

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Monitoringbericht zum Ausbau der erneuerbaren Energien im Strombereich 2023

und

Fortschrittsbericht Windenergie an Land 2023

Inhaltsverzeichnis

Monitoringbericht zum Ausbau der erneuerbaren Energien nach § 98 Absatz 3 EEG	4
Zusammenfassung	5
Einleitung	7
1 Ausbau erneuerbarer Energien im Strombereich	9
1.1 Ausbau erneuerbarer Energien im Jahr 2022	9
1.2 Ausbau erneuerbarer Energien im Jahr 2023	15
2 Fortschritte beim Ausbau der Windenergie an Land	17
2.1 Genehmigungen	17
2.2 Flächenausweisungen	18
3 Prognose zur Entwicklung des Bruttostromverbrauchs	21
4 Bewertung des EE-Ausbaus mit Blick auf die Zielerreichung	22
4.1 Bewertung für das Jahr 2022	22
4.2 Vorläufige Bewertung für das Jahr 2023	26
4.3 Bewertung der Flächenausweisung und Genehmigungssituation bei Windenergie an Land	27
5 Handlungsbedarf für beschleunigten EE-Ausbau und die Zielerreichung im Jahr 2030	28
Quellenverzeichnis	31
Fortschrittsbericht Windenergie an Land nach § 99a EEG: Funknavigation, Wetterradar, seismologische Messstationen und Bundeswehr	32
Zusammenfassung	33
1 Funknavigation: Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit von Windenergieanlagen an Land und dem Betrieb von Drehfunkfeuern	35
1.1 Verkleinerung der Anlagenschutzbereiche um DVOR	36
1.2 Außerbetriebnahmen von Drehfunkfeuern	37
1.3 Umrüstungen von Drehfunkfeuern zur Verringerung der Störwirkung von Windenergieanlagen	38
1.4 Anhebung der Stöbergrenze bei Funknavigationsanlagen	38
1.5 Geringere Systemtoleranz (Monitorfehler, Anlagenfehler)	38
1.6 Neue Methode zu Bestimmung der Vorbelastung	39
1.7 Neue Formel zur Berechnung von Störungen an CVOR-Anlagen	39
1.8 Beschleunigte Vorgangsbearbeitung in der DFS	39
1.9 Szenariobasierte Vorprüfung	40

2	Wetterradare und Windenergieanlagen	41
2.1	Verkleinerung der Abstände zwischen Windenergieanlagen und Wetterradaranlagen	41
2.2	Verbesserte Analyse der Einflüsse von Windenergieanlagen bei Wetterradarmessungen	42
2.3	Verlegung von Wetterradaranlagen	42
3	Seismologische Messstationen und Windenergie an Land	43
3.1	Beteiligung von Betreibern seismologischer Messstationen im Rahmen von Genehmigungsverfahren zum Bau und Betrieb von Windenergieanlagen	43
3.2	Mögliche Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit von Windenergieanlagen mit seismologischen Messstationen	45
4	Windenergienutzung und militärische Belange	46

Gemäß § 98 Absatz 3 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2023) bzw. § 99a legt die Bundesregierung jährlich bis zum 31. Dezember einen Bericht zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zum Stand aktueller Nutzungskonkurrenzen beim Ausbau der Windenergie mit Funknavigationsanlagen, Wetterradaren und seismologischen Messstationen vor.

Mit dem Monitoringbericht nach § 98 Absatz 3 EEG 2023 gibt die Bundesregierung Auskunft über den aktuellen Stand der Zielerreichung beim Ausbau der erneuerbaren Energien im Strombereich und ordnet diesen in den Kontext der anstehenden Herausforderungen für die Erreichung der im Juli 2022 angepassten Ausbauziele ein. Ferner werden beim Ausbau der Windenergie an Land Entwicklungen in Bezug auf Genehmigungen und Flächenausweisungen dargestellt.

Mit dem Fortschrittsbericht nach § 99a EEG 2023 berichtet die Bundesregierung zu aktuellen Nutzungskonkurrenzen beim Ausbau der Windenergie mit Funknavigationsanlagen, Wetterradaren und seismologischen Messstationen. Dieser Berichtsteil enthält insbesondere Angaben über Zeitplan und Stand möglicher Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit von Windenergieanlagen an Land mit den vorgenannten Nutzungen und Geräten. Ausgewiesen werden auch mögliche Beschleunigungsmöglichkeiten. Soweit Nutzungskonkurrenzen mit militärischen Belangen bestehen, können diese im Einzelfall dargestellt werden.

Monitoringbericht zum Ausbau der erneuerbaren Energien nach § 98 Absatz 3 EEG

Zusammenfassung

Der Ausbau von Wind- und Solarenergie hat in den letzten beiden Jahren eine sichtbare Dynamik bekommen. Die installierte Leistung von Windenergie- und Solaranlagen, den beiden zentralen Energieträgern für eine sichere, bezahlbare und klimafreundliche Stromversorgung in Deutschland, stellte sich Ende des Jahres 2022 wie folgt dar: Windenergie an Land 58,0 Gigawatt (GW), Photovoltaik (PV) 67,5 GW und Windenergie auf See ca. 8,1 GW. Die Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien (EE) in Deutschland betrug im Jahr 2022 254,2 Terawattstunden (TWh). Damit stieg der Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Stromverbrauch auf 46 Prozent im Jahr 2022 an. Diese Dynamik wurde 2023 weiter gesteigert. Der EE-Anteil lag Ende 2023 bei über 50 Prozent. Bei den PV-Neuinstallationen ist in 2023 ein Plus von 90 Prozent und bei den Neugenehmigungen bei Windenergie an Land ein Plus von 83 Prozent im Vergleich zum Vorjahreszeitraum zu verzeichnen. Durch die konsequente Umsetzung der neuen gesetzlichen Regelungen sowie der Ausbauplanung wurden allein im Jahr 2023 rund 14 GW neue PV-Anlagenleistung zugebaut – so viel wie noch nie bislang in einem Jahr. Auch beim Ausbau und vor allem den Genehmigungen der Windenergie an Land ist ein positiver Trend deutlich sichtbar. Grundvoraussetzung dafür sind die Aktivitäten der Bundesländer zur Flächenausweisung gemäß den Zielvorgaben des seit Februar 2023 in Kraft getretenen Windflächenbedarfsgesetzes (WindBG). Hier zeigt sich weiterhin ein sehr heterogenes Bild zwischen den Bundesländern. Klar ist aber bereits jetzt, dass die Länder zur Erreichung der durchschnittlichen Ausweisung von zwei Prozent der Landesfläche für die Windenergie noch erhebliche Anstrengungen unternehmen müssen.

Hintergrund der Entwicklung sind auch zahlreiche politische Weichenstellungen durch die Bundesregierung, die sowohl die gesetzlichen Grundlagen

als auch die Umsetzung betreffen. Mit der Novelle des EEG (EEG 2023) und des Windenergie-auf-See-Gesetzes (WindSeeG) wurden im Sommer 2022 die Ausbauziele für erneuerbare Energien an den Klimaschutzpfad für 1,5 Grad Celsius angepasst und zahlreiche Maßnahmen zur Flankierung der Beschleunigung des Ausbaus beschlossen. Wesentliche Maßnahmen zur Planungs- und Genehmigungsbeschleunigung beim Windenergieausbau an Land sind darüber hinaus auf Bundesebene durch den Beschluss des Wind-an-Land-Gesetzes sowie weiterer Gesetze wie der Novelle des Bundesnaturschutzgesetzes erfolgt. Im Mai 2023 hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) weiterführende Strategien für den Ausbau von Windenergie an Land und Photovoltaik (PV) vorgestellt: Die Windenergie-an-Land-Strategie enthält zwölf Maßnahmenpakete, die die bisherigen Hemmnisse abbauen und so das Erreichen der Ausbauziele sicherstellen sollen. Ein Teil der Maßnahmen wird bereits umgesetzt, für die restlichen soll die Umsetzung noch im laufenden Jahr angeschoben werden. Mit der PV-Strategie wurden insgesamt elf Handlungsfelder identifiziert, auf denen der Photovoltaikausbau in Deutschland vereinfacht und beschleunigt werden soll. Ein großer Teil dieser Strategie soll mit dem Solarpaket I umgesetzt werden, das im August 2023 vom Bundeskabinett beschlossen wurde und sich derzeit im parlamentarischen Verfahren befindet. Es sieht Änderungen im EEG, im Energiewirtschaftsgesetz sowie in weiteren Gesetzen vor.

Im Jahr 2023 hat die **Zubaudynamik v. a. bei Solarenergie** stark zugenommen – es wurden 14,3 GW neue PV-Anlagenleistung zugebaut, so viel wie noch nie zuvor in Deutschland. Insgesamt wurden in den letzten beiden Jahren (2022 und 2023) mit fast 22 GW mehr PV-Anlagenleistung zugebaut als in den sechs Jahren davor (2016 – 2021).

Auch die **Neuinstallationen bei Windenergie an Land** haben sich von Januar bis Dezember 2023 um 49 Prozent gegenüber dem Vorjahresvergleichszeitraum erhöht – mit ca. 3,6 GW wurde so viel zugebaut, wie seit dem Jahr 2017 nicht mehr. Insgesamt stiegen die Neuinstallationen seit Anfang 2022 bis Ende 2023 um 6 GW, mehr als in den vier Jahren zuvor. Auch die Ausschreibungen in 2023 haben sich positiv entwickelt: Es wurden 6,4 GW Windleistung bezuschlagt, die innerhalb der nächsten zwei Jahre in Betrieb gehen werden. Insbesondere bei Genehmigungen werden die jüngst in Kraft getretenen Reformen sichtbar. So wurden allein bei Windenergie an Land bis Ende des Jahres 2023 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 8 GW genehmigt – 83 Prozent mehr als im Vorjahr und so viel wie seit 2016 nicht mehr.

Die Dynamik ist deutlich sichtbar, jedoch zeigt sich vor dem Hintergrund der erhöhten Ausbauziele, dass dies – insbesondere bei Windenergie an Land – noch nicht ausreicht, um auf den Zielpfad des EEG 2023 einzuschwenken. Allerdings beginnen jüngst in Kraft getretene Maßnahmen gerade erst zu wirken, weitere sind angeschoben. Sie haben bei konsequenter Umsetzung Potenzial für mehr Beschleunigung, um auch zeitnah die Ziele zu erreichen. Wichtig ist daher, dass alle Beteiligten – Bund, Länder, Kommunen, Planer und Projektierer – diese Potenziale voll ausschöpfen.

Einleitung

Mit dem vorliegenden Monitoringbericht nach § 98 Absatz 3 EEG gibt die Bundesregierung Auskunft über den aktuellen Stand der Zielerreichung beim Ausbau der erneuerbaren Energien im Strombereich und ordnet diesen in den Kontext der anstehenden Herausforderungen für die Erreichung der im Juli 2022 angepassten Ausbauziele ein. Der Betrachtungszeitraum dieses Berichts umfasst primär das vorangegangene Kalenderjahr 2022. Darüber hinaus erfolgt auch eine erste Einschätzung zur Entwicklung der erneuerbaren Energien im Jahr 2023.

Im Rahmen des Gesetzespakets zur Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien vom Sommer 2022 wurden mit dem novellierten EEG 2023 sowie der Novelle des WindSeeG die Ausbauziele erhöht. Der Anteil des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms am Bruttostromverbrauch im Jahr 2030 soll auf über 80 Prozent gesteigert werden. Weitergehend soll die Stromerzeugung nach dem Kohleausstieg in Deutschland treibhausgasneutral erfolgen. Hierfür enthält das EEG technologiespezifische Ausbaupfade sowie jährliche Zwischenziele für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2030. So soll die installierte Leistung im Jahr 2030 für Windenergie an Land 115 GW, für Photovoltaik 215 GW und für Offshore-Windenergieanlagen mindestens 30 GW betragen.

Gegenstand dieses Berichts ist die Überprüfung der Geschwindigkeit des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strombereich mit Blick auf die Zielerreichung im Jahr 2030 anhand der gesetzlichen jährlichen Zwischenziele für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und die Überprüfung der Annahmen zur Entwicklung des Bruttostromverbrauchs für das Zieljahr 2030. Eine grundlegende Eigenschaft der erneuerbaren Energien, insbesondere der Wind- und der Solarenergie, ist

die witterungsbedingt fluktuierende Erzeugung. Für die Einordnung der in einem bestimmten Jahr erzielten erneuerbaren Strommenge ist daher die Berücksichtigung der Witterungsverhältnisse unerlässlich. Dem trägt der vorliegende Bericht durch ein entsprechendes Kapitel zur Einordnung der erzielten Strommengen Rechnung.

Der verstärkten Zusammenarbeit des Bundes mit Ländern und Kommunen kommt bei der Erreichung der Ausbauziele eine herausragende Bedeutung zu. Eine wesentliche Herausforderung besteht in der Ausweisung und Verfügbarkeit von Flächen, diesbezüglicher Planung und in der Erteilung von Genehmigungen für Anlagen zur Stromerzeugung aus Windenergie an Land. Hierfür dient der Bericht des Bund-Länder-Kooperationsausschusses als Grundlage. Der Ausschuss analysiert die relevanten Daten zum Ausbau der erneuerbaren Energien sowie zu Planung, Flächenausweisung und Genehmigungen für die Nutzung der Windenergie an Land nach Ländern.

Die Daten des Jahres 2022 für diesen Bericht stammen zum einen aus dem Bericht des Bund-Länder-Kooperationsausschusses vom 20. Oktober 2023 und zum anderen aus der für das BMWK erstellten Bilanz der erneuerbaren Energien. Wichtigste Quellen für die Bilanz sind die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), die im Auftrag des BMWK die Bilanz der erneuerbaren Energien für Deutschland erarbeitet. Darüber hinaus fließen in die Bilanz Daten des Statistischen Bundesamts, der Bundesnetzagentur, der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. und vieler weiterer Quellen mit ein. Die Bilanz des Jahres 2022 ist auch in der Broschüre „Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2022“ dargestellt. Alle dort aufgeführten Daten haben den Stand zum Redaktionsschluss September 2023 und damit an

einigen Stellen – auch für Angaben zum Jahr 2022 – noch vorläufigen Charakter. Da dieser Datenstand aktueller als im Bericht des Kooperationsausschusses ist, werden die aktualisierten Daten der Bilanz 2022 im vorliegenden Bericht verwendet und können daher von den im Bericht des Kooperationsausschusses verwendeten Daten abweichen.

Einige Daten für das Jahr 2023 sind der Januar- ausgabe des „Monatsberichts zur Entwicklung der erneuerbaren Energien“ der AGEE-Stat (Stand 12.1.2024) entnommen, andere der Monatsstatistik der Bundesnetzagentur (Stand 17.1.2024). Daten zum Anlagenzubau nach Ländern waren für den Bericht des Kooperationsausschusses lediglich für das erste Halbjahr 2023 verfügbar.

1 Ausbau erneuerbarer Energien im Strombereich

Im Folgenden wird der Ausbau erneuerbarer Energien nach einzelnen Technologien und nach Bundesländern gegliedert dargestellt. Die Daten der installierten Leistungen nach Ländern sind für das Jahr 2022 dem Bericht des Bund-Länder-Kooperationsausschusses zum Ausbau der erneuerbaren Energien vom 20. Oktober 2023 und für 2023 für ausgewählte Energieträger der monatlichen Auswertung des Marktstammdatenregisters der Bundesnetzagentur entnommen.

1.1 Ausbau erneuerbarer Energien im Jahr 2022

Seit Einführung des EEG bis Ende des Jahres 2020 stieg mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien auch deren Anteil am Bruttostromverbrauch.

Nachdem der Anteil im Vorjahr erstmals seit Beginn der Energiewende vorwiegend witterungsbedingt rückläufig war, stieg er im Jahr 2022 wieder um viereinhalb Prozentpunkte auf nunmehr 46,0 Prozent (2021: 41,5 Prozent). Der Aufwärtstrend war zum einen auf ungewöhnlich hohe Sonnenstundenzahlen bei weiter beschleunigtem Photovoltaik-Ausbau zurückzuführen. Zum anderen waren auch die Windverhältnisse besser als im Vorjahr. Rückläufig war aufgrund der Trockenheit hingegen die Erzeugung von Strom aus Wasserkraft. Insgesamt erhöhte sich die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Quellen gegenüber dem Vorjahr um 7,3 Prozent auf 254,2 TWh (2021: 236,9 TWh). Gleichzeitig ging der gesamte Bruttostromverbrauch durch Einsparmaßnahmen infolge des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine gegenüber dem Vorjahr um 3,4 Prozent auf 552,1 TWh zurück (2021: 571,5 TWh).

Tabelle 1: Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien in den Jahren 2021 und 2022

	Erneuerbare Energien 2021		Erneuerbare Energien 2022	
	Bruttostromerzeugung (GWh) ⁴	Anteil am Bruttostromverbrauch ⁵ (%)	Bruttostromerzeugung (GWh) ⁴	Anteil am Bruttostromverbrauch ⁵ (%)
Wasserkraft ¹	19.657	3,4	17.625	3,2
Windenergie an Land	89.795	15,7	99.692	18,1
Windenergie auf See	24.374	4,3	25.124	4,6
Photovoltaik	50.472	8,8	60.304	10,9
biogene Festbrennstoffe ²	10.738	1,9	10.254	1,9
biogene flüssige Brennstoffe	210	0,0	97	0,02
Biogas	30.552	5,3	30.469	5,5
Biomethan	3.273	0,6	3.098	0,6
Klärgas	1.576	0,3	1.553	0,3
Deponiegas	229	0,04	201	0,04
biogener Anteil des Abfalls ³	5.792	1,0	5.562	1,0
Geothermie	244	0,04	206	0,04
Summe erneuerbare Energien	236.912	41,5	254.185	46,0

1 bei Pumpspeicherkraftwerken nur Stromerzeugung aus natürlichem Zufluss

2 inkl. Klärschlamm

3 in Abfallverbrennungsanlagen mit 50 Prozent angesetzt

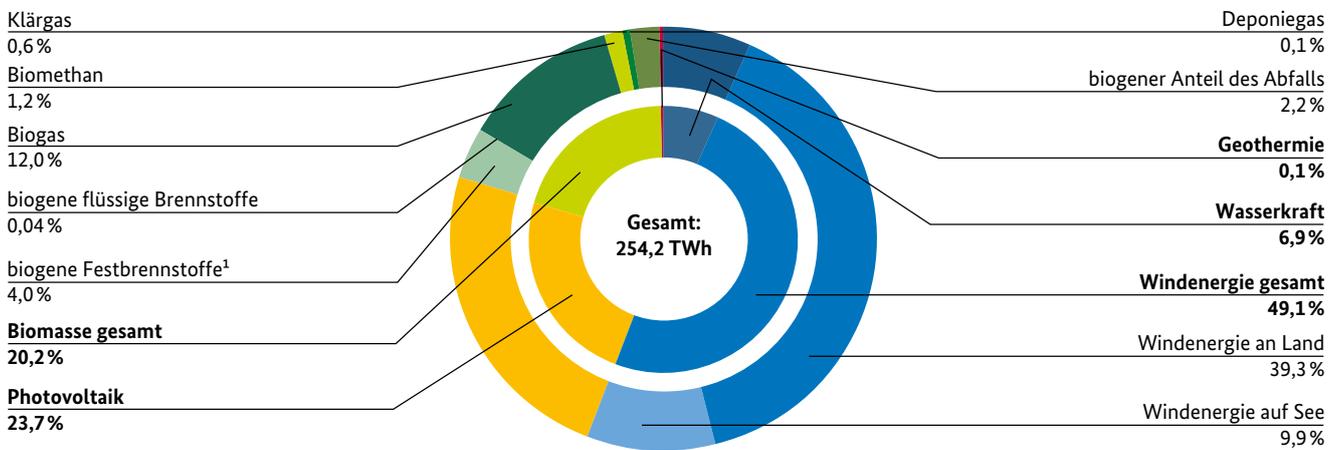
4 1.000 Gigawattstunden (GWh) = 1 Terawattstunde (TWh)

5 bezogen auf den Bruttostromverbrauch, 2021: 571,5 TWh, 2022: 552,1 TWh

Hauptquellen der erneuerbaren Bruttostromerzeugung sind Anlagen zur Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie. So trugen die Windenergieanlagen im Jahr 2022 mit knapp 125 TWh etwa die Hälfte der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien bei, wovon 99,7 TWh (39 Prozent) an Land und 25,1 TWh (zehn Prozent)

auf See erzeugt wurden. Mit 60,3 TWh war die Stromproduktion aus Photovoltaikanlagen im Jahr 2022 dank beachtlichen Zubaus und sehr guten Witterungsverhältnissen um 19 Prozent höher als im Vorjahr (2021: 50,5 TWh). Ihr Anteil an der gesamten Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien erreichte damit 23,7 Prozent.

Abbildung 1: Aufteilung der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2022 nach Energieträgern



1 inkl. Klärschlamm

Quelle: BMWK „Erneuerbare Energien in Zahlen 2022“ auf Basis der AGEE-Stat-Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland; Stand September 2023

Tabelle 2: Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien in den Jahren 2018 bis 2022

	Wasserkraft ¹	Windenergie an Land	Windenergie auf See	Photovoltaik	Biomasse ²	Geothermie	Summe Bruttostromerzeugung	Anteil EE am Bruttostromverbrauch
	(GWh) ³						(GWh) ³	(%)
2018	18.098	90.484	19.467	44.320	52.734	178	225.281	37,9
2019	20.135	101.150	24.744	45.221	52.152	197	243.599	42,2
2020	18.721	104.796	27.306	49.496	52.989	231	253.539	45,5
2021	19.657	89.795	24.374	50.472	52.370	244	236.912	41,5
2022	17.625	99.692	25.124	60.304	51.234	206	254.185	46,0

1 bei Pumpspeicherkraftwerken nur Stromerzeugung aus natürlichem Zufluss

2 feste und flüssige Biomasse, Biogas, Biomethan, Deponie- und Klärgas, Klärschlamm und biogener Anteil des Abfalls (in Abfallverbrennungsanlagen mit 50 Prozent angesetzt)

3 1.000 GWh = 1 TWh

Quelle: BMWK „Erneuerbare Energien in Zahlen 2022“ auf Basis der AGEE-Stat-Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland; Stand September 2023

Installierte Leistung und Zubau nach Technologien und Ländern

Zum Jahresende 2022 war eine Gesamtleistung von knapp 150 GW zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen installiert. Der erzeugungsrelevante

jährliche Zuwachs an installierter Leistung (sog. Nettozubau) erreichte im Jahr 2022 erstmals einen Wert von 10 GW. Der Nettozubau ist der erzeugungsrelevante Zubau eines Jahres und ergibt sich aus der Differenz von im Jahr neu installierter Anlagenleistung und der Leistung stillgelegter Anlagen.

Tabelle 3: Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in den Jahren 2018 bis 2022

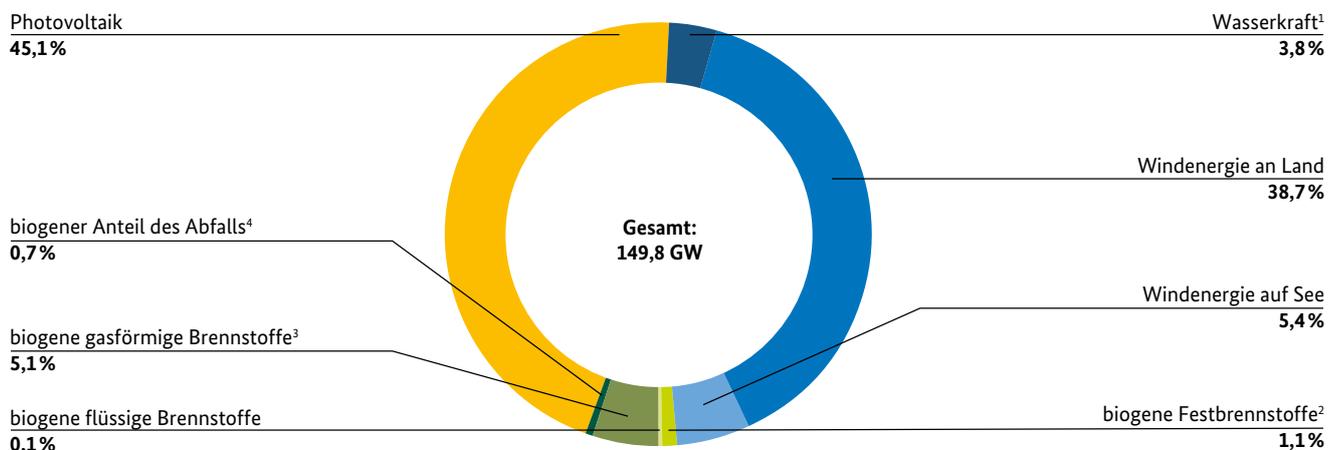
	Wasserkraft ¹	Windenergie an Land	Windenergie auf See	Photovoltaik	Biomasse ²	Geothermie	Gesamte Leistung
	(MW) ³						
2018	5.347	52.328	6.393	45.158	9.662	42	118.930
2019	5.396	53.187	7.555	48.864	9.995	47	125.044
2020	5.454	54.276	7.807	54.314	10.320	47	132.218
2021	5.489	55.904	7.807	60.038	10.420	54	139.712
2022	5.621	58.014	8.149	67.479	10.460	59	149.782

Die Angaben zur installierten Leistung beziehen sich jeweils auf den Stand zum Jahresende.

- 1 Lauf- und Speicherwasserkraftwerke sowie Pumpspeicherkraftwerke mit natürlichem Zufluss
- 2 Feste und flüssige Biomasse, Biogas, Biomethan, Deponie- und Klärgas sowie Klärschlamm und inklusive der Kapazität aller Abfallverbrennungsanlagen für erneuerbare und nicht erneuerbare Abfälle. Dabei werden für die Zeitreihe durchgängig 50 Prozent der gesamten Abfallverbrennungskapazität als erneuerbare Leistung ausgewiesen.
- 3 1.000 MW = 1 GW

Quelle: BMWK „Erneuerbare Energien in Zahlen 2022“ auf Basis der AGEE-Stat-Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland; Stand September 2023

Abbildung 2: Aufteilung der installierten Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2022 nach Energieträgern



Wegen des geringen Anteils geothermischer Stromerzeugungsanlagen werden diese nicht dargestellt.

- 1 Lauf- und Speicherwasserkraftwerke sowie Pumpspeicherkraftwerke mit natürlichem Zufluss
- 2 inkl. Klärschlamm
- 3 Biogas, Biomethan, Deponie- und Klärgas
- 4 inkl. biogenen Anteils des Abfalls (in Abfallverbrennungsanlagen mit 50% angesetzt)

Quelle: BMWK „Erneuerbare Energien in Zahlen 2022“ auf Basis der AGEE-Stat-Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland; Stand September 2023

Die Verteilung der Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien nach Ländern und Technologien ist nachfolgend dargestellt. Aufgrund unterschiedlicher Datenstände der Erhebung kann die Gesamtsumme der installierten Leistung im Jahr 2022 gemäß obiger Darstellung leicht abweichen. Für die Windenergienutzung auf See gilt, dass der Anlagenbestand im Marktstammdatenregister

der Bundesnetzagentur, auf dessen Daten die nachfolgende Zusammenstellung basiert, nach den Standortangaben der Stromerzeugungseinheiten ausgewiesen wird. Dabei sind Windenergieanlagen auf See innerhalb von zwölf Seemeilen zur Küste dem jeweiligen Bundesland zugeordnet, außerhalb der zwölf Seemeilen der so genannten ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ).

Tabelle 4: Anzahl und installierte Leistung von EE-Anlagen zur Stromerzeugung zum 31.12.2022 nach Ländern

	Biomasse		Solare Strahlungsenergie		Windenergie an Land		Windenergie auf See		Klärgas	
	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]
Ausschließliche Wirtschaftszone	–	–	–	–	–	–	1.468	7.856,4	–	–
Baden-Württemberg	1.915	950,1	474.766	8.284,9	849	1.764,3	–	–	271	39,9
Bayern	4.206	1.946,2	754.899	18.618,8	1.292	2.595,4	–	–	241	59,0
Berlin	49	43,9	15.163	197,0	10	16,6	–	–	–	–
Brandenburg	573	487,1	69.746	5.620,9	4.007	8.261,0	–	–	26	12,6
Bremen	11	11,6	3.651	66,4	94	201,3	–	–	5	5,2
Hamburg	42	39,1	7.045	80,0	68	118,7	–	–	2	6,9
Hessen	501	269,3	173.206	3.044,7	1.138	2.346,0	–	–	75	12,8
Mecklenburg-Vorp.	568	399,3	32.663	3.392,2	1.862	3.583,2	21	48,3	18	6,3
Niedersachsen	3.250	1.888,5	250.474	5.606,5	6.314	12.077,9	48	224,1	101	43,2
Nordrhein-Westfalen	1.831	952,4	438.555	7.558,2	3.710	6.770,2	–	–	311	79,4
Rheinland-Pfalz	395	181,8	153.656	3.131,8	1.770	3.879,7	–	–	77	56,9
Saarland	40	11,4	31.591	702,9	214	519,9	–	–	13	1,5
Sachsen	510	312,8	73.374	2.854,0	930	1.318,8	–	–	38	11,8
Sachsen-Anhalt	473	514,7	52.436	3.755,3	2.805	5.340,1	–	–	29	6,5
Schleswig-Holstein	1.004	613,0	73.488	2.371,4	3.367	7.452,4	–	–	37	16,3
Thüringen	355	297,2	47.060	2.155,4	905	1.801,9	–	–	23	6,9
Gesamt (bis Dez. 2022)	15.723	8.918,4	2.651.773	67.440,3	29.335	58.047,2	1.537	8.128,8	1.267	365,3

Tabelle 4: Anzahl und installierte Leistung von EE-Anlagen zur Stromerzeugung zum 31.12.2022 nach Ländern

	Wasserkraft*		Wasserkraft (Grenzkraftwerke)		Pumpspeicher mit natürlichem Zufluss		Deponiegas		Geothermie	
	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]
Ausschließliche Wirtschaftszone	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Baden-Württemberg	1.880	414,2	31	475,6	17	897,7	46	14,0	2	0,8
Bayern	4.151	2.168,0	29	1.163,4	5	94,4	30	9,4	16	50,2
Berlin	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Brandenburg	35	4,0	2	0,8	–	–	13	20,3	–	–
Bremen	2	10,0	–	–	–	–	2	2,1	–	–
Hamburg	1	0,1	–	–	–	–	1	0,2	–	–
Hessen	491	94,0	–	–	–	–	31	16,7	–	–
Mecklenburg-Vorp.	21	2,6	–	–	–	–	8	8,1	–	–
Niedersachsen	274	70,7	–	–	–	–	21	10,8	–	–
Nordrhein-Westfalen	521	191,3	–	–	–	–	49	28,3	1	0,0
Rheinland-Pfalz	264	231,7	1	4,5	–	–	18	6,6	2	7,8
Saarland	31	15,6	–	–	–	–	–	–	–	–
Sachsen	412	90,7	7	1,5	–	–	12	4,6	–	–
Sachsen-Anhalt	78	33,8	–	–	–	–	9	7,9	–	–
Schleswig-Holstein	22	4,9	–	–	–	–	8	7,2	–	–
Thüringen	232	39,4	–	–	4	140,0	6	2,7	–	–
Gesamt (bis Dez. 2022)	8.415	3.371,1	70	1.645,8	26	1.132,1	254	138,8	21	58,8

* Ohne Grenzkraftwerke (Deutschland/Nachbarstaat) und ohne Pumpspeicher.

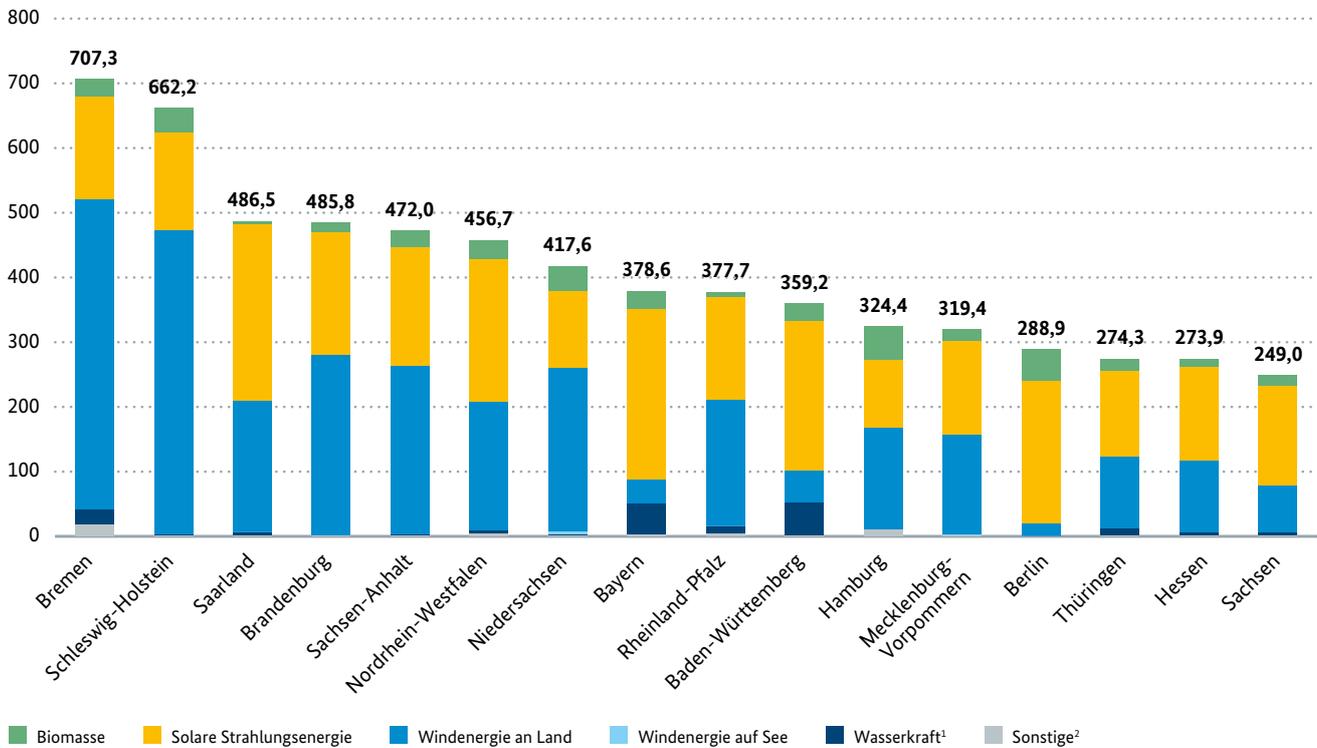
Quelle: Bericht 2023 des Bund-Länder-Kooperationsausschusses

Anzahl und installierte Leistung von Anlagen zur Nutzung der erneuerbaren Energien in den großen Flächenländern sind ein Indiz dafür, dass der Ausbau von EE-Anlagen vor allem in der Fläche stattfindet. Mit insgesamt über 26,7 GW bzw. rund 18 Prozent der gesamten EE-Leistung ist Ende 2022 die meiste Stromerzeugungsleistung in Bayern installiert, gefolgt von Niedersachsen, dem zweitgrößten Flächenland, mit 19,9 GW bzw. rund 13 Prozent. Wird die installierte EE-Leistung eines Landes auf dessen Landesfläche bezogen, zeigt sich, dass nicht nur die Fläche an sich ein Indikator für eine

hohe Anzahl und Leistung dezentraler EE-Anlagen in einem Land ist, sondern auch die Intensität der Flächennutzung einen maßgeblichen Einfluss auf den Umfang des Ausbaus hat. Dies zeigt sich deutlich am Beispiel von Schleswig-Holstein. Das Land verfügt bei einer Landesfläche von immerhin 15.804 km² mit einem Kennwert von 662 kW/km² über die zweithöchste Dichte an installierter EE-Leistung. Eine höhere Dichte weist nur der Stadtstaat Bremen mit der geringsten Landesfläche von ca. 420 km² auf.

Abbildung 3: Installierte Leistung von EE-Anlagen zur Stromerzeugung zum 31.12.2022 nach Land im Verhältnis zur Landesfläche (sortiert)

Ausbauindex nach Landesfläche (in kW/km²)



1 inkl. Grenzkraftwerke (Deutschland/Nachbarstaat) und Pumpspeicher mit natürlichem Zufluss
 2 Klärgas, Deponiegas und Geothermie

Quelle: Bericht 2023 des Bund-Länder-Kooperationsausschusses

Deutlich wird bei der installierten Leistung von Windenergieanlagen an Land und von PV-Anlagen in Deutschland ein Nord-Süd-Gefälle, was unter anderem durch die unterschiedlichen meteorologischen Erzeugungspotenziale bedingt ist, teilweise aber auch mit strengen Genehmigungsvoraussetzungen wie der – inzwischen aufgehobenen – 10h-Regelung für Windkraft in Bayern zusammenhängt. Etwa 40 Prozent (26,9 GW) der bundesweit installierten PV-Leistung wurden bis Ende 2022 in den beiden südlichen Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg errichtet, während dort nur 7,5 Prozent (4,4 GW) der bundesweit installierten Windenergieanlagen errichtet wurden. In den Küstenländern Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein sind dagegen ca. 40 Prozent (23,1 GW) der gesamten Windenergiekapazität installiert und nur ca. 17 Prozent (11,4 GW)

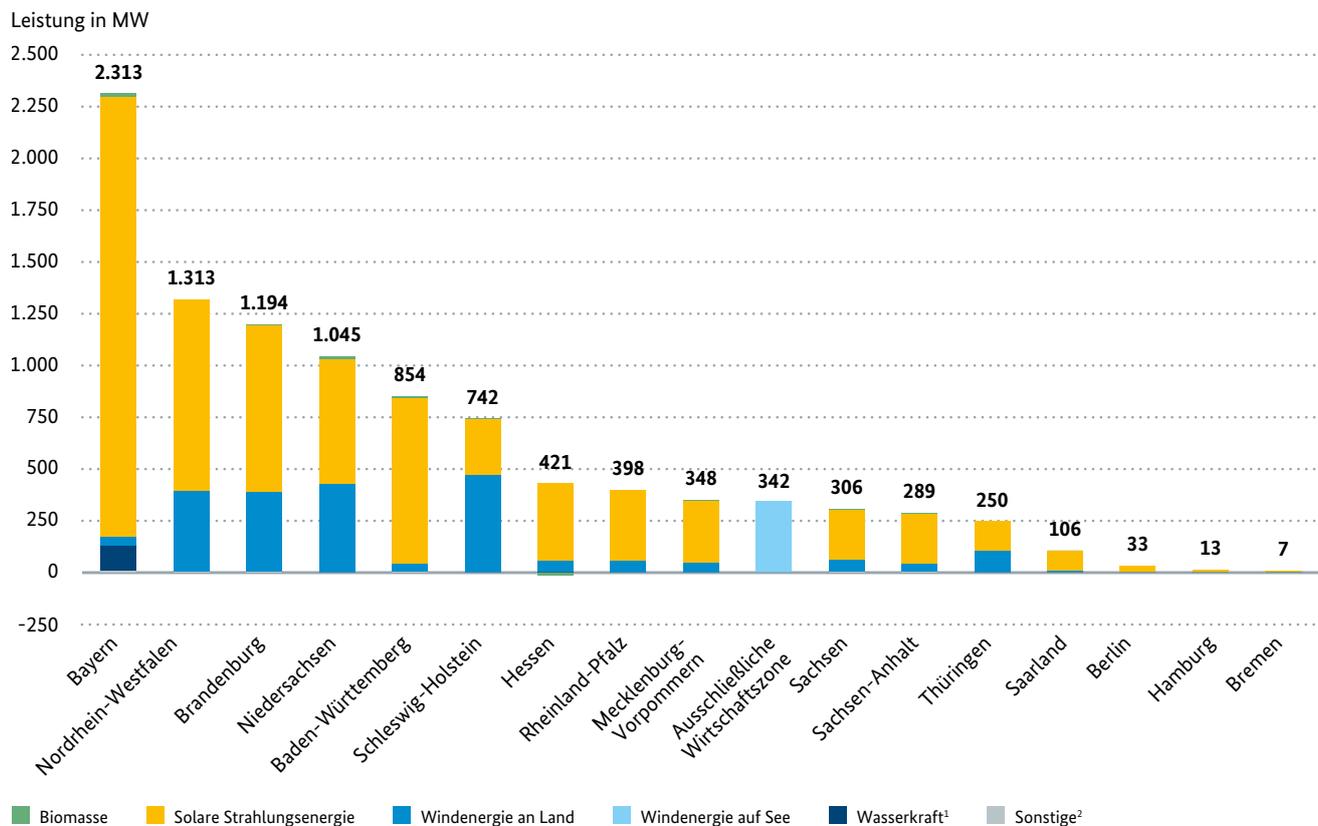
der in Deutschland installierten PV-Leistung. Gleichmäßiger verteilt sind die installierte Windenergie- und Photovoltaikleistung in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Rheinland-Pfalz.

Bezogen auf den so genannten Nettozubau von EE-Anlagen hatte das Nord-Süd-Gefälle im Jahr 2022 keinen Bestand. Bei PV verzeichneten die fünf Länder Bayern, Nordrhein-Westfalen, Brandenburg, Baden-Württemberg und Niedersachsen mit insgesamt rund 5,3 GW mehr als 70 Prozent des bundesweiten PV-Zubaus. Die Verteilung der neu installierten Windenergieanlagen im gesamten Bundesgebiet fiel auch 2022 uneinheitlich aus; die Neuinbetriebnahmen variierten in den Flächenstaaten zwischen drei Anlagen mit 11,9 Megawatt (MW) und 137 Anlagen mit 545 MW. Mit rund

1,9 GW erfolgten in den nördlichen Flächenstaaten Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Brandenburg und Nordrhein-Westfalen mehr als drei Viertel der gesamten Neuanlagen bei Wind an Land. 2022 fand erwartungsgemäß nur ein geringer Zubau von Windenergieanlagen auf See außerhalb

der Zwölf-Seemeilen-Zone in der AWZ statt. Der Zubau von Neuanlagen zur Nutzung von Wasserkraft, Klärgas, Deponiegas und Geothermie war auch im Jahr 2022 sehr gering und ist daher in der nachfolgenden Abbildung nicht erkennbar.

Abbildung 4: Nettozubau von EE-Anlagen zur Stromerzeugung im Jahr 2022 nach Land



Die Reihung aus Summierung der Zubauwerte bezieht auch negative Werte unterhalb der X-Achse ein.

1 inkl. Grenzkraftwerke (Deutschland/Nachbarstaat) und Pumpspeicher mit natürlichem Zufluss

2 Klärgas, Deponiegas und Geothermie

Quelle: Bericht 2023 des Bund-Länder-Kooperationsausschusses auf Basis der Daten des Marktstammdatenregisters der Bundesnetzagentur

1.2 Ausbau erneuerbarer Energien im Jahr 2023

Nach vorläufigen Angaben der AGEE-Stat (Stand: 10.1.2024) lag die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2023 mit 272,3 TWh deutlich über dem Vorjahreswert (254,2 TWh). Während das Windangebot in den ersten vier Monaten des

Jahres unter den Werten des Vorjahres lag, besserte sich die Witterung im Hinblick auf die Windstromproduktion in den Folgemonaten deutlich. Bei der PV-Stromproduktion gab es gegenläufige Effekte: Zwar stieg der Bestand an PV-Anlagen deutlich an, gleichzeitig war das Wetter jedoch deutlich weniger sonnig als im Vorjahr. In Summe stieg die Stromerzeugung aus Solaranlagen im Jahr 2023 gegen-

über dem Vorjahreszeitraum nur leicht an. Mehr als die Hälfte des verbrauchten Stroms wurde 2023 in EE-Anlagen in Deutschland erzeugt. Der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch lag 2023 am Jahresende bei mehr als 50 Prozent.

Insgesamt waren deutschlandweit bis Ende Dezember 2023 eine PV-Leistung von 81,8 GW, eine Windenergieleistung an Land von 61 GW und auf See von 8,5 GW installiert. Die installierte Biomasse-Gesamtleistung der im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur registrierten Anlagen beträgt 9 GW, bei der Wasserkraft sind in Deutschland Ende 2023 Anlagen mit einer Leistung von 5,6 GW an das Stromnetz angeschlossen.

Nettozubau von PV und Windenergie von Januar bis Dezember 2023 nach Ländern

Von Januar bis Ende Dezember 2023 wurde im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur ein Nettozubau von ca. 14,3 GW PV-Leistung und 3 GW Windenergie an Land dokumentiert. Die vorläufigen Zahlen bedeuten verglichen mit denen des Vorjahreszeitraums bei PV eine Steigerung um ca. 91 Prozent und bei Windenergie an Land um 44 Prozent beim Nettozubau bzw. 49 Prozent bei den Neuinstallationen (Bruttozubau). Der größte Zubau neuer PV-Leistung wurde mit rund 3,6 GW in Bayern erreicht, gefolgt von Nordrhein-Westfalen mit rund 2,1 GW. Bei der Windenergie an Land wurden in Schleswig-Holstein 34 Prozent der bundesweiten zusätzlich installierten Windleistung und mit Abstand der größte Zubau erreicht (rund 1,2 GW). Die installierte Leistung bei Windenergie auf See erhöhte sich bis September 2023 durch die Inbetriebnahme von 27 Anlagen im Küstenmeer Mecklenburg-Vorpommerns um 257 MW.

Tabelle 5: Installierte Leistung von Anlagen zur Stromerzeugung aus solarer Strahlungsenergie (PV) und Windenergie von 1.1. bis 31.12.2023 nach Ländern

Nettozubau im Jahr 2023 nach Bundesland			
	Solare Strahlungsenergie Leistung [MW]	Windenergie an Land Leistung [MW]	Windenergie auf See Leistung [MW]
Baden-Württemberg	1.889,1	52,8	-
Bayern	3.640,5	23,4	-
Berlin	76,7	-	-
Brandenburg	962,4	397,1	-
Bremen	29,7	1,6	-
Hamburg	45,6	3,6	-
Hessen	668,1	163,7	-
Mecklenburg-Vorpommern	398,9	156,9	257,2
Niedersachsen	1.398,6	483,1	-
Nordrhein-Westfalen	2.130,1	412,9	-
Rheinland-Pfalz	944,7	128,1	-
Saarland	150,2	24,2	-
Sachsen	624,2	37,5	-
Sachsen-Anhalt	446,4	12,3	-
Schleswig-Holstein	597,5	1.109,0	-
Thüringen	258,7	32,5	-
Gesamt Jan. 23 – Dez. 23	14.261,3	3.038,5	257,2

Quelle: Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur; Datenstand: 17.1.2024; Auswertungszeitraum: Januar – Dezember 2023. Der Nettozubau aggregiert die Inbetriebnahmen zzgl. Leistungsänderungen und abzgl. des Rückbaus im Auswertungszeitraum.

2 Fortschritte beim Ausbau der Windenergie an Land

Die Windenergie an Land ist aus mehreren Gründen ein Schwerpunktthema bei der Betrachtung des Ausbaus der erneuerbaren Energien. Einerseits ist die Nutzung der Windenergie an Land durch das Stromerzeugungspotenzial in Deutschland und die Kostenstruktur im Vergleich zu anderen EE-Technologien ein wesentlicher Erfolgsfaktor der Energiewende. Andererseits bestehen Hemmnisse, die sich wesentlich auf Genehmigungen und Flächenausweisung für Windenergie in den Ländern auswirken. Ein besonderes Augenmerk liegt daher auf dem aktuellen Stand der Genehmigungen und Flächenausweisungen. Hierfür dient der Bericht 2023 des Bund-Länder-Kooperationsausschusses als Grundlage. Darüber hinausgehende Angaben zu aktuellen Nutzungskonkurrenzen beim Ausbau der Windenergie an Land mit Funknavigationsanlagen, Wetterradaren und seismologischen Messstationen enthält der Fortschrittsbericht nach § 99a EEG (ab Seite 32).

2.1 Genehmigungen

Im Bereich der Genehmigungen entfalten die getroffenen Maßnahmen eine besondere Dynamik, die in die Zukunft weist. Im Jahr 2022 wurden bundesweit Genehmigungen für 894 Windenergieanlagen an Land erteilt (2021: 963 Anlagen). Diese umfassen eine Leistung von 4.578 MW (2021: 4.501 MW, 2020: 3.257 MW). Von Januar bis Ende Oktober 2023 wurden bereits 1.104 Windenergieanlagen mit einer Leistung von knapp 6 GW genehmigt. Hier zeigt sich eine deutliche Zunahme um 73 Prozent im Vergleich zum Vorjahreszeitraum.

Die nachfolgenden Ausführungen sind dem im Oktober 2023 abgestimmten Bericht des Bund-Länder-Kooperationsausschusses entnommen und der Vollständigkeit halber hier aufgeführt.

Die räumliche Verteilung zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Ländern. Der Großteil der Genehmigungen wurde in den Ländern Brandenburg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein erteilt. Rund 70 Prozent aller erteilten Genehmigungen in 2022 sind in diesen vier Ländern zu verorten (so auch bereits 2021 und 2020). In Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt stieg die Leistung, für die in 2022 Genehmigungen erteilt wurden, im Vergleich zum Vorjahr an. In Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, dem Saarland, Schleswig-Holstein und Thüringen war sie dagegen im Vergleich zum Vorjahr rückläufig.

2022 wurden die Genehmigungsanträge für insgesamt 251 Windenergieanlagen an Land abgelehnt oder zurückgenommen (1.051 MW). Die im Rahmen der Abfrage für den Kooperationsausschuss meistgenannten Gründe waren planungsrechtliche Gründe, grundlose Antragsrücknahme, nicht vollständige Antragsunterlagen, Radaranlagen, Artenschutz, Flugsicherung und Denkmalschutz. Im Vergleich zu 2021 wurden deutlich weniger Genehmigungsanträge abgelehnt oder zurückgenommen (2021: 536 Windenergieanlagen, 2.238 MW). Meistgenannt waren planungsrechtliche Gründe, sonstige Gründe, Rücknahmen von Anträgen (ohne Gründe), Denkmalschutz, Artenschutz, Ablehnungen/Rücknahmen im Rahmen eines Klageverfahrens sowie baurechtliche Gründe und Radaranlagen.

In laufenden Genehmigungsverfahren befanden sich zum 31. Dezember 2022 2.392 Windenergieanlagen mit einer Leistung von insgesamt 12,1 GW. Dies sind knapp 3,5 GW mehr als im Vorjahr (2021: 8,7 GW). Zur Einordnung ist zudem zu beachten, dass es sich hierbei um eine theoretisch verfügbare Menge an tatsächlich positiv zu bescheidenden

Genehmigungen handelt. Daten der Vergangenheit zeigen, dass etwa ein Drittel der beantragten Windenergieanlagen nicht genehmigt wurde (u. a. Fachagentur Windenergie an Land, 2018). Der Kooperationsausschuss von Bund und Ländern arbeitet daran, das durch den Abbau von Hemmnissen zu reduzieren.

Zur Dauer der Genehmigungsverfahren wurde für 2022 ein Durchschnitt von 22,1 Monaten ab Einreichung der Erstunterlagen und von 9,0 Monaten ab Feststellung der Vollständigkeit der Antragsunterlagen angegeben (2021: 24,8 Monate ab Einreichung der Erstunterlagen, 10,5 Monate ab Feststellung der Vollständigkeit). Auch hier zeigen sich also erste Verbesserungen.

2.2 Flächenausweisungen

Mit dem Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG), das am 01. Februar 2023 in Kraft getreten ist, hat die Bundesregierung das Ziel festgelegt, bis Ende 2032 2,0 Prozent der Bundesfläche für die Windenergie an Land auszuweisen. Für Ende 2027 ist ein Zwischenziel von 1,4 Prozent der Bundesfläche festgelegt. Das WindBG gibt für jedes Land individuelle Flächenziele (so genannte Flächenbeitragswerte) vor. Die nachfolgenden Ausführungen sind dem im Oktober 2023 abgestimmten Bericht des Bund-Länder-Kooperationsausschusses entnommen und der Vollständigkeit halber hier aufgeführt.

Wird das Flächenziel erreicht, sind Windenergieanlagen nur noch innerhalb von Windenergiegebieten baurechtlich privilegiert, außerhalb gelten sie dann baurechtlich als nicht privilegierte Vorhaben im Außenbereich. Wird das Flächenziel verfehlt, bleiben Windenergievorhaben demgegenüber im gesamten bauplanungsrechtlichen Außenbereich privilegiert. Auch etwaige landesgesetzliche Mindestabstandsregelungen nach § 249 Abs. 9 Baugesetzbuch entfallen, sofern das Ziel nicht erreicht wird. Wo diese Rechtsfolgen greifen, hängt von der

Umsetzung des WindBG in den Ländern ab. Hat das Land Teilflächenziele definiert und so seinen Flächenbeitragswert auf einzelne Landesteile heruntergebrochen, gelten die Rechtsfolgen nur im Außenbereich des von der Zielverfehlung betroffenen Landesteils. Setzt das Land selbst das Flächenziel durch eigene landesweite oder regionale Raumordnungspläne um und werden keine Teilflächenziele bestimmt, gelten die Rechtsfolgen landesweit. Zudem wird die Planung von Windenergiegebieten vereinfacht. Die Vorgabe klarer gesetzlicher Flächenziele löst die komplexen Vorgaben des so genannten Substanzgebotes und die daraus abgeleitete Planungsmethodik ab. Dadurch wird die Planung vereinfacht, beschleunigt und rechtssicherer gestaltet.

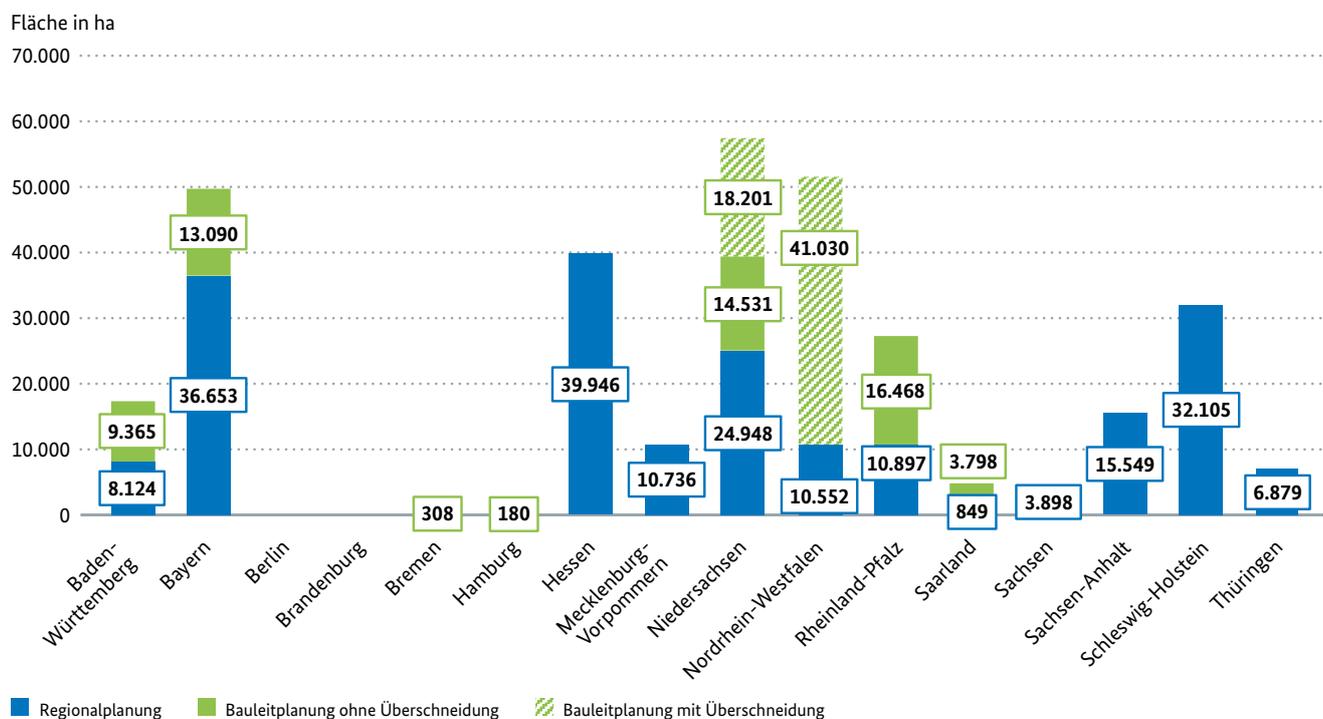
Die Länder sind nach § 3 Abs. 3 WindBG verpflichtet, bis zum 31. Mai 2024 im Rahmen der Berichterstattung den Umsetzungsbeginn zur Erreichung der Beitragswerte durch entsprechende Planaufstellungsbeschlüsse auf Landesebene oder durch das Inkrafttreten von Landesgesetzen oder Raumordnungsplänen zur Vorgabe verbindlicher (regionaler oder kommunaler) Teilflächenziele nachzuweisen.

Insgesamt zeigt sich bereits ein weit fortgeschrittener Umsetzungsstand. In Bremen, Hessen und Schleswig-Holstein wurde der Flächenbeitragswert für 2027 zum Berichtszeitpunkt bereits erreicht. In Baden-Württemberg, Brandenburg, Bayern und Sachsen wurden Teilflächenziele, zumindest für das Zwischenziel 2027, bereits verbindlich für die Regionalplanung vorgegeben. In allen anderen Ländern sind entsprechende Umsetzungen geplant oder im Falle der Stadtstaaten noch in Prüfung. Die Umsetzung erfolgt abgesehen von den Stadtstaaten und dem Saarland auf regionaler Ebene, entweder gleichverteilt oder potenzialbasiert. Hervorzuheben ist, dass in den Ländern Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen der Flächenbeitragswert für 2032 bereits 2025 erreicht werden soll, in Niedersachsen bereits 2026, im Saarland und in Sachsen 2027.

Auf die Flächenbeitragswerte der Länder werden die Vorranggebiete der Regionalplanung (übergangsweise zudem Vorbehaltsgebiete und Eignungsgebiete) sowie die auf Ebene der Bauleitplanung ausgewiesenen Gebiete für die Windenergie an Land angerechnet. 2022 waren auf Ebene der Regional- und Bauleitplanung 289.353 bis 318.106 ha ausgewiesen, was 0,81 bis 0,89 Prozent der Bundesfläche entspricht und in Größenordnung dem Umfang aus 2021 entspricht.

die bislang keine ausdrückliche Festlegung zur Rotorplatzierung treffen, kann der Planungsträger durch Beschluss klarstellen, dass die Rotoren über die ausgewiesenen Flächen hinausragen dürfen. Die Anwendung beschränkt sich auf Fälle, in welchen eine Rotor-außerhalb-Planung zwar materiell zugrunde lag, jedoch nicht explizit als solche benannt wurde.

Abbildung 5: Rechtswirksam ausgewiesene Fläche im Verhältnis zur Landesfläche

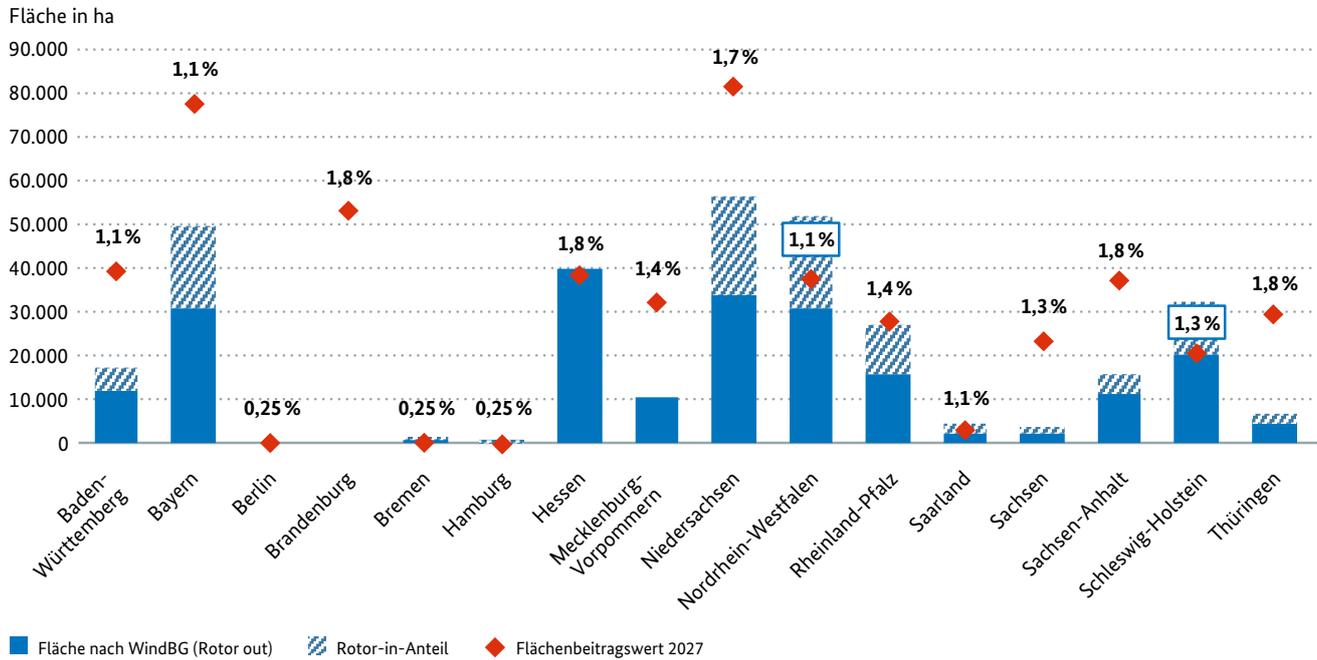


Quelle: Bericht 2023 des Bund-Länder-Kooperationsausschusses auf Basis übermittelter Geodaten und Länderberichte

Die Zielvorgaben des WindBG beziehen sich auf so genannte Rotor-außerhalb-Flächen, bei denen der Rotor der Windenergieanlagen über die ausgewiesene Fläche hinausragen darf. Für die in Raumordnungs- und Bauleitplänen ausgewiesenen Flächen für die Windenergie, bei denen die Rotorblätter der Windenergieanlage innerhalb der Flächengrenzen liegen müssen, sieht das Gesetz nur eine anteilige Anrechnung vor. Für Bestandspläne,

Für den Bericht des Kooperationsausschusses in 2023 wurde erstmals eine flächenspezifische Umrechnung nach WindBG anhand der in den Geodaten hinterlegten Angabe vorgenommen. Nach dieser beträgt der anrechenbare Flächenumfang noch 198.371 bis 215.446 ha, was einem Anteil von 0,55 bis 0,60 Prozent der bundesweiten Fläche und einer Reduktion um 32 Prozent im Vergleich zur ausgewiesenen Fläche entspricht.

Abbildung 6: Anrechenbare Fläche nach WindBG im Vergleich zum Flächenbeitragswert 2027



Quelle: Bericht 2023 des Bund-Länder-Kooperationsausschusses auf Basis übermittelter Geodaten und Länderberichte

Die Auswertung zur Flächen- und Genehmigungssituation für 2022 im Rahmen des Kooperationsausschussberichtes zeigt weiterhin ein sehr heterogenes Bild zwischen den Ländern und insgesamt, dass zur Erreichung der notwendigen Ausbaumengen noch erhebliche Steigerungen bei der Auswei-

sung von Flächen und der Erteilung von Genehmigungen notwendig sind. Die Wirkung der in 2022 und 2023 beschlossenen Maßnahmen von Bund und Ländern zur Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien sind Stand Ende 2022 noch nicht oder nicht vollständig sichtbar.

3 Prognose zur Entwicklung des Bruttostromverbrauchs

Der Bruttostromverbrauch gibt die im Inland verbrauchte Strommenge wieder. Nach Zahlen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) lag er im Jahr 2022 bei rund 551 TWh,¹ ein Rückgang gegenüber dem Vorjahr um ca. 18 TWh oder 3,1 Prozent. Der Bruttostromverbrauch ging damit das zweite Jahr in Folge zurück und lag noch leicht unter dem Niveau von 2020 (rund 556 TWh), d. h. dem ersten Jahr der Corona-Pandemie.

Vorläufige Schätzungen für das Jahr 2023 hat die AGEB im Dezember 2023 vorgelegt. Demnach lag der Bruttostromverbrauch für das Jahr 2023 mit 529,2 TWh erneut merklich unter dem Verbrauch des Vorjahres (– 21,5 TWh).

Für das Jahr 2030 geht die Bundesregierung trotz dieses Rückgangs von einem Bruttostrombedarf von bis zu 750 TWh aus.² Der erwartete Anstieg des

Bruttostromverbrauchs ist vor allem auf die zunehmende Elektrifizierung des Verkehrs- und des Wärmesektors zurückzuführen, d. h. auf den Hochlauf der Elektromobilität im Straßenverkehr und den Zubau von Wärmepumpen. Auch die Erzeugung von so genanntem grünen Wasserstoff durch im Inland installierte Elektrolyseure wird zu einem Verbrauchsanstieg beitragen, ebenso wie Rechenzentren und die Produktion von Batterien. Dem stehen rückläufige Verbräuche durch einen sinkenden Kraftwerkseigenverbrauch gegenüber, der mit dem Ausstieg aus der Kohleverstromung und der Kernenergie verbunden ist. Auch bei einer Vielzahl von Haushaltsanwendungen (Geräte, Beleuchtung, Haustechnik) sowie strombasierten gewerblichen bzw. industriellen Antrieben und Prozessen sind in den kommenden Jahren Effizienzfortschritte und Stromeinsparungen zu erwarten.

1 Wert enthält Doppelzählungen, weil in dieser Größe sowohl die Pumpstromerzeugung als auch der Speichersaldo/-verbrauch zusätzlich enthalten sind. Diese Abgrenzung des Bruttostromverbrauchs dient als Bezugsgröße zur Berechnung des Anteils erneuerbarer Energien (AGEB im Dezember 2023).

2 EEG 2023.

4 Bewertung des EE-Ausbaus mit Blick auf die Zielerreichung

4.1 Bewertung für das Jahr 2022

Ziel des EEG 2023 ist eine Stromversorgung, die vollständig auf erneuerbaren Energien beruht. Hierzu soll der Anteil des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms am Bruttostromverbrauch auf mindestens 80 Prozent im Jahr 2030 gesteigert werden. Zur Erreichung des Ziels sind im EEG und WindSeeG technologiespezifische Ausbaupfade für die installierten Leistungen von EE-Anlagen und ein Strommengenpfad mit Zwischenzielen als Richtwerte für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien festgelegt. Die technologiespezifischen Ausbaupfade nach § 4 EEG 2023 weisen installierte Leistungen für Wind- und Solarenergie beginnend ab dem Jahr 2024 im Abstand von zwei Jahren aus. Im Strommengenpfad nach § 4a EEG 2023 werden jährliche Zwischenziele ab dem Jahr 2023 ausgewiesen. Für das Monitoring im vorliegenden Bericht wurde im EEG (§ 98 Abs. 3) für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2022 ein Richtwert von 269 TWh zugrunde gelegt.

Im Jahr 2022 betrug die Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 254,2 TWh. Die Abweichung zum Richtwert 269 TWh nach § 98 Abs. 3 EEG beträgt somit ca. 15 TWh bzw. 5,5 Prozent.

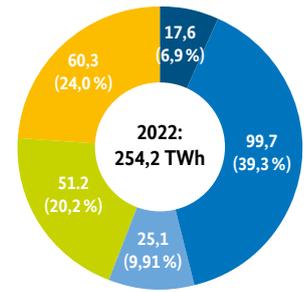
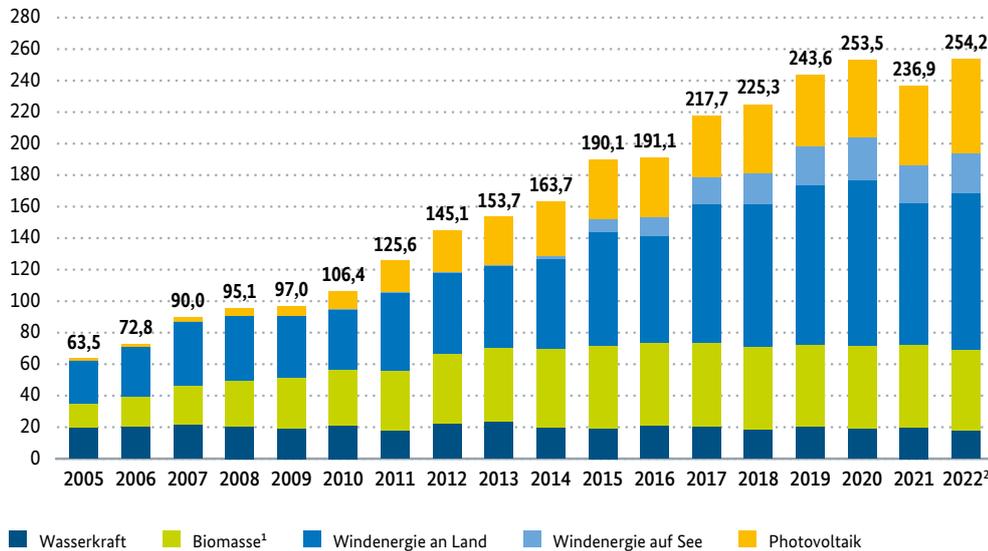
Der Einfluss der Witterung ist seit Jahren trotz weiter vorangeschrittenem Ausbau von EE-Anlagen ein wesentlicher Grund für eine geringere Anlagenauslastung und damit auch maßgeblich für die Abweichung vom Richtwert der EE-Stromerzeugung im Betrachtungsjahr 2022. Hinzukommen nicht eingespeiste EE-Strommengen infolge netzengpassbedingter Abregelungen. Netzengpassmanagementmaßnahmen tragen zwar zur

hohen Zuverlässigkeit des Elektrizitätssystems in Deutschland bei, hatten aber zur Folge, dass nach Angaben der Bundesnetzagentur im Jahr 2021 ca. 5,8 TWh und 2022 ca. 8,1 TWh – zu etwa 90–95 Prozent von Windenergieanlagen – nicht eingespeist wurden und infolgedessen auch nicht zur Erreichung von Ziel- bzw. Richtwerten beitragen konnten. Eine geringere Auslastung von EE-Anlagen kann auch betriebswirtschaftlich bedingt sein, z. B. in Fällen von negativen Preisen an der Strombörse. In diesen Stunden reduzieren EE-Anlagen ihre Netzeinspeisung. Maßnahmen zur Flexibilisierung sollen hier Abhilfe schaffen, einerseits bei der Stromerzeugung, z. B. aus Biomasse, künftig aber insbesondere auch bei der Nutzung des Stroms. Dem Themenschwerpunkt „Nutzen statt abregeln“ wird durch verschiedene Maßnahmen Rechnung getragen. Dazu zählen auch die Aktivitäten um den Aufbau von Elektrolyseeinheiten, die Arbeiten an einer Speicherstrategie des BMWK, der Wasserstoffhochlauf, die Maßnahmen zur Sektorkopplung sowie die umfangreichen Forschungsarbeiten zur Nutzung von überschüssigem EE-Strom.

Während sich die Größenordnung der abgeregelten Strommenge in den letzten Jahren nicht veränderte und 2022 ca. drei Prozent der eingespeisten EE-Strommenge ausmachte, wird der erhebliche Einfluss der Witterung auf die erneuerbare Stromerzeugung beim Vergleich der Entwicklung der installierten EE-Leistung in den letzten Jahren und der erzeugten EE-Strommenge zur Deckung des Stromverbrauchs (s. nachfolgende Abbildungen) deutlich. In den beiden Vorjahren wurden EE-Anlagen mit einer Leistung von 7,5 GW bzw. in 2022 sogar erstmals 10 GW zugebaut. Dennoch stagnierte die EE-Stromerzeugung im Jahr 2022 auf der Höhe des Wertes von 2020, im Jahr 2021 war sie rückläufig.

Abbildung 7: Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von 2005 bis 2022 nach Energieträgern

Bruttostromerzeugung in TWh

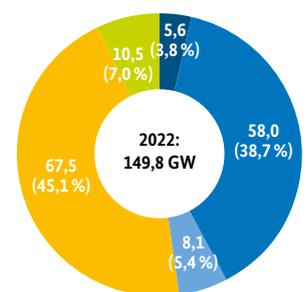
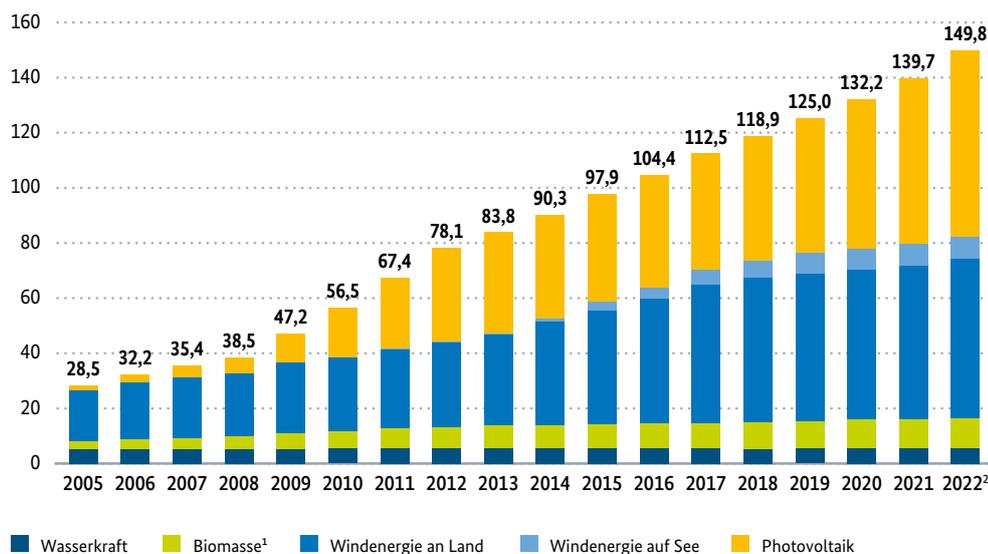


- Wasserkraft
 - Biomasse¹
 - Windenergie an Land
 - Windenergie auf See
 - Photovoltaik
- 1 feste und flüssige Biomasse, Biogas, Biomethan, Deponie- und Klärgas, Klärschlamm und biogener Anteil des Abfalls
 2 Werte von Geothermie sind nicht dargestellt

Quelle: BMWK „Erneuerbare Energien in Zahlen 2022“ auf Basis der AGEE-Stat-Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland; Stand September 2023

Abbildung 8: Entwicklung der installierten Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von 2005 bis 2022 nach Energieträgern

in Gigawatt (GW)



- Wasserkraft
 - Biomasse¹
 - Windenergie an Land
 - Windenergie auf See
 - Photovoltaik
- 1 feste und flüssige Biomasse, Biogas, Biomethan, Deponie- und Klärgas, Klärschlamm und biogener Anteil des Abfalls (in Abfallverbrennungsanlagen mit 50 Prozent angesetzt)
 2 Werte von Geothermie sind nicht dargestellt

Quelle: BMWK „Erneuerbare Energien in Zahlen 2022“ auf Basis der AGEE-Stat-Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland; Stand September 2023

Die relevanten Witterungseinflüsse auf die EE-Stromerzeugung sind im Vergleich zu den beiden Jahren vor 2021 ein deutlich geringeres Windaufkommen und im Jahr 2021 auch eine geringere Solareinstrahlung. Besonders witterungsanfällig ist die Windstromerzeugung. Die Strommenge aus Windenergieanlagen an Land erreichte im Jahr

2022 noch nicht einmal den Wert des Jahres 2019 (s. Tabelle 2), obwohl seit 2019 eine Leistung von ca. 4,8 GW zugebaut wurde, wovon die in den Jahren 2020 und 2021 zugebauten Anlagen (Nettozuzubau in Summe 2,7 GW) voll erzeugungsrelevant ans Stromnetz angeschlossen waren.

Witterungseinfluss auf die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

Die Stromerzeugung so genannter dargebotsabhängiger Energieträger, also von Wind- und Solarenergie sowie Wasserkraft, ist tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Dabei spielen witterungsbedingte Effekte (Niederschlag, Bewölkung, Phasen von Starkwind oder Windflauten) eine große Rolle. Besonders auffällig ist der Einfluss auf die EE-Stromerzeugung bei unter- bzw. überdurchschnittlichen Windverhältnissen. Mit steigender installierter Leistung von Windenergieanlagen und steigender dargebotsabhängiger Windstrommenge wird auch die Witterungsabhängigkeit der erneuerbaren Stromerzeugung insgesamt weiter zunehmen. Um die Auswirkungen des Witterungseinflusses auf die EE-Stromerzeugung besser zu steuern, greifen hier die weiteren Maßnahmen der Bundesregierung. Zu diesen Maßnahmen zählen insbesondere die Beschleunigung des Netzausbaus, die Planung des H₂-Kernnetzes, die Ausschreibung steuerbarer Wasserstoffkraftwerke, die Nachfrage endlich zu digitalisieren und zu flexibilisieren sowie das Stromnetz zu optimieren. Sicher ist, dass wenn der Wind nicht weht und die Sonne nicht scheint, immer ausreichend steuerbare Kraftwerke zur Verfügung stehen werden, die dann sicher Strom produzieren. Zunächst sind dies neben Biomasseanlagen noch Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen, die dann schrittweise durch klimaneutrale Kraftwerke ersetzt werden.

Um die Fortschritte beim Ausbau erneuerbarer Energien und die mit dem erneuerbaren Kraftwerkspark erzielbaren und erzielten Strommengen im Hinblick auf die Erreichung der gesetzlichen Ausbauziele besser beurteilen zu können, sieht dieses Monitoring die Einordnung der erneuerbaren Stromerzeugung vor dem Hintergrund von Witterungseinflüssen vor. Die neben den natürlichen Schwankungen des Angebots erneuerbarer Energien auftretenden Veränderungen der verfügbaren Wind-, Solar- und Wasserressourcen durch den fortschreitenden Klimawandel sind nicht Gegenstand der folgenden Ausführungen.

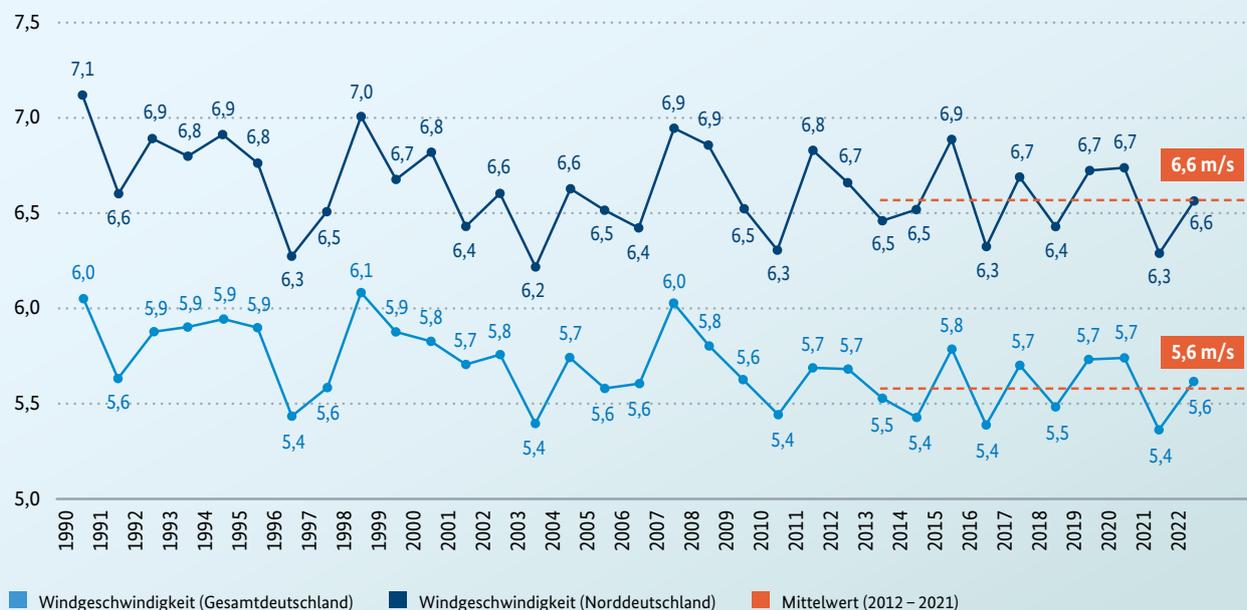
Die Witterungsbedingungen in Deutschland waren im Jahr 2022 – bezogen auf die EE-Stromerzeugung – wie folgt:

- Das Jahr 2022 war gemeinsam mit 2018 das wärmste Jahr in Deutschland seit Beginn der Wetteraufzeichnung. Mit 59 Tagen wurden fast doppelt so viele Sommertage (Tage mit Temperaturen größer/gleich 25 °C) wie im langjährigen Mittel registriert. Gleichzeitig war 2022 insgesamt betrachtet ein äußerst trockenes Jahr, in dem mit ca. 670 mm etwa 15 Prozent weniger Niederschlag als im vieljährigen Mittel fiel (1961 – 1990: 789 mm). Lediglich im Nordwesten Deutschlands und im Bayrischen Wald fiel durchschnittlich viel Niederschlag. Besonders die Sommermonate waren besonders trocken. In diesen Monaten fiel die Wasserstromerzeugung niedrig im Vergleich zum eher durchschnittlichen Vorjahr aus.

- Das Jahr 2022 war laut Deutschem Wetterdienst (DWD) mit 2024 Sonnenstunden auch das sonnenreichste Jahr seit Beginn der systematischen Aufzeichnung und lag damit rund 31 Prozent über dem Wert der Referenzperiode (1961 – 1990: 1544 h). Die meisten Sonnenstunden wurden dabei im Juni beobachtet (279 h), besonders bemerkenswert war auch der März mit 235 Sonnenstunden. Dies spiegelte sich auch in einer sehr guten monatlichen Stromerzeugung aus Photovoltaik in diesen Monaten wider. Und auch die Globalstrahlung, also die Summe aus direkter und diffuser Sonnenstrahlung pro Fläche, erreichte mit 1.227 kWh/m² einen Höchstwert. Der DWD stellt die Globalstrahlung seit 1991 systematisch bereit. Der Wert des Jahres 2022 übertraf den Wert des vieljährigen Mittels (1991 – 2020: 1.086 kWh/m²) um 13 Prozent. Die Globalstrahlung ist ein direkter Indikator für die Energiebereitstellung von Photovoltaik- und Solarthermieanlagen.
- Nach den überdurchschnittlichen Windjahren 2019 und 2020 und einem eher unterdurchschnittlichen Windjahr 2021 stellte das Jahr 2022 ein durchschnittliches Windjahr dar (s. nachfolgende Abbildung). Lediglich die Monate Januar und Februar waren besonders windstark, was sich wiederum in hoher Windstromerzeugung widerspiegelte. Dank besserer Windbedingungen stieg somit die Windstromerzeugung an Land um elf Prozent und auf See um drei Prozent im Vergleich zum Vorjahr. Das Jahr 2021 zählt zu den windärmsten Jahren in Deutschland seit 1990.

Abbildung 9: Gemittelte Windgeschwindigkeit in Deutschland/Norddeutschland (1990 – 2022)

Meter pro Sekunde (m/s) in 100 m Höhe



Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in 100 m Höhe über Deutschland sowie für den nördlichen Bereich Deutschlands. Die Daten basieren auf der globalen atmosphärischen Reanalyse ERA-5 des europäischen Copernicus-Klimadienstes (C3S) und stellen den Mittelwert über die geografische Fläche Gesamtdeutschlands sowie die geografische Fläche des norddeutschen Tieflands (Norddeutschland) dar.

Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD) basierend auf C3S/ERA5: Hersbach et al 2019

4.2 Vorläufige Bewertung für das Jahr 2023

Im Jahr 2023 lag die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis Ende 2023 mit 272,3 TWh über dem Vorjahreszeitraum (254,2 TWh). Allerdings können im laufenden Jahr wegen des kontinuierlichen Zubaus im Jahresverlauf die neu installierten Anlagen nicht voll einspeisen. Trotz eines erheblich gesteigerten Zubaus von PV-Anlagen (Verdopplung des Zubaus gegenüber 2022) führte eine deutlich sonnenärmere Witterung im Jahr 2023 zu einem lediglich geringen Zuwachs bei der solaren Stromerzeugung (ca. plus ein Prozent gegenüber 2022). Während die Stromerzeugung aus Windenergie im ersten Halbjahr noch etwa auf dem Vorjahresniveau lag, sorgte ein erhöhtes Windaufkommen im zweiten Halbjahr – insbesondere ein windstarker Dezember – für einen deutlichen Anstieg in der Stromerzeugung. Insgesamt lag die Stromerzeugung aus Windenergieanlagen an Land etwa 19 Prozent über dem Vorjahreswert. Die Stromerzeugung aus Windenergie auf See nahm im gleichen Zeitraum bei einer weitgehend konstant gebliebenen installierten Leistung von Windenergieanlagen hingegen um ca. fünf Prozent im Vergleich zum Vorjahr ab; die Gründe dafür sind vermutlich weniger witterungsbedingt, sondern haben eher mit Netzengpässen zu tun. Eindeutig lässt sich festhalten, dass das Jahr 2023 sich verglichen mit dem Vorjahr durch deutlich mehr Niederschlag auszeichnete, was in einem deutlichen Plus in der Erzeugung von Strom aus Wasserkraft resultierte (ca. zehn Prozent mehr als 2022).

Um die ambitionierten EE-Ausbauziele zu erreichen, hat die Bundesregierung wirksame Maßnahmen ergriffen, die nunmehr bereits Wirkung zeigen und deshalb im Jahr 2023 erstmals wieder für Dynamik bei den Neuinstallationen und Genehmigungen gesorgt haben. Der Zubau stellt sich Ende 2023 wie folgt dar:

- Neuinstallationen bei PV sind mit ca. 14 GW bereits um 90 Prozent höher als im Vorjahreszeitraum. Der avisierte Zwischenwert des Jahres 2023 von 9 GW ist bereits deutlich übertroffen. Die installierte Leistung von PV-Anlagen beträgt Ende Dezember 2023 ca. 82 GW. Ende 2024 sollen gemäß Ausbaupfad nach § 4 EEG 2023 88 GW installierte PV-Leistung erreicht werden.
- Auch die Neuinstallationen von Windenergieanlagen an Land haben im Jahr 2023 verglichen mit dem Vorjahr deutlich zugenommen und zwar um 49 Prozent. Des Weiteren ist ein Zuwachs bei den Neugenehmigungen bei Windenergie an Land zu verzeichnen. Hier sind von Januar bis Dezember 2023 mit rund 8 GW bereits 83 Prozent mehr Genehmigungen erteilt worden als im Vorjahreszeitraum. Eine neue Zubau- und Genehmigungsdynamik wird damit auch bereits bei Windenergie an Land sichtbar. Da die seit Beginn der Legislaturperiode in Kraft getretenen Maßnahmen zur Beschleunigung der Planungs- und Genehmigungsverfahren wegen langer Projektzeitläufe jedoch erst zeitversetzt wirken können, dürfte der Zielpfad des EEG 2023 erst zeitversetzt erreicht werden können.
- Bei der Windenergie auf See wurde bis September 2023 eine Gesamtleistung von 8,8 GW in den Ausschreibungen erfolgreich bezuschlagt. Dies ist mehr als die bisher insgesamt installierte Offshore-Leistung in Deutschland (derzeit 8,5 GW). Das schnelle Hochlaufen der weltweiten Offshore-Ausschreibungsmengen stellt die Lieferketten für die Netzanschlüsse der Windparks vor Herausforderungen. Die Zulieferindustrie insb. für die erforderlichen Konverter muss sich erst auf das neue Ambitionsniveau einstellen und entsprechende Fertigungskapazitäten aufbauen. Insbesondere die Produktionskapazitäten für den Bau von 2-GW-Offshore-Konverterplattformen sind weltweit sehr beschränkt. Das

führt dazu, dass das Ziel von 30 GW in 2030 nur mit einem Zeitverzug zu erreichen sein wird. Erste staatliche Maßnahmen zur Stärkung der Lieferketten für Konverter sind bereits in Vorbereitung.

- Der Leistungszuwachs bei Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse in 2023 ist anders als in den Vorjahren überwiegend auf Neuinbetriebnahmen und in geringerem Umfang auf Leistungserhöhungen an bestehenden Anlagen durch Flexibilisierung zurückzuführen. In den ersten zehn Monaten konnte ein Nettozubau von 120 MW registriert werden. Die installierte Biomasse-Gesamtleistung der im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur registrierten Anlagen beträgt ca. 9 GW.
- Bei der Wasserkraft wurden 2 MW neu ans Netz angeschlossen. Insgesamt sind Wasserkraftanlagen mit einer Leistung von 5,6 GW an das Stromnetz angeschlossen.

4.3 Bewertung der Flächenausweisung und Genehmigungssituation bei Windenergie an Land

Mit Blick auf die Nachweispflicht des § 3 Abs. 3 WindBG zeigt sich gemäß des im Oktober 2023 vorgelegten Berichts des Bund-Länder-Kooperationsausschusses bereits ein weit fortgeschrittener Umsetzungsstand in den Ländern:

In Baden-Württemberg, Brandenburg, Bayern und Sachsen wurden Teilflächenziele, zumindest für das Zwischenziel 2027, bereits verbindlich für die Regionalplanung vorgegeben. In allen anderen Ländern sind entsprechende Umsetzungen geplant oder im Falle der Stadtstaaten noch in Prüfung. Hinsichtlich der nach § 3 Abs. 1 WindBG erforderlichen Flächenausweisung sind in Bremen, Hessen und

Schleswig-Holstein die Flächenbeitragswerte für 2027 bereits erreicht. Einige Bundesländer haben ihre Flächenbeitragswerte für 2032 zudem zeitlich vorgezogen und wollen diese zum Teil bereits 2025 (bzw. 2026, 2027) erreichen.

Insgesamt zeichnet sich ab, dass sich die Flächenverfügbarkeit im Rahmen der Umsetzung des WindBG absehbar deutlich erhöhen wird.

Bei Genehmigungen zeigt sich bereits eine neue Dynamik: Die Zahl der Neugenehmigungen beträgt im Jahr 2023 bereits 83 Prozent mehr als im Vorjahr. Bei den aktuellen Verfahrensdauern zeigt sich, dass die Maßnahmen zur Beschleunigung langer Planungs- und Genehmigungsverfahren erst zeitversetzt wirken werden.

5 Handlungsbedarf für beschleunigten EE-Ausbau und die Zielerreichung im Jahr 2030

Aktuelle Maßnahmen der Bundesregierung zur Beschleunigung des EE-Zubaus und damit zur EE-Zielerreichung in 2030 sind in folgendem Maßnahmenbündel in Form einer Aufzählung aufgeführt:

- Die größte Reform in der Geschichte des EEG wurde umgesetzt. Die Ausbauziele und Auktionsmengen für EE wurden deutlich angehoben. Neues Ziel ist es, bis zum Jahr 2030 eine Leistung von 215 GW PV, 115 GW Windenergie an Land und 30 GW Windenergie auf See zu erreichen. Im EEG wurde klargestellt, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien im überragenden öffentlichen Interesse liegt und der öffentlichen Sicherheit dient.
- Mit dem WindBG wurden für die Länder verbindliche Flächenziele festgelegt. Bis 2027 muss insgesamt ein Anteil von 1,4 Prozent und bis 2032 ein Anteil von zwei Prozent der deutschen Landesfläche für die Windenergie an Land ausgewiesen sein. Durch Änderungen des Baugesetzbuchs wurden die Flächenziele in das Planungsrecht integriert und die Planungsverfahren zur Ausweisung von Windenergiegebieten so deutlich vereinfacht.
- Die Ausschreibungsbedingungen und Fördersätze für Wind- und Solarenergie wurden insgesamt attraktiver gestaltet, auch um gestiegenen Rohstoffpreisen und Zinsen Rechnung zu tragen. Zur Stärkung von Bürgerenergiegesellschaften wurden diese von der Verpflichtung zur Teilnahme an Ausschreibungen ausgenommen, wenn sie bestimmte Größenordnungen (18 MW Wind/6 MW Solar) nicht überschreiten. Zudem wurde ein Förderprogramm für Bürgerenergiegesellschaften aufgesetzt, mit dem bis zu 70 Prozent der Kosten für die Planungs- und Genehmigungsphase übernommen werden können.
- Bei Solaranlagen außerhalb der Ausschreibungen wurden die Vergütungssätze deutlich angehoben und ihre Degression bis 2024 ausgesetzt. Die Flächenkulisse wurde erweitert und um neue Möglichkeiten für Agri-PV, Floating-PV und Moor-PV ergänzt. Außerdem wurden kleine PV-Anlagen für das eigene Dach bis zu einer Leistung von 30 Kilowatt von der Einkommensteuer und der Mehrwertsteuer befreit.
- Die Aufnahme und der Transport erneuerbarer Energien in den Stromnetzen wurde durch Gesetzesänderungen zur Beschleunigung des Stromnetzausbaus, zur höheren Netzauslastung und zur Lastflexibilität (Energiewirtschaftsgesetz, Netzausbaubeschleunigungsgesetz, Bundesbedarfsplangesetz) verbessert.

Mit der EU-Notfallverordnung, für die sich die Bundesregierung im Jahr 2022 auf EU-Ebene eingesetzt hatte und zu deren Durchführung der Bundestag und der Bundesrat im März 2023 Regelungen im WindBG, Energiewirtschaftsgesetz, WindSeeG und Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung beschlossen haben, können Verfahren für den Windenergieausbau an Land und auf See, den Stromnetzausbau und auch für Solarenergie zeitlich befristet deutlich schneller umgesetzt wer-

den. In ausgewiesenen EE- und Netzgebieten, die bereits eine strategische Umweltprüfung durchlaufen haben, entfällt im Genehmigungsverfahren die Pflicht zur Durchführung der Umweltverträglichkeitsprüfung für EE-Anlagen und Netze. Die artenschutzrechtliche Prüfung in der bisherigen Form entfällt ebenfalls. Stattdessen ist eine modifizierte artenschutzrechtliche Prüfung durchzuführen, bei der geeignete und verhältnismäßige Minderungsmaßnahmen auf Grundlage vorhandener Daten anzuordnen sind. Mit der im November 2022 unterzeichneten Offshore-Realisierungsvereinbarung zwischen Bund, betroffenen Ländern und Übertragungsnetzbetreibern wurden konkrete Meilensteine und Zeitpläne verabredet, um das Ziel von mindestens 30 GW Windenergie auf See bis 2030 zu erreichen.

Um die ambitionierten Ziele zu erreichen, muss die Dynamik des Ausbaus der erneuerbaren Energien weiter erhöht werden:

- Das BMWK hat eine Windenergie-an-Land-Strategie erarbeitet und diese bei einem Windkraft-Gipfel am 22. März 2023 vorgestellt. Nach Beratungen mit den Ländern und der Windbranche hat das BMWK bei einem zweiten Windkraft-Gipfel im Mai 2023 die fertige Strategie mit zwölf Handlungsfeldern präsentiert und wird diese nun gemeinsam mit den anderen zuständigen Ministerien umsetzen. Kernziel ist es, Hemmnisse abzubauen, um den Zubau von Windenergie an Land mehr als zu vervierfachen. Einer der Schwerpunkte, neben der Vereinfachung und Beschleunigung von Verfahren, ist z. B. die Sicherung und Bereitstellung von Flächen für Windenergieanlagen.
- Im Januar 2023 hat das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie den neuen Flächenentwicklungsplan veröffentlicht, der den Weg zu 30 GW in 2030 und – als Ausblick – zu sogar

50 GW in 2035, und damit einer deutlichen Übererfüllung des Ziels von 40 GW, beschreibt. Während es in der Vergangenheit häufig zu Null-Cent-Geboten kam, sollen neue Ausschreibungsverfahren Einnahmen erzielen, die unter anderem in den Naturschutz und die Senkung der Stromkosten fließen werden.

- Es sollen zahlreiche Hemmnisse, die dem Betrieb von PV-Anlagen entgegenstehen, beseitigt werden. Zu diesem Zweck hat das BMWK am 10. März 2023 und am 5. Mai 2023 PV-Gipfel durchgeführt und eine PV-Strategie mit insgesamt elf Handlungsfeldern abgestimmt. Schwerpunkte sind innovative Konzepte für Freiflächenanlagen (Agri-PV), Dachanlagen insbesondere auf Gewerbegebäuden, die gemeinschaftliche Gebäudeversorgung einschließlich Verbesserungen der Mieterstrommodelle, der Abbau von Hürden bei der Gewerbe- und Erbschaftssteuer sowie die Qualifizierung von Fachkräften. Ein Teil der Maßnahmen hat die Bundesregierung im Rahmen des Solarpakets auf den Weg gebracht.
- Mit dem am 16. August 2023 im Kabinett beschlossenen Solarpaket I wurde ein wichtiges Gesetzespaket mit einer Vielzahl von Maßnahmen, die den Zubau der Photovoltaik beschleunigen und Bürokratie abbauen sollen, auf den Weg gebracht (u. a. Ausweitung der Flächenkulisse für Freiflächen-PV sowie das Wegenutzungsrecht für Anschlussleitungen) und befindet sich derzeit in parlamentarischen Beratungen.

Seit Beginn der Legislatur wurde damit eine Vielzahl an Maßnahmen auf den Weg gebracht, um die Planungs- und Genehmigungsverfahren zu beschleunigen. Die bereits beschlossenen Gesetze und Maßnahmen werden zu einem stärkeren Ausbau der erneuerbaren Energien und zu beschleunig-

nigten Verfahren für Planung, Flächenausweisung und Genehmigung von Windenergieanlagen an Land beitragen. Die gesetzlichen Maßnahmen des Vorjahres sind jedoch teilweise erst am 1. Februar 2023 in Kraft getreten. Diese und die Maßnahmen des laufenden Jahres 2023 können somit erst mit zeitlicher Verzögerung ihre Wirkung entfalten.

Zudem werden weitere Maßnahmen umgesetzt: Mit der laufenden BImSchG-Novelle werden weitere zentrale Verfahrenserleichterungen für Genehmigungsverfahren gelten, mit der Umsetzung der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (RED III) werden Beschleunigungsgebiete ausgewiesen, es sind weitere Standardisierungen im Artenschutz vorgesehen und die Flächensicherung wird erleichtert.

Darüber hinaus sind Bund, Länder und Kommunen auch künftig weiter gefordert, den Ausbau der erneuerbaren Energien zu beschleunigen und die Rahmenbedingungen weiter zu verbessern. Aus dem Bericht des Bund-Länder-Kooperationsausschusses vom 20. Oktober 2023 zum Ausbau der erneuerbaren Energien geht hervor, dass sich

alle Länder vorgenommen haben, den Ausbau der erneuerbaren Energien voranzutreiben. Es bestehen jedoch weiterhin große Unterschiede darin, auf welche Weise und mit welchen Zeithorizonten dies geschehen soll. Insgesamt zeigt sich sowohl für Flächen als auch für Genehmigungen für Windenergieanlagen an Land, dass die Wirkung der in 2022 und 2023 eingeführten Beschleunigungsmaßnahmen aufgrund des Berichtszeitraumes (das Jahr 2022) in den vorliegenden Daten noch nicht oder noch nicht vollständig sichtbar werden kann. Deutlich wurde, dass trotz deutlich steigender Tendenz bei der Windenergie an Land mehr Vorhaben und deren schnelle Genehmigung zur Zielerreichung erforderlich sind. So dauern Genehmigungsverfahren mit im Schnitt ca. zwei Jahren nach wie vor zu lange. Die Ziele zur Ausweisung von Flächen für die Windenergie an Land wollen einige Länder bereits früher erreichen als nach dem WindBG vorgesehen. Der Bericht zeigt zudem, dass auch weiterhin nicht ausreichend Genehmigungen vorliegen, um die zukünftig stark ansteigenden Ausbaupfade des EEG 2023 zu erfüllen.

Quellenverzeichnis

Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik (AGEE-Stat) am Umweltbundesamt, „Monatsbericht zur Entwicklung der erneuerbaren Stromerzeugung und Leistung in Deutschland“, Stand: 12. Januar 2024; <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen/monats-quartalsberichte-der-agee-stat>

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2022“, Oktober 2023; https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/erneuerbare_energien_in_zahlen.html

Bund-Länder-Kooperationsausschuss, „Bericht 2023 zum Stand des Ausbaus der erneuerbaren Energien sowie zu Flächen, Planungen und Genehmigungen für die Windenergienutzung an Land“, 20. Oktober 2023; unter der Rubrik „Bund-Länder-Kooperationsausschuss“ verfügbar auf der BMWK-Internetseite <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>

Bundesnetzagentur, Berichte zum Netzengpassmanagement; <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Netzengpassmanagement/start.html>

Bundesnetzagentur, Statistiken erneuerbarer Energieträger; <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EE-Statistik/start.html>

Deutscher Wetterdienst (DWD): Klimatologischer Rückblick auf 2022: Das sonnenscheinreichste und eines der beiden wärmsten Jahre in Deutschland. Stand: 19.01.2023; https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle_meldungen/230123/download_jahresrueckblick-2022.pdf

Statistisches Bundesamt (destatis): Monatserhebungen über die Elektrizitätsversorgung; <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/Tabellen/bilanz-elektrizitaetsversorgung.html>

Fortschrittsbericht Windenergie an Land nach § 99a EEG: Funknavigation, Wetterradar, seismologische Messstationen und Bundeswehr

Zusammenfassung

Folgende Maßnahmen sind bei Funknavigation bereits umgesetzt bzw. beschlossen:

- Seit 2020 wendet die DFS eine neue Formel zur Berechnung von Störungen bei DVOR-Anlagen und seit Herbst 2022 eine neue Formel bei CVOR-Anlagen an, die die Genehmigungsfähigkeit von Windprojekten in den Anlagenschutzbereichen deutlich verbessern.
- Zum 1. August 2022 wurde die zulässige Störung (technisch: Winkelfehler) von Drehfunkfeuern von 3° auf 3,6° erhöht und somit das für externe Störeinflüsse verfügbare Fehlerbudget um 0,6° auf 1,6° erhöht.
- Zum Jahreswechsel 2022/23 wurden die Monitorgrenzwerte mehrerer Doppler-Drehfunkfeuer von 1,0° auf 0,5° reduziert, sofern die Umgebungsbedingungen dies zuließen. Das verfügbare Fehlerbudget dieser Anlagen wurde damit um weitere 0,5° auf insgesamt 2,1° gesteigert.
- Aufgrund verbesserter Prognoseformeln konnten die Radien der Anlagenschutzbereiche um 39 von 40 DVOR-Drehfunkfeuern von 15 km auf 7 km mehr als halbiert werden, was einer Flächenreduktion um ca. 75 Prozent entspricht. Insgesamt wurden damit ca. 21.000 km² Anlagenschutzbereiche aufgelöst.
- Mit Unterstützung des BMWK werden seit Ende 2021 konventionelle Drehfunkfeuer (CVOR) bei Fortbestand des betrieblichen Bedarfs durch störungsresistentere Doppler-Drehfunkfeuer (DVOR) ersetzt. Von den in der bestehenden Vereinbarung betrachteten acht Anlagen wurden bzw. werden vier bis Mitte 2024 umgebaut und weitere vier nach aktueller Planung bis Ende 2025 außer Betrieb genommen.
- Von den derzeit 48 in Deutschland betriebenen Drehfunkfeuern³ entfallen insgesamt bis zum Jahr 2032 nach aktueller Planung 17 Anlagen, entweder durch ersatzlose Stilllegung oder durch Einsatz weniger störanfälliger Funknavigationsanlagen (DME-Entfernungsmesseinrichtungen).
- Seit Mitte 2023 bietet die DFS Planungsbehörden eine szenariobasierte Vorprüfung an, um diese bei der Festlegung von WEA-Vorranggebieten zu unterstützen.

Folgende Maßnahmen sind bei Wetterradar bereits umgesetzt, in der Testphase oder beschlossen:

- Der DWD hat das Verfahren Konrad 3D in Betrieb genommen, weshalb der Radius um die Wetterradare von 15 km Prüfbereich auf 5 km Schutzbereich unter den im Maßnahmenpapier von BMWK und BMDV genannten Bedingungen reduziert werden konnte. Damit hat der DWD annähernd 90 Prozent seiner bisherigen Prüffläche für die Nutzung durch Windenergie freigemacht.
- Auf Basis der Ergebnisse des durch BMWK geförderten Forschungsprojekts RIWER können die durch Windenergieanlagen in den Radarmessungen hervorgerufenen Störungen nun differenzierter erkannt werden. Die mögliche Rekonstruktion fehlender Radarmessungen ist in der Testphase. Die Bereitstellung von Betriebsdaten und meteorologischen Daten an und von den Windenergieanlagen wäre sehr hilfreich, um die Verfahren des DWD weiter verbessern zu können. Hierzu ist der DWD mit dem Bundesverband Windenergie (BWE) im Austausch, hat bislang jedoch keine Testdaten erhalten.

³ Die VORDME-Schulungsanlage Kaufbeuren wird in diesem Bericht nicht betrachtet, da ihr kein Anlagenschutzbereich zugeordnet ist.

- Nach Abschluss der Flächenausweisungen durch die Bundesländer (2032) wird durch den DWD geprüft, ob – und wenn ja, welche – Radarstandorte verlegt werden müssen.

Für die verbesserte Vereinbarkeit von seismologischen Messstationen mit der Windenergienutzung an Land bieten sich folgende Ansätze an:

- Frühzeitiger Dialog zwischen Investoren und Planungsbehörden mit Betreibern seismologischer Messstationen für die Auswahl geeigneter Flächen und Standorte für Windenergieanlagen.
 - Für spezifische Einzelfälle ist die Verlegung von Standorten der seismologischen Messanlage oder die Einrichtung zusätzlicher ergänzender Messstandorte ein geeigneter Weg.
 - Entwicklung ML-basierter (Machine Learning) Methoden zur Reduzierung des natürlichen und anthropogenen Rauschens der Daten, um die Einflüsse von Windenergieanlagen abzumildern. Dies kann in Zukunft für spezifische Aufgaben ein möglicher Lösungsansatz sein.
 - Entwicklung von Prognoseverfahren zur Abschätzung der Erschütterungsleistung geplanter Windenergieanlagen und zur Abschätzung der Dämpfung des geologischen Untergrundes.
- Für die bessere Vereinbarkeit der Windenergienutzung an Land mit Interessen der Bundeswehr werden aktuell folgende Maßnahmen entwickelt oder wurden bereits umgesetzt:
- Im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft Windenergie an Land und Bundeswehr hat die Bundeswehr bereits in den Bereichen Hubschraubertiefflugstrecken, Circling-Verfahren, Mindestführungshöhen sowie Abständen zu Sichtflugstrecken konkrete Lösungsansätze ermittelt und umgesetzt. So konnte eine Fläche von etwa 8.400 Quadratkilometern identifiziert werden, auf der Hemmnisse für die Windenergie abgebaut wurden und werden.
 - Die Bundeswehr hat im Hubschraubertiefflugstreckennetz verschiedene Streckenabschnitte zusammengelegt, verkürzt oder verlegt und konnte damit etwa 1.900 Quadratkilometer Fläche bereitstellen.
 - Durch Streichung von Circling-Verfahren an einzelnen Militärflugplätzen und durch Optimierung bestehender Verfahren erhöht sich die Wahrscheinlichkeit auf Zulassung von Windenergieanlagen in Bezug auf diesen Belang auf einer Fläche von mehr als 3.500 Quadratkilometern.
 - Die Bundeswehr hat verschiedene MVA im Umfeld von Militärflugplätzen angehoben und anderweitig angepasst und so die Zulassungswahrscheinlichkeit von Windenergieanlagen auf einer Fläche von etwa 3.000 Quadratkilometern erhöht.

1 Funknavigation: Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit von Windenergieanlagen an Land und dem Betrieb von Drehfunkfeuern

Funknavigationsanlagen sind Bodenstationen, die über Funksignale Luftfahrzeugen die Navigation ermöglichen. Zu ihnen gehören auch Drehfunkfeuer (eng. Abkürzung VOR für Very High Frequency Omnidirectional Range). In Luftfahrzeugen werden die Signale von Drehfunkfeuern in Empfängern verarbeitet und als Richtungsinformationen zur Verfügung gestellt. Es gibt Anlagen vom Typ Conventional-VOR und Anlagen vom Typ Doppler-VOR (im Folgenden CVOR bzw. DVOR). In Deutschland betreibt die Deutsche Flugsicherung (DFS) aktuell 48 Drehfunkfeuer, davon acht CVOR und 40 DVOR.

Schon heute werden zahlreiche Flugzeuge satellitengestützt navigiert und in Zukunft soll die satellitengestützte Navigation weiter ausgebaut werden. Die Anzahl der bodengestützten (terrestrischen) Navigationsanlagen wird deshalb in Zukunft abnehmen, wobei ein Grundgerüst an Drehfunkfeuern auch längerfristig erforderlich sein wird⁴. Terrestrische Navigationsanlagen dienen insbesondere als Ersatz im Falle von Ausfall oder gezielter Störung (*Jamming*) von Satellitennavigationssystemen.

Funknavigationsanlagen können durch Hindernisse gestört werden, wenn sich diese in einer gewissen Entfernung von der Funknavigationsanlage befinden oder dort neu errichtet werden. Windenergieanlagen zählen aufgrund ihrer Abmessungen zu diesen Hindernissen.

Im Rahmen von Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen wird geprüft, ob geplante neue Windenergieanlagen die Funknavigationsanlagen stören können. Die Internationale Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) sieht zu diesem Zweck vor, im Umfeld von Funknavigationsanlagen so genannte Anlagenschutzbereiche einzurichten (vgl. § 18a Luftverkehrsgesetz). Bei Drehfunkfeuern waren die Anlagenschutzbereiche bisher in der Regel Kreise mit einem Radius von 15 km. Seit August 2022 wurden die Anlagenschutzbereiche bei DVOR-Anlagen überprüft. An 39 von 40 DVOR konnten die Radien der Anlagenschutzbereiche nunmehr auf 7 km verkleinert werden. Wenn innerhalb der Anlagenschutzbereiche Windenergieanlagen geplant werden, so wird untersucht, ob diese Störungen im Funksignal hervorrufen würden, die das zulässige Maß überschreiten würden.

Konkret wird von der DFS als Betreiber der Drehfunkfeuer in einer gutachtlichen Stellungnahme untersucht, ob geplante Windenergieanlagen zu nicht hinnehmbaren Störungen der Funknavigationsanlage führen können. Die DFS leitet diese Stellungnahme dem Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF) zu, das u. a. auf dieser Basis eine Entscheidung über die Zulässigkeit der Windenergieanlagen trifft. Das BAF leitet seine Entscheidung an die zuständige Genehmigungsbehörde weiter.

⁴ Cgl. DVO (EU) 2018/1038 „PBN Implementation Regulation“.

Am 5. April 2022 haben das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) und das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sich auf die Vereinbarung „Gemeinsam für die Energiewende: Wie Windenergie an Land und Belange von Funknavigationsanlagen und Wetterradares miteinander vereinbart werden“ verständigt⁵. Eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung und Umsetzung der umfassenden Maßnahmen waren neue und validierte wissenschaftliche Untersuchungen im Rahmen der vom BMWK geförderten Forschungsvorhaben WERAN und WERAN plus der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB).⁷

Zum Stand der Umsetzung dieser Vereinbarung hat die Bundesregierung im Dezember 2022 dem Deutschen Bundestag einen „Bericht der Bundesregierung über Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit von Windenergieanlagen an Land und dem Betrieb von Drehfunkfeuern“ vorgelegt⁸.

Seit Anfang des Jahres 2022 hat das Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung bei 64 Anträgen zur Errichtung von insgesamt 633 Windenergieanlagen in Anlagenschutzbereichen von Drehfunkfeuern 618 Windenergieanlagen zugestimmt.

Die wichtigsten im Rahmen der o.g. Vereinbarung festgelegten Maßnahmen wurden bereits umgesetzt und finden in der Praxis Anwendung. Hierdurch konnte eine sehr hohe Zustimmungsquote von aktuell 97 Prozent bei DVOR und 100 Prozent von CVOR bei der Genehmigung von Windenergieanlagen erreicht werden. In den kommenden Mona-

ten werden letzte Maßnahmen zur Verbesserung der Koexistenz von Funknavigationsanlagen und Windenergienutzung entwickelt und umgesetzt, u. a. ein verbessertes Verfahren zur Ermittlung der Vorbelastung. Auch ist zu berücksichtigen, dass in den kommenden Jahren weitere Funknavigationsanlagen stillgelegt werden oder durch weniger störanfällige Anlagen ersetzt werden. Die umgesetzten und noch geplanten Maßnahmen sorgen damit einerseits dafür, dass die Risiken für eine Ablehnung von Windenergieanlagen im Anlagenschutzbereich von Funknavigationsanlagen vergleichsweise gering und gut prognostizierbar sein dürften. Andererseits reduzieren die Maßnahmen schlichtweg die Größe der Anlagenschutzbereiche, die nicht mehr nach § 18a LuftVG zu bewerten sind.

1.1 Verkleinerung der Anlagenschutzbereiche um DVOR

Auf Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse und Empfehlungen⁹ hat die Deutsche Flugsicherung seit August 2022 die Anlagenschutzbereiche bei 39 von 40 DVOR-Anlagen von 15 km auf 7 km Radius reduziert, was einer Flächenreduktion um ca. 75 Prozent entspricht. Eine Verkleinerung der Schutzbereiche an CVOR wird nicht angestrebt, weil diese anfälliger gegenüber Störungen durch Bauwerke sind und deren Anzahl aufgrund der geplanten Umrüstungen und vorgesehenen Stilllegungen in naher Zukunft weiter deutlich abnehmen wird. Insgesamt sind damit die betroffenen Anlagenschutzbereiche um eine Fläche von rund 21.500 km² reduziert worden.

5 „Gemeinsam für die Energiewende: Wie Windenergie an Land und Belange von Funknavigationsanlagen und Wetterradares miteinander vereinbart werden“; https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/gemeinsam-fuer-die-energiewende.pdf?__blob=publicationFile&v=8.

6 Verbundvorhaben WERAN – Wechselwirkung Windenergieanlagen mit terrestrischer Navigation und Radar, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (FKZ 0325644A-D).

7 Verbundvorhaben WERAN plus – Wechselwirkung Windenergieanlagen und terrestrische Navigation/Radar plus, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (FKZ 0324252A-D).

8 Funknavigation und Windenergie an Land – Bericht der Bundesregierung an den Bundestag über Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit von Windenergieanlagen an Land und dem Betrieb von Drehfunkfeuern gemäß § 99a Erneuerbare-Energien-Gesetz (2021); BT-Drucksache 20/5138.

9 T. Schrader et al., Bericht zur Wechselwirkung von Windenergieanlagen mit terrestrischer Navigation/Drehfunkfeuern – Erkenntnisse und Empfehlungen aus den Forschungsvorhaben WERAN und WERAN plus, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), 22.03.2022; <https://doi.org/10.7795/120.20220401>.

Nach Analyse der vorliegenden Daten waren vor der Reduzierung der Anlagenschutzbereiche etwa 126 km² der ausgewiesenen Flächen¹⁰ für die Windenergie von DVOR-Anlagenschutzbereichen überlagert. Mit Verkleinerung der 39 Anlagenschutzbereiche reduziert sich diese Überschneidung um etwa 100 km² bzw. um rund 80 Prozent.

1.2 Außerbetriebnahmen von Drehfunkfeuern

Gemäß DVO (EU) 2018/1048 sollen auch in Deutschland die An- und Abflugverfahren bis zum Jahr 2030 von einer primär terrestrisch- auf eine primär satellitengestützte Navigation (GNSS – Global Navigation Satellite System) umgestellt werden. Nach der Umstellung werden bodengestützte Funknavigationsanlagen nur noch in einer reduzierten Anzahl als Redundanz bei Ausfall von GNSS sowie für die Führung von vereinzelt nicht GNSS-ausgestatteten Luftfahrzeugen erforderlich sein. Wenn Funknavigationsanlagen stillgelegt werden, können neue Flächen für die Windenergienutzung an Land bereitgestellt werden. Durch diese Veränderungen können mittel- bis langfristig vergleichsweise umfangreiche Flächen ohne Prüfung nach § 18a Luftverkehrsgesetz von der Windenergie genutzt werden.

Im Jahr 2004 wurden noch 70 Drehfunkfeuer betrieben. Bis zum Jahr 2021 wurden bereits 17 Standorte stillgelegt. Im Jahr 2022 wurden wie geplant weitere drei Anlagen (Roding, Erlangen, Rügen-Trent) und im Jahr 2023 zwei weitere Anlagen (Gedern, Frankfurt/Charlie) zurückgebaut. Derzeit werden in Deutschland noch 48 Anlagen betrieben, davon 45 im Eigentum der DFS. Nach den aktuellen Planungen können bis einschließlich 2030 folgende Anlagen stillgelegt werden:

Standort	geplantes Außerbetriebnahmejahr des Drehfunkfeuers (soweit bekannt)
Luburg	2024/2025
Frankfurt am Main, Metro	2025
Fürstenwalde	2025
Magdeburg	2025
Cola (südwestlich Flughafen Köln/Bonn)	2026/2027
Brünkendorf	noch nicht bekannt
Dinkelsbühl	noch nicht bekannt
Frankfurt am Main, FFM	noch nicht bekannt
Friedland	noch nicht bekannt
Germinghausen	noch nicht bekannt
Gotem	noch nicht bekannt
Löwenberg	noch nicht bekannt
Osnabrück	noch nicht bekannt
Ried	noch nicht bekannt
Sulz	noch nicht bekannt
Wipper	noch nicht bekannt

Bis 2030 werden also nach aktueller Planung in Summe 16 Drehfunkfeuer außer Betrieb genommen; in den meisten Fällen sollen an den Standorten DME (Distance Measuring Equipment) mit kleineren Anlagenschutzbereichen (3 km Radius) weiterbetrieben werden.

Abhängig von der derzeit laufenden Diskussion, wie die Vorgaben aus der Richtlinie DVO (EU) 2018/1048 zur Implementierung von Performance-Based Navigation (PBN) bzgl. der Bereitstellung eines VOR-Minimum Operational Networks auszulegen sind, ist im Nachgang eventuell eine weitergehende Reduktion möglich.

¹⁰ Für die Analyse wurden die anrechenbaren Flächen nach WindBG Stand 31.12.2022 zugrunde gelegt, vgl. Bericht des Bund-Länder-Kooperationsausschusses 2023; <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>.

1.3 Umrüstungen von Drehfunkfeuern zur Verringerung der Störwirkung von Windenergieanlagen

Die Funktion von CVOR (Funknavigationsanlagen konventioneller Bauart) kann durch Windenergieanlagen deutlich stärker gestört werden als die von DVOR und die von DME. Das BMWK fördert vor diesem Hintergrund die Umrüstung von bis zu acht bestehenden CVOR zu DVOR. Die Umrüstung von CVOR- zu DVOR-Anlagen kann nach heutiger Einschätzung des BMWK zusätzliche Genehmigungen im Umfang von etwa 700 MW installierter Leistung von Windenergieanlagen an Land ermöglichen. Die Umrüstung der acht Funknavigationsanlagen hat bereits im Jahr 2021 begonnen und soll bis zum Jahr 2025 abgeschlossen werden. Die Umrüstung war bzw. ist derzeit in der folgenden Reihenfolge vorgesehen, wobei der Umrüstung eine Prüfung auf betriebliche Notwendigkeit vorausgeht, die bestenfalls in einen Rückbau des Drehfunkfeuers bzw. einen Ersatz durch eine weniger störanfällige Entfernungsmesseinrichtung (DME) mündet:

Standort	Abschaltung aufgrund geplanter Umrüstung zu DVOR*	Abschaltung aufgrund geplanter Umrüstung zu DME*	Abschaltung aufgrund Wegfalls der Navigationsanlage
Nürnberg	erfolgt		
Rügen, Trent			erfolgt
Frankfurt am Main, Charlie		erfolgt	
Köln/Bonn	2023		
Nienburg	2024		
Düsseldorf	2024		
Frankfurt am Main, Metro			2025
Magdeburg		2025	

* Datum der CVOR-Außerbetriebnahme

Die Umrüstung von CVOR- zu DVOR-Anlagen ist am Standort Nürnberg bereits abgeschlossen. Am Standort Köln/Bonn wird die Umrüstung noch im Jahr 2023 an den Standorten Nienburg und Düsseldorf voraussichtlich im ersten Halbjahr 2024 abgeschlossen sein.

Ein Ersatz der CVOR durch ein DME (Distance Measuring Equipment) erfolgt an den Standorten Magdeburg und Frankfurt am Main/Charlie. Am Standort Frankfurt am Main/Charlie ist die Umrüstung der CVOR-Komponente bereits im Oktober 2023 erfolgt, während die Umrüstung am Standort Magdeburg voraussichtlich im Jahr 2025 abgeschlossen ist. Der Anlagenschutzbereich bei DME-Anlagen ist mit einem Radius von 3 km deutlich kleiner als bei Drehfunkfeuern.

Am Standort Rügen (Trent) ist die Navigationsanlage im Jahr 2022 ersatzlos weggefallen, für die Anlage am Standort Frankfurt am Main/Metro ist dies für das Jahr 2025 vorgesehen.

1.4 Anhebung der Störbergrenze bei Funknavigationsanlagen

Wie bereits im letzten Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag im Dezember 2022⁸ enthalten, wird die neue Störbergrenze von 3,60 weiter konsequent im Rahmen von Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen an Land angewendet und dürfte sich sehr positiv auf die Zustimmungsfähigkeit von Windenergieanlagen im Anlagenschutzbereich von CVOR- und DVOR-Anlagen auswirken.

1.5 Geringere Systemtoleranz (Monitorfehler, Anlagenfehler)

Wie bereits im letzten Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag im Dezember 2022⁸ enthalten, wird die Reduktion des Monitoring- und Anlagenfehlers weiterhin konsequent umgesetzt.

Eine Analyse der DFS hat ergeben, dass der Eigenfehler bei DVOR in einem ersten Schritt von 2° auf 1,5° reduziert werden kann. Die Reduzierung wird seit dem 1. August 2022 bei Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen angewendet. Da die Absenkung der Monitorgrenze bei elf Anlagen

durch vorzeitiges Eintreten in einen Fehlerzustand zu Zwangsabschaltungen geführt hat, sieht die DFS von einer weiteren Absenkung der Monitorgrenzen vorerst ab.

Zusammen mit der Anhebung der Störbergrenze um $0,6^\circ$ (vgl. Kap. 1.4) und der Reduzierung des Anlagenfehlers um $0,5^\circ$ erhöht sich das Fehlerbudget insgesamt also bei DVOR von $1,0^\circ$ um $1,1^\circ$ auf $2,1^\circ$ (CVOR: von $1,0^\circ$ um $0,6^\circ$ auf $1,6^\circ$). Diese Maßnahmen dürften nach Einschätzung der Bundesregierung die Wahrscheinlichkeit der Zustimmungsfähigkeit von Windenergieanlagen im Anlagenschutzbereich von Drehfunkfeuern deutlich erhöhen.

Es besteht darüber hinaus die Chance, dass das zur Kompensation der magnetischen Drift vorgesehene Budget von 1° durch die derzeit in der ICAO diskutierte weltweite Umstellung von Magnetic North (missweisend) auf True North (rechtweisend) gänzlich entfallen kann.

1.6 Neue Methode zu Bestimmung der Vorbelastung

Neben geplanten Windenergieanlagen müssen auch die Topografie und bereits bestehende Hindernisse und Bauwerke in die Berechnung von Störungen einfließen. Die bislang für die Bestimmung der Vorbelastung verwendete Kreisflugmethode für die Beurteilung von windenergieanlagen-induzierten Störungen ist nicht geeignet. Aktuell wendet die DFS deshalb schon heute in Abstimmung mit der PTB ein geändertes Verfahren zur Bestimmung der Vorbelastung als Interimslösung an, das nicht mehr auf Kreisflügen basiert. Die Zertifizierung der zur Einrüstung in ein kommerzielles Messflugzeug der Fa. Flight Calibration Services GmbH vorgesehenen Messausrüstung konnte bislang nicht abgeschlossen werden. Sobald die Einrüstung erfolgt ist, kann der DFS eine auf neuer methodischer Basis ermittelte Vorbelastung zur Verfügung gestellt werden.

1.7 Neue Formel zur Berechnung von Störungen an CVOR-Anlagen

Die PTB hat im Rahmen des vom BMWK geförderten Forschungsvorhabens WERAN plus eine verbesserte Berechnungsformel für Störungen von DVOR-Anlagen entwickelt, die seit Mitte 2020 durch die DFS angewendet wird. Unter Anwendung der überarbeiteten Berechnungsformel konnte bei 137 vorgelegten Anträgen mit 509 Windenergieanlagen der Errichtung von 494 Anlagen nach § 18a LuftVG zugestimmt werden. Auch für CVOR-Anlagen hat die PTB nun im Rahmen des genannten Forschungsvorhabens eine neue Formel zur Berechnung von Störungen entwickelt, die die Genehmigungsfähigkeit für geplante Windprojekte im Umfeld von CVOR-Anlagen erhöhen dürfte. Die DFS wendet die überarbeitete Berechnungsformel für CVOR-Anlagen seit dem 10. Oktober 2022 im Rahmen der Beteiligung an Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen an, die im Anlagenschutzbereich von CVOR-Anlagen errichtet werden sollen. Unter Anwendung der überarbeiteten Berechnungsformel konnte bei allen 27 vorgelegten Anträgen der Errichtung von 124 Windenergieanlagen nach § 18a LuftVG im Anlagenschutzbereich von CVOR-Anlagen zugestimmt werden.

1.8 Beschleunigte Vorgangsbearbeitung in der DFS

Durch erhöhte Automatisierung gestaltet sich die Bearbeitungsdauer im Anlagenschutz der DFS heute deutlich effizienter. Hinzukommt, dass auch die Anzahl an Vorgängen durch die Reduktion der Anlagenschutzbereiche deutlich gesunken ist. Die DFS sah sich auch aufgrund dieses Umstandes in der Lage, die unter Kapitel 1.9 dargestellte szenario-basierte Vorprüfung anzubieten.

1.9 Szenariobasierte Vorprüfung

Um einen weiteren Beitrag zum Erreichen der klimapolitischen Ziele der Bundesrepublik Deutschland zu leisten, hat sich die DFS bereiterklärt, Planungsbehörden im Rahmen ihrer personellen und finanziellen Möglichkeiten bei der Festlegung von Flächen für die Windenergie (§ 3 WindBG) zu unterstützen. Die Unterstützung umfasst die rechnergestützte Bewertung der Zustimmungsfähigkeit nach § 18a LuftVG von szenariobasiert festgelegten Planungsentwürfen zum Ausbau der Windenergie in Anlagenschutzbereichen von Drehfunkfeuern sowie grundsätzliche Aussagen zur Zustimmungsfähigkeit in Anlagenschutzbereichen von Primär- und Sekundär-Radaranlagen. In den Szenarien wird auf Windflächen, die planerisch festgelegt werden sollen, eine mögliche Windparkkonfiguration virtuell unterstellt.

Bei der szenariobasierten Vorprüfung werden auf Grundlage einzelner Windenergieanlagen pro-

totypisch definierte Windparks, die sich alle im gleichen Anlagenschutzbereich befinden, unter Berücksichtigung einer ggf. vorhandenen Vorbelastung durch bereits im Anlagenschutzbereich bestehende Windenergieanlagen auf Zustimmungsfähigkeit hin untersucht. Im Ergebnis wird festgestellt, ob die prototypisch angenommenen Windparks in Gänze oder in Teilen, d. h. in Hinblick auf eine bestimmte Konstellation von Windenergieanlagen, zustimmungsfähig wären.

Auf die Durchführung der Vorprüfungen durch die DFS besteht kein Rechtsanspruch und die im Rahmen der Vorprüfung vorgelegten Erkenntnisse der DFS sind rechtlich unverbindlich. Auch ist für die Nutzer der Informationen zu berücksichtigen, dass die DFS keine Gewähr für die Korrektheit der Ergebnisse übernehmen kann und eine nachfolgende Prüfung der DFS in Bezug auf § 18a LuftVG oder als Träger öffentlicher Belange, z. B. durch Änderung von Planungsprämissen, abweichende Ergebnisse erbringen kann.

2 Wetterradares und Windenergieanlagen

Messungen in der Atmosphäre mithilfe von Wetterradares stellen eine wesentliche Grundlage für Unwetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und damit für die Daseinsvorsorge sowie den Schutz von Leben und Sachgütern vor schadensträchtigen Wetterextremen dar. In Deutschland werden 17 Wetterradares durch den DWD operationell betrieben. Aktuell plant der DWD vier neue Radarsysteme für die Metropolregionen Bremen, Karlsruhe, Leipzig und Nürnberg, um einige aktuell noch offene Lücken in der bodennahen Wetterradaresabdeckung zu schließen.

Die Daten der Wetterradaresanlagen können von Windenergieanlagen gestört werden, weshalb der DWD an Verfahren zur Ausweisung von Flächen für die Windenergie und an Genehmigungsverfahren beteiligt wird. In der o.g. Vereinbarung 3 wurden drei Maßnahmen im Bereich Wetterradares genannt:

- Verkleinerung der Abstände zwischen Windenergieanlagen und Wetterradaresanlagen
- verbesserte Analyse der Einflüsse von Windenergieanlagen bei Wetterradaresmessungen
- Verlegung von Wetterradaresanlagen

2.1 Verkleinerung der Abstände zwischen Windenergieanlagen und Wetterradaresanlagen

Das BMDV und das BMWK haben im Frühjahr 2022 gemeinsam mit dem DWD eine Reduzierung des Abstands von Windenergieanlagen zu Wetterradares von 15 auf 5 km vereinbart, in dem der DWD weiterhin seine Belange geltend macht, unter

der Voraussetzung, dass der DWD die für die Erfüllung seiner Fachverfahren erforderlichen technischen Betriebsdaten und meteorologischen Messdaten der Windenergieanlagen von den jeweiligen Betreibern erhält.

Zur Umsetzung dieser Voraussetzung ist die Zusammenarbeit mit Windenergieanlagenbetreibern erforderlich. Hierfür finden Gespräche zwischen dem DWD und Vertretern des Bundesverbands Windenergie (BWE), der Fachagentur Wind sowie einzelnen Windenergieanlagenbetreibern und -herstellern statt.

Im Rahmen der Beteiligung des DWD in Planungs- und Genehmigungsverfahren beschränkt der DWD die Geltendmachung seiner Belange für alle Windenergieanlagen, die ab 2024 in Betrieb genommen werden auf den 5 km-Radius, wenn die im Maßnahmenpapier genannten Bedingungen erfüllt sind. Durch diese Vorgehensweise gibt der DWD etwa 90 Prozent der bisherigen Schutzzonen um seine Wetterradares für den Bau und Betrieb von Windenergieanlagen frei. Die Reduzierung des Abstands auf 5 km ist möglich, weil der DWD nunmehr das Fachverfahren KONRAD3D technisch und fachlich eingeführt hat. KONRAD3D ist ein Verfahren zur Erkennung, Verfolgung und Vorhersage konvektiver Zellen (z. B. Gewitter) für den Vorhersagebereich von null bis zwei Stunden. KONRAD3D ist als ein Multi-Sensor-Verfahren konzipiert und vereint demnach verschiedene Fernerkundungsdaten und -produkte. Die Vorteile des neuen 3D-Verfahrens liegen u. a. in der Erfassung einer konvektiven Zelle als dreidimensionale Struktur sowie auch in der Möglichkeit der Erkennung von Zellen in einem früheren Entwicklungsstadium.

2.2 Verbesserte Analyse der Einflüsse von Windenergieanlagen bei Wetterradarmessungen

Im Rahmen des durch das BMWK geförderten Verbundvorhabens RIWER^{11, 12} wurden zum einen Ansätze und Algorithmen-Prototypen entwickelt, die es ermöglichen, die durch Windenergieanlagen in den Radarmessungen hervorgerufenen Störungen genauer zu erkennen. Diese Arbeiten sind auch Bestandteil eines Promotionsvorhabens und werden nach dessen Abschluss vom DWD evaluiert.

Zum anderen wurden Algorithmen-Prototypen für die Rekonstruktion¹³ der Radarmessung (Radarreflektivität) in den gestörten Radarabdeckungsbereichen entwickelt, die derzeit durch den DWD anhand von Fallstudien getestet werden. Es hat sich dabei gezeigt, dass für stratiforme Niederschlagsereignisse (Landregen) bereits mit einem Interpolationsverfahren eine qualitative Rekonstruktion der Radarreflektivität erreicht werden kann. Es ist nun geplant, dass der DWD diese Algorithmen detailliert (Zeitraum, verschiedene Wetterszenarien) prüft, optimiert und zur Verwendung in geeigneten Fachverfahren in die DWD-Radardatenverarbeitungskette bis Ende 2025 implementiert.

Ein Ergebnis des Forschungsvorhabens RIWER ist auch, dass sich mit den Daten der Windenergieanlagen die radarbasierten Warnverfahren robuster

gestalten lassen. Dies umfasst sowohl eine mögliche gezielte Filterung der Radarmessungen in Abhängigkeit vom Betriebszustand einer Windenergieanlage als auch die direkte Nutzung der meteorologischen Messungen auf Windenergieanlagen.

2.3 Verlegung von Wetterradaranlagen

Eine bessere Vereinbarkeit von Windenergieanlagen und Wetterradaranlagen kann auch durch eine Standortverlagerung der Wetterradaranlagen erreicht werden, wenn der Atmosphärenbereich um den jeweils neuen Standort, der vom Radarstrahl abgetastet wird, keine oder nur wenige Hindernisse aufweist. Im Hinblick auf die Windenergienutzung sind hier auch die perspektivisch möglichen Hindernisse, also die in der Zukunft geplanten Standorte für die Windenergienutzung mit in den Blick zu nehmen. Das sind jene Flächen, die für das Erreichen der Ausbauziele gemäß Windenergie-an-Land-Gesetz bis 2027 bzw. bis 2032 durch die Länder festgelegt werden. Insofern bietet es sich aktuell an, die Verfahren der Flächenausweisungen durch die Länder abzuwarten, um im Anschluss bewerten zu können, inwieweit eine Verlagerung von Radaranlagen auf andere Standorte unter den dann gegebenen Flächenausweisungen erforderlich und realisierbar ist.

11 Verbundvorhaben RIWER „Entwicklung von neuen Verfahren zur Überwindung des Störeinflusses von Windenergieanlagen auf Wetterradarsysteme“, 05/2019 – 12/2022, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (FKZ 03EE3004A-E).

12 Eintrag zu den einzelnen Teilvorhaben im Verbundvorhaben RIWER in der EnArgus-Datenbank; <https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/?op=enargus.eps2&q=%2201187090/1%22> (abgerufen am 28.09.2023).

13 Beitrag auf „Strom-Forschung“; <https://www.strom-forschung.de/aktuelles/news/2022/sichere-daten-fuer-wetterradare-rund-um-windenergieanlagen> (abgerufen am 28.09.2023), gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

3 Seismologische Messstationen und Windenergie an Land

Windenergieanlagen übertragen im Betrieb Schwingungen über das Fundament der Anlage in den Boden. Auch andere anthropogene Aktivitäten wie z. B. der Güterverkehr oder bestimmte Baumaßnahmen können Schwingungen in den Boden eintragen. Die Signale solcher Schwingungen können u. a. von Messinstrumenten seismologischer Stationen aufgezeichnet werden. Insgesamt sind in Deutschland mehr als 300 seismologische Stationsstandorte bekannt. Betreiber dieser Standorte sind neben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) die Erdbebendienste der Bundesländer, Universitäten, Forschungseinrichtungen oder kommerzielle Betreiber von seismischen Netzen zur Überwachung von Rohstoffabbau, Staudämmen oder anderen kritischen Infrastrukturen.

Die in Deutschland installierten Messstationen haben unterschiedliche Aufgaben. So sind die von den geologischen Diensten betriebenen seismologischen Stationen zu einem seismologischen Netz zusammengeschlossen, mit dem Ort und Stärke von Erdbeben bestimmt werden können. Damit wird die seismische Aktivität in verschiedenen Gebieten Deutschlands überwacht.

Die Art der seismologischen Messanlagen richtet sich nach der zu bearbeitenden Aufgabe. Dabei kann grob eine Unterteilung in globale, regionale und lokale Beobachtungen vorgenommen werden. So genannte Breitbandseismometer sind am empfindlichsten und können für alle drei genannten Kategorien eingesetzt werden. Mit bandbegrenzten Messgeräten, die einfacher in der Handhabung sind, werden dagegen vorwiegend lokale Ereignisse beobachtet.

Das von der BGR betriebene nationale Messnetz besteht ausschließlich aus Breitbandinstrumenten und umfasst derzeit etwa 50 Messstationen. Dazu

gehört unter anderem das Gräfenberg-Array auf der Fränkischen Alb.

3.1 Beteiligung von Betreibern seismologischer Messstationen im Rahmen von Genehmigungsverfahren zum Bau und Betrieb von Windenergieanlagen

Die von Windenergieanlagen in den Boden eingetragenen Signale können teilweise im gleichen Frequenzbereich liegen, wie jene Wellen, die für die Beobachtung seismischer Aktivitäten relevant sind. Um eine Störung von seismologischen Messstationen zu vermeiden, werden Betreiber von seismologischen Messstationen bei Planungs- und Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen an Land beteiligt, so z. B. auch die BGR als Träger öffentlicher Belange. Im Bedarfsfall gibt die BGR eine entsprechende Stellungnahme ab und sucht den Austausch dazu mit den Erdbebendiensten der Länder.

In den Ländern unterscheiden sich dabei die Beteiligungsverfahren von Betreibern seismologischer Messstationen bei der Ausweisung von Flächen für die Windenergienutzung und bei Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen an Land. Im Kern sind Beteiligungs- oder Prüfradien auf der einen und Schutz- bzw. Ausschlussradien auf der anderen Seite zu unterscheiden.

Das Ziel von Ausschluss- bzw. Schutzradien ist es, die Errichtung von Windenergieanlagen weitestgehend zu vermeiden. Aus Sicht der BGR gilt dies insbesondere in den Schutzradien um Kernstationen des nationalen Messnetzes. So wurden beispielsweise im bayerischen Windenergieerlass Ausschlussradien für Windenergieanlagen um einige

seismologische Standorte festgelegt. Es handelt sich um 13 BGR-Stationen des Gräfenberg-Arrays mit jeweils einem 5-km-Ausschlussradius und um die im Rahmen des Kernwaffenteststopps von der BGR an einem gemeinsamen Standort betriebenen Stationen GERES und IS26 im Bayerischen Wald mit einem Ausschlussradius von 15 km. Andere Standorte des bayerischen Landesnetzes haben dabei kleinere Ausschlussradien von 3 km und 1 km. Als weitere Beispiele sind die Stationen TNS auf dem großen Feldberg im Taunus und MOX (bei Moxa) in Thüringen mit einem Ausschlussradius von jeweils 10 km sowie die Station BFO im Schwarzwald mit einem Ausschlussradius von 5 km zu nennen.

Um andere Breitbandstationen in Deutschland wurden dagegen in der Regel reine Beteiligungs- oder Prüfradien eingerichtet, die häufig, wie z. B. in Nordrhein-Westfalen, bei 2, 5 oder 10 km liegen. Hintergrund für die Einrichtung von Beteiligungs- oder Prüfradien ist zum einen, dass Informationen über Windparkplanungen Betreibern seismologischer Messstationen rechtzeitig zur Verfügung stehen. Zum anderen besteht die Möglichkeit durch Stellungnahmen die potenziellen Auswirkungen zu erläutern und damit auf eine entsprechende Anpassung der Planungen hinzuwirken. Dabei bietet der möglichst frühzeitige Dialog von Betreibern seismologischer Messstationen mit potenziellen Investoren und Planungsbehörden im Vorfeld förmlicher Beteiligungsverfahren gute Chancen, Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit der Windenergienutzung mit den seismologischen Messstationen zu entwickeln.

Die Erstellung von Prognosen bezüglich erwartbarer Einflüsse von geplanten Windenergieanlagen auf seismologische Messstationen stellt eine Herausforderung dar. Der geologische Untergrund, Hauptwindrichtung, Windstärke, Anlagenkonfi-

gurationen, Windparkkonfigurationen etc. können die Ausprägung der Wellenausbreitung durch Windenergieanlagen bis zur Aufzeichnung durch seismologische Messstationen prägen. Dabei ist eine Beeinflussung einer Windenergieanlage nur dann ausschlaggebend im Hinblick auf die Genehmigung einer Windenergieanlage oder im Hinblick auf die planerische Ausweisung einer Fläche, wenn dadurch die Funktionsfähigkeit der seismologischen Messstation maßgeblich gestört wird. Zur Beurteilung der Störwirkung verwerfen beteiligte Träger öffentlicher Belange aktuell häufig anlagenspezifische Parameter, wie z. B. installierte Leistung der Anlagen und Anlagenanzahl oder Anlagenkonfiguration, und nehmen bei der Bewertung der von Windenergieanlagen potenziell ausgehenden Störungen die entsprechenden Aufgabenfelder der jeweiligen seismologischen Messstation in den Blick.

Derzeit wird im Forschungsprojekt DBMISS¹⁴ an einem Prognoseverfahren gearbeitet. Das Projekt erarbeitet dafür eine Abschätzung der Erschütterungsleistung geplanter Windenergieanlagen und die Abschätzung der Dämpfung des geologischen Untergrunds zwischen Einwirk- und Messort.

Der Bundesregierung liegt keine flächendeckende Quantifizierung zur Häufigkeit von Ablehnungen von Windenergieanlagen aufgrund möglicher Störungen von seismologischen Messstationen durch Windenergieanlagen vor. Im Hinblick auf die BGR-Stationen wurde die BGR in den Jahren 2022 und 2023 in sechs Fällen an Planungen bzw. Bauanträgen von Windenergieanlagen-Standorten im Umfeld von seismologischen Messstationen beteiligt (Stand Oktober 2023). In keinem Fall hat die BGR Einwände gegen die Genehmigungen erhoben. Weiterhin war die BGR in diesem Zeitraum in fünf Verfahren zur planerischen Ausweisung

14 Siehe Projektwebsite; <https://www.uni-muenster.de/Physik.GP/dbmiss/project.html>.

von Flächen für die Windenergienutzung beteiligt. Bei drei angesprochenen Verfahren hat die BGR in ihren Stellungnahmen gebeten, Flächen zu verkleinern, zu verlegen oder aufzugeben. In dem Zusammenhang konnten bei einem der Verfahren zwei Vorrangflächen durch Kompensationsmaßnahmen erhalten werden.

3.2 Mögliche Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit von Windenergieanlagen mit seismologischen Messstationen

Im Rahmen der Planungs- und Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen bietet es sich an, dass Planungsbehörden und Investoren möglichst frühzeitig den Dialog mit Betreibern seismologischer Messstationen suchen, um auch im Vorfeld förmlicher Beteiligungsverfahren Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit der Windenergienutzung mit den seismologischen Messstationen zu entwickeln. Die Auswahl geeigneter Flächen und Standorte für die Windenergienutzung auch vor dem Hintergrund der möglichen Beeinflussung von seismologischen Messstationen spielt eine zentrale Rolle für eine Vereinbarkeit von Windenergienutzung und seismologischen Messstationen.

Eine weitere Möglichkeit, eine Vereinbarkeit zwischen Windenergienutzung und seismologischen Messstationen zumindest an bestimmten ausgewählten Standorten herzustellen, ist die Verlegung von Standorten der seismologischen Messanlage oder die Einrichtung zusätzlicher ergänzender Messstandorte. Diese Lösung ist vor allem dann ein möglicher Weg, wenn noch keine lange Aufzeichnungshistorie besteht und wenn geeignete und aus fachlicher Sicht gleichwertige Ausweich- bzw. Zusatzstandorte bereitgestellt werden können.

Weiterhin wird aktuell an ML-basierten (Machine Learning) Methoden zur Reduzierung des natürlichen und anthropogenen Rauschens in den Daten gearbeitet auch mit dem Ziel, die Einflüsse von Windenergieanlagen abzumildern. Diese Methode des Herausfilterns von Rauschen wird Denoising genannt. Bei ausgewählten Aufgabenstellungen für eine bestimmte Art von meist lokalen seismischen Ereignissen ist das Denoising ein möglicher Lösungsansatz. Aufgrund der dadurch eintretenden Änderungen an den Datensätzen ist das Denoising jedoch nicht für alle Einsatzbereiche und insbesondere nicht für Ereignisse in regionaler und globaler Entfernung geeignet.

Die genannten Methoden haben dabei jeweils spezifische Einsatzmöglichkeiten, da sie hinsichtlich der Datenverwertung oder Detektionssicherheit Nachteile mit sich bringen und vergleichsweise hohe Kosten verursachen können. Auch ist zu berücksichtigen, dass im Falle der Verlagerung oder Ergänzung von Stationen ein zusätzliches bzw. räumlich verlagertes Schutzbedürfnis entsteht.

4 Windenergienutzung und militärische Belange

Die Genehmigungen von Windenergieanlagen an Land nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) können nur befürwortet werden, wenn sie mit verschiedenen öffentlichen Belangen, u. a. militärischen Erfordernissen, vereinbar sind. Die Bundeswehr ermöglicht den Ausbau erneuerbarer Energien, sofern den konkreten Projekten keine militärischen oder sicherheitsrelevanten Belange entgegenstehen. In der Windenergie-an-Land-Strategie¹⁵ vom Mai 2023 wurden verschiedene Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit der militärischen Belange mit der Windenergienutzung genannt, u. a.:

Fortführung der Arbeitsgemeinschaft Windenergie und Bundeswehr

Die Arbeitsgemeinschaft Windenergie und Bundeswehr wurde im Frühjahr 2022 gemeinsam durch das Bundesministerium der Verteidigung und durch das Bundeswirtschaftsministerium ins Leben gerufen. Mit der Arbeitsgemeinschaft setzt die Bundesregierung zusammen mit ausgewählten Landesvertretern sowie mit der Windenergiebranche seitdem neue Impulse für die Energiewende unter Wahrung der militärischen Belange. Die Arbeitsgemeinschaft hat die Aufgabe, nach konkreten Optionen zur generellen Verbesserung der Vereinbarkeit des Ausbaus von Windenergievorhaben und militärischen Belangen zu suchen. Im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft hat die Bundeswehr bereits in den Bereichen Hubschraubertiefflugstrecken, Circling-Verfahren, Mindestführungshöhen sowie Abständen zu Sichtflugstrecken konkrete Lösungsansätze ermittelt und umgesetzt. So konnte eine Fläche von etwa 8.400 Quadratkilometern identifiziert werden, auf der Hemmnisse für die Windenergie abgebaut wurden und wer-

den. Das bedeutet, dass in den betroffenen Räumen aus militärischer Sicht zukünftig großzügigere Maßstäbe angelegt werden können und damit die Wahrscheinlichkeit für die Zulassung von Windenergieanlagen steigt.

Reduzierung der Hubschraubertiefflugstrecken

Hubschraubertiefflugstrecken dienen der einsatzvorbereitenden Ausbildung der Luftfahrzeugbesatzungen und der Sicherstellung der Einsatzbereitschaft in der Landes- und Bündnisverteidigung unter den besonderen Bedingungen des bodennahen Luftraums bei Tag und Nacht. Die Streckenverläufe berücksichtigen neben militärischen Ausbildungserfordernissen auch zusätzliche Aspekte wie Topografie und Lärmschutz. Luftfahrthindernisse in diesen Bereichen können eine erhebliche Gefahr für Leib und Leben der Hubschrauberbesatzungen darstellen. Die Bundeswehr hat ihr Hubschraubertiefflugstreckennetz einer Bedarfsprüfung (Potenzialanalyse) unterzogen. Dabei konnten verschiedene Streckenabschnitte zusammengelegt, verkürzt oder verlegt werden. Damit reduziert sich die Fläche des Streckennetzes für Hubschraubertief Flüge um etwa 1.900 Quadratkilometer.

Konzentration der Circling-Verfahren auf einige militärische Flugplätze

Circling-Verfahren sind spezifische An- und Abflugverfahren an militärischen Flugplätzen. Diese Prozeduren werden in Deutschland im Rahmen der fliegerischen Einsatzverfahren trainiert. Zum Teil stellen sie an einzelnen Flugplätzen aber auch Verfahren dar, die genutzt werden müssen, wenn ein Instrumentenanflugverfahren für nur eine Landebahnrichtung vorhanden ist. Nach einer Überprüfung aller Circling-Verfahren auf

¹⁵ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Mai 2023): Windenergie-an-Land-Strategie. Wir stellen die Weichen für 160 Gigawatt. Wind an Land bis 2035: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/windenergie-an-land-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=11.

den deutschen Militärflugplätzen hat die Bundeswehr beschlossen, diese Verfahren nicht mehr an allen Flugplätzen durchzuführen und die weiterhin bestehenden Verfahren einer Einzelfallprüfung mit potenzieller Optimierung zu unterziehen. Mit diesen Maßnahmen kann aus militärischer Sicht auf einer zusätzlichen Fläche von mehr als 3.500 Quadratkilometern ein großzügiger Maßstab bei der Realisierung von Windenergievorhaben angelegt werden.

Prüfung der Anhebung bzw. Anpassung von Mindestführungshöhen insbesondere im Bereich geeigneter Windflächen

Die Mindestführungshöhe oder Minimum Vectoring Altitude (MVA) ist die niedrigste Höhe, die für die Radarführung von Flügen nach Instrumentenflugverfahren unter Berücksichtigung der Sicherheitsmindesthöhe und der Luftraumstruktur genutzt werden kann. Die MVA gewährleistet unter anderem eine Hindernisfreiheit von 1.000 Fuß, also rund 300 Meter über dem höchsten Hindernis im Umkreis von acht Kilometern. Auch wenn die MVA über dem gesamten Gebiet der Bundesrepublik Deutschland hauptsächlich im Verantwortungsbereich der Deutschen Flugsicherung (DFS) liegt, ist die MVA im Umfeld von Militärflugplätzen von besonderem Interesse für die Bundeswehr. Die Höhe der jeweiligen MVA entscheidet dabei u. a. über die Möglichkeiten der An- und Abflugstaffelung von Luftfahrzeugen unter Instrumentenflugbedingungen, über die Durchführbarkeit von Prozeduren bei Anflugabbrüchen und ist entscheidend für die Handhabung von Notfällen mit Luftfahrzeugen. Die Höhe von realisierbaren Windenergieanlagen im Umfeld von Militärflugplätzen wird durch die vorgegebene MVA bestimmt. Daraus können Höhenbeschränkungen für den Anlagenbau resultieren. Die Bundeswehr hat die MVA im Umfeld von Militärflugplätzen auf Möglichkeiten zur Anhebung oder anderweitiger Veränderungen geprüft. Ergebnis: Auf einer Fläche von etwa 3.000 Quadratkilometern konnte die MVA angehoben oder verändert werden.

Entwicklung von Lösungsansätzen bei Anflugverfahren

Instrumentenan- und -abflugverfahren sind komplexe allgemeingültige technische Verfahren. Sie sind unabhängig von der Bauart eines spezifischen Luftfahrzeugs und sorgen dafür, dass bei schlechten Wetterverhältnissen bzw. Grenzwetterlagen bis zu einer festgelegten Minimalhöhe und -sicht sicher am Flugplatz gelandet werden kann. Diese Verfahren sind ortsspezifisch errechnet bzw. konstruiert, d. h. umgebungsabhängig, flugvermessen und gemäß den allgemeinen Richtlinien, Vorgaben und Verfahrensweisen im Luftraum international publiziert. Änderungen an einer Stelle des Verfahrens zugunsten der Windenergienutzung können Anpassungen an anderen Stellen erforderlich machen und bedürfen einer komplexen Überprüfung über mögliche Rückwirkungen, insbesondere auf die Streckenführung sowie die luftfahrtrechtliche Zulassung der publizierten Verfahren. Auch Konsequenzen für den übergeordneten Luftraum können eine mögliche Folge sein. Bei Flügen unter Sichtflugbedingungen sind im Vergleich zum Instrumentenflug keine exakt festgeschriebenen Flugrouten vorgegeben. Für die Einhaltung der nach internationalen Vorgaben und den darauf basierenden Regularien der EU erforderlichen Mindestabstände zu Luftfahrthindernissen ist die Luftfahrzeugbesatzung verantwortlich. Um den hierzu notwendigen Luftraum hindernisfrei zu halten und die Sicherheit für den Sichtflugverkehr zu erhöhen, wurden Mindestabstände für Hindernisse zu festgelegten Sichtflugverfahren vorgegeben. Die Feststellung der Vereinbarkeit von An- bzw. Abflugverfahren mit dem Windenergieausbau bedarf deshalb immer einer Einzelfallprüfung.

Einbindung der Belange der Bundeswehr auf planerischer Ebene zur Entlastung der Genehmigungsverfahren

Die Bundeswehr bietet den zuständigen Landesstellen für Planung und Raumordnung an, schon frühzeitig Kontakt zum Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bun-

deswehr (BAIUDBw) aufzunehmen, damit schon in den frühen Planungsphasen mögliche Herausforderungen und militärische Hemmnisse beim Ausbau der Windenergie unter Berücksichtigung militärischer Erfordernisse erkannt und berücksichtigt werden können. Auch die nicht öffentlich bekannt zu machenden Verläufe der Hubschraubertiefflugstrecken wurden den Ländern zum amtsinternen Gebrauch zur Verfügung gestellt.

Informelle Voranfrage

Zudem bietet die Bundeswehr auch bei der Einzelplanung von Windenergievorhaben zusätzliche Unterstützung an. Windparkplanende haben die Möglichkeit, ihre Planungen bereits vor Einleitung eines förmlichen Genehmigungsverfahrens zentral durch das BAIUDBw auf die Vereinbarkeit mit militärischen Belangen kostenlos überprüfen zu lassen. Kostenintensive Fehlplanungen für die Wirtschaft können durch dieses Angebot vermieden werden. Das BAIUDBw¹⁶ zeigt zudem – soweit möglich – Realisierungsalternativen auf.

16 Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr, Fontainengraben 200, 53123 Bonn (windenergie@bundeswehr.org); weitere Informationen können unter www.windenergie.bundeswehr.de gefunden werden.

