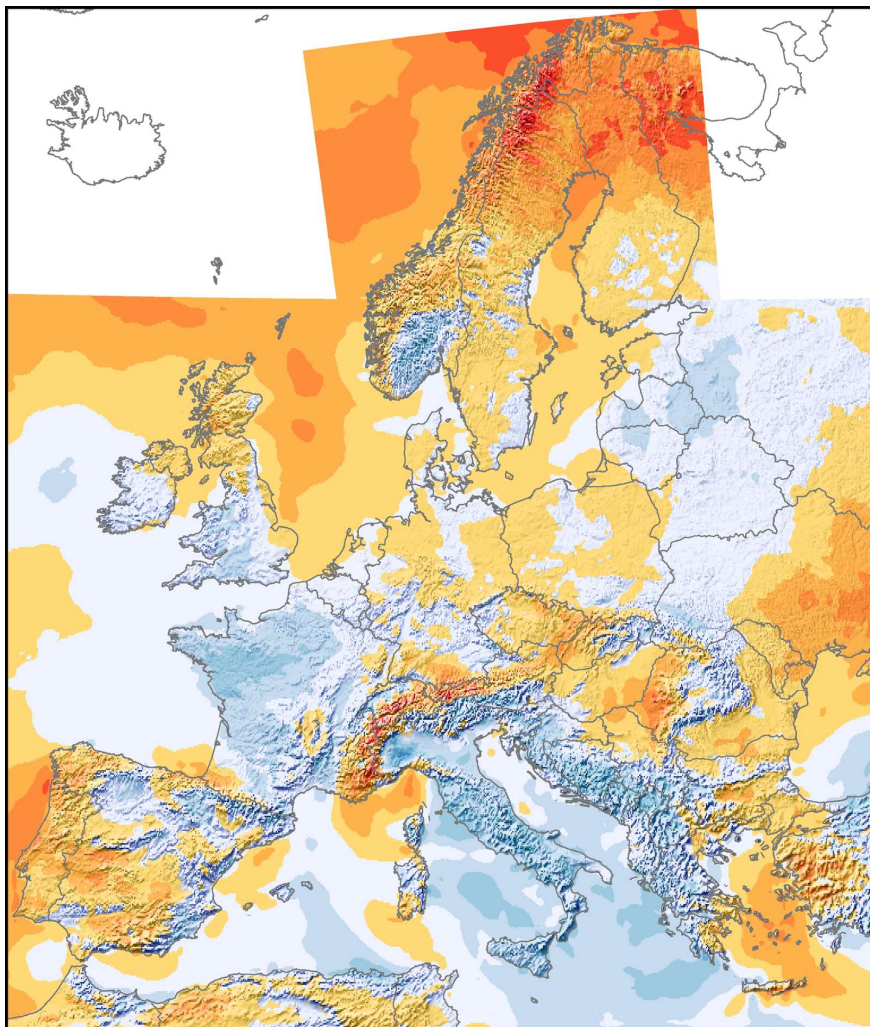




Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH

Wind- und Ertragsindex Report

2024



1. Einleitung

Die anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie befasst sich seit Jahrzehnten mit mesoskaligen Wettersimulationen und hat bereits zahlreiche Windatlanten erstellt. Auf Basis unserer Simulationen möchten wir Ihnen eine kurze Übersicht über das vergangene Wind- und Ertragsindexjahr in Europa geben.

Unsere **akkreditierten Monats- und Jahresindizes** für acht typische Windenergieanlagen sind mit einer horizontalen Auflösung bis $3 \times 3 \text{ km}^2$ sowie auch **standort- und anlagenspezifisch** über das anemos Windinformationssystem awis (awis.anemos.de) zugänglich. Die Indizes auf Basis der ERA5 Daten sind z. Z. bereits **10 – 12 Tagen** nach Monatsende verfügbar!

Kontaktieren Sie uns gern unter kontakt@anemos.de.

2. Windindex Europa

In Abb. 1 ist der Windindex des Jahres 2024 für Europa dargestellt. Die räumliche Auflösung beträgt 10 km. Die Referenzperiode (100 %) bilden die Jahre 2004 bis 2023. Das Windjahr 2024 lag vor allem in Nordeuropa mit einem Schwerpunkt in Nordskandinavien sowie in den Zentralalpen deutlich über dem Durchschnitt mit Werten über 108 %. Unterdurchschnittliche Werte traten hingegen in der Mittelmeerregion (90 % - 95 %), sowie verbreitet in Frankreich und dem Baltikum (90 % - 100 %) auf.

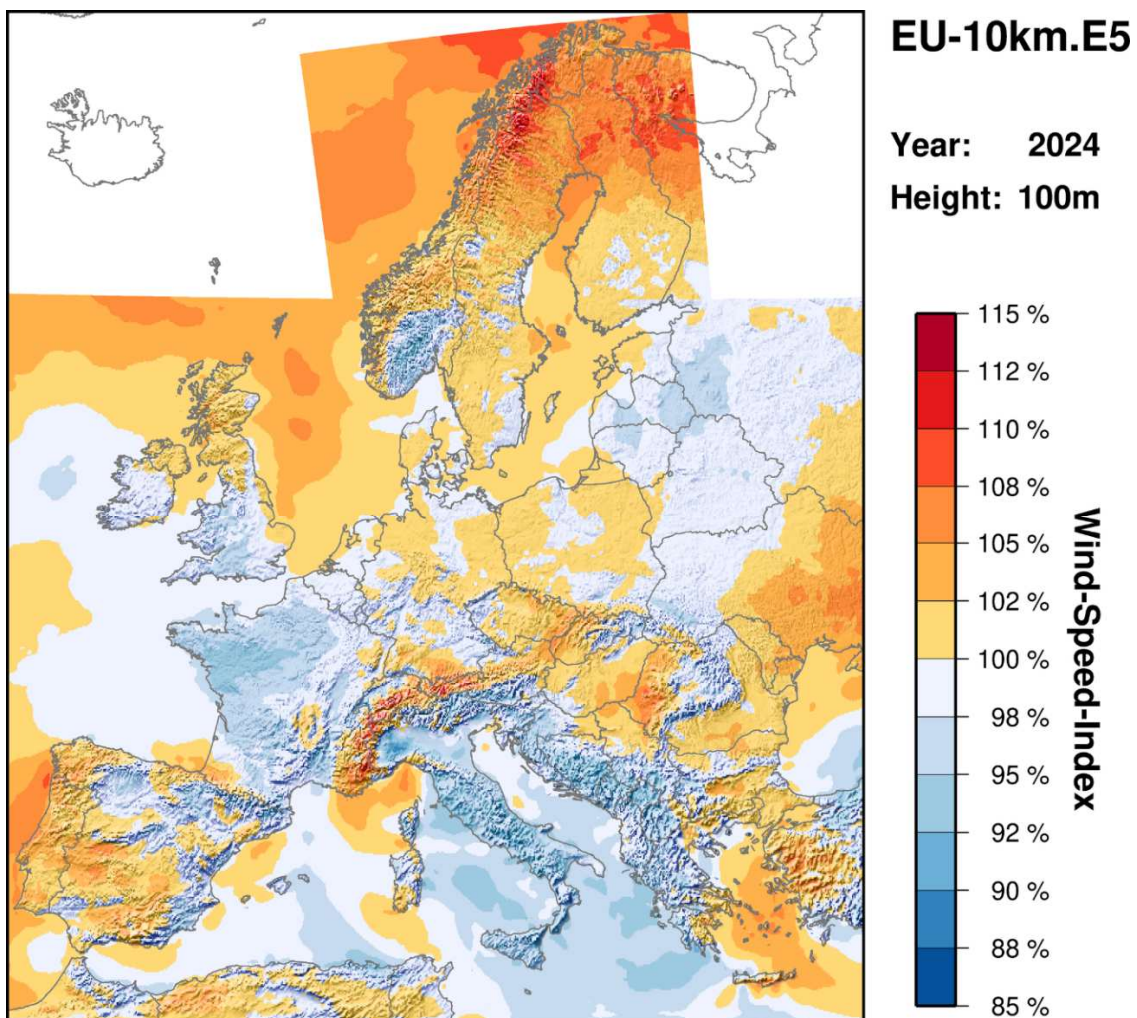


Abb. 1: Windindex 2024 für Europa. Windatlanten: Europa & Skandinavien 10 km auf 100 m über Grund. Referenzperiode für das 100 % Niveau: 2004-2023

3. Windindex Deutschland

Einen detaillierteren Einblick auf das Windjahr 2024 zeigt die Windindexkarte des Deutschland 3 km Windatlas auf ERA5 Basis in Abb. 2. Auch hier bildet das Mittel der Jahre 2004 - 2023 die Referenzperiode für das 100 % Niveau. Nach dem unterdurchschnittlichen Jahr 2022 (98,8 %) und dem überdurchschnittlichen Jahr 2023 (106,6 %) liegt der Windindex für das Jahr 2024 im Deutschland-Mittel mit 100,3 % im Durchschnitt (Tab. 1). Trotz der außerordentlich windstarken Monate September und April sowie zwei weiterer Monate mit Werten über 100 %, gleicht das Deutschland-Mittel des Windindex im Jahr 2024 die negativen Anomalien der anderen acht Monate aus und liegt somit auf dem Niveau des Referenzzeitraumes. Im Gegensatz zu 2023 weisen im Windjahr 2024 alle Bundesländer einen durchschnittlichen Index auf. Die höchste Abweichung zur 100 % Marke sind mit 99.6 % in Mecklenburg-Vorpommern und im Saarland zu finden. Spitzenreiter in 2024 waren Berlin und Brandenburg mit knapp 101 %.

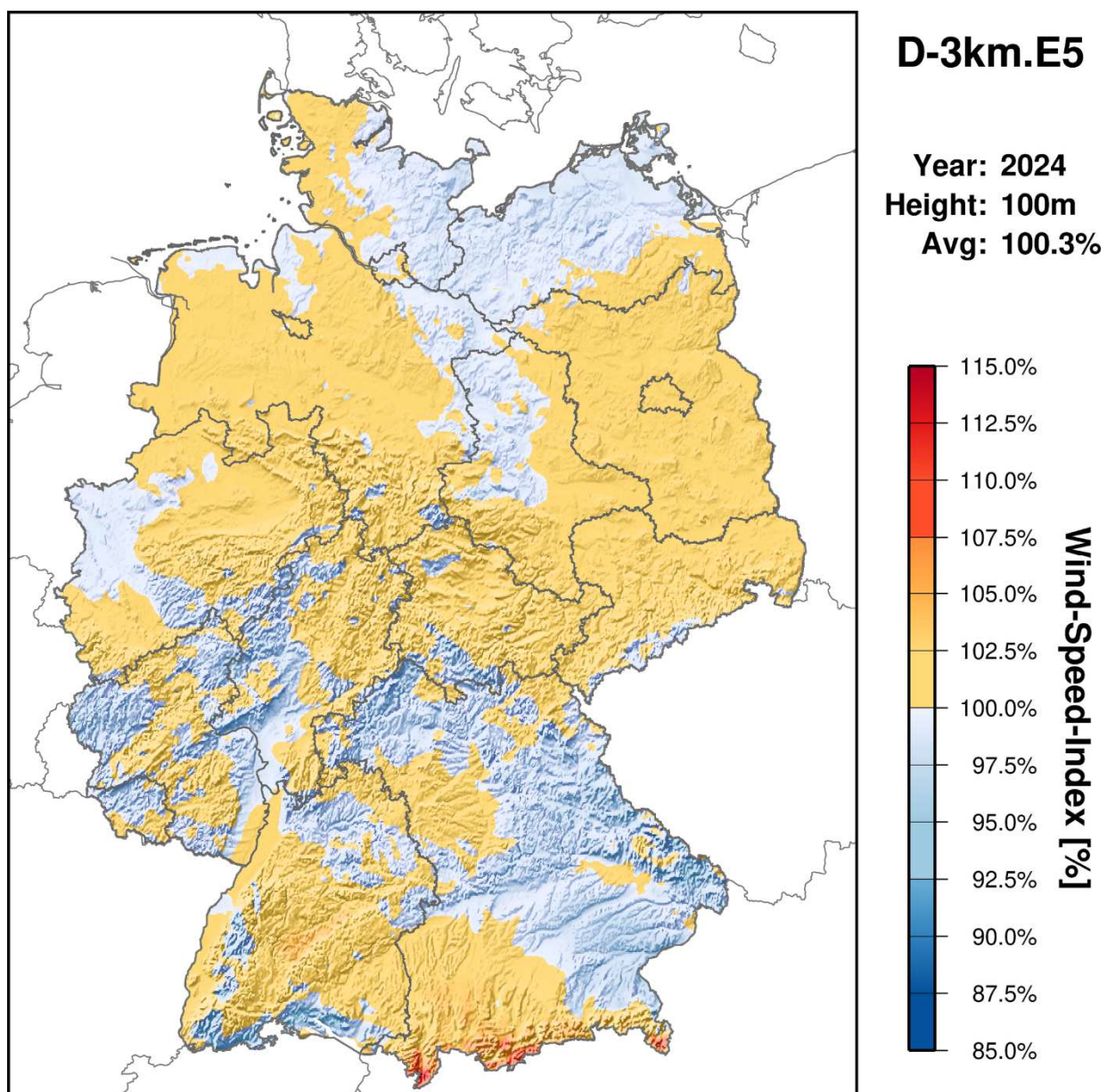


Abb. 2: Windindex des Jahres 2024 für Deutschland. Windatlas: Deutschland 3 km ERA5 auf 100 m über Grund. Referenzperiode für das 100 % Niveau: 2004 - 2023.

4. Ertragsindex Deutschland

Der Ertragsindex zeigt ein ähnliches Bild wie der Windindex. Die Spannweite um das 100 % Niveau ist wegen der Nichtlinearität zwischen Wind und Ertrag höher. Für eine typische 3-MW Windenergieanlage auf 100 Meter über Grund ergibt sich ein mittlerer Ertragsindex für Deutschland von 102.7 % in 2024 (Abb. 3).

Die Mittelwerte der jeweiligen Bundesländer sind in Tab. 1 zu finden. In Abb. 4 ist der mittlere monatliche Ertragsindex von Deutschland als Differenz zum 100 % Niveau dargestellt. Hier bildet sich das 100 % Niveau z. B. für den Januar 2024 aus allen Januaren von 2004 - 2023. Damit erhält man eine Einschätzung, ob der jeweilige Monat im Vergleich zum langjährigen Mittel des entsprechenden Monats über- oder unterdurchschnittlich war.

Es fällt auf, dass in 2024 nur der Januar, Februar, April und September Indexwerte über 100 % aufweisen konnten. Dem gegenüber stehen fünf Monate mit Indexwerten teilweise deutlich unter 90 %. Vor allem die zweite Jahreshälfte war windschwach mit drei Monaten mit Indexwerten zwischen 77.8 % - 80.7 %. Die erste Jahreshälfte hingegen präsentierte sich überdurchschnittlich und hatte nur zwei ertragsschwache Monate (März & Mai) und einen nahezu durchschnittlichen Monat (Juni) zu bieten. Der September war mit 147.2 % am höchsten. Damit zeigt sich das Jahr 2024 auch im Ertrag als sehr durchschnittlich.

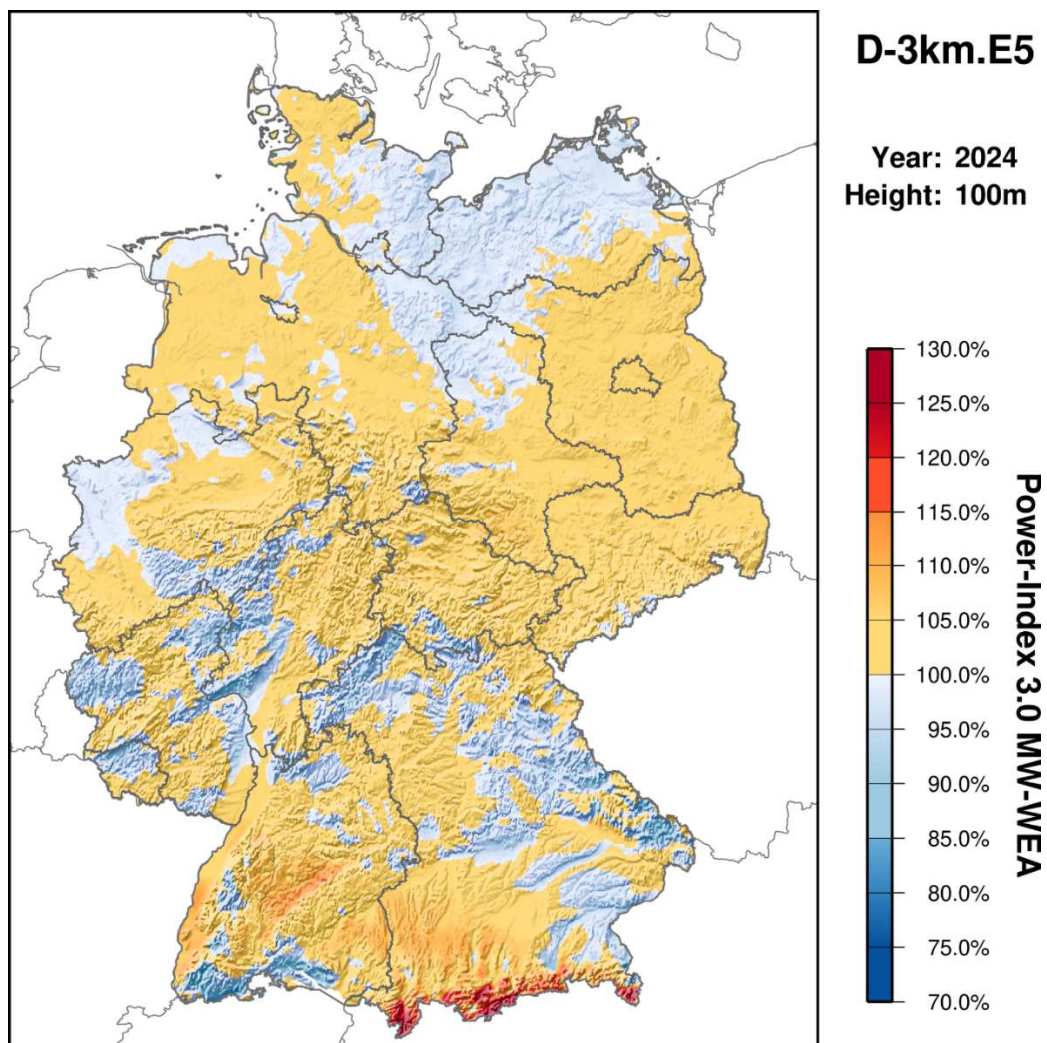


Abb. 3: Ertragsindex 2024 für eine 3.0-MW-WEA auf 100m Nabenhöhe.
Die Referenzperiode für das 100 % Niveau ist 2004 - 2023.

Tab. 1: Mittlerer Wind- und Ertragsindex, sowie der Windtrend 2024 für Deutschland und die Bundesländer. Der Windtrend 2024 ist prozentual pro Jahr und bezieht sich auf den Referenzzeitraum 2005 – 2024.

Bundesländer	Windindex 2024 [%]	Windtrend 2024 [% p.a.]	Ertragsindex 2024 [%]
Baden-Württemberg	100.4	0.05	104.9
Bayern	100.0	-0.10	103.6
Berlin	101.3	0.00	103.6
Brandenburg	101.0	0.01	103.0
Bremen	100.0	-0.08	100.7
Hamburg	99.9	-0.02	100.3
Hessen	100.1	-0.11	102.5
Mecklenburg-Vorpommern	99.6	-0.04	99.7
Niedersachsen	100.3	-0.05	101.6
Nordrhein-Westfalen	100.3	-0.07	102.0
Rheinland-Pfalz	99.8	-0.09	101.8
Saarland	99.6	0.00	101.2
Sachsen	100.9	-0.05	104.2
Sachsen-Anhalt	100.3	0.00	102.9
Schleswig-Holstein	99.8	-0.04	100.4
Thüringen	100.7	-0.06	104.7
Deutschland	100.3	-0.05 (↗)	102.7

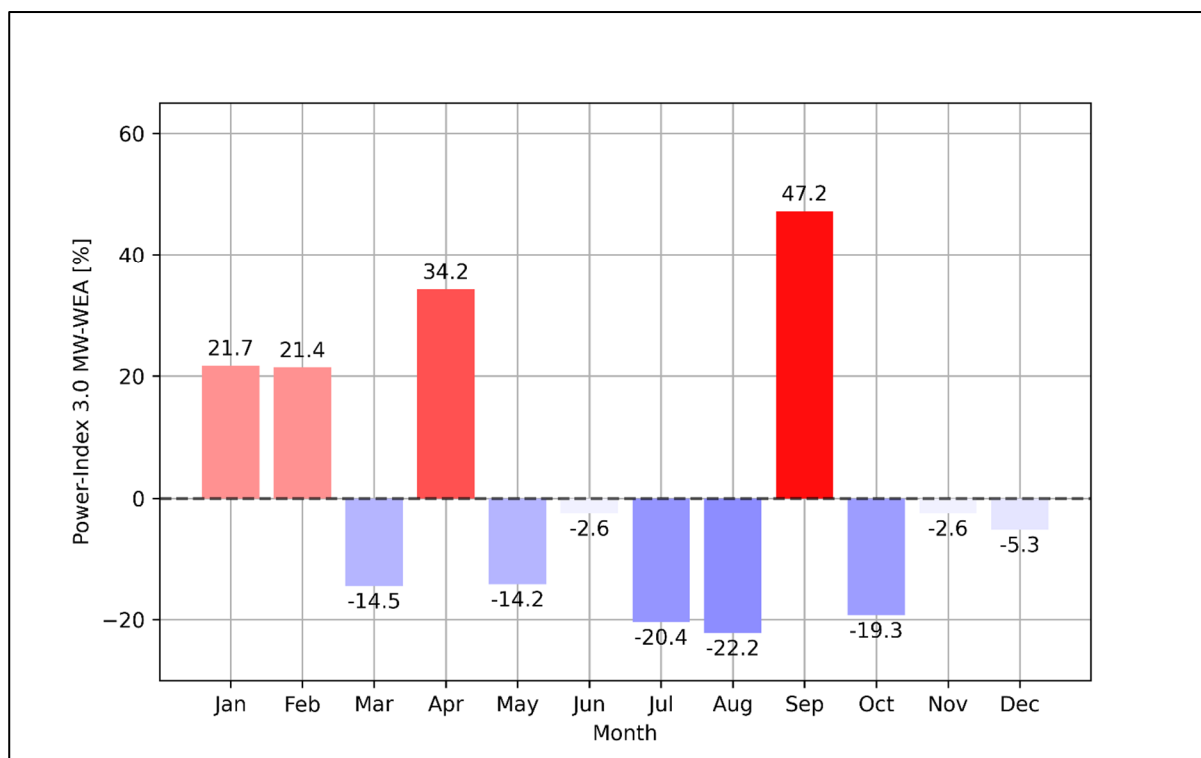


Abb. 4: Anomalie des monatlichen mittleren Ertragsindex 2024 einer 3-MW-WEA für Deutschland. Die Referenzperiode für einen Monat bilden die jeweiligen Monate von 2004 - 2023.

5. Windtrend in Deutschland und Europa

Neben den Indizes für Deutschland ist auch die Entwicklung des Windtrends sehr interessant, da dieser für Ertrags- und Erlösprognosen ein nicht zu vernachlässigender Faktor ist. Der Trendfaktor gibt an wie stark die mittlere Windgeschwindigkeit prozentual pro Jahr abnimmt (negativ) oder zunimmt (positiv). Der Trendfaktor wird analog zu der typischen Lebensdauer einer WEA von 20 Jahren über den aktuellsten Referenzzeitraum (2005 – 2024) gebildet und bezieht sich auf eine Höhe von 100 m über Grund. In Abb. 5 ist der Trendfaktor für Deutschland und in Tab. 1 für die Bundesländer dargestellt.

Im Windtrend zeigt sich weiterhin ein ähnliches Muster wie im Jahr 2023. In den meisten Regionen von Deutschland zeichnet sich ein leichter negativer Trend von mehr als -0,02 % ab. Lediglich kleinere Gebiete um den Hamburger Raum (+0,01 %), dem südlichen Brandenburg und Sachsen-Anhalt (+0,01 %) sowie im Südwesten von Baden-Württemberg und Bayern (0,1 % - 0,4 %) weisen einen positiven Trend auf. Der stärkste positive Trend befindet sich weiterhin im Oberrheintal, insbesondere in der Region Breisgau. Die Werte erreichen bis zu 0,4 %, und der positive Trend erstreckt sich bis zum westlichen Allgäu und in die nördlichen Alpen. Flächengewichtet ergibt sich für Deutschland ein negativer Trend von -0,05 % pro Jahr, der sich im Vergleich zu den Jahren 2003-2022 (-0,10 %) und 2004-2023 (-0,09 %) leicht verringert hat.

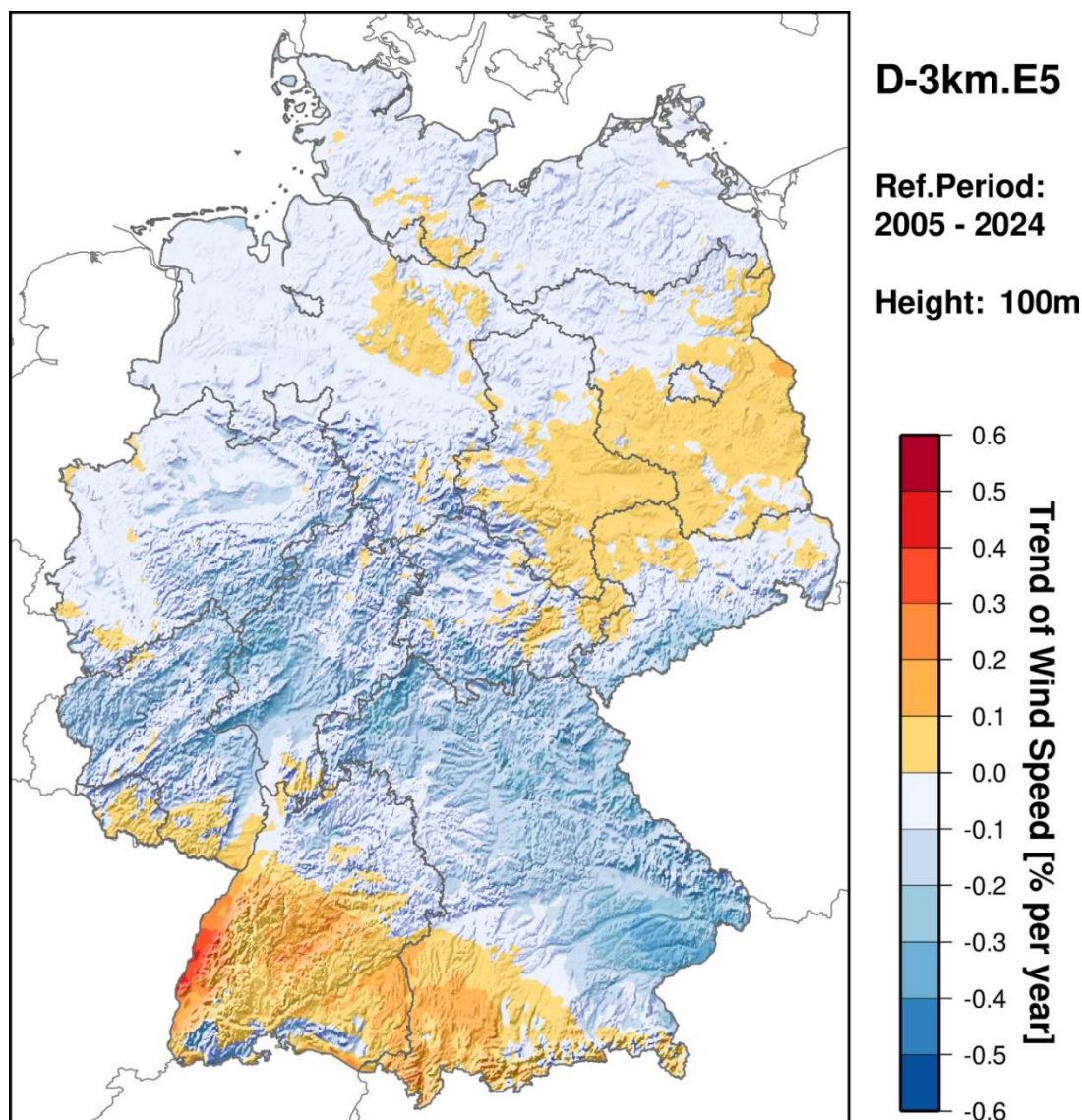


Abb. 5: Windtrend in % pro Jahr auf Basis des Deutschland 3km ERA5 Windatlas.

In Abb. 6 ist der Trendfaktor für Europa mit der Referenzperiode 2005 - 2024 dargestellt. Die Verteilung des Trendfaktors hat sich im Vergleich zur Verteilung aus 2023 kaum verändert. Ein Hauptgebiet mit negativem Trend keilt von der Nordsee und Großbritannien bis nach Wien und Tschechien sowie zwischen Ostspanien bis nach Norditalien / Schweiz (-0,2 % bis -0,5 %) aus. Schweden und Osteuropa zeigen größtenteils einen positiven Trend. Ähnlich wie im Osten gibt es einen starken positiven Trend im Bereich des Ärmelkanals, der Bucht von Biskaya sowie in weiten Teilen Nordspaniens und Frankreichs. Das Mittelmeergebiet zeigt eine alternierende Ausprägung.

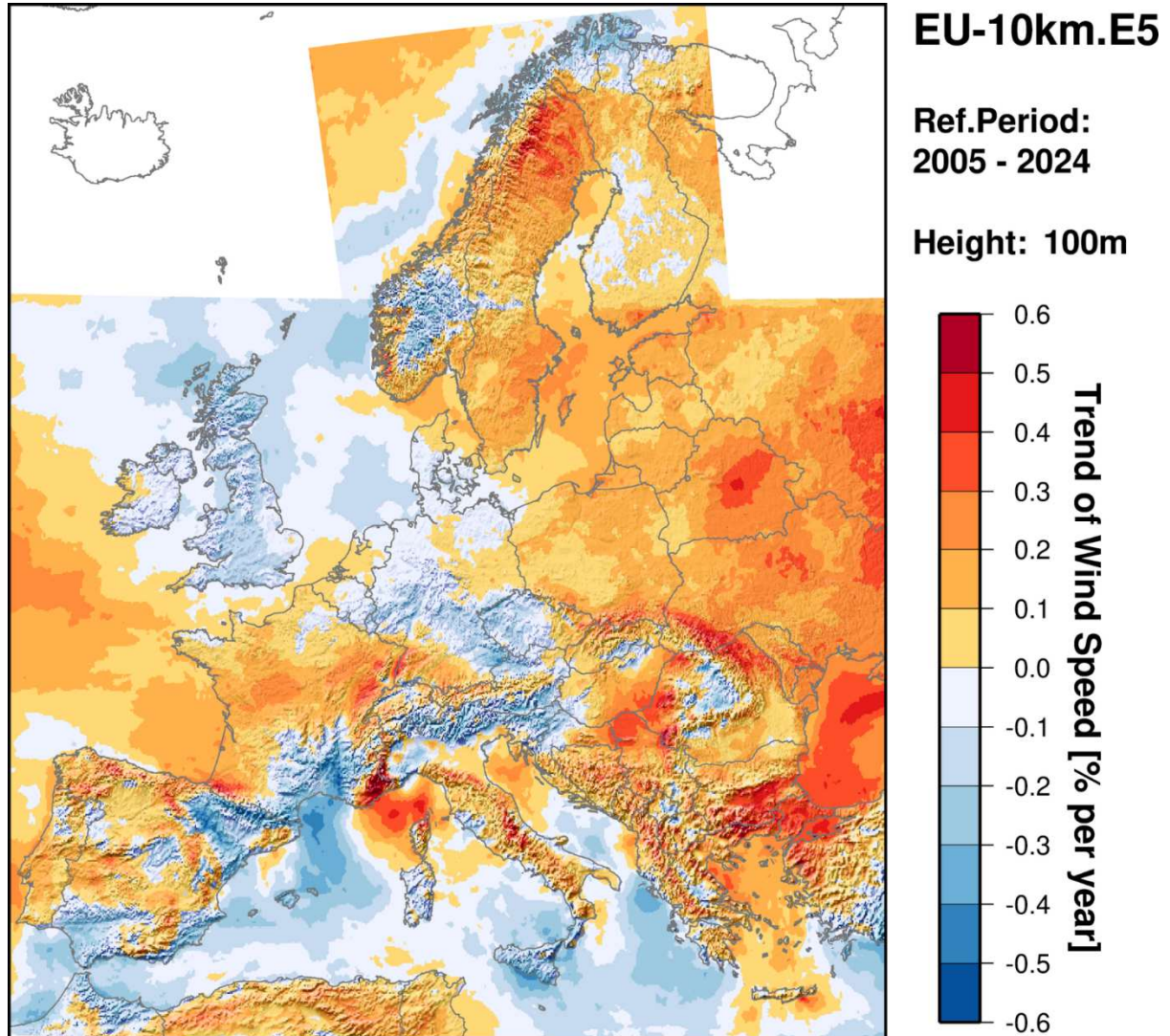


Abb. 6: Windtrend in % pro Jahr auf Basis der 10 km ERA5 Windatlanten Europa und Skandinavien.

6. Ertragsverluste aufgrund von negativen Strompreisen

In diesem Kapitel setzen wir einen verstärkten Fokus auf die historische Entwicklung der Ertragsverluste aufgrund von negativen Strompreisen. Wenn die Strompreise an der Börse für sechs aufeinanderfolgende Stunden (§ 51 EEG 2017) negativ sind, entfällt für diesen Zeitraum die EEG-Vergütung für Windenergieanlagen. Mit dem EEG 2023 verkürzt sich die Zeitspanne auf drei Stunden, sodass mit einer Zunahme von Abschaltereignissen zu rechnen ist. Aufgrund der entfallenen Marktprämie werden die Windenergieanlagen vom Direktvermarkter ggf. abgeschaltet. Da die Ereignisse zumeist in windstarken Zeiträumen liegen, birgt dies für die Anlagenbetreiber demnach ein höheres Erlösrisiko.

Tab. 2: Ertragsverlust aufgrund von negativen Strompreisen für Deutschland und die Bundesländer.

Bundesländer	2024		Mittel der Jahre 2022 - 2024	
	6h Regel [%]	3h Regel [%]	6h Regel [%]	3h Regel [%]
Baden-Württemberg	3.5	5.8	3.4	4.7
Bayern	3.1	5.4	3.2	4.7
Berlin	4.3	6.8	3.7	5.4
Brandenburg	3.9	6.2	3.5	5.0
Bremen	5.3	7.9	4.1	5.8
Hamburg	5.3	8.0	4.2	5.9
Hessen	4.4	6.9	3.9	5.5
Mecklenburg-Vorpommern	4.5	6.6	3.7	5.1
Niedersachsen	4.9	7.4	3.9	5.6
Nordrhein-Westfalen	4.9	7.1	3.9	5.4
Rheinland-Pfalz	4.1	6.4	3.7	5.1
Saarland	3.7	5.9	3.5	4.9
Sachsen	3.6	6.2	3.7	5.2
Sachsen-Anhalt	4.3	7.0	3.8	5.5
Schleswig-Holstein	4.9	7.4	3.9	5.6
Thüringen	4.3	7.0	4.0	5.7
Deutschland (flächengewichtet)	4.1	6.5	3.6	5.2

Da die zugrunde liegenden Windatlanten eine zeitliche Auflösung von 10 Minuten haben, können die durch negative Strompreise resultierenden Abschaltungen auf die Zeitreihen angewendet und der potenzielle Ertrag in den Zeiten bestimmt werden. Durch das Verhältnis zum jeweiligen potenziellen Jahresertrag ergibt sich der angegebene prozentuale Ertragsverlust für die 3 bzw. 6 Stunden Regel. Wie schon bei der Betrachtung des Ertragsindex wird eine 3 MW Turbine auf 100 m Nabenhöhe untersucht. Die prozentualen Ertragsverluste für 2024 sind in der zweiten (6h Regel) und dritten (3h Regel) Spalte von Tab. 2 zu finden. Für Deutschland lagen die Ertragsverluste durch die 6h Regel bei 4.1 %, während diese mit der 3h Regel um 2.4 % höher ausfallen.

Im Vergleich zu dem mittleren Ertragsverlust der letzten drei Jahre (siehe Spalten 4 und 5 in Tab. 2) ist in 2024 mit ca. 1.2 % höheren Ertragsverlusten zu rechnen. Auf der Ebene der Bundesländer liegen die Ertragsverluste (6h Regel) zwischen 3.1 % (Bayern) und 5.3 % (Bremen, Hamburg). Auch im Mittel über die letzten drei Jahre ist eine ähnliche Verteilung, wenn auch mit niedrigerer Amplitude, festzustellen.

In Abb. 7 ist analog zu Tab. 2 die räumliche Verteilung der Ertragsverluste durch die 3h Regel für 2024 dargestellt. Deutlich erkennbar ist die Anomalie in Nordwest- und Mitteldeutschland. Vor allem im Bereich der Mittelgebirge sind höhere Ertragsverluste über 8 % zu finden. Dem gegenüber weist der Großteil von Deutschland vergleichsweise geringe Ertragsverluste mit Werten unterhalb von 6 % auf. In Südostbayern liegen die Werte sogar unterhalb von 4 %.

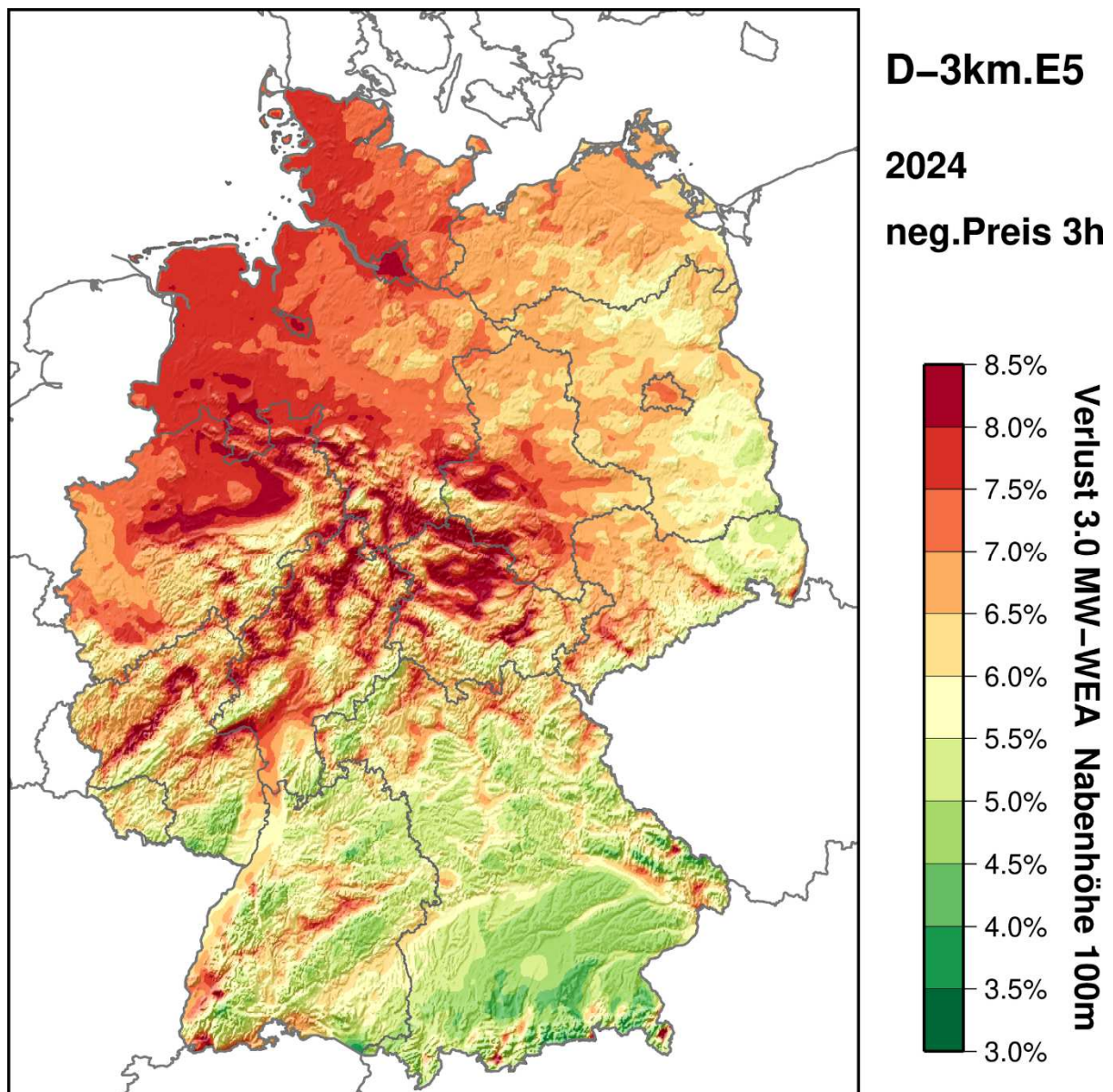


Abb. 7: Ertragsverluste durch §51 EEG21 (3h Regel) in % auf Basis des Deutschland 3km ERA5 Windatlas.