



Fachbereich WD 5

Flächenbedarf repowerter Windenergieanlagen an Land

Flächenbedarf repowerter Windenergieanlagen an Land

Aktenzeichen: WD 5 - 3000 - 035/26
Abschluss der Arbeit: 23. April 2026
Fachbereich: WD 5: Wirtschaft, Energie und Klima

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Fragestellung	4
2.	Vorbemerkung	4
3.	Definition und rechtliche Vorgaben für das Repowering	4
3.1.	Problem zum unterschiedlichen Verständnis von Repowering	4
3.2.	Planerische Ziele für ein Repowering (Abbildung)	7
3.3.	Aktuelle rechtliche Grundlagen (Anlage)	8
4.	Status quo und Flächenvorgabe	8
4.1.	Guidehouse et al. (2022)	10
4.2.	Umweltbundesamt (2023)	10
5.	Literatur zum Flächenbedarf	12
5.1.	Energy Watch Group (2022)	13
5.2.	Sachverständigenrat für Umweltfragen (2022)	13
5.3.	BWE (2022)	13
5.4.	Fraunhofer IEE, Bosch & Partner BWE (2022)	14
5.5.	Rödl (2025)	15
5.6.	EnBW (2025)	15
5.7.	FA Wind (o. D.)	16
6.	Limitierende bzw. zu beachtende Faktoren	17
6.1.	Rotor-In/Out	17
6.2.	Mindestabstand zwischen Windparkanlagen	19
6.3.	Abstand zwischen Anlagen und Zeitverlauf nach Rückbau (von 2H auf 5H)	19
6.4.	Abstand (Natura 2000-Gebiet, militärischen Anlage etc.)	20
6.5.	Naturschutzfachliche Konfliktrisiken	20
6.6.	Eigentumsverhältnisse, Pachtflächen und Verträge	21
6.7.	Höhenbegrenzung	21
7.	MENTOR (Verbundvorhaben)	22
8.	Durchschnittliche Dauer des Genehmigungsverfahrens	23
9.	Listen nach Betriebsdauer (15/20/25 Jahre)	24
10.	Weiterführende Literatur	27

1. Fragestellung

Auftragsgemäß befasst sich diese Dokumentation mit dem Flächeneinsparpotential von Windenergieanlagen (WEA) an Land durch sog. Repowering¹. Durch ein Repowern von WEA ist eine größere Windausbeute und ein größerer Stromertrag unter Einsatz weniger Anlagen zu erreichen. Daraus ergibt sich die Frage, welches Flächeneinsparpotenzial sich durch moderne Anlagentechnik und Repowering ergeben könnte.

2. Vorbemerkung

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für WEA an Land wurden in jüngerer Zeit mehrfach geändert und auch die Regelungen zum Repowering wurden fortlaufend angepasst. Aussagen in neuen Studien können daher teilweise veraltet sein. Zudem sind beim Repowering nicht nur bundes-, sondern auch landes- und kommunalrechtliche Vorschriften zu beachten.

Studien, die sich explizit mit Flächeneinsparungen durch repowerte WEA an Land befassen, konnten auch nach Rücksprache mit Experten nicht ermittelt werden. Es besteht jedoch Konsens darüber, dass Repowering die **Effizienz der Fläche** erhöht („Flächeneffizienz, d.h. Stromausbeute je Quadratmeter“)² und in der **Summe weniger WEA** benötigt werden.³ In der Literatur zeigt sich kein einheitliches Bild, im Wesentlichen wird davon ausgegangen, dass der Platzbedarf in etwa derselbe sein wird, da es limitierende Faktoren gibt (Abstandsregelungen, Verschattung, Naturschutz etc.).

Bis voraussichtlich Ende November 2026 läuft das Verbundvorhaben MENTOR, das „Methoden zur Bewertung von Windenergieflächen unter Berücksichtigung von Restriktionen“ entwickelt, an dem das Fraunhofer IEE, die Fachagentur Wind und Solar, das Umweltbundesamt und die Universität Kassel beteiligt sind. Die Ergebnisse sollen u. a. neue Erkenntnisse darüber bringen, wie viel Energie auf der Fläche erzeugt werden kann.⁴ (Näheres dazu in Kapitel 6).

3. Definition und rechtliche Vorgaben für das Repowering

3.1. Problem zum unterschiedlichen Verständnis von Repowering

Die Präsentation von Plappert/Födisch (2025) „Was ist unter Repowering zu verstehen?“ verdeutlicht die regulatorische Unklarheit des Begriffs „Repowering“. Die Präsentation anlässlich der 33.

1 Zur regulatorischen Unklarheit des Begriffs „Repowering“ siehe dazu Kapitel 3.

2 Höhere Flächeneffizienz, d.h. Stromausbeute je Quadratmeter“, <https://www.vdma.eu/documents/34570/15233942/VDMA+PS+2021-06-30+Kurzposition+Repowering.pdf/84514a55-100b-364d-0c57-7d9d087305b0?t=1647440334899>; vgl. <https://www.windbranche.de/news/ticker/nordex-staerkt-repowering-position-im-markt-nordex-erhaelt-grossauftrag-fuer-windpark-modernisierung-in-niedersachsen-artikel7536>.

3 <https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/repowering/>.

4 <https://www.fachagentur-wind-solar.de/projekte/mentor>.

Windenergietage im November 2025 differenziert zwischen einer allgemeinen, einer rechtlichen und einer planungsrechtlichen Definition:

Was ist unter Repowering zu verstehen?

Allgemein

Repowering umfasst den vollständigen oder teilweisen Austausch von Anlagen oder Betriebssystemen und -geräten zum Austausch von Kapazität oder zur Steigerung der Effizienz oder der Kapazität der Anlage.

Rechtliche Definitionen

Rechtliche Definitionen finden sich zum Beispiel im Bundes-Immissionsschutzgesetz (§ 16b BImSchG) oder im Bundesnaturschutzgesetz (45c Abs. 1 BNatSchG).

Planungsrecht

Im Planungsrecht fehlt es bislang an einer eigenen allgemeingültigen und verbindlichen gesetzlichen Definition. Hier wird unter Repowering grundsätzlich sehr weitgehend der **Ersatz von alten Bestandsanlagen durch moderne, leistungsstärkere Neuanlagen** verstanden. Die Neuanlagen müssen dabei nicht zwingend am selben Standort der Bestandsanlagen errichtet werden. **Neben dem standorttreuen kann auch ein planerisch intendiertes standortverlagerndes Repowering gemeint sein.** Einzelne Regelungen, konkret die §§ 245e Abs. 3, 249 Abs. 3 BauGB, nehmen jedoch auf die Definition des § 16b BImSchG Bezug und machen diese insoweit auch für planungsrechtliche Zusammenhänge zum verbindlichen Maßstab.

Abbildung 1: 33. Windenergietage, 13.11.2025.⁵

Die allgemeine Definition differenziert zwischen einem sogenannten **großen und kleinen Repowering**. Großes Repowering bedeutet einen Austausch der **gesamten Anlage** zugunsten einer neuen und effektiveren. Bei einem kleinen Repowering werden **Teile** zugunsten einer effizienteren Energiegewinnung ausgetauscht. Das Energieunternehmen EnBW (2025) weist auf weitere Unterscheidungen beim Repowering hin, auf

„das standorterhaltende Repowering (im unmittelbaren Umfeld des vorhandenen Standorts) und das standortverlagernde Repowering (in größerer Distanz zum alten Standort).

- Ein standorterhaltendes Repowering ist nach der Definition des Bundesverbands Wind-Energie e.V. (BWE) gegeben, wenn der Bau neuer Windenergieanlagen auf den ursprünglichen Standortflächen erfolgt oder der Abstand höchstens dem dreifachen Rotordurchmesser entspricht. Das liegt daran, dass moderne Windkraftanlagen größer sind und dementsprechend mehr Abstand zueinander benötigen.
- Das standortverlagernde Repowering schreibt keinen engen räumlichen Bezug zwischen dem Abbau und der Errichtung neuer Windenergieanlagen vor. Das standortverlagernde Repowering erfolgt, wenn ein standorterhaltendes Repowering nicht möglich ist.

In der **Praxis** wird hauptsächlich das **standortverlagernde Repowering** umgesetzt. Das liegt daran, dass moderne Windkraftanlagen größer sind und dementsprechend mehr Abstand zueinander benötigen, aber auch daran, dass etwa die Hälfte der Altanlagen in Deutschland

5 Plappert, Marie-Luise; Födisch, Kai (2025), Flächen für die Windenergie An Land Repowering von Windenergieanlagen, 13.11.2025, https://windenergietage.de/2025/wp-content/uploads/sites/10/2025/09/20251117_Flaechen_Windenergie_Foedisch_Plappert_uba.pdf.

außerhalb der zwischenzeitlich planungsrechtlich festgesetzten Flächen liegt. Ein standorterhaltendes Repowering ist dadurch dort nicht möglich.“⁶

Demgegenüber konstatieren Plappert/Födisch (2025), dass **standortverlagerndes Repowering** „aktuell quasi **nicht statt[findet]**, da der Rechtsrahmen auf standorterhaltendes Repowering ausgelegt“ sei. Zudem sei ein Teil des Altbestandes „aufgrund siedlungsnaher Lagen nicht repoweringfähig.“⁷

Nach Angaben der Fachagentur Wind und Solar (2026) sind rund 10.400 WEA älter als 20 Jahre⁸, die entweder repowert oder stillgelegt werden könnten.⁹ 2025 wurden WEA durchschnittlich nach **23 Betriebsjahren** stillgelegt.¹⁰ Der FA Wind (2026) zufolge zeige sich keine ausgeprägte Stilllegungswelle. Der Umfang der bislang stillgelegten Anlagen korreliere vielmehr mit der Entwicklung des Repowerings und lasse den Schluss zu, dass Altanlagen hauptsächlich im Ersatz für neue WEA außer Betrieb genommen würden.¹¹ Welche Art von Repowering stattfand, geht aus dem Dokument nicht hervor. Laut FA Wind lag 2025 der Repowering-Anteil an der neu installierten Leistung bei knapp **30 Prozent**, ein Rückgang um sieben Prozentpunkte gegenüber 2024.¹² Siehe hierzu die folgende Abbildung:

-
- 6 Aus alt mach neu: Was bringt Repowering? 16.12.2025, <https://www.enbw.com/unternehmen/themen/wind-kraft/was-bringt-repowering.html>; siehe auch FA Wind (2021), Repowering im Planungsrecht fördern, Zwei planungsrechtliche Vorschläge zur Diskussion, https://www.fachagentur-wind-solar.de/fileadmin/Veroeffentlichungen/Wind/Repowering/FA_Wind_Diskussionspapier_Repowering_im_Planungsrecht_foerdern_05-2021.pdf. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.
- 7 13.11.2025, https://windenergietage.de/2025/wp-content/uploads/sites/10/2025/09/20251117_Flaechen_Wind-energie_Foedisch_Plappert_uba.pdf. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.
- 8 Siehe hierzu die Liste von WEA an Land gegliedert nach ihrer Betriebsdauer.
- 9 S. 9, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/06-zahlen-und-fakten/20260115_Status_des_Windenergieausbaus_an_Land_Jahr_2025.pdf.
- 10 S. 11, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/06-zahlen-und-fakten/20260115_Status_des_Windenergieausbaus_an_Land_Jahr_2025.pdf.
- 11 S. 10, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/06-zahlen-und-fakten/20260115_Status_des_Windenergieausbaus_an_Land_Jahr_2025.pdf.
- 12 S. 5, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/06-zahlen-und-fakten/20260115_Status_des_Windenergieausbaus_an_Land_Jahr_2025.pdf.

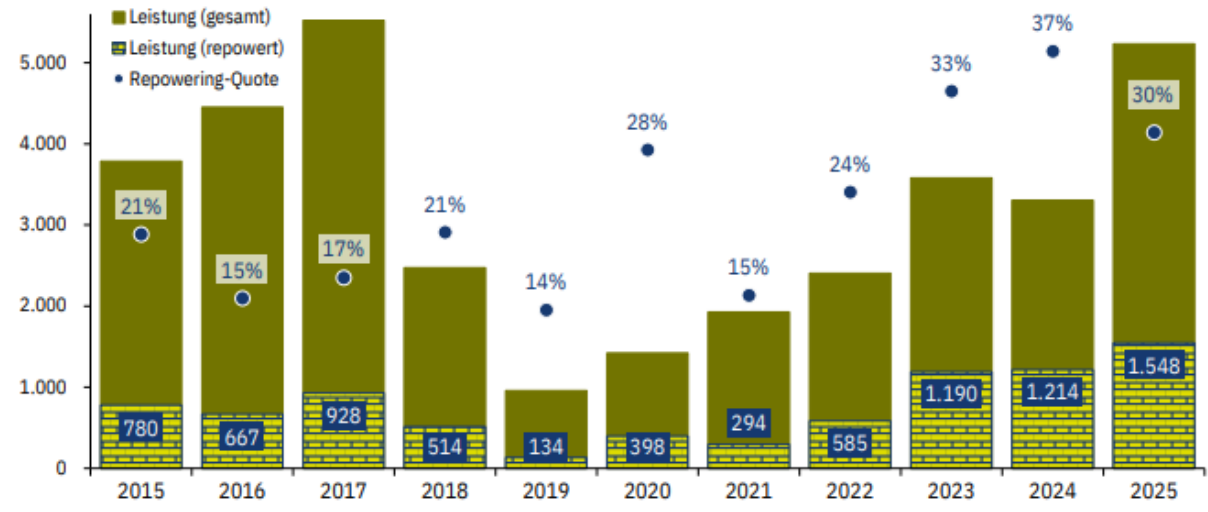
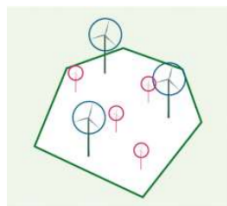


Abbildung 2: Anteil der Repowering-Leistung an den jährlichen Inbetriebnahmen.¹³

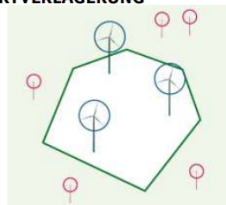
3.2. Planerische Ziele für ein Repowering (Abbildung)

Planerische Ziele für ein Repowering

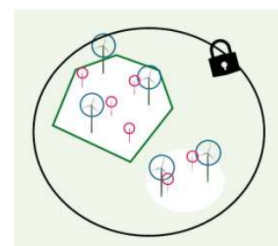
STANDORTERHALTENDES REPOWERING



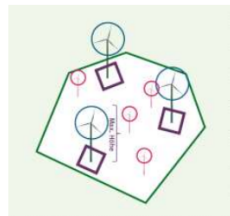
AUFRÄUMEN DER LANDSCHAFT DURCH STANDORTVERLAGERUNG



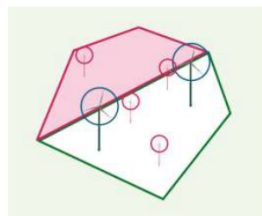
EINSCHRÄNKUNG/AUSSCHLUSS GEMEINDLICHER PLANUNGEN



STANDORTOPTIMIERUNG DURCH FEINSTEUERUNG



WEGPLANEN VON STANDORTEN



Quelle: UBA 2023

Abbildung 3: Planerische Ziele für ein Repowering.³³ Windenergietage, 13.11.2025.¹⁴

¹³ S. 9, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/06-zahlen-und-fakten/20260115_Status_des_Windenergieausbaus_an_Land_Jahr_2025.pdf

¹⁴ Plappert/Födisch (2025), https://windenergietage.de/2025/wp-content/uploads/sites/10/2025/09/20251117_Flaechen_Windenergie_Foedisch_Plappert_uba.pdf.

3.3. Aktuelle rechtliche Grundlagen (Anlage)

Zu den aktuellen rechtlichen Grundlagen wird auf den Sachstand „Modernisierung („Repowering“) von Windenergieanlagen, Rechtliche Grundlagen“ (WD 5 – 3000 - 028/2026) verwiesen (Exkurs: Abstand zur Wohnbebauung etc.).

4. Status quo und Flächenvorgabe

Ende 2025 betrug die installierte Gesamtleistung der WEA an Land **68,1 Gigawatt (GW)**¹⁵ bei einem bundesweiten Anlagenbestand von 30.304 WEA¹⁶. Die Gesamtleistung für Windenergie an Land soll nach den Vorgaben des § 4 Nr. 1 d bis f EEG 2023¹⁷ bis 2030 auf **115 GW** (bzw. **115.000 Megawatt (MW)**) steigen, im Jahr 2035 auf **157 GW** und 2040 auf **160 GW**:

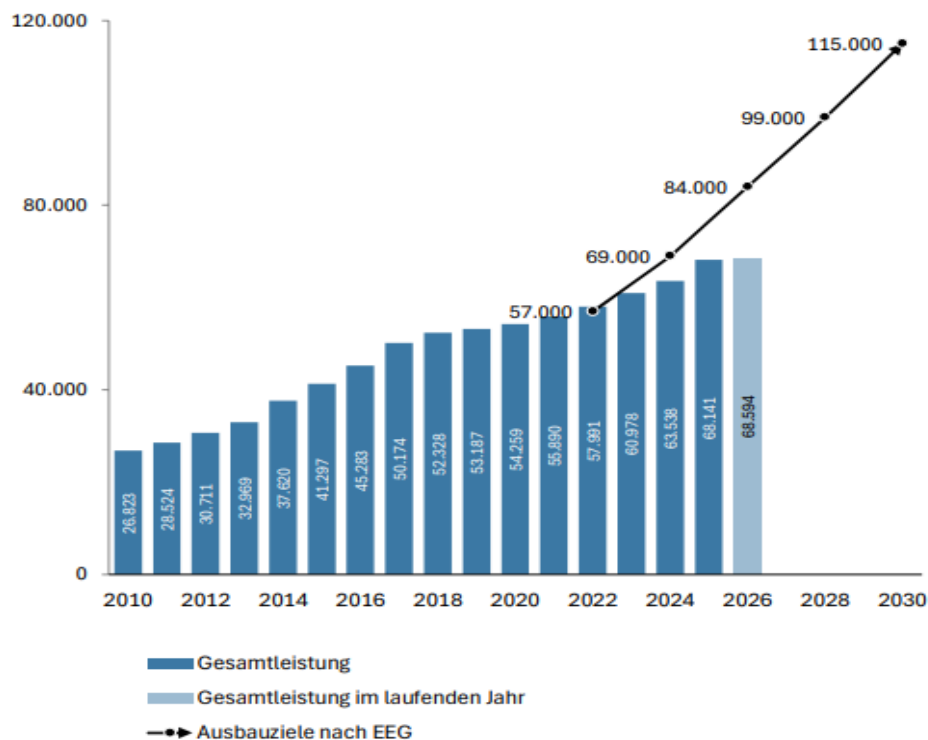


Abbildung 4: Gesamtleistung Windenergie an Land (Bruttoleistung in MW), Stand: 16.03.2026.¹⁸

15 https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2026/20260108_EEG.html.

16 Aus der Tabelle: Gesamte Bruttoleistung sowie Gesamtanzahl erneuerbarer Stromerzeugungseinheiten (Generatoren) in Betrieb*, 16.03.2026, S. 2, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EE-Statistik/DL/EEStatistikMaStR.pdf?__blob=publicationFile&v=47.

17 § 4 Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2023), https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/_4.html.

18 S. 2, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EE-Statistik/DL/EEStatistikMaStR.pdf?__blob=publicationFile&v=47.

Um die Vorgaben des EEG 2023 zu erreichen, gibt das **Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG)**¹⁹ den Ländern verbindliche Flächenziele (Flächenbeitragswerte) vor, das sogenannte Zwei-Prozent-Ziel. Anlage 1 des WindBG benennt die Flächenbeitragswerte der einzelnen Bundesländer. Das WindBG sieht eine Evaluierung der Flächenbeitragswerte vor. In der Gesetzesbegründung heißt es:

„Um die energiewirtschaftlichen Bedarfe zu decken, muss die Flächenverfügbarkeit für Windenergie an Land in den kommenden Jahren deutlich erhöht werden. Das EEG 2023 sieht vor, den Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2030 auf 80 Prozent anzuheben. Um diese Ausbauziele zu erreichen, müssen 2 Prozent der Bundesfläche für die Windenergie an Land ausgewiesen werden. [...]. Diese Abschätzung ist aber stark abhängig von der tatsächlichen Nutzbarkeit der Flächen und der tatsächlichen Flächeneffizienz (Anlagenplatzierung und Volllaststunden^[20]). Bei der Abschätzung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz wurde eine **Nicht-Nutzbarkeit der Flächen von 30 Prozent** unterstellt.“²¹

Grundlage für die Flächenverteilung bilden die Ergebnisse der vom damaligen Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) in Auftrag gegebenen Flächenpotenzialstudie von Guidehouse et al. (2022)^{22, 23}.

-
- 19 Gesetz zur Festlegung von Flächenbedarfen und zur Genehmigungserleichterung für Windenergieanlagen an Land und für Anlagen zur Speicherung von Strom oder Wärme aus erneuerbaren Energien in bestimmten Gebieten (Windenergieflächenbedarfsgesetz – WindBG), <https://www.gesetze-im-internet.de/windbg/>.
- 20 Volllaststunden „sind ein Maß, um die erfolgte Stromerzeugung pro installierte Leistung vergleichbar zu machen. Die Anzahl der jährlichen Volllaststunden gibt an, für wie viele Stunden eine Anlage bei maximaler Leistung laufen müsste, um die im Jahr produzierte Strommenge zu erzeugen – unabhängig davon, wie die Auslastung der Anlage zu spezifischen Stunden in dem Jahr war. Die Volllaststunden geben somit nicht die Betriebsstunden wieder. Die theoretische maximale Anzahl der Volllaststunden beträgt 8760 h, wenn die Anlage wirklich an jedem der 365 Tage 24 h lang bei voller Leistung erzeugte.“, S. 7, <https://www.lobbyregister.bundes-tag.de/media/06/dd/640821/Stellungnahme-Gutachten-SG2511170016.pdf>.
- 21 Entwurf eines Gesetzes zur Erhöhung und Beschleunigung des Ausbaus von Windenergieanlagen an Land, (Das Windenergieflächenbedarfsgesetz wurde als **Art. 1** in den Gesetzentwurf eingebracht), 21.06.2022, S. 23f, <https://dserver.bundestag.de/btd/20/023/2002355.pdf>. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation
- 22 Guidehouse et al. (2022), Analyse der Flächenverfügbarkeit für Windenergie an Land post-2030, 05/2022, https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/analyse-der-flaechenverfuegbarkeit-fur-windenergie-an-land-post-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- 23 Entwurf eines Gesetzes zur Erhöhung und Beschleunigung des Ausbaus von Windenergieanlagen an Land, 21.06.2022, S. 18. <https://dserver.bundestag.de/btd/20/023/2002355.pdf>. („Grundlage für die beschlossene Aufteilung der Ziele auf die Bundesländer war eine vom BMWK beauftragte Flächenpotenzialstudie (Guidehouse et al., 2022)“, <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2022/heft/9/beitrag/flaechenziele-fuer-die-windenergie-wie-zielfuehrend-ist-das-neue-wind-an-land-gesetz.html>).

4.1. Guidehouse et al. (2022)

Bei Guidehouse et al. (2022) floss eine **Referenzanlage** mit einem Rotordurchmesser von 165 m und je nach Standort mit einer Gesamthöhe von ca. 250 Metern in die Flächenbetrachtung **bis 2030** ein.²⁴

4.2. Umweltbundesamt (2023)

Auch das Umweltbundesamt (UBA) (2023) preist in seine Studie „Flächenverfügbarkeit und Flächenbedarfe für den Ausbau der Windenergie an Land“²⁵ wie auch Guidehouse et al (2022) eine **Referenzanlage** mit ein. Die Studie unterscheidet zwischen einer Stark- und einer Schwachwindanlage und geht von einem Rotordurchmesser von 165 m und einer Gesamthöhe der WEA zwischen 214,5 m und 255,5 m im Jahr **2030** aus:²⁶

	Referenzanlage Schwachwind 2030	Referenzanlage Starkwind 2030
Nennleistung (MW)	5,56	6,41
Rotordurchmesser (m)	165	165
Nabenhöhe (m)	173	132
Spez. Flächenleistung (W/m²)	260	300
Abstand Rotorblattspitze zum Grund (m)	90,5	49,5
Gesamthöhe (m)	255,5	214,5

Abbildung 5: Parameter der Referenzanlage für 2030.²⁷

Dort wird hierzu weiter ausgeführt:

„Die Wahl der **Referenzanlage**, d. h. die Technologieentwicklung, wirkt sich stark auf die Ergebnisse aus. Eine Zwischenrechnung zur Bestimmung des Flächenbedarfs mit einer Referenzanlage mit geringerer spezifischer Flächenleistung führte zu einem ca. 10 % höheren Flächenbedarf im Ergebnis. Weiterhin bestimmen die **Abstände der Windenergieanlagen untereinander** maßgeblich die Anzahl der platzierbaren Anlagen und damit die installierbare

24 S. 5, 9, Fn. 8 S. 5, https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/analyse-der-flaechenverfuegbarkeit-fur-windenergie-an-land-post-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

25 Bons, Marian et al. (2023), Flächenverfügbarkeit und Flächenbedarfe für den Ausbau der Windenergie an Land Abschlussbericht, 06/2023, Hrsg. Umweltbundesamt, im weiteren Verlauf der Dokumentation als UBA (2023), https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/11850/publikationen/32_2023_cc_flaechenverfuegbarkeit_und_flaechenbedarfe_fuer_den_ausbau_der_windenergie_an_land_0.pdf.

26 S. 42, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/11850/publikationen/32_2023_cc_flaechenverfuegbarkeit_und_flaechenbedarfe_fuer_den_ausbau_der_windenergie_an_land_0.pdf#page=121.

27 S. 43, Ebda.

Leistung. Die Planungspraxis kann hierzu sowohl über eine regelmäßige GIS-Analyse der Standorte neuer errichteter bzw. genehmigter Windenergieanlagen als auch über Gespräche mit der Branche untersucht werden. Zudem ist die **Marktentwicklung** mit Blick auf die spezifische Flächenleistung weiter zu beobachten.“²⁸

Weiter heißt es dort:

„Die Analyse des **zukünftigen Flächenbedarfs** zur Erreichung der klimapolitischen Ziele für die Windenergie an Land zeigt, dass zur Erreichung des langfristigen Leistungsziels von 160 GW ein Flächenbedarf von 1,8 % der Bundesfläche besteht, diese Angabe jedoch **Unsicherheiten** unterliegt. Vorherige Berechnungen im Verlauf des Vorhabens haben einen leicht höheren Flächenbedarf von knapp 2,0 % der Bundesfläche aufgezeigt. Ausschlaggebend hierfür sind insbesondere geänderte Annahmen zur weiteren Entwicklung der Nennleistung^[29] von Windenergieanlagen.

Ein entscheidender technologischer Faktor ist die **Nennleistung** der WEA. Steigt diese bei **gleichbleibendem Rotordurchmesser** an, **sinkt der Flächenbedarf je Leistung** und somit steigt die spezifische Flächenleistung an. Gegenläufig wirkt sich aus, dass seit den Zwischenergebnissen im Herbst 2021 Einschränkungen, konkret vermehrte Rotor-in-Regelungen, Siedlungsabstände und Höhenbeschränkungen, der Flächenkulisse bekannt bzw. eingeführt wurden. Diese **reduzieren die durchschnittliche Flächengröße** der verfügbaren Flächenkulisse. Bei sinkender Flächengröße steigt die Leistungseffizienz. Somit senkt dies den Flächenbedarf unter der Annahme, dass zukünftige Ausweisungen je Bundesland den bisherigen Mustern von Flächengröße und -form entsprechen.

Hierbei anzumerken ist jedoch, dass sich eine **Erhöhung der spezifischen Flächenleistung** deutlich stärker auf die installierbare Leistung auswirkt als auf die auf der Fläche erzielbaren Erträge. Eine Anhebung der Nennleistung bei gleichbleibendem Rotordurchmesser führt nur in Zeiten **hoher Windgeschwindigkeiten** zu einer Erhöhung der Einspeisung. Die

28 UBA (2023), Flächenverfügbarkeit und Flächenbedarfe für den Ausbau der Windenergie an Land, S. 124, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/11850/publikationen/32_2023_cc_flaechenverfuegbarkeit_und_flaechenbedarfe_fuer_den_ausbau_der_windenergie_an_land_0.pdf. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

29 „Die **Nennleistung**, oft auch als Leistung eines Windrades bezeichnet, gibt an, wie viel Strom das Windkraftwerk bei einer definierten Windgeschwindigkeit liefern kann. Diese Angabe ist vor allem für die Dimensionierung von Windparks entscheidend. Sie sagt allerdings wenig über die tatsächliche Stromproduktion aus. **Die effektive Leistung von Windrädern** hängt nämlich von mehreren Faktoren ab:

Windgeschwindigkeit: Verdoppelt sie sich, steigt die Leistung des Windrads auf das Achtfache. Deshalb sind Standorte mit konstant starkem Wind besonders ertragreich [...].

Rotordurchmesser: Je länger, desto größer die im Wind stehende Fläche und desto mehr Energie kann das Windrad aufnehmen. Das beeinflusst direkt die Nennleistung der Windkraftanlage.

Nabenhöhe und Standort: Höhere Türme erreichen stabilere Windverhältnisse. Auch Geländeform, Hindernisse und regionale Wetterverhältnisse spielen eine Rolle.“, <https://www.gasag.de/magazin/erneuerbare-energien/windkraftanlage-leistung/#sid224064>.

Volllaststunden der Anlage sind somit geringer. Wird der Ausbau der Windenergie an Land nach einem Leistungsziel gesteuert, sinkt in der Konsequenz der damit zu erzielende Energieertrag und damit der Beitrag der Windenergie an Land zu den Klimazielen. Liegen die Volllaststunden bzw. Energieerträge der zugebauten Windenergieanlagen unterhalb der Annahmen bzw. Zielwerte, muss das Leistungsziel und damit verbunden das Flächenziel nach oben korrigiert werden.

Die größte Unsicherheit liegt jedoch voraussichtlich in der Nutzbarkeit der zukünftigen Flächenkulisse. Bei einer reduzierten **Nicht-Nutzbarkeit von 20 %** könnten bei Beibehaltung aller anderen Einflussfaktoren bereits nur 1,5 % der Bundesfläche zur Erreichung des langfristigen Leistungsziels von 160 GW reichen. Liegt die **Nicht-Nutzbarkeit jedoch mit 40 %** höher als angenommen, reichen die 1,5 % gerade zur Deckung des Leistungsziels von 115 GW in 2030.

Es allerdings ratsam, dass das Flächenziel einen **Puffer** gegenüber dem ermittelten Flächenbedarf aufweist, da die Berechnungsgrundlage zur Bestimmung der anrechenbaren Fläche nach WindBG sich leicht von dem hier gewählten Ansatz der Ermittlung der verfügbaren Flächenkulisse unterscheidet. Gemäß WindBG werden insbesondere rechtskräftige **Bestandsflächen mit Höhenbeschränkungen** und **Flächen um Bestandsanlagen außerhalb der Flächenkulisse** auf das Flächenziel angerechnet. Darüber hinaus benötigt das Ausschreibungssystem zur Förderung erneuerbarer Energien ein gewisses Wettbewerbsniveau, um effektiv zu sein. Hierzu muss das Angebotsvolumen und damit das Flächenziel das Ausschreibungsvolumen und damit den Flächenbedarf übersteigen.“³⁰

Das UBA (2023) empfiehlt:

„Neben dem Monitoring der Flächenausweisungen und der entsprechenden Vorgaben zur Anrechenbarkeit dieser Flächen auf das Flächenziel, muss jedoch **regelmäßig geprüft** werden, inwieweit die **tatsächliche Entwicklung** der Windenergie an Land (u. a. Nutzbarkeit der Flächen, Flächeneffizienz von Zubau und Bestand) von den Annahmen bei der Festlegung des **Flächenziels abweicht**. Weiterhin ist zu prüfen welche Leistung nicht oder nicht vollständig von dem Flächenziel erfasst wird.“³¹

5. Literatur zum Flächenbedarf

Die Auswertung der Literatur ergibt kein einheitliches Bild zum Flächenbedarf beim Repowering:

30 UBA (2023), Flächenverfügbarkeit und Flächenbedarfe für den Ausbau der Windenergie an Land, 06/2023, S. 122f, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/11850/publikationen/32_2023_cc_flaechenverfuegbarkeit_und_flaechenbedarfe_fuer_den_ausbau_der_windenergie_an_land_0.pdf#page=121. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

31 UBA (2023), Flächenverfügbarkeit und Flächenbedarfe für den Ausbau der Windenergie an Land, S. 121, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/11850/publikationen/32_2023_cc_flaechenverfuegbarkeit_und_flaechenbedarfe_fuer_den_ausbau_der_windenergie_an_land_0.pdf. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

5.1. Energy Watch Group (2022)

Nach Angaben der Energy Watch Group (2022) brauche jedes Windrad der 5-MW-Klasse in einem Windpark deutlich mehr Raum als die früher üblichen kleineren Windkraftanlagen, damit sich die WEA nicht gegenseitig zu viel Wind wegnehmen. Jedoch sei auch der Ertrag dieser modernen Anlagen weitaus höher, sodass jedes MW einer größeren Anlage mit einer kleineren Rotorfläche auskomme. Im **Ergebnis** ändere sich der **„durchschnittliche Flächenbedarf nicht eindeutig in die eine oder andere Richtung.“**³²

5.2. Sachverständigenrat für Umweltfragen (2022)

Der Sachverständigenrat erklärte im Zusammenhang mit dem „Großen Repowering“:

„‘Großes Repowering‘ bezeichnet das Ersetzen einer Altanlage durch eine größere Neuanlage. Dies hat mehrere Vorteile. Zunächst werden damit die nationalen Erzeugungsziele schneller erreicht, weil höhere Anlagen in der Regel auch effizienter sind. Eine Windenergieanlage mit einer Nabenhöhe von 100 m erzeugt nur 15 bis 20 % jener Strommenge, die von einer moderneren Anlage mit einer Höhe von 230 m zu erwarten ist. Dies wiederum **reduziert den Flächenbedarf insgesamt**, denn es wird weniger Fläche benötigt, um die Ausbauziele zu erreichen³³.“³⁴

5.3. BWE (2022)

Auch der BWE, Bundesverband WindEnergie e. V., geht von einer Verdreifachung des Stromertrags bei repowerten WEA aus und konstatiert:

„Neue Anlagen sind höher und haben einen größeren Rotordurchmesser. In Kombination mit leistungsfähigeren Generatoren erhöht dies die Kapazität der WEA erheblich. Und auch die Ressource Wind schöpfen die neuen Modelle besser aus. Da der Wind in den Höhen gleichmäßiger und stärker weht, laufen größere Anlagen häufiger unter voller Ausnutzung ihrer Leistung. In der Konsequenz bedeutet dies: Wird an einem Standort ein Repowering durchgeführt, so kann die Anzahl der dort aufgestellten Anlagen reduziert und gleichzeitig mehr Strom ins Netz eingespeist werden. [...]. Die vorhandene Fläche wird somit effektiver genutzt

32 Energy Watch Group (2022), Wie viele Windräder braucht Deutschland für eine Vollversorgung mit 100% Erneuerbaren Energien? S. 2, <https://energywatchgroup.org/wp/wp-content/uploads/2022/02/Windkraft-Analyse.pdf>. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

33 Der Sachverständigenrat für Umweltfragen bezieht sich hinsichtlich des **Flächenbedarfs** auf Agora Energiewende 2020, S. 23. Dort heißt es wörtlich: „Die Anlagen sind besser ausgelastet und benötigen **pro erzeugter Kilowattstunde Strom weniger Fläche**.“

und auf FA Wind (2019), Überblick Windenergie an Land: Wirkung von Höhenbegrenzungen auf den Flächenbedarf für Windenergieanlagen an Land, https://www.fachagenturwindenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/Faktenpapiere/FA_Wind_Hoehenbegrenzungen_Windan-Land_03-2019.pdf.

34 Sachverständigenrat für Umweltfragen (2022), Klimaschutz braucht Rückenwind: Für einen konsequenten Ausbau der Windenergie an Land, Stellungnahme, 02/2022, S. 24, https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2022_02_stellungnahme_windenergie.pdf?__blob=publication-File&v=24.

und es werden deutschlandweit **in der Summe weniger WEA benötigt**. Nicht zuletzt macht die Erneuerung von Windparks die Stromversorgung stabiler. Da die höheren Anlagen in ihrer Energieproduktion stetiger sind, erlauben sie verlässlichere Einspeiseprognosen und können besser für flexible Lastenausgleiche eingesetzt werden.“³⁵

5.4. Fraunhofer IEE, Bosch & Partner BWE (2022)

Die Autoren untersuchten eventuell mit geringem Aufwand erschließbare Flächenpotenziale und gingen hierbei für die Ermittlung zusätzlicher Repoweringflächen von der Annahme aus,

„dass auf den Flächen **aller bis 2030 zurückgebauter Windenergieanlagen** neue, moderne Anlagen errichtet werden können, es sei denn, diese stehen zu dicht an Gebäuden mit Wohnnutzung. Dabei wird angenommen, dass der Mindestabstand der zweifachen Gesamthöhe (2H) zu Wohnbauflächen im Innenbereich sowie der einfachen Gesamthöhe (1H) zu Wohngebäuden im Außenbereich entspricht. Es wird eine Nutzungsdauer der Windenergieanlagen von 20 Jahren angesetzt.“³⁶

Anhand dieser und weiterer Vorgaben ermittelten sie Folgendes:

„Die Repoweringflächen, [...], machen bis zum Jahr 2030 einen Anteil **0,26 % des Bundesgebiets** aus. Das entspricht einer Fläche von **921 km²**. Zu dieser Gesamtfläche tragen insbesondere die Bundesländer Brandenburg [...], Sachsen-Anhalt [...] sowie Niedersachsen [...] bei – alles große Flächenländer, in denen vergleichsweise früh ein ausgeprägter Ausbau der Windenergie erfolgte. Auf diesen Flächen lassen sich bundesweit **39,1 GW** Windenergieanlagen mithilfe der Anlagenplatzierung platzieren, was einem deutlich **geringeren spezifischen Flächenbedarf von 2,4 ha/MW** entspricht. Mithilfe dieser Anlagen lassen sich durchschnittlich Erträge von **109,3 TWh** erzielen. [...]. Dies lässt sich u.a. mit einem überdurchschnittlichen Anteil an Repoweringflächen in windhöffigen Regionen erklären.“³⁷

35 <https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/repowering/>.

36 S. 26, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/02-planung/20220920_BWE_Flaechenpotentiale_Windenergie_an_Land.pdf. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

37 Flächenpotenziale der Windenergie an Land 2022, S. 37, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/02-planung/20220920_BWE_Flaechenpotentiale_Windenergie_an_Land.pdf.

Tabelle 5: Repoweringflächen, installierbare Leistung sowie erzielbare Erträge

Bundesland	Fläche Bundesland (km²)	Repoweringflächen (km²)	Anteil Landesfläche	Inst. Leistung (GW)	Ertrag (TWh)
BB	29.698	217	0,73 %	7,3	20,5
BE	893	0	0,00 %	0,0	0,0
BW	35.723	16	0,04 %	0,9	2,0
BY	70.553	11	0,02 %	0,8	1,8
HB	402	2	0,55 %	0,2	0,5
HE	21.099	21	0,10 %	1,0	2,6
HH	742	1	0,16 %	0,1	0,2
MV	23.088	63	0,27 %	2,8	8,1
NI	47.626	159	0,33 %	7,9	23,3
NW	34.095	83	0,24 %	4,5	11,9
RP	19.847	42	0,21 %	2,0	4,9
SH	15.611	67	0,43 %	3,3	11,3
SL	2.570	3	0,11 %	0,1	0,3
SN	18.478	32	0,18 %	1,6	4,4
ST	20.554	175	0,85 %	5,5	14,5
TH	16.197	29	0,18 %	1,1	2,9
DEU	357.174	921	0,26 %	39,1	109,3

38

5.5. Rödl (2025)

Hinsichtlich des Potenzials der deutschen Onshore-Windenergie kommen Rödl (2025) zu folgenden Erkenntnissen. Durch Repowering müssten pro Jahr nur noch eine Fläche für rund 1 GW Onshore-Windenergie erschlossen werden. Die Leistung der rund **15.000 Anlagen** mit einer Leistung von ca. 21,5 GW könnte auf 64,5 GW repowert werden. Bei einer Verdreifachung der Leistung durch Repowering und bei einer Ertragssteigerung um den Faktor 3,4 allein durch Repowering und durch aktuelle Studien belegt, würden die repowerten Anlagen eine Gesamtleistung von 73,1 GW erreichen und die **„Erschließung neuer Standorte wäre nicht mehr nötig.“**³⁹

5.6. EnBW (2025)

Tatsächlich geht auch EnBW von folgender Faustformel aus⁴⁰:

38 Flächenpotenziale der Windenergie an Land 2022, S. 37, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/02-planung/20220920_BWE_Flaechenpotentiale_Windenergie_an_Land.pdf.

39 Das Repowering-Potenzial der deutschen Onshore-Windenergie, 20.10.2025, <https://www.roedl.com/insights/potenzial-deutsche-onshore-windenergie/>; Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

40 Siehe hier auch BWE (2022), und auch Spengemann (WPD Windmanager), der im BWE BRANCHENREPORT zum Repowering äußert: „Vor allem die jährlichen Stromerträge steigen deutlich stärker an als um den Faktor 3. ‘Wir erreichen oft sogar den fünffachen Jahresertrag’.“ (BWE BRANCHENREPORT, Windindustrie in Deutschland 2025, S. 13).

„[...], dass bei einer Halbierung der Anlagenzahl eine Verdopplung der Leistung und eine Verdreifachung des Stromertrags erzielt werden kann.“⁴¹

EnBW weist jedoch darauf hin, dass die Betreiber älterer Anlagen, deren feste EEG-Einspeisevergütung für den erzeugten Strom endet, entscheiden müssten „ob die Anlagen am Ende ihrer technischen Lebensdauer zurückgebaut oder durch neue Anlagen ersetzt werden sollen.“⁴² Auch könnten WEA an ihrem Standort nicht einfach ersetzt werden. Auch dafür bräuchte es ein Planungs- und Genehmigungsverfahren. Moderne Windenergieanlagen seien höher, hätten größere Rotoren und benötigten deshalb mehr Abstand zueinander. Daher änderten sich die Standorte der neuen Anlagen, was genehmigt werden müsse. Weiter heißt es bei EnBW;

„Um das 2030-Ziel zu erreichen, wird laut Umweltbundesamt⁴³ aber ein jährlicher Zubau von 9 Gigawatt brutto (oder 7 Gigawatt netto) nötig sein. **Repowering** kann hierzu einen **Beitrag** leisten. **Allein dadurch wird das Ausbauziel aber nicht erreicht.**“⁴⁴

5.7. FA Wind (o. D.)

FA Wind sieht trotz einer Halbierung der Anlagenzahl durch Repowering durchaus die Möglichkeit einer **Verdrei- oder sogar Vervierfachung des Stromertrags**.⁴⁵

„Wenn der Neubau der Anlagen am selben Standort bzw. im unmittelbaren Umfeld erfolgt, lassen sich etablierte Standorte dauerhaft für die Windenergienutzung sichern. Zu beachten ist, dass die Neuanlagen die erforderlichen Abstände zur Wohnbebauung einhalten müssen. Windenergieanlagen der ersten Generation weisen geringere Höhen auf als moderne. Werden neue Anlagen errichtet, sind größere Abstände zur Wohnbebauung einzuhalten, sodass ein **Repowering am selben Standort häufig nicht möglich** ist.“⁴⁶

41 Aus alt mach neu: Was bringt Repowering? 16.12.2025, <https://www.enbw.com/unternehmen/themen/windkraft/was-bringt-repowering.html>.

42 <https://www.enbw.com/unternehmen/themen/windkraft/was-bringt-repowering.html>.

43 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/windenergie-an-land>.

44 Aus alt mach neu: Was bringt Repowering? 16.12.2025, <https://www.enbw.com/unternehmen/themen/windkraft/was-bringt-repowering.html>. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

45 <https://www.fachagentur-wind-solar.de/wind/repowering>.

46 <https://www.fachagentur-wind-solar.de/wind/repowering>.

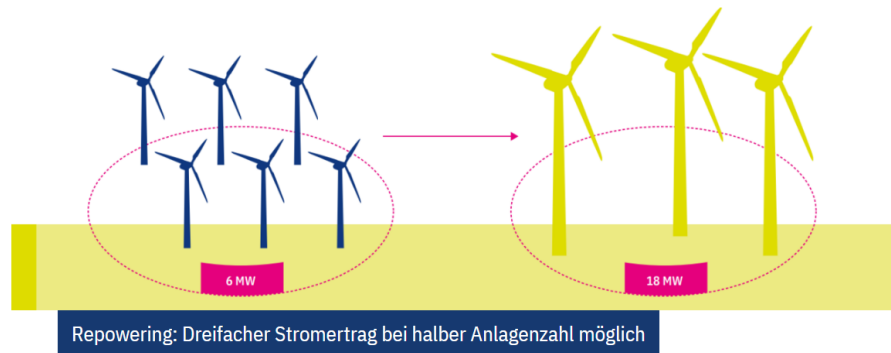


Abbildung 6:⁴⁷

6. Limitierende bzw. zu beachtende Faktoren

Zu den limitierenden Faktoren des Repowering mit Einfluss auf die Fläche gehören Fragen wie:

Ist eine Verlängerung der Pacht für die Fläche möglich, auf der die Altanlage steht? Möchte der Eigentümer bzw. die Eigentümergemeinschaft der WEA nach ca. 20 Jahren die Anlage stilllegen oder repowern und in welchem Umfang? Ist das entsprechende Stromnetz auch für eine größere Anlage ausgelegt? Gibt es Verschattungseffekte? Abschaltungsverluste? Höhenbegrenzungen? Gibt es genehmigungsrechtliche Abregelungen auf der Fläche? Wie ist die Qualität der Fläche hinsichtlich der Windhöffigkeit? Gilt die Rotor-In- oder Rotor-Out-Regelung in dem Landesteil?

6.1. Rotor-In/Out

Für die Flächenausweisung für die Windenergie existieren in der Praxis zwei unterschiedliche Ansätze: entweder hat nur der Turm innerhalb der Fläche zu stehen („Rotor-out“) oder auch die Rotoren müssen innerhalb der ausgewiesenen Fläche sein („Rotor-in“).⁴⁸

⁴⁷ FA Wind (o.D.), Repowering, <https://www.fachagentur-wind-solar.de/wind/repowering>.

⁴⁸ https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/cc_41-2022_auswirkungen_einer_rotor-in-planung_auf_die_verfuegbarkeit_von_windflaechen.pdf.

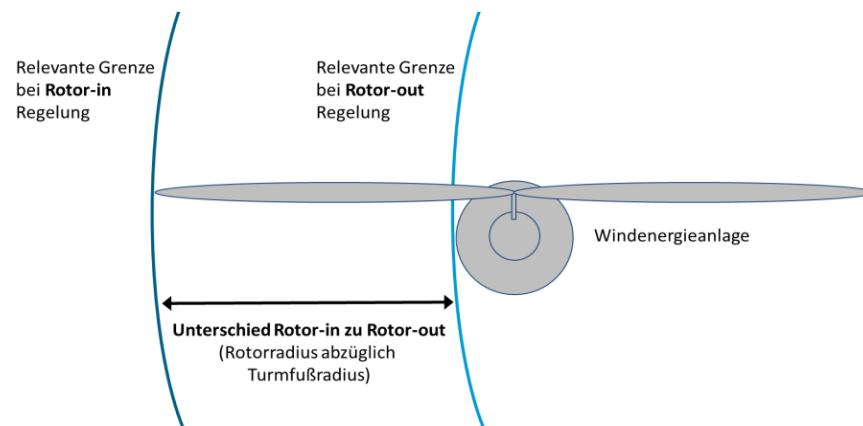


Abbildung 7: Unterschied der Regelungen Rotor-in und Rotor-out bezogen auf die Gebietsgrenze.⁴⁹

Die Untersuchung „Auswirkungen einer Rotor-in-Planung auf die Verfügbarkeit von Windflächen“⁵⁰ im Auftrag des Umweltbundesamtes kommt zu dem Ergebnis, „dass eine **Rotor-in**-Planung die **Verfügbarkeit einer Flächenkulisse stark einschränkt**.“⁵¹

Der Bund-Länder-Kooperationsausschuss führt in seinem Bericht zum Stand des Ausbaus der erneuerbaren Energien sowie zu Flächen, Planungen und Genehmigungen für die Windenergienutzung an Land (2025) Folgendes aus:

„Bundesweit ist der Umgang damit, welcher Planungsansatz zu Grunde gelegt wird, unterschiedlich. In Schleswig-Holstein, in zwei Regionen in Niedersachsen, einer Region in Sachsen und einer Region in Thüringen gilt ein Rotor-innerhalb-Ansatz. In Brandenburg, Hessen und Mecklenburg-Vorpommern, in vier Regionen in Bayern, in drei Regionen in Baden-Württemberg sowie drei Regionen in Rheinland-Pfalz gilt ein Rotor-außerhalb Ansatz. Alle anderen Länder bzw. Regionen geben für die Regionalplanung an, dass Rotor-außerhalb möglich bzw. nicht ausgeschlossen ist. Für Bauleitpläne gilt überwiegend Rotor-innerhalb, jedoch bestehen auch hier nach Angaben der Länder Ausnahmen. So wurde etwa für Bremen fast ausschließlich Rotor-außerhalb in den Daten angegeben.“⁵²

49 S. 7, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/cc_41-2022_auswirkungen_einer_rotor-in-planung_auf_die_verfuegbarkeit_von_windflaechen.pdf.

50 Bons, Marian et al. (2022), Auswirkungen einer Rotor-in-Planung auf die Verfügbarkeit von Windflächen, Ad-hoc-Analyse zur Verfügbarkeit von Windflächen, die ein Überstreichen der Gebietsgrenzen durch den Rotor nicht zulassen, Hrsg. Umweltbundesamt, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/cc_41-2022_auswirkungen_einer_rotor-in-planung_auf_die_verfuegbarkeit_von_windflaechen.pdf.

51 https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/cc_41-2022_auswirkungen_einer_rotor-in-planung_auf_die_verfuegbarkeit_von_windflaechen.pdf. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

52 S. 26, https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/E/EEG-Kooperationsausschuss/2025/bericht-bund-laender-kooperationsausschuss-2025.pdf?__blob=publicationFile&v=8.

6.2. Mindestabstand zwischen Windparkanlagen

Zur Vermeidung von Turbulenzeinflüssen (sog. Verschattung) wird zwischen Windrädern „ein Abstand des 5-fachen Rotordurchmessers in Hauptwindrichtung und des 3-fachen Rotordurchmessers in Nebenwindrichtung“⁵³ empfohlen. Bei größeren Anlagen ist auch ein größerer Abstand zwischen den einzelnen WEA notwendig, zu geringe Abstände zwischen Anlagen führen zu vermehrten Abschaltungen und einer Gefährdung der Standsicherheit.⁵⁴

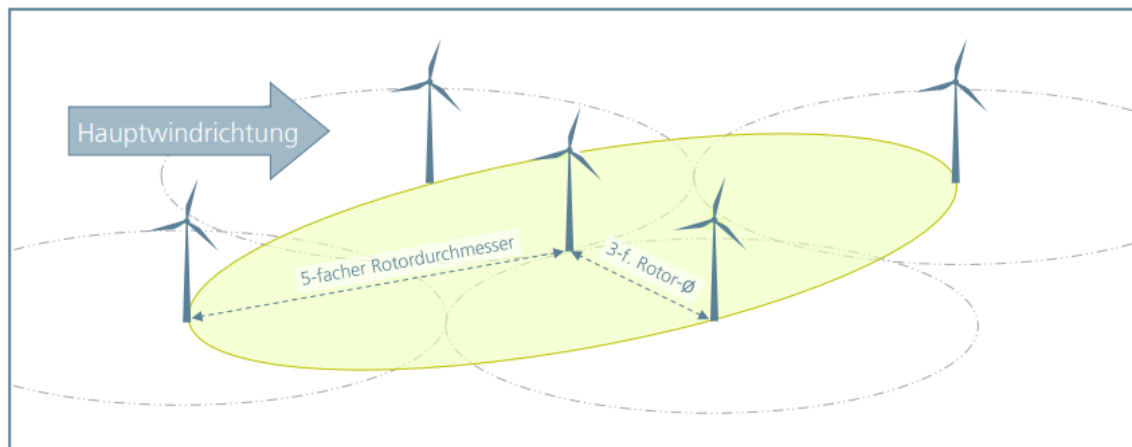


Abbildung 8: Anlagenanordnung innerhalb eines Modell-Windparks und die darin berücksichtigte Fläche; Grafik: FA Wind⁵⁵

Bei einem Abstand von **drei Rotordurchmessern** zur nächstgelegenen Anlage, „ergibt das für moderne Anlagen Abstände von bis zu **500 m**.“⁵⁶ Laut WindGuard (2020) erfüllten aufgrund der aktuellen Bebauung in Niedersachsen die wenigsten Bestandsanlagen mit Repoweringpotenzial diese Abstandsmöglichkeit. Somit sei dort davon auszugehen, dass ein „Repowering im Verhältnis **eins zu eins** nicht möglich“ sei.⁵⁷

6.3. Abstand zwischen Anlagen und Zeitverlauf nach Rückbau (von 2H auf 5H)

Hinsch (2025) beschreibt die neuen Regelungen für die WEA für Rückbau und Repowering:

53 S. 4, https://www.fachagentur-wind-solar.de/fileadmin/Veroeffentlichungen/Wind/Analysen/FA_Wind_Hoehenbegrenzungen_Wind-an-Land_03-2019.pdf.

54 Vgl. S. 42, https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/veroeffentlichungen/2020/Repoweringpotenzial_in_Niedersachsen_2020.pdf.

55 S. 5, https://www.fachagentur-wind-solar.de/fileadmin/Veroeffentlichungen/Wind/Analysen/FA_Wind_Hoehenbegrenzungen_Wind-an-Land_03-2019.pdf.

56 S. 42, https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/veroeffentlichungen/2020/Repoweringpotenzial_in_Niedersachsen_2020.pdf.

57 Ebd.

„Durch diese Gesetzesänderung wurden die Voraussetzungen für den Fall des Repowerings geändert, bei dem die Modernisierung mit dem vollständigen Rückbau einer Anlage einhergeht, § 16b Abs. 2 Satz 2 BImSchG. So muss die neue Anlage statt innerhalb von 24 Monaten in 48 Monaten nach dem Rückbau der Bestandsanlage errichtet werden. Auch der Abstand zwischen den Standorten der Bestandsanlage und der neuen Anlage wurde von **höchstens das Zweifache der Gesamthöhe der neuen Anlage auf das Fünffache der Gesamthöhe** ausgedehnt.“⁵⁸

6.4. Abstand (Natura 2000-Gebiet, militärischen Anlage etc.)

Des Weiteren gilt es, Abstandsregelungen zu Natura 2000-Gebieten, militärischen Anlagen, Flughäfen etc. zu beachten.

Reichartz et al. (2025) betonen die Unklarheit einiger Vorschriften zu Abstandsflächen. Projektentwickler stünden hierbei vor erheblichen Herausforderungen, aufgrund der Notwendigkeit einer Einzelfallprüfung bei der Mehrheit der Standorte.⁵⁹

6.5. Naturschutzfachliche Konfliktrisiken

Blew et al. (2025) bemängeln, dass in den **Bundesländern** für den Repoweringprozess **unterschiedliche Vorgaben** gelten. Allgemein fehlten anerkannte Konventionen zu naturschutzfachlichen und rechtlichen Beurteilungen von Repoweringvorhaben sowie zur planerischen und methodischen Umsetzung. Inzwischen habe der Gesetzgeber mit § 16b Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und § 45c Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) den Rahmen für die Beurteilung von Repoweringvorhaben und für Erleichterungen bei der Genehmigung gesetzt. Eine Anwendungshilfe für die Praxis fehle bislang jedoch auch auf dieser Ebene.⁶⁰ Auf Grundlage von Ergebnissen eines Raumbewertungsmodells zur Einschätzung des Konfliktrisikos von Potenzialflächen für die Errichtung von WEA bestehe für insgesamt **72 %** aller vorhandenen WEA ein **geringes Potenzial** für ein **standorterhaltendes Repowering**, da diese WEA innerhalb von Ausschlussflächen oder Flächenkategorien mit hohen Konfliktrisikowerten stünden.⁶¹

58 Hinsch, Andreas (2025), Rechtliche Hürden beim Repowering, 14.01.2025, <https://www.windindustrie-in-deutschland.de/fachartikel/rechtliche-huerden-beim-repowering>.

59 Reichartz, Thorsten et al. (2025), Techno-economic wind energy potential of Germany considering state-specific regulations, <https://publications.rwth-aachen.de/record/1013034/files/1013034.pdf>.

60 Blew, Jan et al. (2025), Naturschutzaspekte beim Repowering von Windenergieanlagen – Analyse rechtlicher Fragen und eine Entscheidungshilfe, S. 198, <https://bfz.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/2039/file/NuL2025-05-02.pdf>.

61 Blew, Jan et al. (2025), Naturschutzaspekte beim Repowering von Windenergieanlagen – Analyse rechtlicher Fragen und eine Entscheidungshilfe, <https://www.natur-und-landschaft.de/aktuelles/news/naturschutzaspekte-beim-repowering-von-windenergieanlagen>.

6.6. Eigentumsverhältnisse, Pachtflächen und Verträge

Es hängt vom Eigentümer der WEA ab, ob er nach ca. 20 Jahren die Anlage stilllegen oder repowern möchte und in welchem Umfang.⁶²

Spengemann (WPD Windmanager) wird im BWE BRANCHENREPORT zum Repowering zitiert:

Repowering sei einfach – wenn sich alle einig seien. Schwieriger werde es, wenn die Landeigentümer nicht mehr mit dem bisherigen Betreiber der Windräder zusammenarbeiten möchten. In diesen Fällen müssten die Parteien entweder für eine Lösung kooperieren oder das Repowering müsse warten, bis die Nutzungsverträge des alten Betreibers auslaufen. Dann verzögere sich das Repowering oft tatsächlich bis zu dem Zeitpunkt, wo das Recht auf Einspeisevergütung auslaufe und die gemeinsamen Verträge endeten.⁶³

Auf weitere rechtliche Herausforderungen machen Rauschenbach/Böhlmann-Balan (2024) aufmerksam, wie z. B. den Wechsel des Vertragssystems, wenn das Repowering nicht mehr von einem Eigentümer, sondern einer Eigentümergemeinschaft gesichert werden soll und umgekehrt. Auch die Anforderungen der Finanzierungsbanken zur Grundstückssicherung könnten sich ändern.⁶⁴

6.7. Höhenbegrenzung

WEA, die vor etwa 20 Jahren installiert wurden, sind im Durchschnitt nur halb so hoch wie heutige Anlagen. Sind diese Standflächen mit Höhenbegrenzungen belegt, erlauben sie keine höheren WEA.⁶⁵

62 Vgl. Antwort der Landesregierung auf die Kleine, Übersicht und Anrechnung bestehender Windenergieanlagen auf die Flächenziele nach dem Wind-an-Land-Gesetz, Antwort unter Punkt 3, 12.08.2025, <https://padoka.landtag.sachsen-anhalt.de/files/drs/wp8/drs/d5788aak.pdf>.

63 BWE BRANCHENREPORT, Windindustrie in Deutschland 2025, S. 13.

64 Rauschenbach, Julia; Böhlmann-Balan, Antje (2024), Repowering von Altanlagen – Was bieten die Neuregelungen und wo finden sie ihre Grenzen? 26.04.2026, <https://www.windindustrie-in-deutschland.de/fachartikel/repowering-von-altanlagen-was-bieten-die-neuregelungen-und-wo-finden-sie-ihre-grenzen>.

65 Teilbericht, Abbau von Hemmnissen beim Repowering von Windenergieanlagen Planungsrechtliche Rahmenbedingungen, S. 33, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/11850/publikationen/49_2024_texte_repowering_windenergieanlagen.pdf.

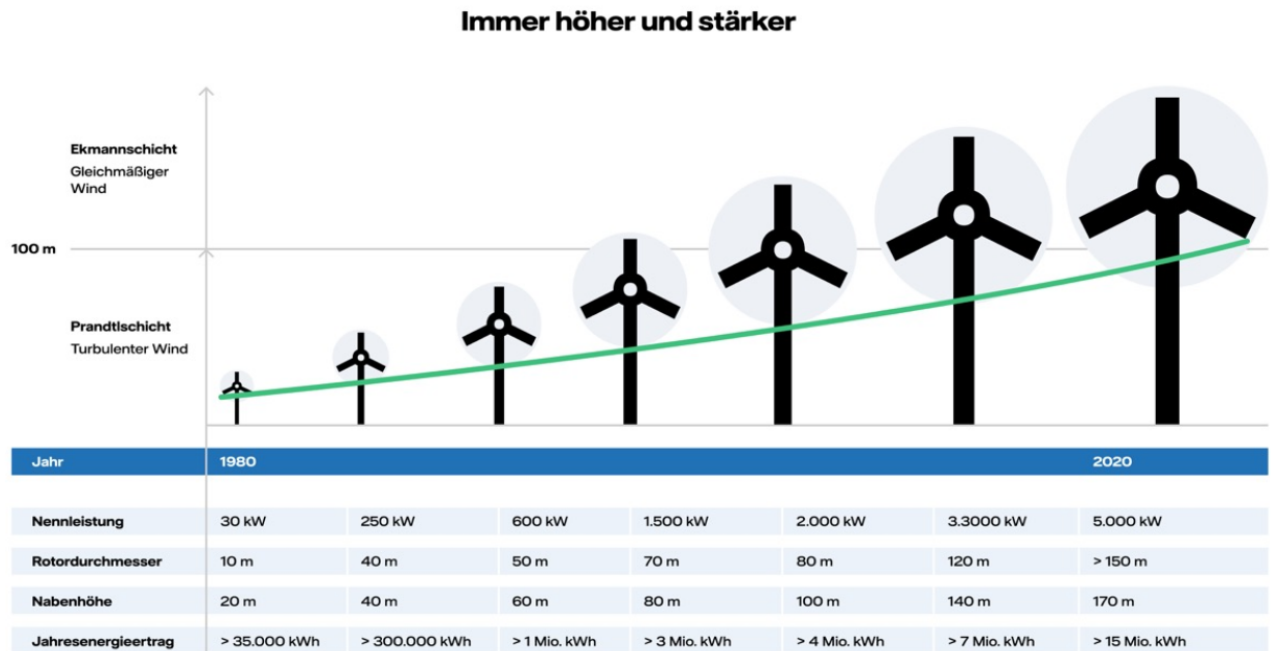


Abbildung 9:⁶⁶

7. MENTOR (Verbundvorhaben)

Das Verbundvorhaben MENTOR mit einer Projektlaufzeit vom 01.06.2024 bis zum 30.11.2026 befasst sich mit „Leistungs- und Ertragsprognosen für Windenergieflächen: Neue Modelle berücksichtigen Restriktionen“:

„Auf ausgewiesenen Windenergieflächen lässt sich nicht immer so viel Leistung installieren, wie ursprünglich angenommen. Das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE entwickelt daher nun im Rahmen des Verbundvorhabens MENTOR Modelle und Verfahren, die zeigen, wie sich lokale Restriktionen auf die jeweils realisierbaren Windenergieleistungen und -erträge auswirken. Das macht es möglich, die Nutzbarkeit bestehender und geplanter Flächen besser zu bewerten. Zudem helfen sie bei der Abschätzung von Repowering-Potenzialen. Das Fraunhofer IEE arbeitet bei MENTOR mit der Fachagentur Wind- und Solarenergie und der Universität Kassel sowie dem Umweltbundesamt zusammen.“⁶⁷

Detaillierte Angaben zum MENTOR-Projekt finden sich unter dem folgenden Link:
<https://www.fachagentur-wind-solar.de/projekte/mentor>.

⁶⁶ (2011), <https://www.vattenfall.de/infowelt-energie/fossilfrei-leben/repowering-windkraft>.

⁶⁷ <https://www.iee.fraunhofer.de/de/presse-infothek/Presse-Medien/2024/leistungs-und-ertragsprognosen-fuer-windenergie-flaechen.html>.

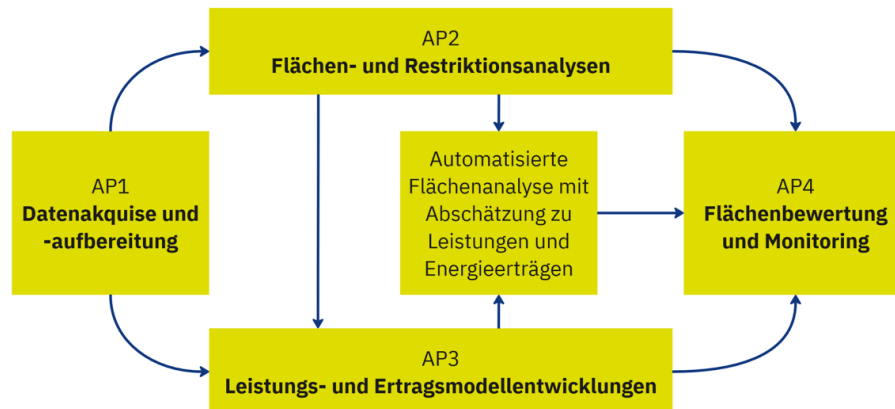
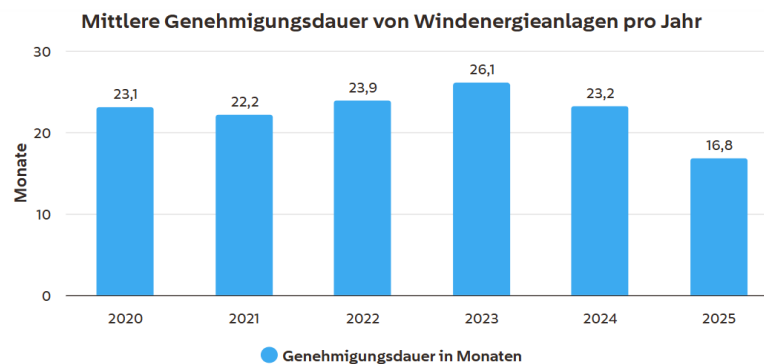


Abbildung 10: Schema: Arbeitspaket im Projekt MENTOR.⁶⁸

8. Durchschnittliche Dauer des Genehmigungsverfahrens

Laut dem Bericht des Kooperationsausschusses (2025) sind Genehmigungsverfahren für WEA kürzer geworden, die Projektrealisierung dauert aber weiterhin zu lang.⁶⁹



Quelle: FA Wind und Solar; Stand: Januar 2026

Abbildung 11: Mittlere Genehmigungsdauer von WEA pro Jahr.⁷⁰

Beispiel für die durchschnittliche Dauer des Genehmigungsverfahrens beim Repowering:

⁶⁸ <https://www.fachagentur-wind-solar.de/projekte/mentor>.

⁶⁹ S. 48, https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/E/EEG-Kooperationsausschuss/2025/bericht-bund-laender-kooperationsausschuss-2025.pdf?__blob=publicationFile&v=8.

⁷⁰ <https://www.enbw.com/unternehmen/themen/windkraft/was-bringt-repowering.html>.

Jahr	Anzahl Genehmigungen gemäß § 16b BImSchG	Leistung in MW	Durchschnittliche Dauer des Genehmigungsver- fahrens in Monaten
2015	1	2,00	7
2016	1	3,00	5
2017	0	0	0
2018	0	0	0
2019	0	0	0
2020	0	0	0
2021	0	0	0
2022	0	0	0
2023	1	11,20	4
2024	1	13,96	3
2025	7	214,20	5

Quelle: Abfrage Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz, Stand: 31. Dezember 2025

Abbildung 12: Durchschnittliche Dauer des Genehmigungsverfahrens gemäß § 16b BImSchG in Monaten.⁷¹

9. Listen nach Betriebsdauer (15/20/25 Jahre)

Im Januar 2026 stellte die Bundesregierung die folgenden drei Tabellen zu den Betriebsjahren der WEA an Land zur Verfügung. Die Tabellen sind gegliedert nach Bundesland, Leistungsklasse, Anzahl der WEA und Summe der Leistung in MW.⁷²

Tabelle 1 WEA an Land seit 15 bis einschließlich 20 Jahren in Betrieb (Stichtag 1. Dezember 2025):

71 Antwort des Thüringer Ministeriums für Umwelt, Energie, Naturschutz und Forsten auf die Kleine Anfrage, Auswirkungen des „Osterpakets 2022“ auf den Windenergieausbau in Thüringen, 19.02.2026, S. 2, https://parldok.thltcloud.de/parldok/dokument/106253/8_2963_auswirkungen_des_osterpakets_2022_auf_den_windenergieausbau_in_thueringen.

72 Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage, Entsorgung ausgedienter Windindustrieanlagen, 02.01.2026, BT-Drs. 21/3531, <https://dserver.bundestag.de/btd/21/035/2103531.pdf>.

Bundesland	Leistungsklasse	Anzahl	Summe Leistung in MW
Baden-Württemberg	< 2 MW	17	20
Baden-Württemberg	2 bis 4 MW	90	181
Bayern	< 2 MW	37	41
Bayern	2 bis 4 MW	111	223
Berlin	2 bis 4 MW	1	2
Brandenburg	< 2 MW	181	227
Brandenburg	2 bis 4 MW	796	1.625
Bremen	< 2 MW	2	2
Bremen	> 4 MW	4	20
Bremen	2 bis 4 MW	18	40
Hamburg	< 2 MW	1	0
Hamburg	> 4 MW	2	12
Hessen	< 2 MW	57	60
Hessen	2 bis 4 MW	47	97
Mecklenburg-Vorpommern	< 2 MW	41	44
Mecklenburg-Vorpommern	2 bis 4 MW	189	401
Niedersachsen	< 2 MW	259	235
Niedersachsen	> 4 MW	14	89
Niedersachsen	2 bis 4 MW	726	1.517
Nordrhein-Westfalen	< 2 MW	198	202
Nordrhein-Westfalen	2 bis 4 MW	249	508
Rheinland-Pfalz	< 2 MW	75	85
Rheinland-Pfalz	> 4 MW	1	8
Rheinland-Pfalz	2 bis 4 MW	239	496
Saarland	< 2 MW	5	7
Saarland	2 bis 4 MW	14	30
Sachsen	< 2 MW	24	21
Sachsen	2 bis 4 MW	105	215
Sachsen-Anhalt	< 2 MW	119	154
Sachsen-Anhalt	> 4 MW	4	24
Sachsen-Anhalt	2 bis 4 MW	563	1.170
Schleswig-Holstein	< 2 MW	53	21
Schleswig-Holstein	> 4 MW	8	43

Bundesland	Leistungsklasse	Anzahl	Summe Leistung in MW
Schleswig-Holstein	2 bis 4 MW	303	694
Thüringen	< 2 MW	16	14
Thüringen	2 bis 4 MW	100	202

Abbildung 13: aus Drucksache 21/3531 vom 02.01.2026.⁷³

Tabelle 2 WEA an Land seit 20 bis einschließlich 25 Jahren in Betrieb (Stichtag 1. Dezember 2025):

Bundesland	Leistungsklasse	Anzahl	Summe Leistung in MW
Baden-Württemberg	< 2 MW	148	154
Baden-Württemberg	2 bis 4 MW	14	28
Bayern	< 2 MW	116	117
Bayern	2 bis 4 MW	15	30
Brandenburg	< 2 MW	882	1.222
Brandenburg	2 bis 4 MW	294	590
Bremen	< 2 MW	3	1
Bremen	> 4 MW	1	5
Bremen	2 bis 4 MW	14	29
Hamburg	< 2 MW	8	6
Hessen	< 2 MW	155	185
Hessen	2 bis 4 MW	13	27
Mecklenburg-Vorpommern	< 2 MW	308	374
Mecklenburg-Vorpommern	2 bis 4 MW	106	216
Niedersachsen	< 2 MW	1133	1.552
Niedersachsen	> 4 MW	3	17
Niedersachsen	2 bis 4 MW	384	776
Nordrhein-Westfalen	< 2 MW	818	989
Nordrhein-Westfalen	2 bis 4 MW	121	243
Rheinland-Pfalz	< 2 MW	259	331
Rheinland-Pfalz	2 bis 4 MW	56	116
Saarland	< 2 MW	25	34
Sachsen	< 2 MW	192	254
Sachsen	2 bis 4 MW	61	122
Sachsen-Anhalt	< 2 MW	650	903
Sachsen-Anhalt	> 4 MW	1	5
Sachsen-Anhalt	2 bis 4 MW	225	462
Schleswig-Holstein	< 2 MW	287	394
Schleswig-Holstein	2 bis 4 MW	74	152
Thüringen	< 2 MW	166	220
Thüringen	2 bis 4 MW	30	60

Abbildung 14: aus Drucksache 21/3531 vom 02.01.2026.⁷⁴

⁷⁴ <https://dserver.bundestag.de/btd/21/035/2103531.pdf>.

Tabelle 3 WEA an Land seit mehr als 25 Jahren in Betrieb (Stichtag 1. Dezember 2025):

Bundesland	Leistungsklasse	Anzahl	Summe Leistung in MW
Baden-Württemberg	< 2 MW	64	42
Bayern	< 2 MW	59	40
Brandenburg	< 2 MW	273	179
Bremen	< 2 MW	13	6
Hamburg	< 2 MW	15	11
Hessen	< 2 MW	171	102
Mecklenburg-Vorpommern	< 2 MW	330	223
Niedersachsen	< 2 MW	1114	803

Bundesland	Leistungsklasse	Anzahl	Summe Leistung in MW
Nordrhein-Westfalen	< 2 MW	485	257
Rheinland-Pfalz	< 2 MW	132	87
Saarland	< 2 MW	3	1
Sachsen	< 2 MW	287	231
Sachsen-Anhalt	< 2 MW	303	287
Schleswig-Holstein	< 2 MW	254	171
Thüringen	< 2 MW	114	79

Abbildung 15: aus Drucksache 21/3531 vom 02.01.2026⁷⁵

10. Weiterführende Literatur

Bogdanov, D./Breyer, C. (2016), North-East Asian Super Grid for 100% renewable energy supply: Optimal mix of energy technologies for electricity, gas and heat supply options. *Energy Conversion and Management*, 112, 176–190. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.019>.

DeutscheWindGuard (2017), Perspektiven für Weiterbetrieb nach 2020, S. 28, <https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/06-betrieb/perspektiven-fuer-den-weiterbetrieb-von-wea-nach-2020-v3c.pdf>.

FA Wind (2018): Was tun nach 20 Jahren? Repowering, Weiterbetrieb oder Stilllegung von Windenergieanlagen nach Förderende. Berlin: FA Wind. https://www.fachagenturwindenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/FA_Wind_Was_tun_mit_WEA_nach_20Jahren.pdf.

FA Wind (2019), Überblick Windenergie an Land: Wirkung von Höhenbegrenzungen auf den Flächenbedarf für Windenergieanlagen an Land, https://www.fachagenturwindenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/Faktenpapiere/FA_Wind_Hoehenbegrenzungen_Windan-Land_03-2019.pdf.

Agora Energiewende (2020), Sofortprogramm Windenergie an Land. Was jetzt zu tun ist, um die Blockaden zu überwinden, S. 15 f und 20 f, https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020-01_DE-RE-Boost-2030/A-EW_198_OnshoreSofort_WEB.pdf.

⁷⁵ <https://dserver.bundestag.de/btd/21/035/2103531.pdf>.

R. Lacal-Arántegui, A. Uihlein, J. M. Yusta, Technology effects in repowering wind turbines. Wind Energy 23, 660–675 (2020), <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/we.2450>.

BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.) (2020): Windenergiestandorte erhalten – Repowering ermöglichen. Berlin: BDEW. Positionspapier, https://www.bdew.de/media/documents/Zusammenfassung_BDEWPositionspapierRepowering_201124.pdf.

FA Wind (2021), Repowering im Planungsrecht fördern. Zwei planungsrechtliche Vorschläge zur Diskussion. Berlin: FA Wind. Diskussionspapier. S. 6ff, https://www.fachagentur-wind-solar.de/fileadmin/Veroeffentlichungen/Wind/Repowering/FA_Wind_Diskussionspapier_Repowering_im_Planungsrecht_foerdern_05-2021.pdf.

FA Wind (2021), Überblick zu den Abstandsempfehlungen zur Ausweisung von Windenergiegebieten in den Bundesländern (Stand Januar 2021, auf Grundlage einer Zusammenstellung der Bund-Länder Initiative Windenergie vom Mai 2013). Berlin: FA Wind. https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/PlanungGenehmigung/FA_Wind_Abstandsempfehlungen_Laender.pdf.

Unnewehr, Jan F. et al. (2021), Getting more with less? Why repowering onshore wind farms does not always lead to more wind power generation – A German case study, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148121012167>.

Grau, Leonie et al. (2021), Sounding out the repowering potential of wind energy – A scenario-based assessment from Germany, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621003140?via%3Dihub>.

McKenna, Russell et al. (2022), High-resolution large-scale onshore wind energy assessments: A review of potential definitions, methodologies and future research needs. Renewable Energy, 182, 659–684. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.027>.

Fraunhofer-IEE & Bosch & Partner (2022), Flächenpotenziale der Windenergie an Land 2022, Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE), https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/02-planung/20220920_BWE_Flaechenpotentiale_Windenergie_an_Land.pdf.

Flächenpotenziale der Windenergie an Land 2022, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/02-planung/20220920_BWE_Flaechenpotentiale_Windenergie_an_Land.pdf.

Zur Flächennutzung durch Windenergie in Deutschland, <https://www.bundestag.de/source/blob/947270/WD-8-019-23-pdf.pdf>.

Praxishilfe zum Repowering in der Regional- und Kommunalplanung, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/376/publikationen/uba_praxishilfe_zum_repowering_in_der_regional-und_kommunalplanung_2023_barrierefrei.pdf.

Pape, Carsten (2022), Nutzbarkeit der Wind-Vorranggebiete für moderne Windenergieanlagen, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente-landesverbaende/schleswig-holstein/publikationen/20220511_BWE_SH_Praesentation_an_BWE_korr.pdf.

Zur benötigten Anlagenzahl für den Ausbau der Windenergie an Land, <https://www.bundestag.de/resource/blob/920010/WD-8-062-22-WD-5-101-22-pdf.pdf>.

Fraunhofer-IEE & Bosch & Partner (2022), Flächenpotenziale der Windenergie an Land 2022, Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE), https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/01-mensch-und-umwelt/02-planung/20220920_BWE_Flaechenpotentiale_Windenergie_an_Land.pdf.

Reutter et al. (2022), Flächenziele für die Windenergie: Wie zielführend ist das neue Wind-an-Land-Gesetz? Wirtschaftsdienst, 102. Jahrgang, 2022, Heft 9, S. 703-708, <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/267068/1/s10273-022-3269-2.pdf>.

EWI (2023). EWI-Analyse: Täglich 5,8 Windenergieanlagen bis 2030 notwendig, 12. Januar 2023, <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/aktuelles/ewi-analyse-taeglich-58-windenergieanlagen-bis-2030-notwendig/>.

Krüger, T. (2023), Development of the demand for land for wind energy production in Germany, Entwicklung des Flächenbedarfs für die Windenergiegewinnung in Deutschland, Gis.Science, 1/2023.

Neto, J. A. et al. (2024), Factors Influencing the Decision-Making Process at the End-of-Life Cycle of Onshore Wind Farms: A Systematic Review, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/4/848>.

WindEurope (2024), End of life and repowering trends, and policy recommendations on repowering, <https://windeurope.org/data/products/end-of-life-and-repowering-trends-and-policy-recommendations-on-repowering/> dann Download starten.

Ahmed, Faraedoon et al. (2024), Assessing the engineering, environmental and economic aspects of repowering onshore wind energy, Energy, 301, 131759. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544224015329#sec2>.

Teilbericht, Abbau von Hemmnissen beim Repowering von Windenergieanlagen, Planungsrechtliche Rahmenbedingungen, https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/11850/publikationen/49_2024_texte_repowering_windenergieanlagen.pdf.

Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland 1. Halbjahr 2025, https://www.fachagentur-wind-solar.de/fileadmin/Veroeffentlichungen/Wind/Daten/FA_Wind_Solar_Status_des_Windenergieausbaus_an_Land_Halbjahr_2025.pdf.

Reichartz, Thorsten et al. (2025), Techno-economic wind energy potential of Germany considering state-specific regulations, <https://publications.rwth-aachen.de/record/1013034/files/1013034.pdf>.

Kerschbaum, Alina et al. (2025), Methods for analysing renewable energy potentials in energy system modelling: A review, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032125002321>.

Mühlbauer, Andreas et al. (2026), The potential for onshore wind repowering to hasten the energy transition in the United States, <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/Others/26-WindRepower.pdf>.

Bidwells (11.02.2026), Wind Turbine Repowering: A New Generation of Optimised Sites, <https://www.bidwells.co.uk/insights-reports-events/Wind-Turbine-Repowering-A-New-Generation-of-Optimised-Sites/>.

Statkraft (o.D.), Repowering wind farms: More energy from existing sites, <https://www.statkraft.com/what-we-do/wind-power/repowering-wind-farms-more-energy-from-existing-sites/>.

Eurowind Energy (o.D.), Repowering of wind farms, <https://eurowindenergy.com/areas-of-business/repowering>.
