 2014 werden neue PVA dem PV-Anlagenregister der Bundesnetzagentur entnommen. Die Meldungen der ÜNB wurden mit diesem Zeitpunkt teilweise eingestellt. Ausnahme hiervon ist TenneT. Die EEGDB umfasst ab August 2014 neue Anlagen nach den Anlagenregistern der BNetzA und TenneT.

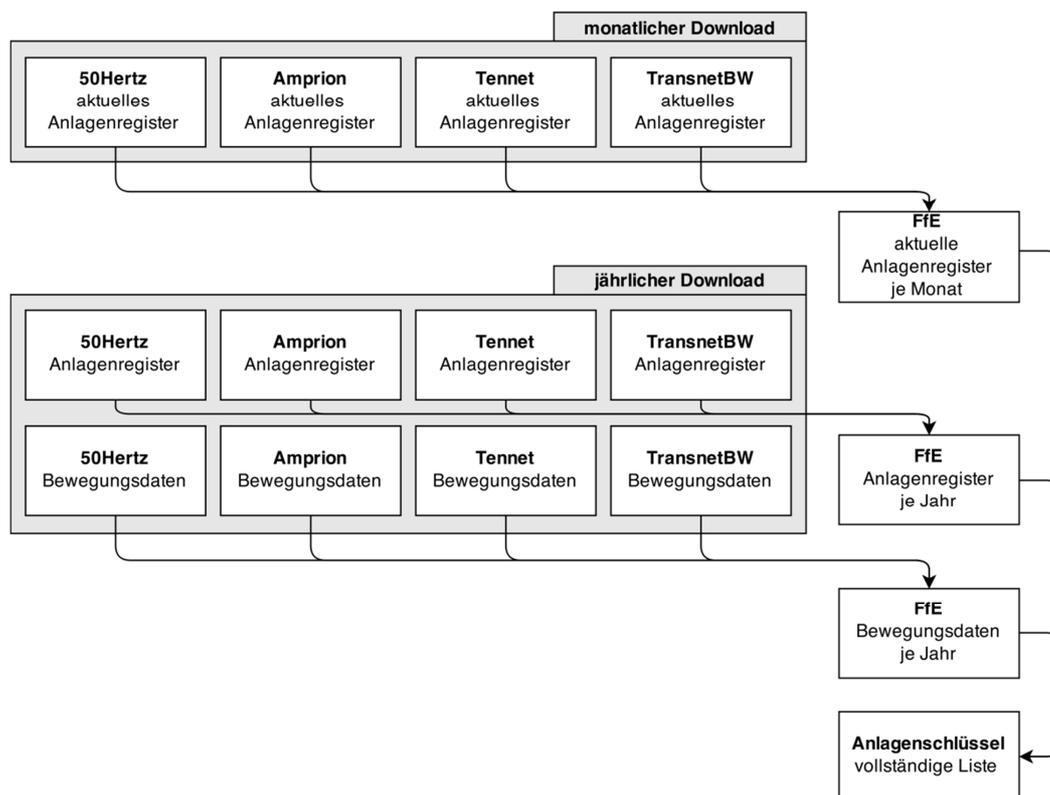


Abbildung 2-1: Zusammenführung der Quellen in der EEGDB bis Juli 2014.

Die Zusammenführung der Anlagenregister aus den verschiedenen Datenquellen umfasst auch eine Standardisierung der Attribute. Fehlende oder gekürzte Attribute (zum Beispiel die Angabe des Standorts als Straßename mit bzw. ohne Hausnummer) können aus zurückliegenden Anlagenregistern wiederhergestellt werden. Zu jedem Anlagenschlüssel und Parameter kann somit ein zeitlicher Verlauf angegeben werden. Dies ermöglicht es zum Beispiel, Gebiete zu identifizieren, in denen der Verteilnetzbetreiber (VNB) gewechselt hat. Auch können fehlende VNB-Meldungen

(einzelne VNB melden unter Umständen für einzelne Monate nicht) kompensiert werden. Nur durch den Abgleich mit den historischen Daten ist eine möglichst aktuelle und zugleich vollständige Erfassung aller regenerativen Erzeuger möglich.

Im Rahmen der EEGDB werden den PVA weitere Attribute hinzugefügt. Für viele Analysen ist die Art der Anlage bzw. die Nutzung des Gebäudes relevant. Die Anreicherung der PVA mit dem Attribut „Anlagentyp“ ist in **Abbildung 2-2** dargestellt. Über die Vergütungskategorien aus den Bewegungsdaten können die Freiflächenanlagen identifiziert werden. Nach Georeferenzierung der PVA auf Gebäuden basierend auf dem OpenStreetMap-Datensatz (OSM) können die Flächennutzung (basierend auf /CLC-01 09/, /OSM-01 12/, /BKG-01 13/) und daraus die Gebäudenutzung je PV-Anlage abgeleitet werden. Es resultiert ein PV-Anlagenbestand mit den Attributen der Anlagenregister angereichert mit der Art des Gebäudes.

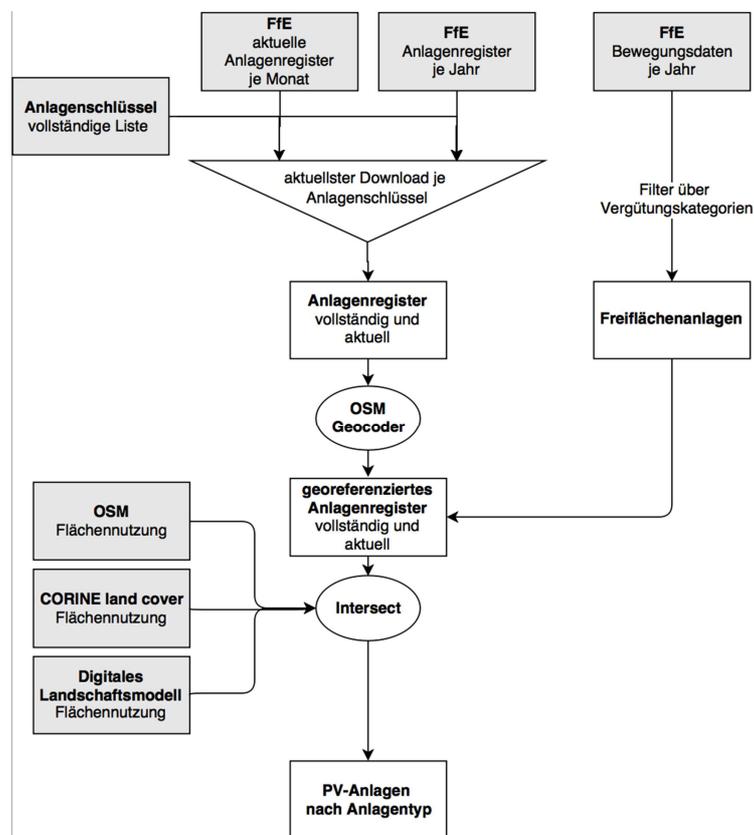


Abbildung 2-2: *Aufbereitung der Anlagenregister in der EEGDB*

Abbildung 2-3 stellt den georeferenzierten Anlagenbestand für eine Stadt dar.

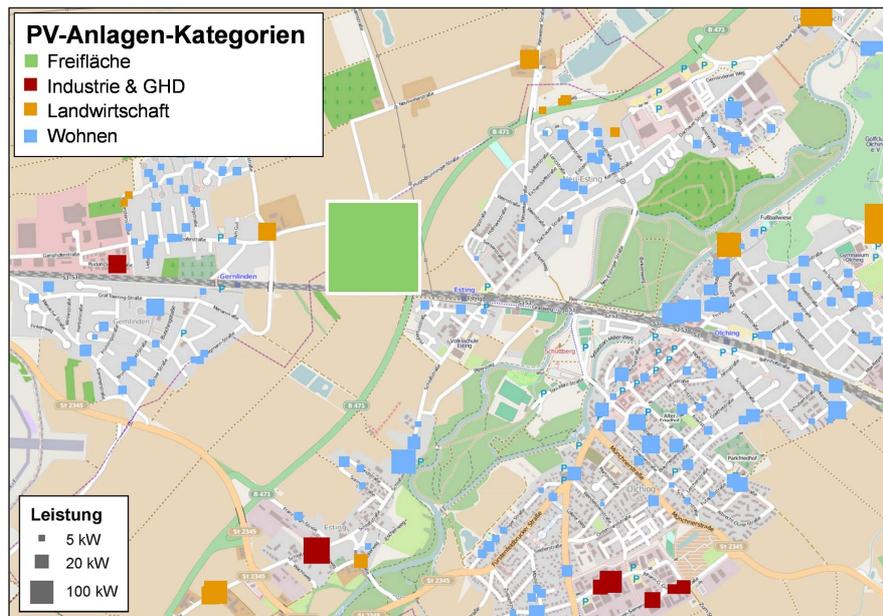


Abbildung 2-3: *Georeferenzierter PVA-Bestand inklusive Identifikation verschiedener Anlagen-Kategorien*

Im Rahmen von laufenden Arbeiten an der FfE werden weitere Merkmale je PVA erfasst. Die EEGDB wird somit laufend an die aktuellen Fragestellungen und Bedürfnissen angepasst.

Differenzierung des Zubaus nach Gebäude-PVA und Freiflächen-PVA

Basierend auf dem FFAV und dem Zubaukorridor wird angenommen, dass je 2.500 MW Zubau an PVA 400 MW Freiflächen-PVA und 2.100 MW Gebäude-PVA errichtet werden.

Potenzial auf Gebäuden

Bei der Bestimmung des PV-Potenzials auf Gebäuden werden die folgenden Kategorien unterschieden: Wohngebäude, gewerbliche Gebäude (Industrie und Gewerbe/Handel/Dienstleistungen) und landwirtschaftliche Gebäude. Das resultierende Potenzial für jede dieser Kategorien berechnet sich auf Basis folgender Untersuchungen:

- Auswertung von Daten der Statistischen Landesämter zur Gebäudestruktur und Wohnfläche /DESTATIS-07 12/
- Auswertung der Flächennutzung nach OpenStreetMap und CORINE Landcover (CLC) /OSM-01 10/, /CLC-01 09/
- Klassifizierung nach Gebäudetyp
- Klassifizierung nach Siedlungstyp
- Auswertung ausgewählter Solardachkataster
- Parametrisierung der siedlungstypischen Verschattung
- Analyse von Dachaufbauten

Das Flächenpotenzial für den Ausbau von PV-Freiflächenanlagen übersteigt den bisherigen Ausbau um ein Vielfaches. Die nach der „Verordnung zur Ausschreibung – der finanziellen Förderung für Freiflächenanlagen“ (Freiflächen-

ausschreibungsverordnung – FAAV) /FFAV-01 15/ vergütungsfähigen Ackerflächen in sog. „benachteiligten Gebieten“ besitzen ein vernachlässigbares Flächenpotenzial, da die Erschließung dieser Flächen auf maximal zehn Projekte pro Jahr beschränkt ist. Daher wird das Potenzial für PV-Freiflächenanlagen auf die Nutzung von Flächen entlang von Verkehrswegen begrenzt. Konversionsflächen werden nicht gesondert betrachtet, da diese bereits zu einem Großteil erschlossen sind und deren Nutzung mit zusätzlichen Kosten verbunden sein kann.

Modell für Gebäude-PVA

Die Modellierung des zu erwartenden Ausbaus der PV-Anlagen auf Gebäuden erfolgte im NEP 2025 über eine asymmetrische Sigmoidfunktion je Gemeinde. Dabei werden die Entwicklung des historischen Ausbaus sowie das Potenzial als Eingangsparameter herangezogen (Bottom-Up Ansatz). **Abbildung 2-4** veranschaulicht beispielhaft die resultierenden Ausbaukurven ausgewählter Gemeinden.

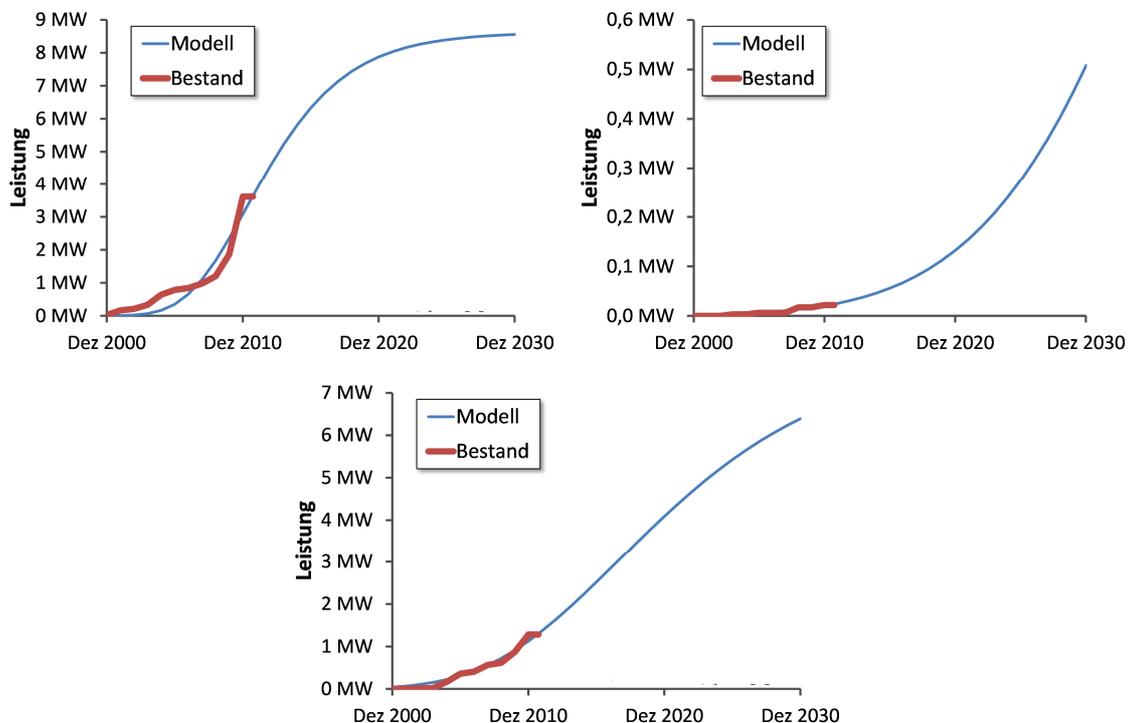


Abbildung 2-4: Ausbaukurven ausgewählter Gemeinden (Bottom-Up-Ansatz)

Anschließend erfolgt eine Faltung der resultierenden Ausbaukurven, so dass in Summe die bundesweiten Ausbauziele (Mantelzahlen) erreicht werden.

Im Rahmen einer Überarbeitung und Optimierung des Verfahrens werden nun direkt die gefalteten Kurven berechnet. Somit werden weiterhin die historische Ausbaugeschwindigkeit und das regionale Potenzial berücksichtigt. Der Ausbaugrad ist gegeben durch den Quotienten aus Anlagenbestand und Potenzial. Der Ausbaugrad in Deutschland wird in **Abbildung 2-5** auf der x-Achse aufgetragen. Der Ausbaugrad von drei ausgewählten Gemeinden auf der y-Achse. Die Gemeinden unterscheiden sich deutlich in ihrem aktuellen Ausbau. Um den weiteren Ausbau zu beschreiben, wird für jede Gemeinde ein Parameter alpha aus dem funktionalen Zusammenhang nach **Gleichung (2-1)** bestimmt.

$$\frac{PV(GE)}{Pot(GE)} = \left(\frac{PV(DE)}{Pot(DE)} \right)^{\alpha(GE)} \tag{2-1}$$

- PV(GE) Leistung der PV-Anlagen auf Gebäuden in der Gemeinde
- Pot(GE) Dachflächenpotenzial für PV-Anlagen in der Gemeinde
- PV(DE) Leistung der PV-Anlagen auf Gebäuden in Deutschland
- Pot(DE) Dachflächenpotenzial für PV-Anlagen in Deutschland
- $\alpha(GE)$ Gemeindegenspezifischer Parameter zur Beschreibung der Ausbaudynamik

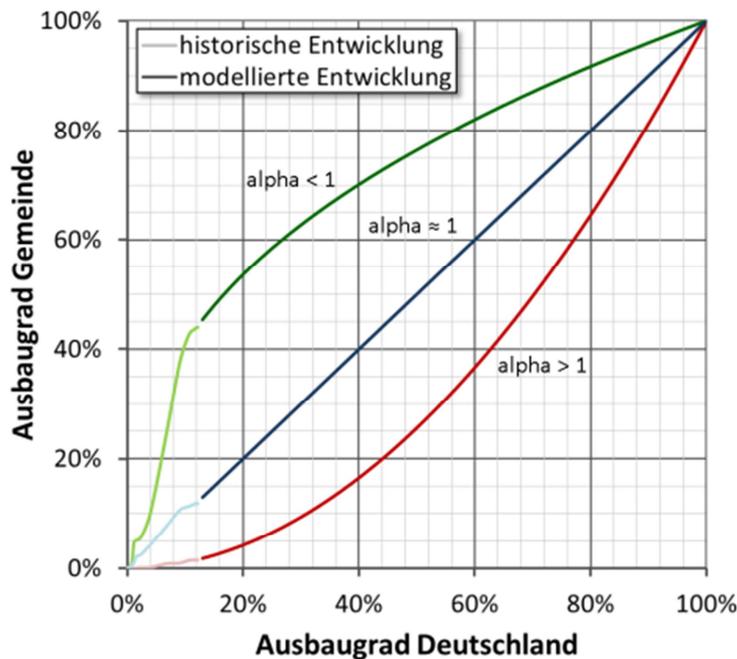


Abbildung 2-5: Bestimmung des Parameters Alpha für drei ausgewählte Gemeinden

Diese Gleichung (2-1) kann mit den vorliegenden Daten exakt gelöst werden. Mit dem Parameter α und dem Potenzial kann für jede Gemeinde zu jedem Ausbauziel für Deutschland die installierte Leistung direkt abgelesen werden. Basierend auf den extern vorgegeben Ausbaukurven wurden die beispielhaften Ergebnisse für zwei Gemeinden in **Abbildung 2-6** berechnet.

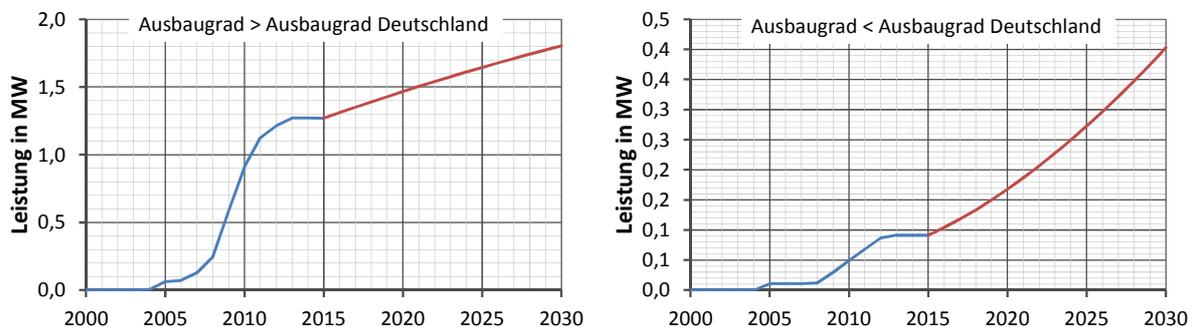


Abbildung 2-6: Ausbaukurven PVA für zwei ausgewählte Gemeinden in Deutschland

Modell für Freiflächen-PVA

Unter Berücksichtigung der neuen Randbedingung basierend auf dem Ausschreibungsverfahren wird basierend auf dem Flächenpotenzial und dem

Ertragspotenzial ein Freiflächenindex gebildet. Dieser ist proportional zum Potenzial für Freiflächenanlagen und kann zur Modellierung des Ausbaus von Freiflächenanlagen verwendet werden.

Flächenpotenzial

Das Flächenpotential für Freiflächen wird anhand von räumlichen Analysen für jede Gemeinde ermittelt. Aufgrund der aufgezeigten geringen Relevanz von Ackerflächen in benachteiligten Gebieten sowie fehlenden Informationen über den Bestand an Konversionsflächen werden für die Potenzialanalyse nur Flächen entlang von Verkehrswegen berücksichtigt.

Die potenziellen Flächen für Freiflächenanlagen bilden Flächen im 110 m-Radius um die Fahrwegachse von Autobahnen, Bundesstraßen und Schienenwegen abzüglich Verkehrsflächen, Siedlungsflächen und bewaldeten Flächen. In **Abbildung 2-7** sind die Potenzialflächen in der Region zwischen Augsburg und München dargestellt. Es ist erkennbar, dass auch in Städten wie München große Potenzialflächen vorhanden sind, wohingegen einige Gemeinden kein Potenzial für FFA aufweisen, zumal durch diese keine Autobahnen, Bundesstraßen oder Schienenwege verlaufen.

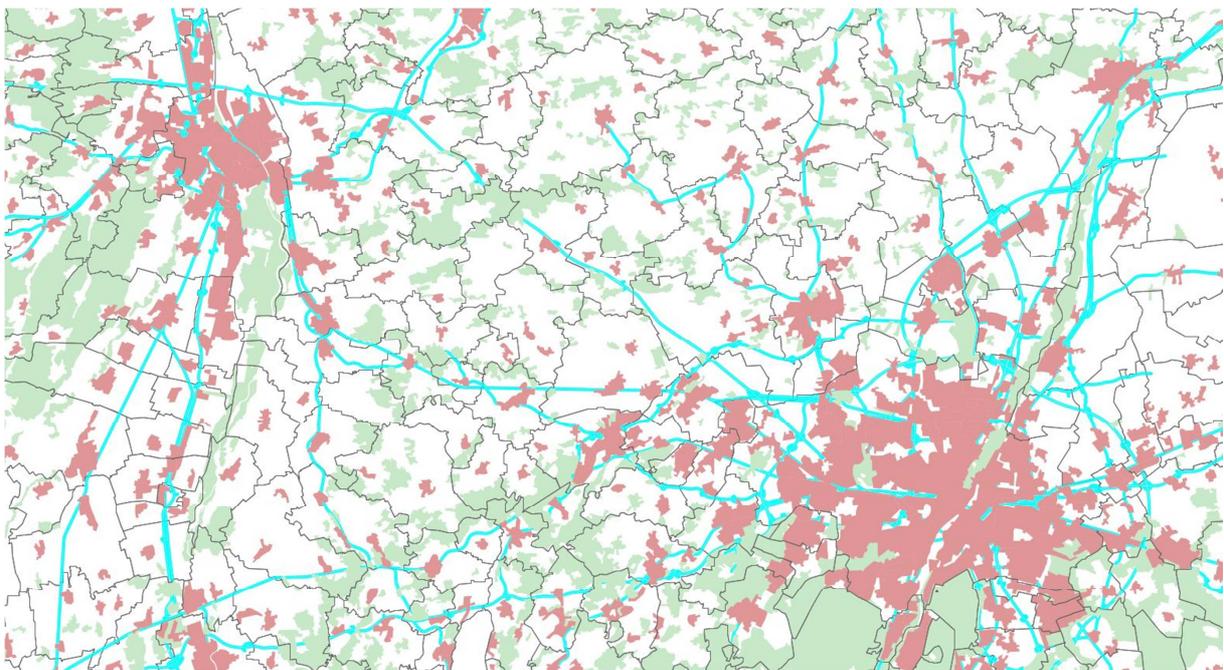


Abbildung 2-7: Flächenpotenzial entlang von Verkehrswegen

Aus der Potenzialflächenanalyse ergibt sich für Deutschland ein technisches Potenzial von ca. 530 GW. Ein Vergleich mit dem Anlagenbestand zeigt, dass bisher nur ein Bruchteil des Potenzials erschlossen wurde. Hinzu kommt, dass der Anlagenbestand nicht ausschließlich entlang von Autobahnen, Bundesstraßen und Schienenwegen errichtet wurde, weshalb von einer noch geringeren Erschließung der ermittelten Potenzialflächen ausgegangen werden kann.

Ertragspotenzial

Zusätzlich zur Verfügbarkeit von geeigneten Flächen ist auch der potenzielle Ertrag ein Kriterium für die Entwicklung des Freiflächenbestands. Hierzu wird ein Ertragsindex gebildet, der auf langjährigen Mittel jährlichen Globalstrahlung vom Deutschen

Wetterdienst basiert /DWD-02 04/ (siehe **Abbildung 2-8**). Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (2-2).

$$\text{Ertragsindex}(GE) = \frac{\text{Globalstrahlung}(GE)}{\text{Globalstrahlung}(DE)} \quad (2-2)$$

Globalstrahlung(GE)

Mittlere jährliche Globalstrahlung der Gemeinde

Globalstrahlung(DE)

Mittlere jährliche Globalstrahlung Deutschland

Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland

Mittlere Jahressumme, Zeitraum: 1981 - 2000

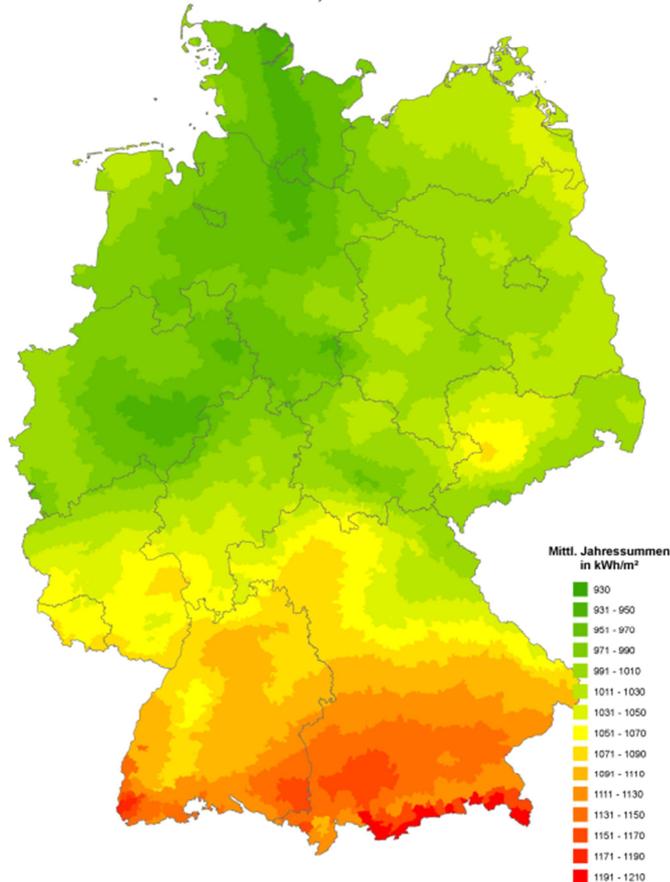


Abbildung 2-8: *Langjähriges Mittel der Jahressummen der Globalstrahlung /DWD-02 04/*

Index: Eignung für Freiflächenanlagen

Die modellierte, räumliche Verteilung des Zubaus an PV-Freiflächenanlagen orientiert sich am Flächen- und Ertragspotenzial. In Gleichung (2-3) wird dieser Freiflächenindex (FFI) durch die Multiplikation der verfügbaren Fläche und des Ertragsindex definiert. Durch einen Gewichtungsfaktor α kann die Gewichtung des Ertragsindex erhöht werden.

$$\text{FFI}(GE) = \text{Freiflächenindex}(GE) = \text{VFlaeche}(GE) \cdot \text{Ertragsindex}(GE)^\alpha \quad (2-3)$$

δ_{LK}^{GE}

Übertragung des Landkreis-Wertes auf die zugehörige Gemeinde

VFlaeche(GE)	verfügbare Fläche in der Gemeinde
Ertragsindex(GE)	Ertragsindex der Gemeinde
α	Gewichtungsfaktor

Der Gewichtungsfaktor Alpha beeinflusst besonders Gebiete mit einem hohen bzw. niedrigen Ertrag nach Abbildung 2-8. Somit führt ein steigender Gewichtungsfaktor zu einem stärker ertragsorientierten Ausbau.

Basierend auf dem Index für Freiflächenanlagen und den Randbedingungen der Szenarien kann die Entwicklung der installierten Leistung an PV-Freiflächenanlagen nach Gleichung (2-4) berechnet werden. Für die Untersuchung wurde der FFI mit einem Wert von zwei für die Variable Alpha berechnet.

$$PVFF_p(\text{Jahr}, GE) = PVFF_p(2014, GE) + PVFF_{\Delta p}(\text{Jahr}, DE) \cdot \frac{FFI(GE)}{\sum_{GE \in DE} FFI(GE)} \quad (2-4)$$

$PVFF_{\Delta p}(\text{Jahr}, DE)$	zugebaute Leistung an Freiflächenanlagen in einem Jahr
$FFI(GE)$	Freiflächenindex der Gemeinde
$\sum_{GE \in DE}$	Summe über alle Gemeinden Deutschlands
$PVFF_p(\text{Jahr}, GE)$	Leistung der Freiflächenanlagen in einer Gemeinde zu einem bestimmten Jahr

Der dargestellte Ansatz berücksichtigt nicht, dass durch bestehende Freiflächenanlagen bereits Flächen in Anspruch genommen werden. Dies würde zu einem sinkenden Wert für den FFI führen. Da das Potenzial stets viel höher ist als der Bestand und zudem nur noch ein geringer erwartet wird, ist die Näherung eines konstanten FFI legitim.

3 Biomasse

Bestandsanalyse

Zur Erfassung des Bestandes an Biomasseanlagen werden die folgenden Datenquellen herangezogen:

- Georeferenzierte Anlagenstammdaten der Übertragungsnetzbetreiber /FFE-40 10/
- Anlagenregister der Bundesnetzagentur /BNetzA-09 15/

Potenzialanalyse

Das Potenzial für die energetische Nutzung von Biomasse wird vereinfacht über ein Flächenpotenzial abgeschätzt. Dabei werden potenziell geeignete Flächen mit landwirtschaftlicher Nutzung (exklusive Moore und Heiden) aus der Regionalstatistik als Bezugsgröße gewählt.

Regionalisierung - Modellierung des Ausbaus

Die Regionalisierung des zukünftigen Ausbaus der energetischen Nutzung von Biomasse erfolgt vereinfacht zu 50 % über den Anlagenbestand sowie zu 50 % über das Flächenpotenzial. Eine Flexibilisierung bestehender Biogasanlagen zum Ausgleich von Erzeugungsschwankungen aus Windenergie und PV wäre technisch umsetzbar und könnte zu einer deutlichen Erhöhung der installierten Leistung der Bestandsanlagen führen.

Der aktuelle Ausbaukorridor von 150 bis 200 MW/a wird die altersbedingt wegfallende Leistung nicht substituieren können. Durch den Zubau von kleinen Anlagen (bis 150 kW, keine Teilnahme an der Ausschreibung) und Ausschöpfung des jährlichen Ausschreibungsvolumens wird der Bestand ungefähr konstant bleiben (vgl. genehmigter Szenariorahmen).

4 Wasserkraft

Bestandsanalyse

Zur Erfassung des Bestandes an Wasserkraftanlagen werden die folgenden Datenquellen herangezogen:

- Anlagenstammdaten der Übertragungsnetzbetreiber /FFE-40 10/
- Georeferenzierte Liste der Wasserkraftanlagen mit einer installierten Leistung über 1 MW /WAWI-01 04/
- Anlagenregister der Bundesnetzagentur /BNetzA-09 15/

Potenzialanalyse

In Anbetracht des aktuell wirksamen rechtlichen Rahmens (WHG, WRRL) ist der Bau neuer Wasserkraftanlagen in Deutschland stark eingeschränkt. Daher wird vereinfacht angenommen, dass der zukünftige Ausbau der Wasserkraft in Deutschland in erster Linie über den Ausbau und die Leistungssteigerung bestehender Wasserkraftanlagen erfolgt.

Regionalisierung

Die Leistungssteigerung wird durch die Umrüstung der bestehenden Wasserkraftanlagen erreicht, daher wird der zu erwartende Ausbau der Wasserkraft über den Anlagenbestand regionalisiert.

5 Geothermie

Bestandsanalyse

Zur Erfassung des Bestandes an Geothermie-Anlagen werden die folgenden Datenquellen herangezogen:

- Anlagenstammdaten der Übertragungsnetzbetreiber /FFE-40 10/
- Anlagenregister der Bundesnetzagentur /BNETZA-09 15/

Potezialanalyse

Potenziell geeignete Gebiete für Geothermie werden über das Geothermische Informationssystem für Deutschland als Flächenpotenzial /LIAG-01 10/ erfasst.

Regionalisierung

Die Regionalisierung des Ausbaus der Geothermie erfolgt vereinfacht zu 50 % über den Anlagenbestand und zu 50 % über die Flächenpotenziale.

6 Deponie-/Klär-/Grubengas

Die zukünftige, regionalisierte Entwicklung der installierten Leistung von Deponie-Klär- und Grubengasanlagen wird durch eine Leistungssteigerung von Bestandsanlagen erreicht.

7 Literaturverzeichnis

- BFG-01 13** Wasserschutzgebiete in Deutschland. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde, 2013
- BFN-01 11** Schutzgebietsdaten Deutschlands im Shapeformat - Natura 2000 - Biosphärenreservate - Nationalparke - Naturparke - Naturschutzgebiete - Landschaftsschutzgebiete. Bonn: Bundesamt für Naturschutz (BfN), 2011
- BFN-01 13** Natura2000-Daten, Bundesamt für Naturschutz (BfN), 2013
- BFN-03 11** Windkraft über Wald - Positionspapier. Bonn: Bundesamt für Naturschutz (BfN), 2011
- BKG-01 13** Digitales Landschaftsmodell 1:250000 (AAA-Modellierung). Leipzig: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie - GeoDatenZentrum (BKG), 2013
- BKG-02 13** Digitales Geländemodell Gitterweite 200 m. Frankfurt am Main: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2013
- BKG-04 09** Verwaltungsgrenzen 1:250.000 - Vektordaten. Frankfurt am Main: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2009
- BNETZA-09 15** Anlagenregister Erneuerbare Energien in: <http://www.bundesnetzagentur.de/> Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA), 2015
- BSR-01 11** Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA) - Windenergie-Erlass Bayern - Gemeinsame Bekanntmachung der Bayerischen Staatsministerien des Innern, für Wissenschaft, Forschung und Kunst, der Finanzen, für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, für Umwelt und Gesundheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. München: Bayerische Staatsregierung, 2011
- CLC-01 09** CORINE Land Cover (CLC2006) - Legende. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA), 2009
- DESTATIS-07 12** Regionaldatenbank - www.regionalstatistik.de. Wiesbaden: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2012
- DWD-02 04** Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland, Mittlere Jahressummen, Zeitraum 1981-2000. Hamburg: Deutscher Wetterdienst (DWD), 2004
- DWD-02 12** Digitale Weibulldaten der Windgeschwindigkeit für gesamt Deutschland im 200-m-Raster. Offenbach: Deutscher Wetterdienst (DWD), 2012
- DWG-01 15** Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland - im Auftrag von Bundesverband WindEnergie (BWE), Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA). Oldenburg: Deutsche WindGuard GmbH, 2015

- DWG-01 16** Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland - im Auftrag von Bundesverband WindEnergie (BWE), Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA). Oldenburg: Deutsche WindGuard GmbH, 2016
- EEG-01 14** Entwurf eines Gesetzes zur grundlegenden Reform des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und zur Änderung weiterer Bestimmungen des Energiewirtschaftsrechts in: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Gesetz/entwurf-eines-gesetzes-zur-grundlegenden-reform-des-erneuerbare-energien-gesetzes-und-zur-aenderung-weiterer-bestimmungen-des-energiwirtschaftsrechts,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>. Berlin: Bundesregierung, 2014
- FFAV-01 15** Verordnung zur Ausschreibung der finanziellen Förderung für Freiflächenanlagen (Freiflächenausschreibungsverordnung - FFAV) - Freiflächenausschreibungsverordnung vom 6. Februar 2015 (BGBl. I S. 108). Berlin: Bundesregierung Deutschland; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015
- FFE-40 10** Schmid, Tobias: EEG-Datenbank in: <http://www.ffe.de/wissenffe/artikel/>. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FFE), 2010
- HSWT-01 13** Reinke, Markus: Modellprojekt „Standortfindung für Windkraftanlagen im Naturpark Altmühltal“ (Zonierungskonzept) in: <http://www.naturpark-altmuehltal.de/windenergie/>. Bearbeitet durch: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf; Herausgeber: Informationszentrum Naturpark Altmühltal, 2013
- IWES-02 11** Bofinger, Stefan; Callies, Doron; Scheibe, Michael; Saint-Drenan, Yves-Marie; Rohrig, Kurt: Studie zum Potenzial der Windenergienutzung an Land. Berlin: Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE), 2011
- KLI-01 14** Klinger, Diandra: Bestimmung von Windeignungsflächen mit PostGIS - Identification of suitable wind turbine sites applying PostGIS. Masterarbeit. Herausgegeben durch Hochschule für Angewandte Wissenschaften München - Fakultät für Geoinformation, betreut durch Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.: München, 2014
- LIAG-01 10** Geothermisches Informationssystem für Deutschland - GeotIS in: www.geotis.de. Hannover: LIAG, Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik Stilleweg 2, 2010
- LUBW-01 14** Windkraftanlagen - interaktiver Dienst UDO (Umwelt-Daten und -Karten Online) . Stuttgart: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, 2014
- LUGV-01 14** Windkraftanlagen im Land Brandenburg. Potsdam: Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV), 2014

- MKUNRW-01 11** Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung (Windenergie-Erlass) vom 11.07.2011 - Gemeinsamer Runderlass des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein - Westfalen (Az. VIII2 - Winderlass) und des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (Az. X A 1 – 901.3/202) und der Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen (Az. III B 4 – 30.55.03.01). Düsseldorf: Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein, 2011
- OSM-01 10** OpenStreetMap (OSM) - Die freie Wiki-Weltkarte. Veröffentlicht unter der freien CC-BY-SA-Lizenz durch OpenStreetMap und Mitwirkende. <http://www.openstreetmap.org/>, 2010
- OSM-01 12** OpenStreetMap und Mitwirkende: OpenStreetMap (OSM) - Deutschland. Daten veröffentlicht unter ODbL. <http://www.openstreetmap.de/>, 2012
- STMELF-01 13** Windkraft im Wald. München: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 2013
- STMWI-01 15** Energie-Atlas Bayern. In: <http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten>. München: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (StMWi), 2015
- UBA-04 13** Lütkehus, Insa; Salecker, Hanno; Adlunger, Kirsten: Potenzial der Windenergie an Land - Studie zur Ermittlung des bundesweiten Flächen- und Leistungspotenzials der Windenergienutzung an Land. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA), 2013
- WAWI-01 04** Heimerl, Stephan; Giesecke, Jürgen: Wasserkraftanteil an der elektrischen Stromerzeugung in Deutschland 2003 in: Wasserwirtschaft (WaWi). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2004

8 Anhang

Liste der Drehfunkfeuer

Kennung	Typ	Name	Frequenz/Kanal	Koordinaten
BAM	DVORTAC	Barmen	113.60 CH 83x	◊ 51° 19' 40,00" N, 007° 10' 37,00" O
BAY	VOR	Bayreuth	110.60	◊ 49° 59' 12,00" N, 011° 38' 18,00" O
BER	VOR/DME	Berlin- Brandenburg	114.1	◊ 52° 20' 30,00" N, 013° 27' 12,00" O
BKD	DVOR/DME	Brückendorf	117.70 CH124x	◊ 53° 02' 04,00" N, 011° 32' 46,00" O
BMN	DVOR/DME	Bremen	117.45 CH121y	◊ 53° 02' 47,00" N, 008° 45' 38,00" O
CHA	VOR	Charlie	115.50	◊ 49° 55' 16,00" N, 009° 02' 23,00" O
COL	DVORTAC	Cola	108.80 CH 25x	◊ 50° 47' 01,00" N, 007° 35' 39,00" O
DHE	VOR/DME	Helgoland	116.30 CH110x	◊ 54° 11' 08,00" N, 007° 54' 39,00" O
DKB	DVORTAC	Dinkelsbühl	117.80 CH125x	◊ 49° 08' 34,00" N, 010° 14' 18,00" O
DLE	DVOR/DME	Leine	115.20 CH 99x	◊ 52° 15' 01,00" N, 009° 53' 01,00" O
DOR	DVOR/DME	Wickede	108.65 CH 23y	◊ 51° 31' 30,00" N, 007° 37' 54,00" O
DRN	DVOR/DME	Dresden	114.35 CH 90y	◊ 51° 00' 56,00" N, 013° 35' 56,00" O
DUS	VOR/DME	Düsseldorf	115.15 CH 98y	◊ 51° 16' 59,00" N, 006° 45' 13,00" O
ERF	DVOR/DME	Erfurt	113.85 CH 85y	◊ 50° 57' 03,00" N, 011° 14' 12,00" O
ERL	VOR/DME	Erlangen	114.90 CH 96x	◊ 49° 39' 19,00" N, 011° 09' 03,00" O
FFM	DVORTAC	Frankfurt	114.20 CH 89x	◊ 50° 03' 13,00" N, 008° 38' 14,00" O
FLD	DVOR/DME	Friedland	117.15 CH118y	◊ 53° 45' 46,00" N, 013° 33' 47,00" O
FUL	DVOR/DME	Fulda	112.10 CH 58x	◊ 50° 35' 33,00" N, 009° 34' 20,00" O
FWE	VOR/DME	Fürstenwalde	113.30 CH 80x	◊ 52° 24' 41,00" N, 014° 07' 50,00" O
GED	DVORTAC	Gedern	110.80 CH 45x	◊ 50° 24' 43,00" N, 009° 14' 57,00" O
GMH	DVOR/DME	Germinghausen	115.40 CH101x	◊ 51° 10' 14,00" N, 007° 53' 31,00" O
GOT	DVOR/DME	Gotem	115.25 CH 99y	◊ 51° 20' 35,00" N, 011° 35' 51,00" O
HAM	DVORTAC	Hamburg	113.10 CH 78x	◊ 53° 41' 08,00" N, 010° 12' 18,00" O
HDO	DVOR/DME	Hermsdorf	115.00 CH 97x	◊ 50° 55' 41,00" N, 014° 22' 08,00" O
HLZ	DVOR/DME	Hehlingen	117.30 CH120x	◊ 52° 21' 48,00" N, 010° 47' 43,00" O

Kennung	Typ	Name	Frequenz/Kanal	Koordinaten
HMM	DVOR/DME	Hamm	115.65 CH103y	⊕ 51° 51' 25,00" N, 007° 42' 30,00" O
KBO	TVOR/DME	Köln-Bonn	112.15 CH 58y	⊕ 50° 51' 42,00" N, 007° 08' 44,00" O
KLF	DVOR/DME	Klasdorf	115.15 CH 98y	⊕ 52° 01' 11,00" N, 013° 33' 50,00" O
KPT	DVOR/DME	Kempton (Allgäu)	109.60 CH 33x	⊕ 47° 44' 45,00" N, 010° 20' 59,00" O
KRH	DVOR/DME	Karlsruhe	115.95 CH106y	⊕ 48° 59' 35,00" N, 008° 35' 03,00" O
LBU	VOR/DME	Luburg	109.20 CH 29x	⊕ 48° 54' 47,00" N, 009° 20' 25,00" O
LBV	VOR/DME	Elbe	115.10 CH98x	⊕ 53° 39' 10,00" N, 009° 34' 46,00" O
LEG	VOR/DME	Leipzig/Halle	115.85 CH105y	⊕ 51° 26' 10,00" N, 012° 28' 23,00" O
LWB	DVOR/DME	Löwenberg	114.55 CH 92y	⊕ 52° 54' 37,00" N, 013° 08' 05,00" O
MAG	VOR/DME	Magdeburg	110.45 CH 41y	⊕ 51° 59' 42,00" N, 011° 47' 40,00" O
MAH	DVOR/DME	Maisach	115.20 CH 21x	⊕ 48° 15' 48,00" N, 011° 18' 42,00" O
MDF (X)	DVOR/DME	Milldorf (X)	117.00 CH117x	⊕ 48° 14' 05,00" N, 012° 20' 15,00" O
MHV	DVOR	Mönchengladbach	109.80	⊕ 51° 14' 14,00" N, 006° 29' 25,00" O
MIC	DVOR	Michaelsdorf	112.20	⊕ 54° 18' 18,00" N, 011° 00' 18,00" O
MTR	VOR	Metro	110.00	⊕ 50° 16' 35,00" N, 008° 50' 55,00" O
MUN	VOR/DME	München	112.30 CH 70x	⊕ 48° 10' 49,00" N, 011° 48' 58,00" O
NIE	VOR	Nienburg	116.50	⊕ 52° 37' 36,00" N, 009° 22' 09,00" O
NTM	VORTAC	Nattenheim	115.30 CH100x	⊕ 50° 00' 57,00" N, 006° 31' 55,00" O
NUB	VOR/DME	Nürnberg	115.75 CH104y	⊕ 49° 30' 12,00" N, 011° 02' 06,00" O
OSN	DVOR	Osnabrück	114.30	⊕ 52° 12' 00,00" N, 008° 17' 08,00" O
RDG	DVOR/DME	Roding	114.70 CH 94x	⊕ 49° 02' 25,00" N, 012° 31' 36,00" O
RID	DVOR/DME	Ried	112.20 CH 59x	⊕ 49° 46' 54,00" N, 008° 32' 29,00" O
STG	DVOR/DME	Stuttgart	116.85 CH115y	⊕ 48° 41' 48,00" N, 009° 15' 24,00" O
SUL	DVOR	Sulz	116.10	⊕ 48° 22' 54,00" N, 008° 38' 41,00" O
TAU	DVORTAC	Taunus	116.70 CH114x	⊕ 50° 15' 02,00" N, 008° 09' 45,00" O
TGL	DVOR/DME	Berlin-Tegel	112.30 CH 70x	⊕ 52° 33' 41,00" N, 013° 17' 15,00" O
TRT	VOR/DME	Trent	108.45 CH 21y	⊕ 54° 30' 40,00" N, 013° 14' 56,00" O
VFM	DVOR	Nauheim	113.75	⊕ 49° 57' 42,58" N, 008° 28' 16,39" O

Kennung	Typ	Name	Frequenz/Kanal	Koordinaten
WLD	DVOR/DME	Walda	112.80 CH 75x	⊕ 48° 34' 46,00" N, 011° 07' 46,00" O
WRB	DVOR/DME	Warburg	113.70 CH 84x	⊕ 51° 30' 21,00" N, 009° 06' 39,00" O
WUR	VOR	Würzburg	110.20	⊕ 49° 43' 03,00" N, 009° 56' 49,00" O
WYP	VOR	Wipper	109.60	⊕ 51° 02' 54,00" N, 007° 16' 48,00" O
ZWN	DVOR/DME	Zweibrücken	114.80 CH 95x	⊕ 49° 13' 45,00" N, 007° 25' 04,00" O