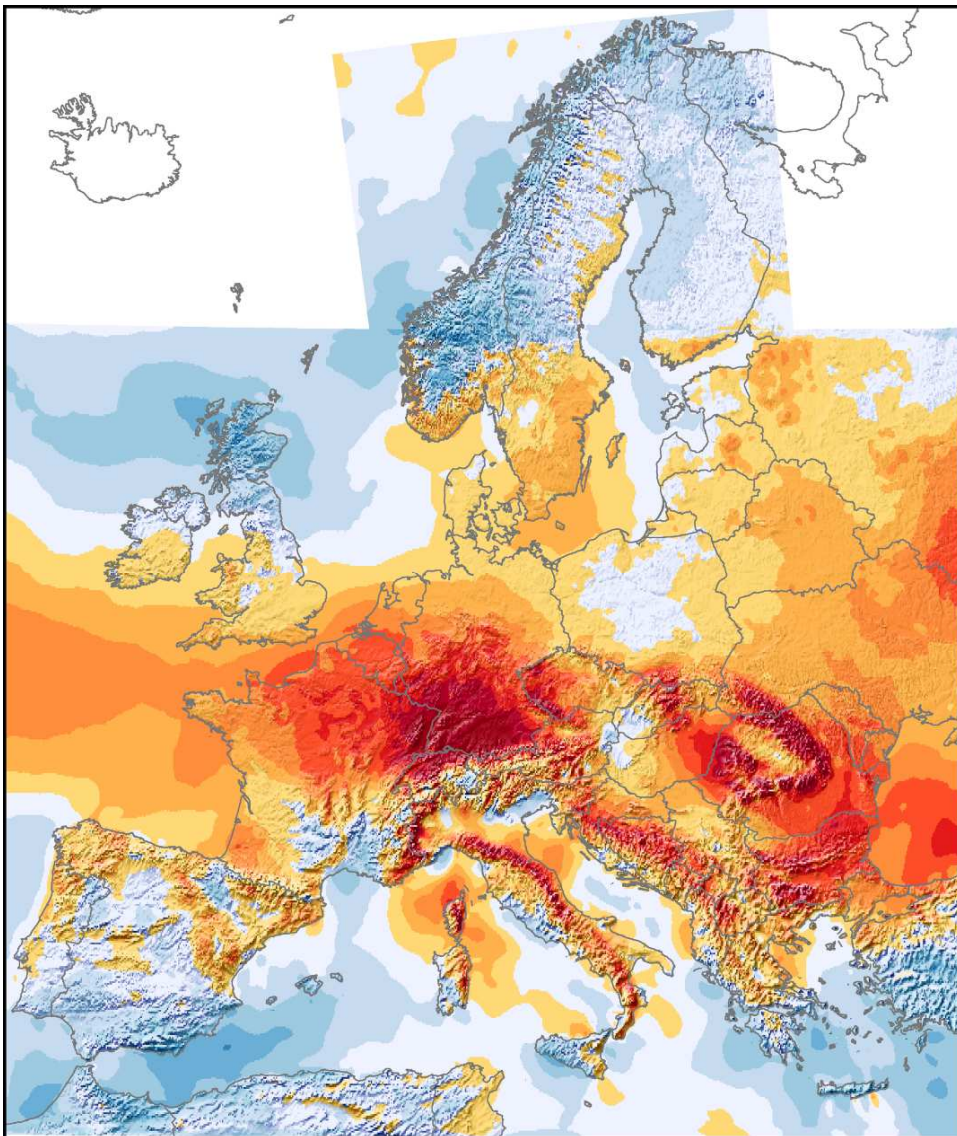


Wind- und Ertragsindex Report

2023



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 nach **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 2023 für Europa dargestellt. Die räumliche Auflösung beträgt 10 km. Die Referenzperiode (100 %) bilden die Jahre 2003 bis 2022. Das Windjahr 2023 lag vor allem in Zentraleuropa mit einem Schwerpunkt in Südwestdeutschland (Oberrheintal und Voralpen) sowie in den Ostkarpaten und Bulgarien deutlich über dem Durchschnitt mit Werten über 110 %. Unterdurchschnittliche Werte traten hingegen in der Mittelmeerregion (90 % - 95 %), sowie verbreitet in Skandinavien (90 % - 100%) auf.

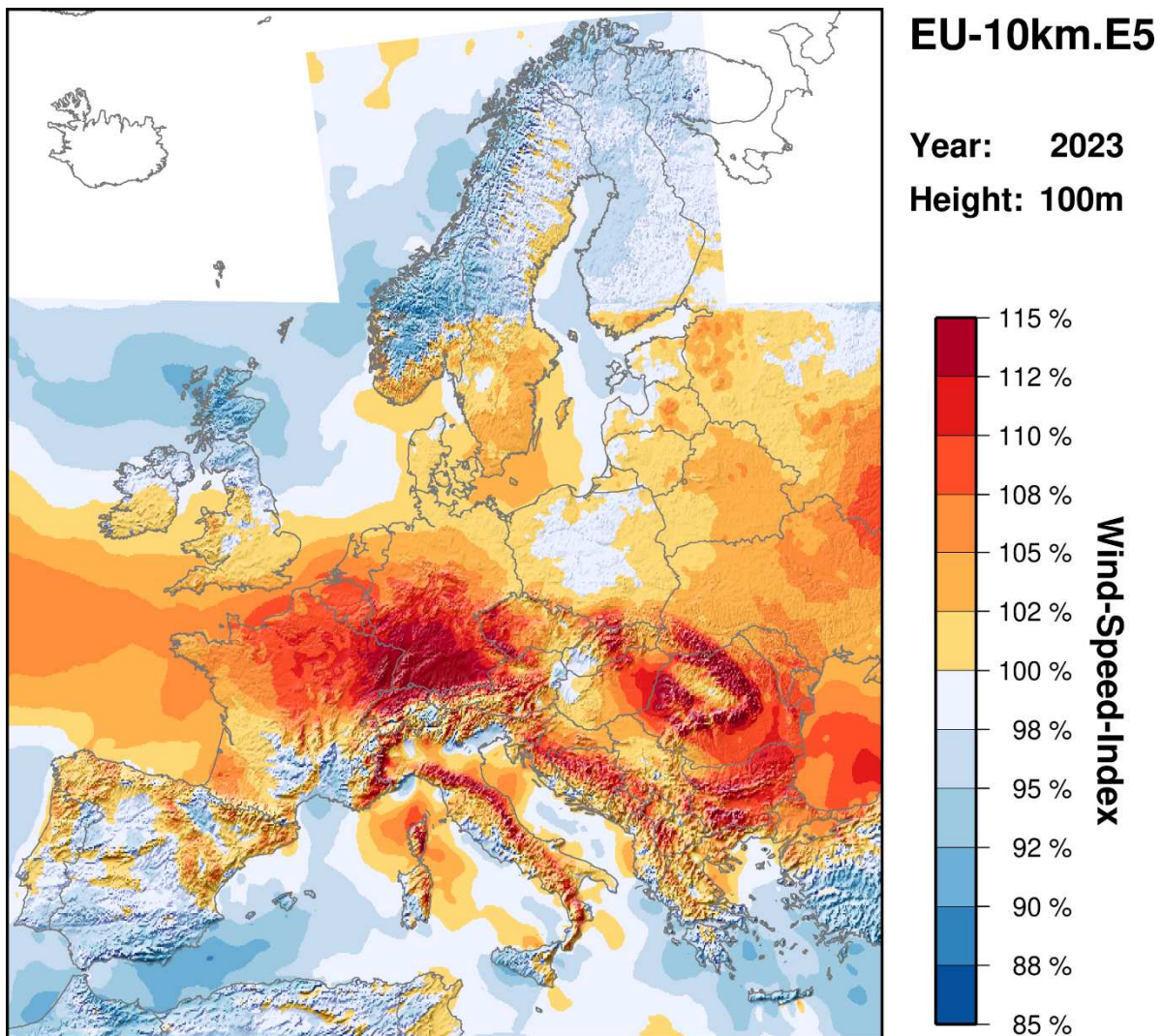


Abb. 1: Windindex 2023 für Europa. Windatlanten: Europa & Skandinavien 10 km auf 100 m über Grund.
Referenzperiode für das 100 % Niveau: 2003-2022

3. Windindex Deutschland

Einen detaillierteren Einblick auf das Windjahr 2023 zeigt die Windindexkarte des Deutschland 3 km Windatlas auf ERA5 Basis in Abb. 2. Auch hier bildet das Mittel der Jahre 2003 - 2022 die Referenzperiode für das 100 % Niveau. Nach den beiden unterdurchschnittlichen Jahren 2021 (95,6 %) und 2022 (98,8 %) liegt der Windindex für das Jahr 2023 im Deutschland-Mittel mit 106.6 % deutlich über 100 % (Tab. 1) und ist damit das windstärkste Jahr seit über 20 Jahren. Aufgrund der außerordentlich windstarken Wintermonate in 2023, sowie vier weiteren windstarken Monaten mit Werten über 100 % liegt das Deutschland-Mittel des Windindex im Jahr 2023 deutlich über dem Niveau der Vorjahre. Vor allem war im November 2023 eine starke positive Anomalie im Südwesten Deutschlands zu verzeichnen. Der windschwächste Monat 2023 war der September, was jedoch den Jahreswert kaum beeinträchtigen konnte.

Im Gegensatz zu 2022 weisen im Windjahr 2023 alle Bundesländer einen deutlich überdurchschnittlichen Index auf. Die geringste Abweichung zur 100 % Marke sind mit 101.3 % in Mecklenburg-Vorpommern und mit 101.4 % in Schleswig-Holstein zu finden. Spitzenreiter in 2023 waren Baden-Württemberg mit 113.5 % sowie das Saarland und Rheinland-Pfalz mit Werten knapp über 110 %.

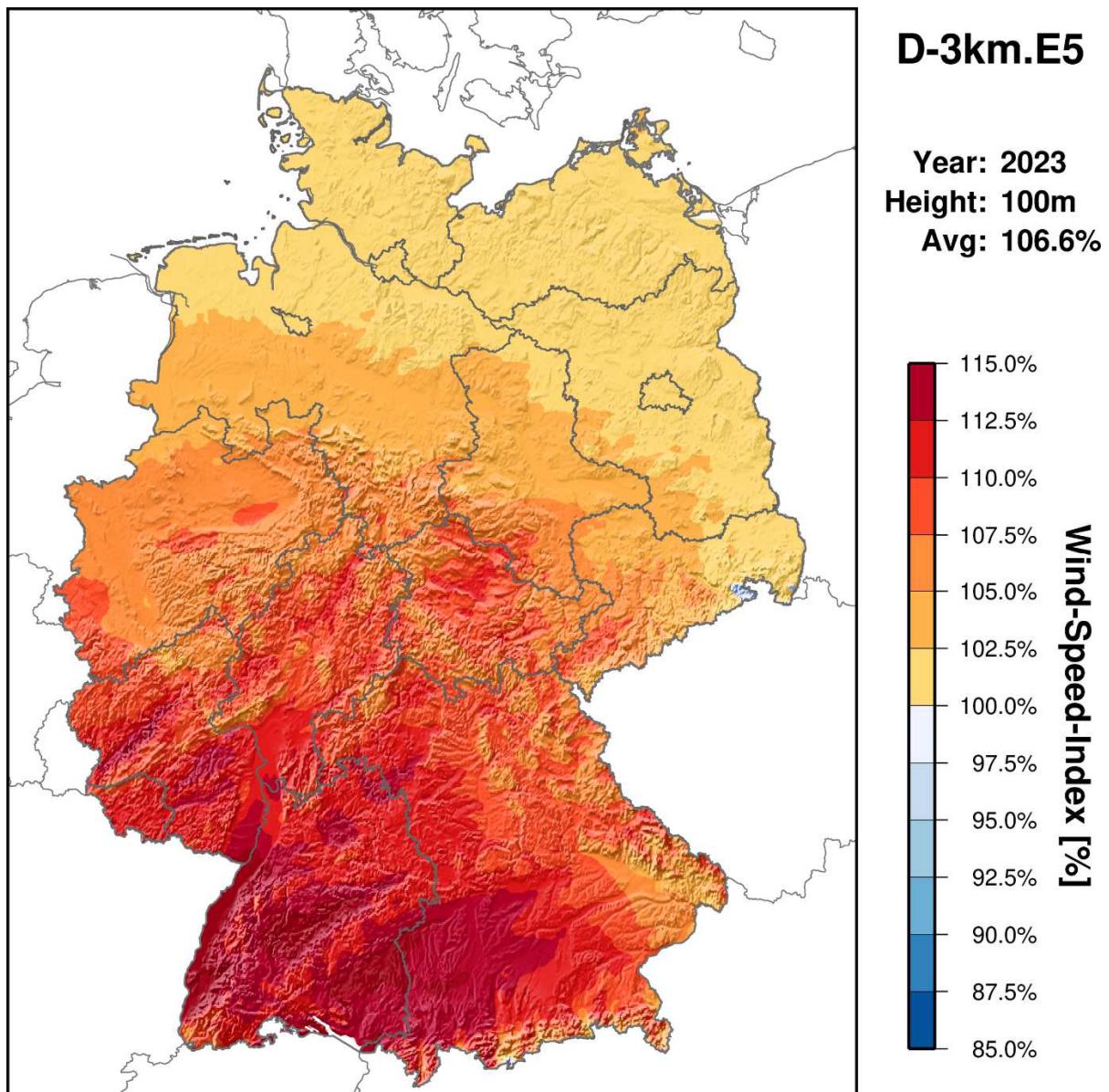


Abb. 2: Windindex des Jahres 2023 für Deutschland. Windatlas: Deutschland 3 km ERA5 auf 100 m über Grund. Referenzperiode für das 100 % Niveau: 2003 - 2022.

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 118.3 % in 2023 (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 2023 aus allen Januaren von 2003-2022. 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 2023 nur der Mai, Juni und September Indexwerte unter 100 % aufweisen konnten. Dem gegenüber stehen sieben Monate, einschließlich der drei Wintermonate, mit Indexwerten teilweise deutlich über 110 %. Vor allem die zweite Jahreshälfte war sehr windstark mit drei Monaten über 140 %. Auch die erste Jahreshälfte präsentierte sich leicht überdurchschnittlich und hatte nur zwei ertragschwache Monate (Mai & Juni) zu bieten. Der November war mit 156.4 % am höchsten. Damit zeigt sich das Jahr 2023 auch im Ertrag als sehr überdurchschnittlich.

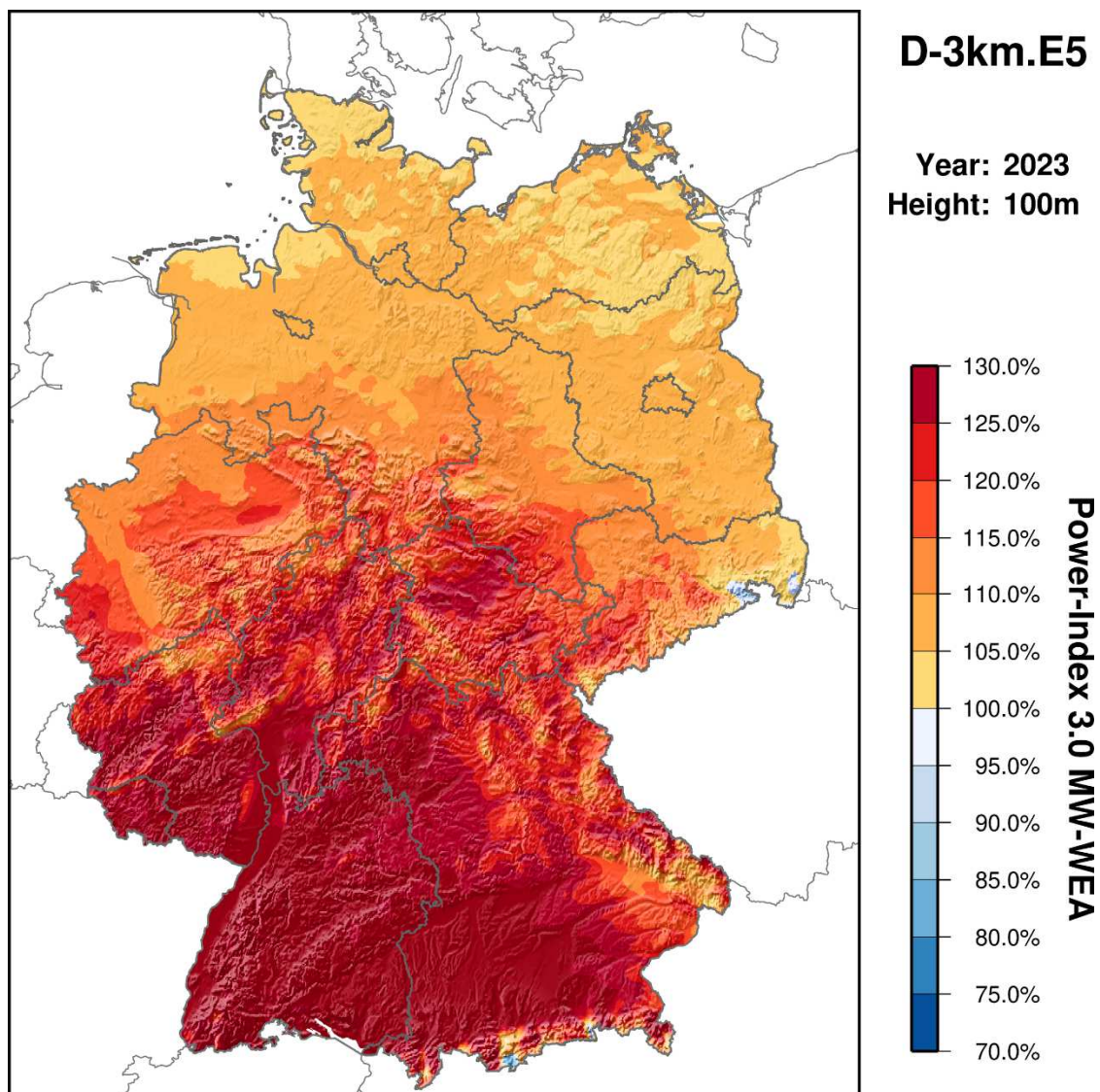


Abb. 3: Ertragsindex 2023 für eine 3.0-MW-WEA auf 100m Nabenhöhe.
Die Referenzperiode für das 100 % Niveau ist 2003 - 2022.

Tab. 1: Mittlerer Wind- und Ertragsindex, sowie der Windtrend 2023 für Deutschland und die Bundesländer. Der Windtrend 2023 ist prozentual pro Jahr und bezieht sich auf den Referenzzeitraum 2004 – 2023.

Bundesländer	Windindex 2023 [%]	Windtrend 2023 [% p.a.]	Ertragsindex 2023 [%]
Baden-Württemberg	113.5	-0.02	137.8
Bayern	109.7	-0.19	126.5
Berlin	101.6	-0.04	106.3
Brandenburg	101.8	-0.02	106.8
Bremen	102.0	-0.06	106.4
Hamburg	101.5	-0.03	106.6
Hessen	108.8	-0.16	123.9
Mecklenburg-Vorpommern	101.3	-0.05	104.8
Niedersachsen	103.2	-0.05	109.6
Nordrhein-Westfalen	106.4	-0.09	116.3
Rheinland-Pfalz	110.2	-0.14	127.5
Saarland	110.7	-0.05	129.8
Sachsen	104.1	-0.12	111.8
Sachsen-Anhalt	104.3	-0.04	112.9
Schleswig-Holstein	101.4	-0.03	104.7
Thüringen	107.9	-0.13	121.6
Deutschland	106.6	-0.09 (→)	118.3

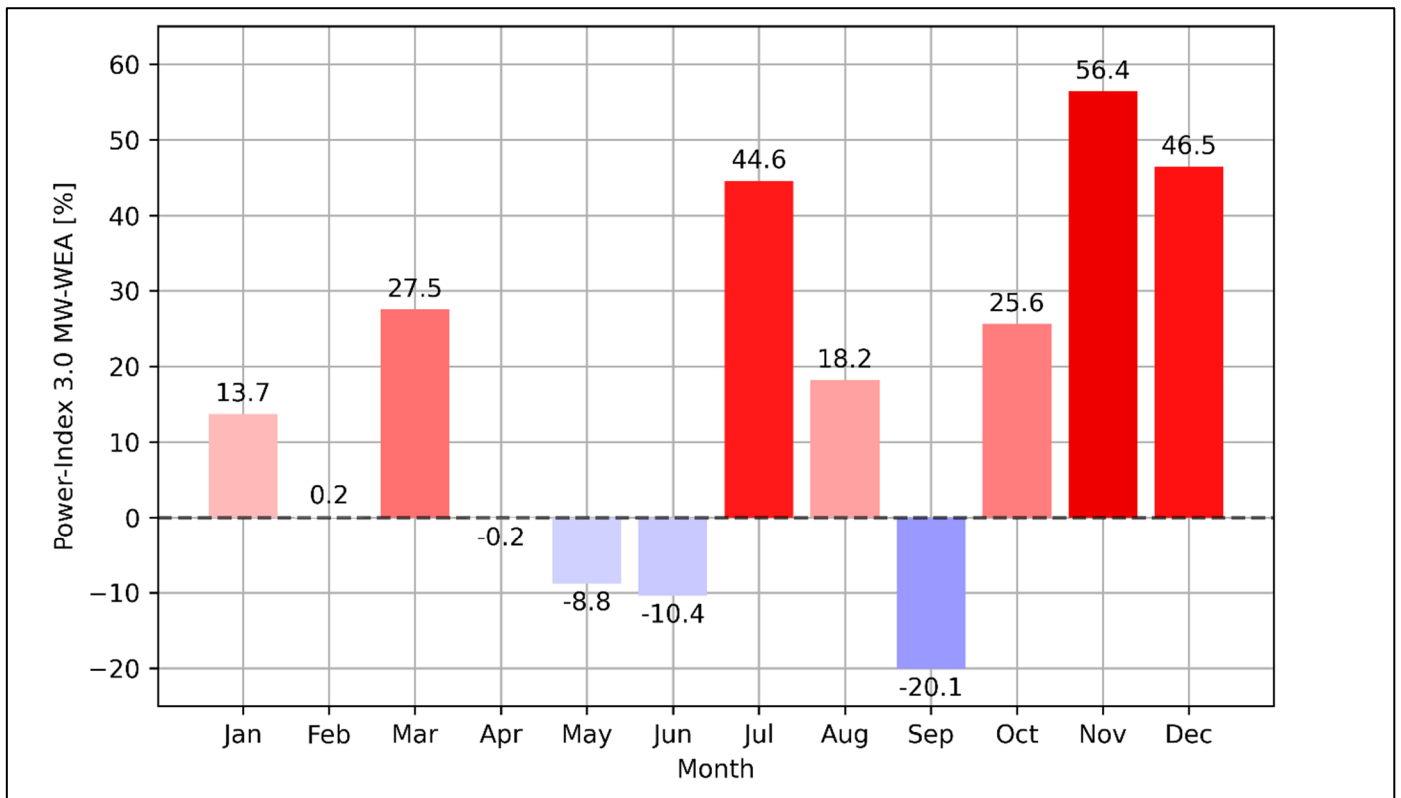


Abb. 4: Anomalie des monatlichen mittleren Ertragsindex 2023 einer 3-MW-WEA für Deutschland. Die Referenzperiode für einen Monat bilden die jeweiligen Monate von 2003 - 2022.

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 (2004 – 2023) 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 2022. 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 (+0,01 %) sowie im Südwesten von Baden-Württemberg (0,1 % - 0,3 %) weisen einen positiven Trend auf. Der stärkste positive Trend befindet sich im Oberrheintal, insbesondere in der Region Breisgau. Die Werte erreichen bis zu 0,3 %, und der positive Trend erstreckt sich bis zum westlichen Allgäu. Flächengewichtet ergibt sich für Deutschland ein negativer Trend von -0,09 % pro Jahr, der sich im Vergleich zu den Jahren 2002-2021 (-0,11 %) und 2003-2022 (-0,10 %) kaum verändert hat.

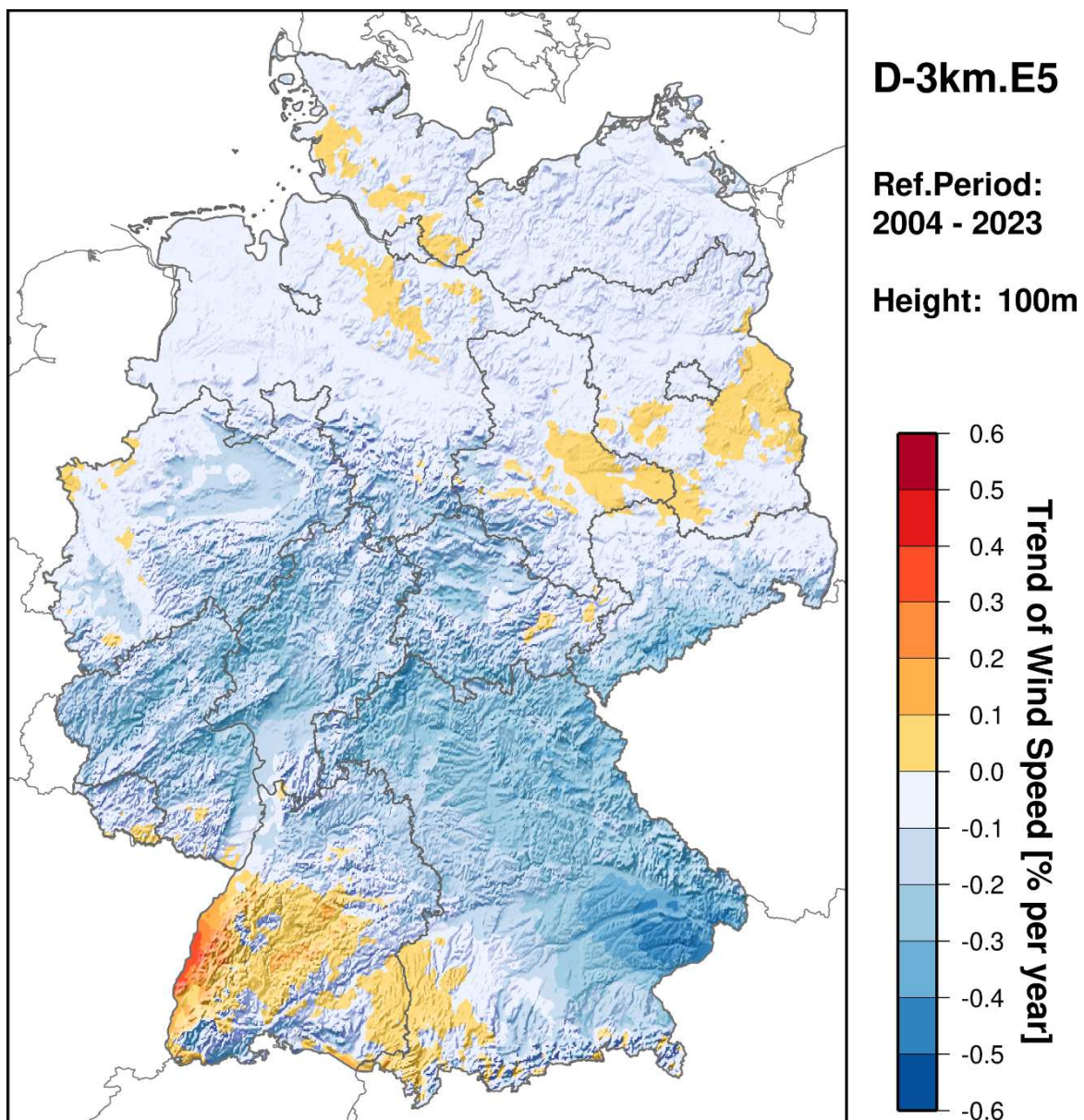


Abb. 5: Windtrend in % pro Jahr auf Basis des Deutschland 3km ERA5 Windatlas.

In Abb. 6 ist der Trendfaktor für Europa mit der Referenzperiode 2004 - 2023 dargestellt. Die Verteilung des Trendfaktors hat sich im Vergleich zur Verteilung aus 2022 kaum verändert. Ein Hauptgebiet mit negativem Trend keilt von der Nordsee und Großbritannien bis nach Budapest aus. Südschweden 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. Während z. B. die Pyrenäen, die Balearen, Korsika, Sizilien und der südliche Alpenraum (-0,2 % bis -0,3 %) einen negativen Trend aufweisen, gibt es im Bereich der Apenninen, an der Côte d'Azur, vom Dinarischen Gebirge bis zur Morea-Halbinsel und im Ägäischen Meer positive Trendindizes.

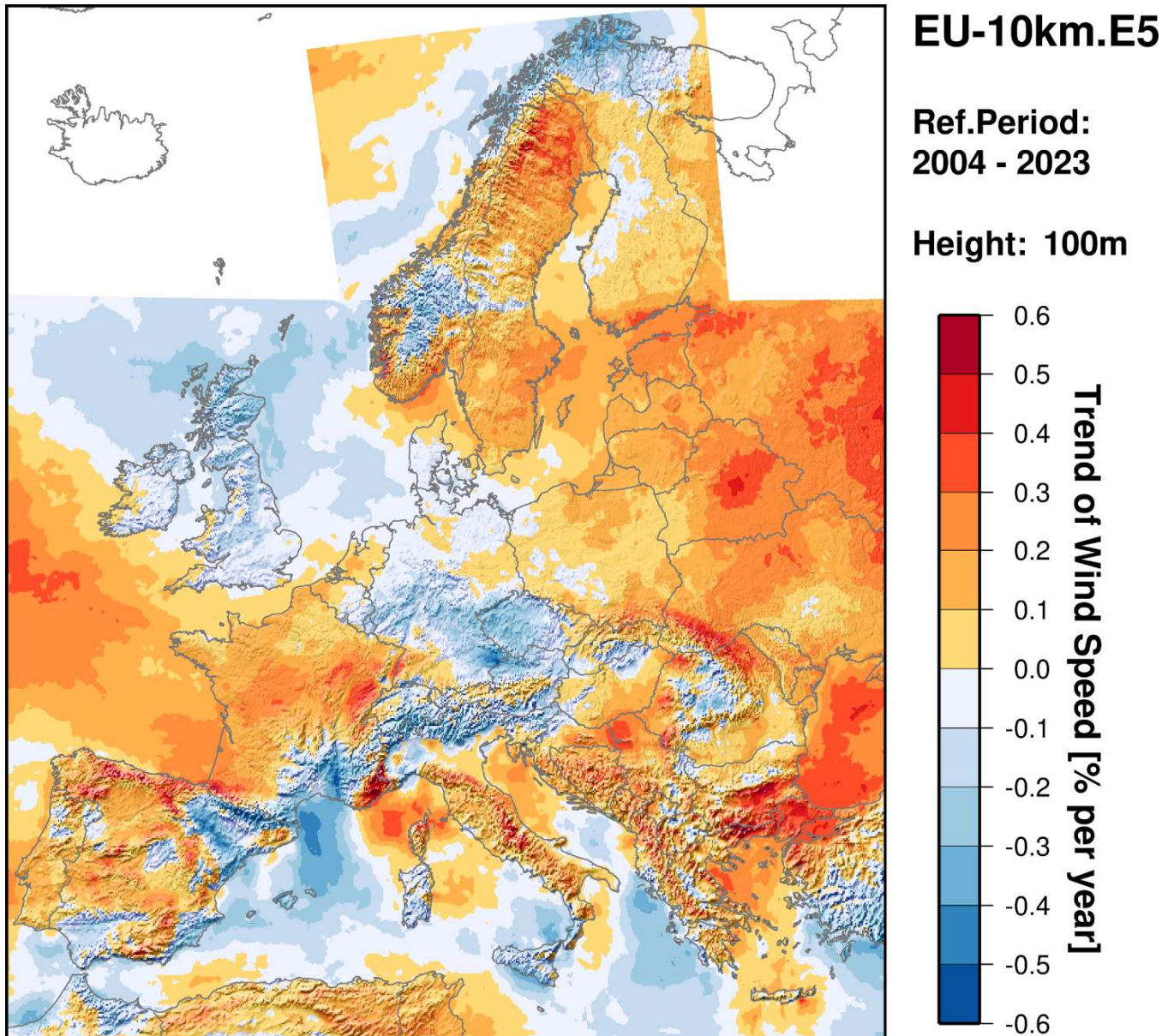


Abb. 6: Windtrend in % pro Jahr auf Basis der 10 km ERA5 Windatlanten Europa und Skandinavien.

6. Ertragsverluste aufgrund von negativen Strompreisen

In diesem Kapitel setzen wir einen verstärkten Fokus auf die historische Entwicklung der Ertragsverluste aufgrund von negativen Strompreisen nach §51 des EEG 2017. Ab einer Zeitspanne von sechs Stunden negativer Preise an der Strombörse entfällt für Windenergieanlagen (mit Inbetriebnahme / Zuschlag in einer Ausschreibung vor dem 01.01.2021) in diesem Zeitraum die EEG-Vergütung. Aufgrund der entfallenen Marktprämie werden die Windenergieanlagen vom Direktvermarkter abgeschaltet. Nach dem EEG 2021 verkürzt sich die Zeitspanne für alle Neuanlagen nach dem 01.01.2021 auf vier Stunden, sodass mit einer Zunahme von Abschaltereignissen zu rechnen ist. 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	2023		Mittel der Jahre 2021 - 2023	
	6h Regel [%]	4h Regel [%]	6h Regel [%]	4h Regel [%]
Baden-Württemberg	5.1	6.2	2.9	3.9
Bayern	5.3	6.4	3.0	4.0
Berlin	5.4	6.4	3.2	4.1
Brandenburg	5.1	6.1	3.0	3.8
Bremen	5.7	7.0	3.3	4.3
Hamburg	6.0	7.3	3.4	4.4
Hessen	5.5	6.5	3.5	4.5
Mecklenburg-Vorpommern	5.3	6.4	3.0	3.8
Niedersachsen	5.5	6.7	3.3	4.3
Nordrhein-Westfalen	5.2	6.5	3.3	4.2
Rheinland-Pfalz	5.2	6.3	3.3	4.1
Saarland	4.9	6.0	3.1	3.9
Sachsen	5.6	6.5	3.3	4.2
Sachsen-Anhalt	5.6	6.6	3.3	4.3
Schleswig-Holstein	5.7	6.9	3.1	4.0
Thüringen	6.0	7.0	3.6	4.6
Deutschland (flächengewichtet)	5.4	6.5	3.2	4.1

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 4 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 2023 sind in der zweiten (6h Regel) und dritten (4h Regel) Spalte von Tab. 2 zu finden. Für Deutschland lagen die Ertragsverluste durch die 6h Regel bei 5.4 %, während diese mit der 4h Regel um 1.1 % höher ausfallen.

Im Vergleich zu dem mittleren Ertragsverlust der letzten drei Jahre (siehe Spalten 4 und 5 in Tab. 2) ist in 2023 mit ca. 2.4 % höheren Ertragsverlusten zu rechnen. Auf der Ebene der Bundesländer liegen die Ertragsverluste (6h Regel) zwischen 4.9 % (Saarland) und 6.0 % (z. B. 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 4h Regel für 2023 dargestellt. Deutlich erkennbar ist die Anomalie in Mitteldeutschland, vor allem im Bereich der Mittelgebirge, mit höheren Ertragsverlusten über 8%. Dem gegenüber weist der Großteil von Deutschland vergleichsweise geringe Ertragsverluste mit Werten unterhalb von 7% auf.

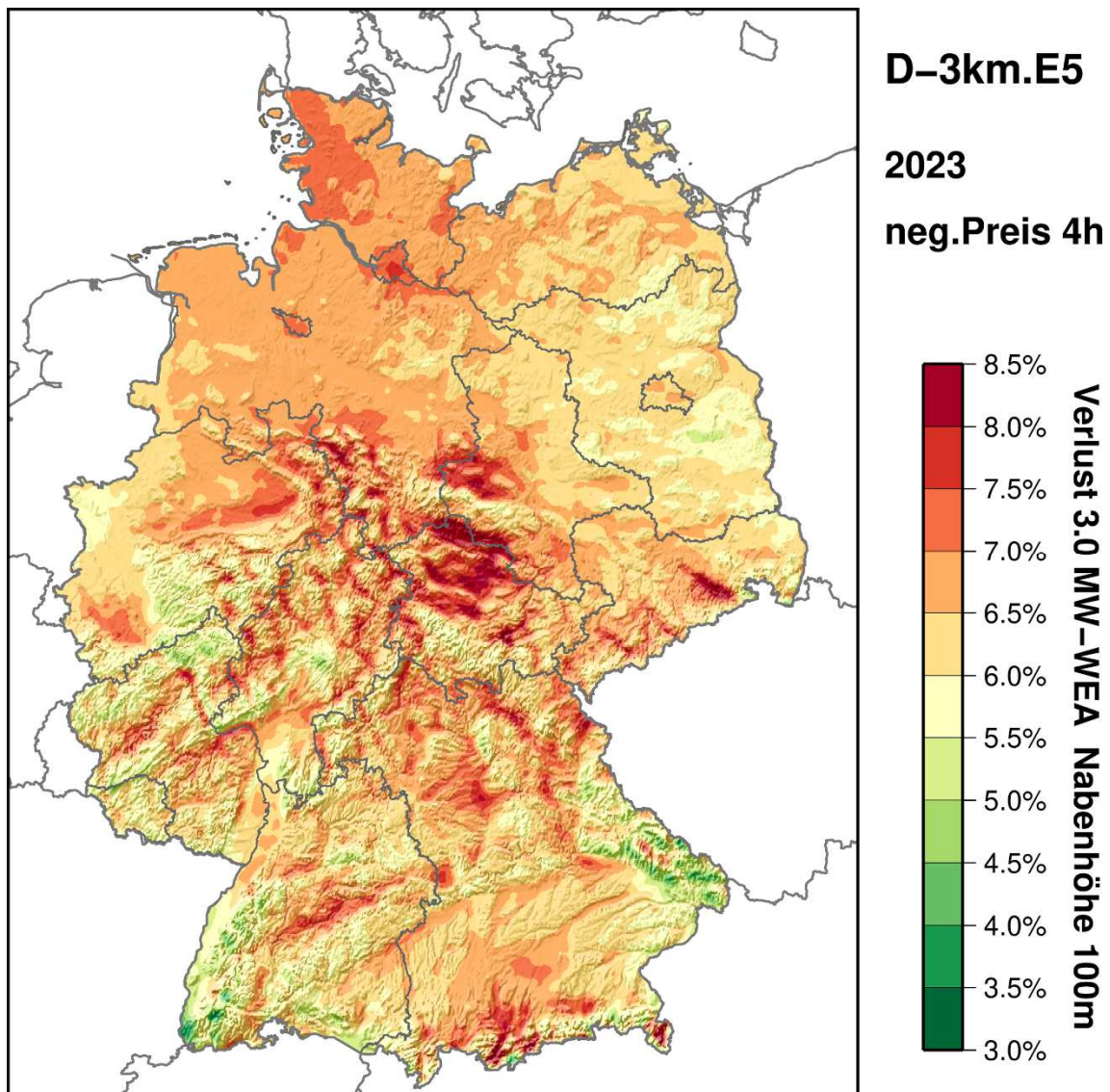


Abb. 7: Ertragsverluste durch §51 EEG21 (4h Regel) in % auf Basis des Deutschland 3km ERA5 Windatlas.