

The background of the cover features a teal gradient with stylized wind turbines in shades of green and blue. In the center, a lightbulb icon is set within a light blue cloud shape.

# BAYERISCHER WINDATLAS

Windernte und Energieertrag:  
Wie Windenergieanlagen wirken und sich rechnen





# BAYERISCHER WINDATLAS

**Windernte und Energieertrag:  
Wie Windenergieanlagen wirken und sich rechnen**

# INHALTSVERZEICHNIS

Kapitel	Seite
<b>1. Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2. Was der Bayerische Windatlas leistet</b>	<b>8</b>
<b>3. Wie der Bayerische Windatlas genutzt werden kann</b>	<b>10</b>
3.1 Kommunen und Regionale Planungsverbände	12
3.2 Investoren	12
3.3 Allgemeininteressierte	13
<b>4. Windkarten</b>	<b>14</b>
4.1 Windverhältnisse in 100 Meter Höhe über Grund	16
4.2 Windverhältnisse in 130 Meter Höhe über Grund	16
4.3 Windverhältnisse in 160 Meter Höhe über Grund	17
4.4 Die windhöffigen Gebiete Bayerns	17
<b>5. Energieertragskarten</b>	<b>18</b>
5.1 Energieertrag in 100 Meter Höhe über Grund	21
5.2 Energieertrag in 130 Meter Höhe über Grund	21
5.3 Energieertrag in 160 Meter Höhe über Grund	21
5.4 Referenzertrag	22
5.5 Ertragsindex	23
<b>6. Qualitätssicherung</b>	<b>24</b>
<b>7. Methodik</b>	<b>30</b>
<b>8. Anhang</b>	<b>38</b>

# VORWORT

---

Die Bayerische Staatsregierung setzt sich für eine sichere, bezahlbare und umweltfreundliche Energieversorgung ein. Der Umbau der bayerischen Energieversorgung hin zu einem überwiegend auf erneuerbaren Energien basierenden Versorgungssystem soll gemeinsam mit den Bürgerinnen und Bürgern, den verantwortlichen Kommunalpolitikern und den Planern geschehen.

Für die Nutzung der Windenergie stellt die Bayerische Staatsregierung den Bayerischen Windatlas zur Verfügung.

Um modernste Berechnungsverfahren zu nutzen, hat das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie den Bayerischen Windatlas neu auflegen lassen.

Der neue Bayerische Windatlas gibt einen Überblick über die Windverhältnisse in ganz Bayern, zeigt die Chancen der Windenergienutzung mit Wind- und Energieertragskarten und auch ihre Risiken auf. Zum Beispiel kann das Windaufkommen von Jahr zu Jahr deutlich schwanken. In der Online-Version des Bayerischen Windatlas kann daher zu jedem Ort in Bayern der Ertragsindex abgefragt werden, der den jährlichen Energieertrag einer Windkraftanlage im zeitlichen Verlauf zeigt und somit Schwankungen des Winddargebots über die Jahre hinweg sichtbar macht.

Der Bayerische Windatlas ersetzt jedoch nicht eine qualifizierte Windmessung und ein darauf aufbauendes Windgutachten, welche für die Beurteilung eines einzelnen Standortes unabdingbar sind.

Die vorliegende Broschüre ist kostenlos unter [www.stmwi.bayern.de](http://www.stmwi.bayern.de) bestellbar. Die Online-Version des Bayerischen Windatlas steht Interessierten im Energie-Atlas Bayern zur Verfügung: [www.energieatlas.bayern.de](http://www.energieatlas.bayern.de)



**Ilse Aigner**

Bayerische Staatsministerin für  
Wirtschaft und Medien, Energie  
und Technologie

**Franz Josef Pschierer**

Staatssekretär im Bayerischen  
Staatsministerium für Wirtschaft und  
Medien, Energie und Technologie

# KAPITEL 1

# EINLEITUNG

---

Bei der Nutzung der Windenergie in Bayern sollen die Anliegen möglichst aller Betroffenen berücksichtigt werden. Sie darf auch nicht auf Kosten des Erhalts der bayerischen Landschaft gehen. Daher wird im Konsens mit der Bevölkerung der im Bayerischen Energiekonzept vom 24. Mai 2011 dargelegte Weg des raum-, natur- und landschaftsverträglichen Ausbaus konsequent weiter verfolgt.

Die Bayerische Staatsregierung dringt auf die rasche Einführung der von der Bundesregierung angekündigten Öffnungsklausel, um landesspezifische Mindestabstände von Windkraftanlagen zur Wohnbebauung festlegen zu können. Grundsätzlich soll ein Mindestabstand der zehnfachen Gesamthöhe einer Windkraftanlage zur Wohnbebauung eingehalten werden.

Allerdings sollen davon im örtlichen Konsens Ausnahmen auf der Grundlage von Entscheidungen der betroffenen Gemeinden zulässig sein. Damit wird das Ziel einer „relativen Privilegierung“ der Windenergienutzung erreicht.

An dem Ausbauziel, den Anteil der Windkraft an der Stromversorgung bis 2021 auf über 6 % zu erhöhen, wird festgehalten. Dabei wird auch auf den Einsatz effizienterer und leistungsstärkerer Windkraftanlagen gesetzt.



Der neue Bayerische Windatlas zeigt die Potenziale zur Nutzung der Windkraft in Bayern auf. Er stellt dabei nicht nur die Chancen der Windenergienutzung dar. Ein Ertragsindex zeigt das Risiko von Schwankungen des Winddargebots über einen Zeitraum von 30 Jahren.

Der Bayerische Windatlas ist eine Planungs- und Orientierungshilfe für Kommunen und Regionale Planungsverbände, Bürgerinnen und Bürger, Energieversorgungsunternehmen und Investoren sowie andere Interessierte. Er kann aber weder eine umfassende Standortanalyse noch ein detailliertes Windgutachten ersetzen, welche für die Ertragsschätzung einer Windkraftanlage unverzichtbar sind.

Das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie hat den Bayerischen Windatlas aus dem Jahr 2010 neu auflegen lassen, um den fortgeschrittenen Stand der Technik zu nutzen. Besonderes Augenmerk wurde darauf gelegt, dass die Neuberechnung der Windverhältnisse unter Einsatz eines Berechnungsmodells erfolgt, das sich für das stark reliefierte Gelände in Bayern eignet. Der neue Bayerische Windatlas wurde von Sander + Partner erstellt.



# KAPITEL 2

# WAS DER BAYERISCHE WINDATLAS LEISTET

---

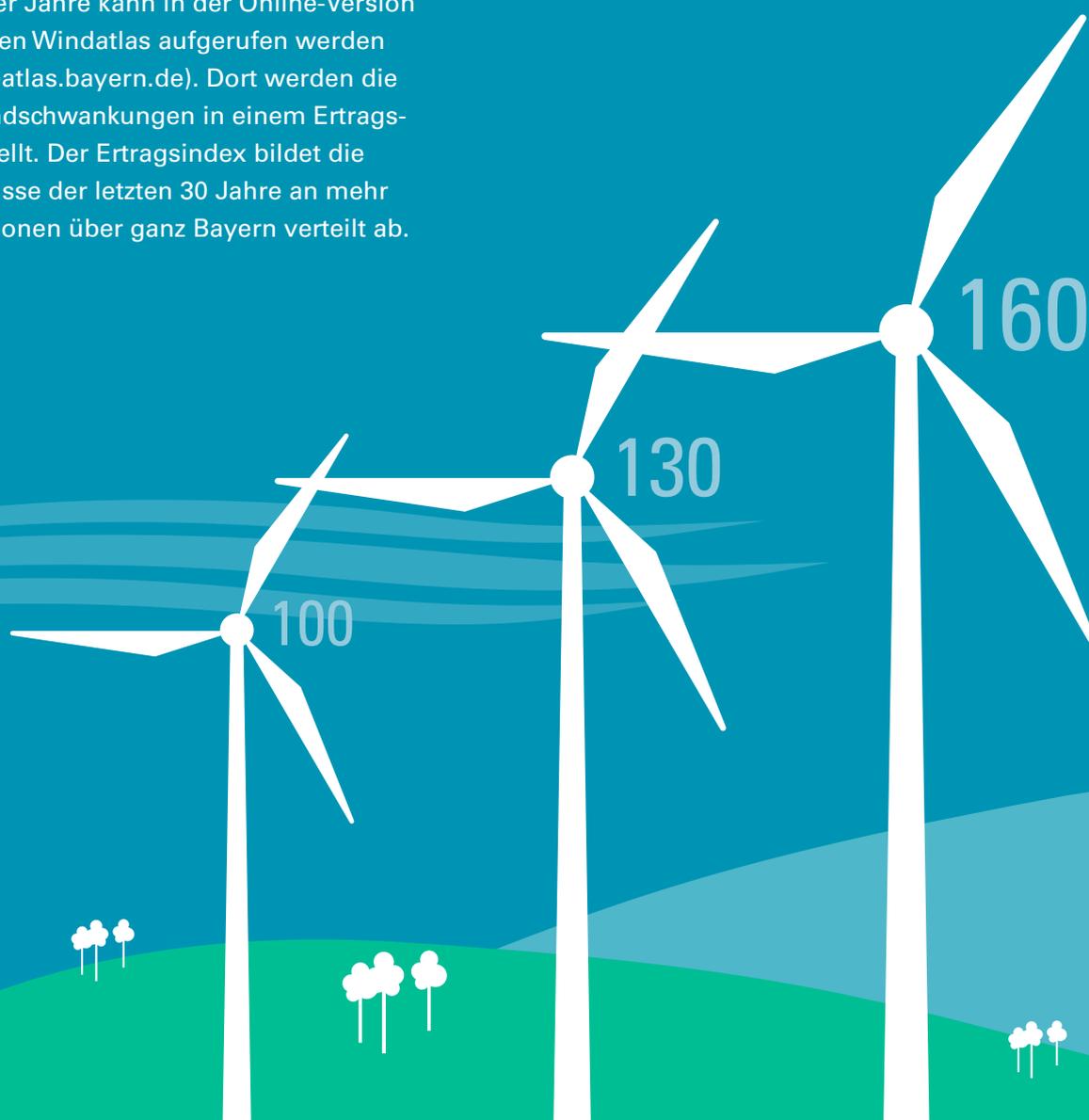
Der Bayerische Windatlas enthält Karten, die die Windgeschwindigkeit und den möglichen Energieertrag einer Windkraftanlage in 100 Meter, 130 Meter und 160 Meter Höhe über Grund zeigen. Die Windkarten geben einen groben Eindruck der Windgeschwindigkeit in typischen Nabenhöhen von Windkraftanlagen.

Die Beschreibung der Windkarten wird ergänzt durch eine Darstellung des Fehlers, der in den Windkarten zu erwarten ist. Die zugrunde liegende Fehleranalyse zeigt die Zuverlässigkeit der Windkarten. Die Prüfung der Zuverlässigkeit von flächenhaften Windkarten kann nur an einzelnen Orten erfolgen. Deshalb können Windkarten nur einen generellen Trend des Winddargebots aufzeigen.

Windkarten zeigen die langjährigen Chancen, die der Wind zur Energieerzeugung bietet. Windkraftanlagen werden über einen Zeitraum von 20 bis 30 Jahren genutzt. Über die Jahre hinweg kann das Windaufkommen erheblich schwanken. Windschwache Jahre können für Betreiber von Windkraftanlagen ein großes wirtschaftliches Risiko bedeuten. Windkarten alleine zeigen dieses Risiko nicht. Eine Darstellung des Risikos windschwacher Jahre kann in der Online-Version des Bayerischen Windatlas aufgerufen werden ([www.energieatlas.bayern.de](http://www.energieatlas.bayern.de)). Dort werden die jährlichen Windschwankungen in einem Ertragsindex dargestellt. Der Ertragsindex bildet die Windverhältnisse der letzten 30 Jahre an mehr als 4.000 Stationen über ganz Bayern verteilt ab.

## Wind – ein unsteter Geselle:

Die Windverhältnisse können stark schwanken. Dies ist meteorologisch bedingt. Das unvorhersehbare Auftreten von windstarken und windschwachen Jahren kann den Ertrag einer Windkraftanlage sehr stark beeinflussen, da die Höhe der Windgeschwindigkeit mit der dritten Potenz in den Ertragswert eingeht. Mit dem **Ertragsindex** werden die Schwankungen über 30 Jahre dargestellt und damit ein Risiko der Windkraftnutzung aufgezeigt.



# KAPITEL 3

# WIE DER BAYERI WINDATLAS GEN WERDEN KANN

---

Der Bayerische Windatlas steht einem weiten Kreis von Interessierten zur Verfügung, die den „Rohstoff Wind“ in unterschiedlichster Weise nutzen möchten. Er gibt einen groben Überblick über das Vorkommen des Windes in Bayern. Die Ansprüche der verschiedenen Nutzerkreise an die Zuverlässigkeit der ermittelten Windgeschwindigkeiten unterscheiden sich jedoch erheblich. Der Bayerische Windatlas kann daher die individuellen Ansprüche nur teilweise erfüllen.

# SCHE UTZT

---



# WIE DER BAYERISCHE WINDATLAS GENUTZT WERDEN KANN

---

## 3.1 Kommunen und Regionale Planungsverbände

---

Der Bayerische Windatlas kann bayerischen Kommunen und Regionalen Planungsverbänden als Planungshilfe bei der räumlichen Steuerung der Windkraftnutzung dienen.

Die Wind- und Energieertragskarten des Bayerischen Windatlas zeigen einen generellen Trend auf, in welchen Gegenden Bayerns die Windkraftnutzung wirtschaftlich sein könnte.

## 3.2 Investoren

---

Investoren können anhand des Bayerischen Windatlas abschätzen, welche Standorte sich für eine Windkraftnutzung eignen könnten.

Eine Kapitalinvestition in eine Windkraftanlage basiert auf dem Vertrauen, dass über viele Jahre hinweg ein ausreichender Ertrag erwirtschaftet

wird. Nur durch eine qualifizierte Windmessung und ein darauf aufbauendes Windgutachten ist eine Einschätzung möglich, ob das vorhandene Winddargebot am potenziellen Standort Aussicht auf wirtschaftlichen Erfolg einer Windkraftanlage bietet.

---

## 3.3 Allgemeininteressierte

---

Der Wind ist nicht nur ein wichtiger erneuerbarer Energieträger in Bayern. Er ist auch ein wesentlicher Parameter der Atmosphäre und damit des Wetter- und Klimageschehens.

Allgemeininteressierte finden im Bayerischen Windatlas detaillierte Informationen über den Wind als Teilaspekt des gegenwärtigen Klimas in Bayern.

Wind beeinflusst das Wohlbefinden der Menschen. Ausreichender Wind sorgt für eine gute Durchlüftung von Höhenlagen und Tälern. Wind trägt im Sommer dazu bei, hohe Temperaturen angenehmer zu empfinden. Im Winter kann er das Kälteempfinden verstärken.

Die Windkarten des Bayerischen Windatlas zeigen sowohl die Bereiche Bayerns, in denen der Wind prägend für das lokale Klima ist, wie auch die Bereiche, in denen ein geringer Einfluss des Windes zu erwarten ist.



# KAPITEL 4

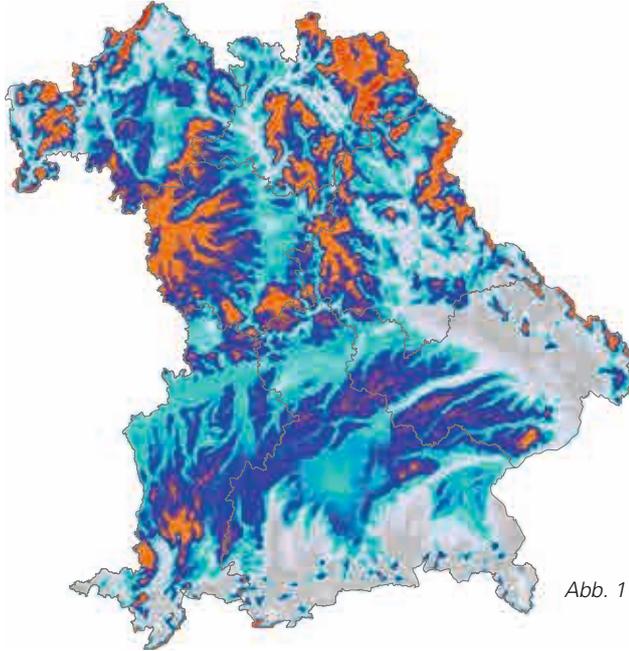
# WINDKARTEN

---

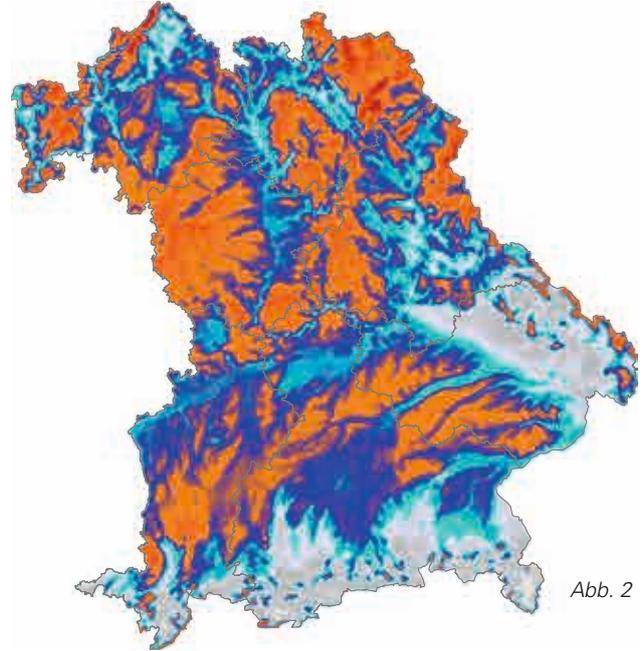
Die Windkarten zeigen die mittleren Windgeschwindigkeiten in 100 Meter, 130 Meter und 160 Meter über Grund mit einer Farbskalierung. Graue Farbtöne stehen für Regionen in Bayern, in denen eine Windgeschwindigkeit unter 4,5 Meter pro Sekunde zu erwarten ist. In den hellblauen Flächen hat der Wind eine Stärke zwischen 4,5 und 5 Meter pro Sekunde. Dunkelblaue Flächen weisen auf Windstärken bis zu 5,5 Meter pro Sekunde hin. Orange Farbtöne entsprechen einer Windgeschwindigkeit zwischen 5,5 und 7 Meter pro Sekunde. In den rot eingetragenen Flächen wurde eine Windgeschwindigkeit von 7 Meter pro Sekunde und mehr berechnet.

# WINDKARTEN

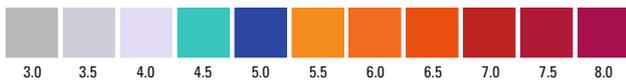
## 4.1 Windverhältnisse in 100 Meter Höhe über Grund



## 4.2 Windverhältnisse in 130 Meter Höhe über Grund



Windgeschwindigkeit in m/s:



## 4.3 Windverhältnisse in 160 Meter Höhe über Grund

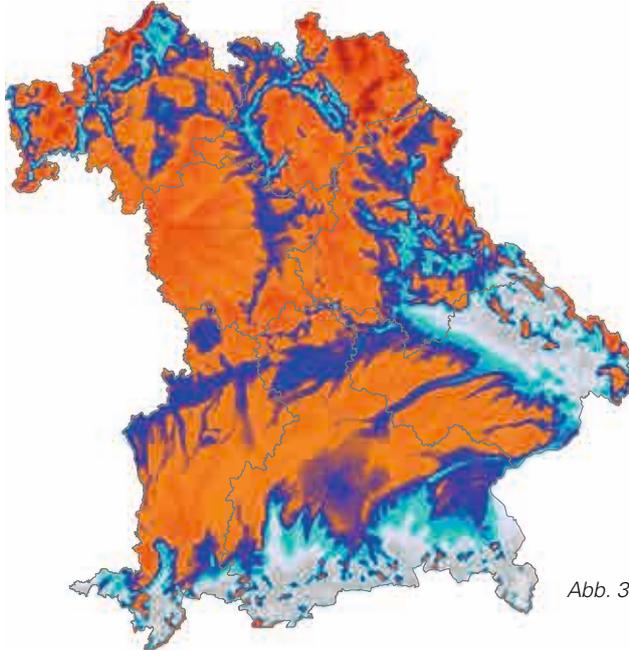


Abb. 3

Rund dreißig Prozent der Fläche Bayerns sind bewaldet. Auch im Wald kann das Potenzial des Windes genutzt werden. Die Nabenhöhen von Windkraftanlagen sind dort in der Regel höher als in unbewaldeten Gebieten. Grund hierfür ist eine niedrigere Windgeschwindigkeit über Waldgebieten. In Wäldern entsprechen die Windverhältnisse in 160 Meter denen, die sonst in 130 Meter Höhe über dem Erdboden zu erwarten sind.

## 4.4 Die windhöffigen Gebiete Bayerns

Die Windkarten zeigen, dass die topografische Höhe ist nicht allein ausschlaggebend für gute Windverhältnisse ist. So sind Teile des Bayerischen Waldes zwar relativ hoch gelegen, aber im Wesentlichen windschwach. Im Odenwald, im Spessart, in der Südrhön und in der Fränkischen Alb gibt es auch in topografisch niedrigeren Lagen gute Windverhältnisse. In weiten Regionen Bayerns sind mittlere Windgeschwindigkeiten anzutreffen.

Die Windverhältnisse Bayerns werden durch eine kleinräumige Topografie geprägt. Das Windangebot zweier nah beieinanderliegender Standorte kann sich daher erheblich unterscheiden. Bei der Einschätzung lokaler Windverhältnisse muss dies berücksichtigt werden.

# KAPITEL 5

# ENERGIE- ERTRAGS- KARTEN

---

Für den wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb einer Windkraftanlage ist es nicht ausreichend, nur hohe mittlere Windgeschwindigkeiten vorzufinden. Entscheidend ist, wie sich der Wert der mittleren Windgeschwindigkeit zusammensetzt, also die Verteilung der einzelnen Windgeschwindigkeiten. Bei einer ungünstigen Verteilung kann es passieren, dass die Erträge einer Windkraftanlage trotz



hoher Messwerte der mittleren Windgeschwindigkeit gering sind. Dies liegt daran, dass die Windgeschwindigkeit mit der dritten Potenz in den Energieertrag eingeht. Deshalb wurden zu den Windkarten des Bayerischen Windatlas auch Energieertragskarten erstellt, die für eine synthetische Windkraftanlage berechnet wurden.

# ENERGIEERTRAGSKARTEN

---

Windkraftanlagen nutzen den Wind verschieden gut aus. Es gibt Windkraftanlagen, die speziell für schwachwindige Standorte ausgelegt sind, und solche, die nur unter starkwindigen Bedingungen genutzt werden (z. B. auf dem Meer). Um einen hohen Energieertrag zu erreichen, ist die richtige Wahl der Windkraftanlage entscheidend.

Zur Berechnung der Energieertragskarten des Bayerischen Windatlas wurde das typische Verhalten einer Windkraftanlage mit einer maximalen Leistung von zwei Megawatt zugrunde gelegt. Aus den Windkarten wurde für diese synthetische Windkraftanlage der mittlere Energieertrag berechnet und in den Karten als Volllaststunden dargestellt. Volllaststunden entsprechen der Anzahl von Stunden während eines Jahres, in denen eine Windkraftanlage mit voller Leistung Energie produzieren würde.

In den Karten ist die Anzahl der Volllaststunden farblich dargestellt. Flächen mit grauen und hellblauen Farbtönen zeigen eine geringe, Flächen mit blauem Farbton eine mittlere und orange oder rote Flächen eine hohe jährliche Anzahl von Volllaststunden an.

Die jährliche Produktion einer Windkraftanlage kann in **Volllaststunden**, als **Energieertrag** oder als mittlere **Auslastung** angegeben werden. Die Anzahl der Volllaststunden wird aus den Karten entnommen. Der Energieertrag wird berechnet, indem die Anzahl der Volllaststunden mit der maximalen Leistung der Windkraftanlage multipliziert wird. Beispiel: In der Karte wird für die 2-MW-Turbine eine jährliche Anzahl von 1.500 Volllaststunden gefunden. Dies entspricht einem Energieertrag von 3.000 MWh pro Jahr ( $1.500 \times 2 = 3.000$ ) oder einer mittleren Auslastung von 17,1 % ( $1.500 \div 8.760 \times 100 \% = 17,1 \%$ ).

Die Wirtschaftlichkeit von Windkraftanlagen wird oft über den Referenzertrag oder die Anzahl der Volllaststunden geschätzt. Die durchschnittliche Anzahl der Volllaststunden von Windkraftanlagen beträgt in Deutschland rund 1.500 Stunden pro Jahr. In den windstärksten Küstenregionen werden mehr als 2.800 Volllaststunden pro Jahr erreicht.

---

## 5.1 Volllaststunden in 100 Meter Höhe über Grund

---

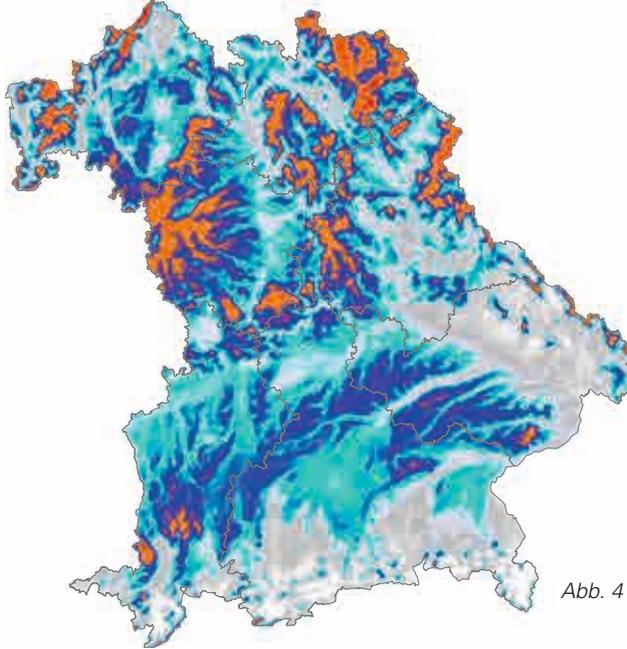


Abb. 4

---

## 5.2 Volllaststunden in 130 Meter Höhe über Grund

---

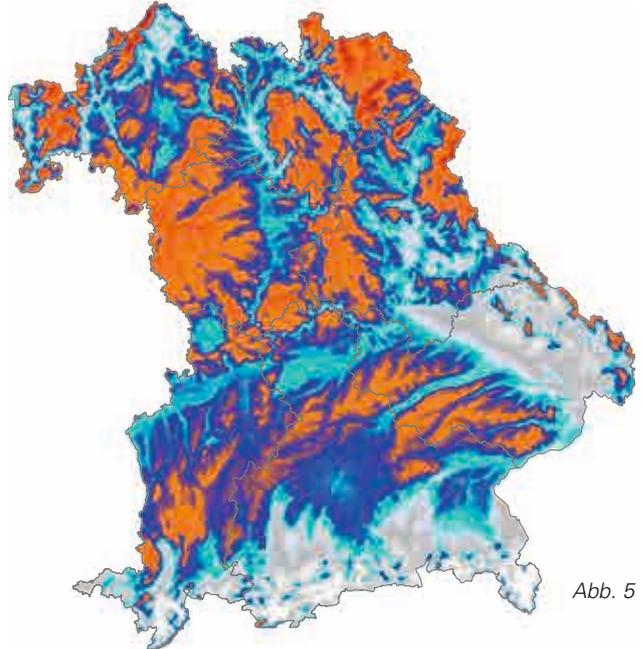
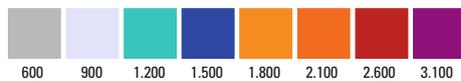


Abb. 5

Zur Abschätzung der Energieproduktion einer Windkraftanlage wird im Bayerischen Windatlas die Anzahl der Volllaststunden einer 2-MW-Windkraftanlage pro Jahr dargestellt.

Volllaststunden pro Jahr:



---

## 5.3 Volllaststunden in 160 Meter Höhe über Grund

---

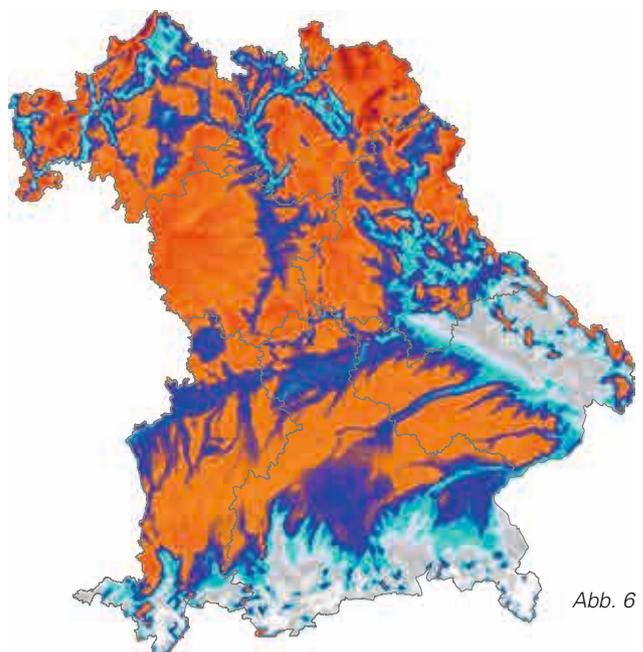


Abb. 6

# ENERGIEERTRAGSKARTEN

## 5.4 Referenzertrag

Die Wirtschaftlichkeit eines Windparks kann auch über den Referenzertrag geschätzt werden. Der Referenzertrag wird nach einem vorgegebenen Verfahren für eine Windkraftanlage berechnet. Die Berechnung beruht ausschließlich auf der Leistungskurve und Nabenhöhe der Anlage.

Verschiedene Studien zeigen, dass ein Windpark dann Aussicht auf wirtschaftlichen Erfolg hat, wenn sein Ertrag mindestens 50% des Referenzertrages erreicht.

Zusätzlich zu den berechneten Ertragswerten wurden für dieselbe Windturbine der Referenzertrag in 100 Meter, 130 Meter und 160 Meter ermittelt. Die folgenden Karten zeigen für diese Windkraftanlage den Anteil ihres Ertrages am Referenzertrag.

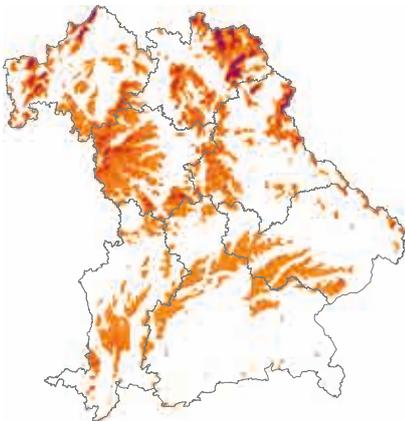


Abb. 7:  
**Anteil am Referenzertrag in 100 Meter Höhe. Die Farben zeigen den Anteil in Prozent. Der Referenzertrag der Windkraftanlage mit Nabenhöhe von 100 Meter beträgt 5.063 Megawattstunden pro Jahr.**

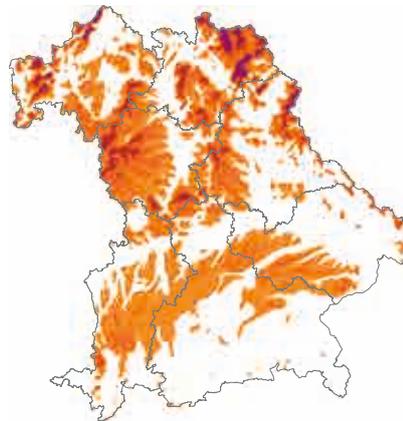


Abb. 8:  
**Anteil am Referenzertrag in 130 Meter Höhe. Der Referenzertrag in Nabenhöhe von 130 Meter beträgt 5.448 Megawattstunden pro Jahr.**

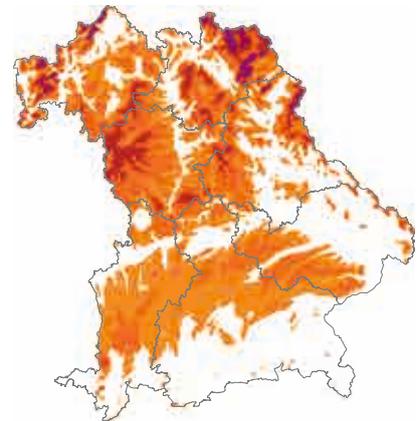
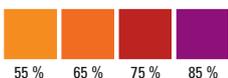


Abb. 9:  
**Anteil am Referenzertrag in 160 Meter Höhe. Der Referenzertrag in Nabenhöhe von 160 Meter beträgt 5.752 Megawattstunden pro Jahr.**

Anteil am Referenzertrag:



## 5.5 Ertragsindex

In der Online-Version des Bayerischen Windatlas kann zu jedem Ort in Bayern ein Ertragsindex abgefragt werden. Er zeigt den jährlichen Energieertrag einer Windkraftanlage im zeitlichen Verlauf. Der Ertragsindex wird aus der Windgeschwindigkeit, der Luftdichte und der Leistungskurve der ausgewählten Windturbine berechnet. Zur Berechnung des Ertragsindex im Bayerischen Windatlas wurde eine synthetische Leistungskurve erstellt. Sie ist eine Mischung aus verschiedenen kommerziell eingesetzten Windkraftanlagen, die für schwachwindige Verhältnisse geeignet sind.

Um internationalen Standards zu entsprechen, muss der Ertragsindex die Windverhältnisse eines Zeitraums von mindestens 30 Jahren erfassen. Der Ertragsindex des Bayerischen Windatlas basiert auf den Windverhältnissen der Jahre 1981 bis 2010.

Der Ertragsindex zeigt für jedes Jahr den Energieertrag einer Windkraftanlage. Die Werte des Energieertrags werden als Prozentzahl angegeben, die auf den 30-jährigen mittleren Ertrag bezogen ist. In den Jahren, in denen

die Energieertragswerte über der 100-Prozent-Marke lagen, war der Jahresertrag der Windkraftanlage größer als der langjährig zu erwartende Ertrag. In windschwachen Jahren lagen die Energieertragswerte unter 100 Prozent. Dann war der Ertrag geringer als der langjährig zu erwartende Ertrag.

Anleger in Windfonds oder Beteiligte an Bürgerwindparks müssen damit rechnen, dass in windschwachen Jahren der wirtschaftliche Erfolg von Windkraftanlagen unter dem prognostizierten Erfolg liegt und eine finanzielle Ausschüttung nicht oder nur in reduziertem Ausmaß möglich ist.

Man geht davon aus, dass die Häufigkeit und Stärke, mit der windschwache Jahre in der Vergangenheit auftraten, auch in Zukunft gleich bleiben. Eine Vorhersage windschwacher Jahre ist nicht möglich.

Der Ertragsindex im Bayerischen Windatlas bietet die Möglichkeit, das Risiko ausbleibender Erträge bereits vor dem Bau einer Windkraftanlage einzuschätzen.

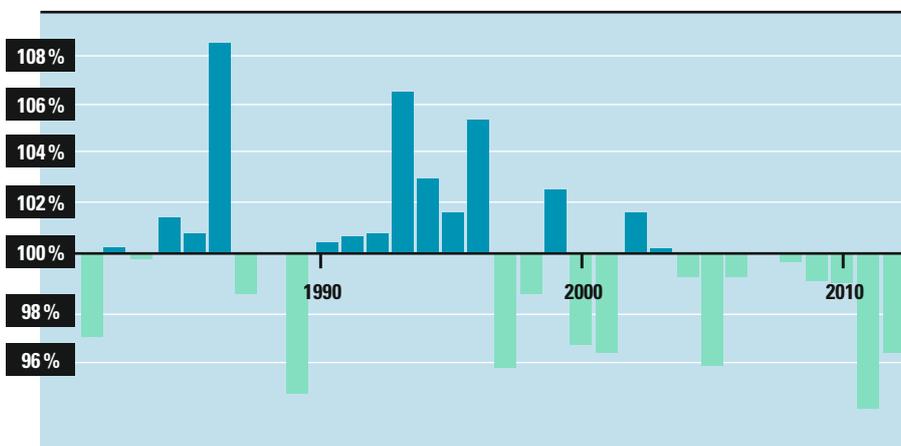


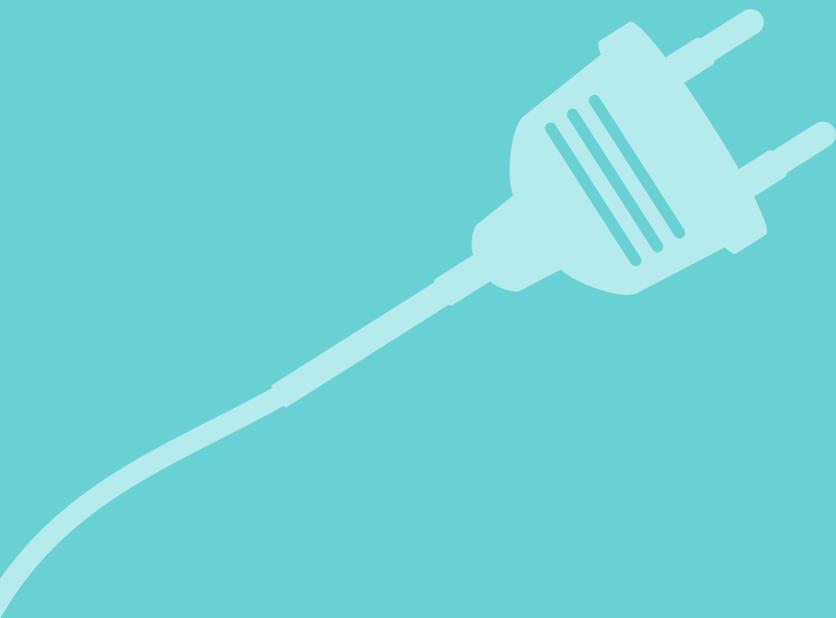
Abb. 10:  
Ertragsindex eines Standortes in Bayern für die Jahre 1981–2012.

# KAPITEL 6

# QUALITÄTS- SICHERUNG

---





Windatlanten basieren auf Rechenmodellen, die die Windverhältnisse nachbilden. Die real an einem Standort vorhandenen Windgeschwindigkeiten können von diesen Rechenmodellen nur teilweise nachgebildet werden. Es ist daher wichtig, Unsicherheiten bei den Wind- und Ertragskarten zu quantifizieren und transparent darzustellen. Hierbei spielt auch die Qualität der Eingangsdaten eine Rolle, mit denen das Rechenmodell „gefüttert“ wurde. Die Winddaten, die zur Erstellung des Bayerischen Windatlas genutzt wurden, wurden mit Daten aus dem Messnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und Daten aus meteorologischen Messungen des Kernreaktor-Fernüberwachungssystems des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) überprüft.

Die Unsicherheiten, die im Bayerischen Windatlas enthalten sind, können anhand der folgenden Karten erkannt werden.

# QUALITÄTSSICHERUNG

---

## Langjährige Kohärenz

Windkraftanlagen sollen über einen Zeitraum von vielen Jahren betrieben werden. Der jährliche Ertrag kann aber beträchtlich schwanken. Die Häufung windschwacher Jahre kann zur Insolvenz eines Windparks führen. Deshalb ist es wichtig, dass die langjährigen Schwankungen des Windes bereits in der Planungsphase erkannt und berücksichtigt werden.

Für den Bayerischen Windatlas wurde deshalb geprüft, ob die Winddaten aus den CFSR-Daten<sup>1</sup>, aus denen die Windkarten berechnet wurden, und die Messdaten des DWD ähnliche zeitliche Schwankungen aufweisen.

Dazu wurden aus den CFSR-Winddaten und den Messdaten des DWD der sogenannte Pearson'sche Korrelationskoeffizient und daraus das Bestimmtheitsmaß berechnet. Das Bestimmtheitsmaß kann einen Wert zwischen 0 und 100 Prozent annehmen. Bei 0 Prozent besteht keine Ähnlichkeit des zeitlichen Verlaufs der Datenreihen. Werte über 80 Prozent geben einen Hinweis darauf, dass die Datenreihen gut übereinstimmen. Werte über 90 Prozent zeigen eine sehr gute Übereinstimmung.

Anhand des Bestimmtheitsmaßes kann man jedoch nicht erkennen, ob die Windgeschwindigkeiten übereinstimmen. Es wird ausschließlich getestet, ob Auf und Ab der Schwankungen des Windes gleichzeitig erfolgen.

In der folgenden Abbildung ist das Bestimmtheitsmaß für die DWD-Stationen in Bayern dargestellt. Die Punkte sind ortsgenau an den DWD-Stationen eingetragen. Ihre Farbe entspricht dem Wert des Bestimmtheitsmaßes.

In Gegenden, in denen die CFSR-Winddaten eine gute Korrelation mit lokalen DWD-Messdaten aufweisen, kann man davon ausgehen, dass die CFSR-Winddaten die Windverhältnisse für einen großen Raum repräsentieren. Dort ist zu erwarten, dass auch die kleinräumigen Winde, die in den Windkarten des Bayerischen Windatlas abgebildet sind, gut wiedergegeben werden. Vorsicht ist dort geboten, wo das Bestimmtheitsmaß nur niedrige Werte unter 50 Prozent erreicht.

<sup>1</sup> Grundlage zur Berechnung der Windkarten des Bayerischen Windatlas sind meteorologische Daten der US-amerikanischen Klimabehörde National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Die Daten wurden mit einem globalen Klimamodell erstellt, der sogenannten Climate Forecast System Re-Analysis (CFSR). Für den Bayerischen Windatlas wurden die CFSR-Daten aus dem Zeitraum 1981 bis 2010 eingesetzt.

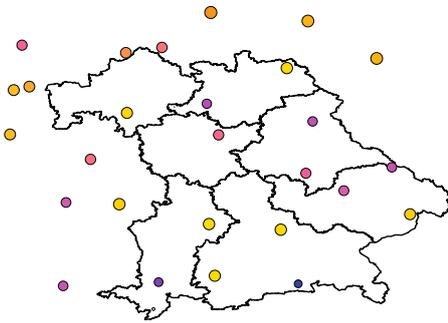


Abb. 11:  
Bestimmtheitsmaß für den Zeitraum  
2000 bis 2012.

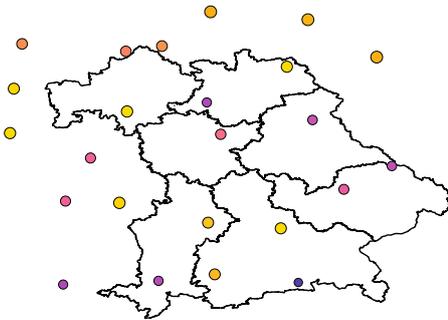


Abb. 12:  
Bestimmtheitsmaß für den Zeitraum  
von 1990 bis 1999.

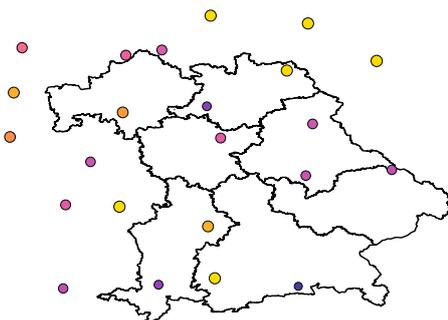
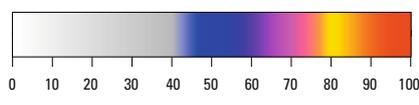


Abb. 13:  
Bestimmtheitsmaß für den Zeitraum  
von 1980 bis 1989.

Bestimmtheitsmaß in Prozent:



Die Abbildungen zeigen, dass sich die CFSR-Winddaten während der letzten 30 Jahre nicht wesentlich gegenüber den Messdaten des DWD geändert haben. Die Korrelationen sind in weiten Teilen Bayerns als gut bis sehr gut einzustufen. Die CFSR-Winddaten sind deshalb als langjährig homogene Daten zu betrachten, die als Grundlage für einen Windatlas dienen können.

Im unmittelbaren Alpenbereich sind die CFSR-Winddaten eher wenig repräsentativ und nur eingeschränkt in der Lage, den zeitlichen Verlauf der kleinräumigen Winde nachzuvollziehen. Die Windverhältnisse sind dort lokal sehr unterschiedlich, was mit den groben CFSR-Daten nur teilweise nachgebildet werden kann.

## Mittlere Windgeschwindigkeit

Der Bayerische Windatlas zeigt Karten, in denen die mittleren Windgeschwindigkeiten von 1981 bis 2010 in unterschiedlichen Höhen dargestellt werden.

Unsicherheiten bei den Werten der gezeigten Windgeschwindigkeiten können nur dort ermittelt werden, wo langjährige Windmessungen in großen Höhen vorliegen. In Bayern werden solche langjährigen Höhenmessungen an nur sehr wenigen Orten durchgeführt. Das LfU erfasst in der Nähe der Kernkraftwerke Grafenrheinfeld, Gundremmingen und Isar II die Windgeschwindigkeit bis in Höhen von 220 Meter. Mithilfe dieser Messdaten wurde untersucht, welche Abweichungen die Berechnungen des Bayerischen Windatlas aufweisen.

Die folgende Tabelle stellt die gemessenen Windgeschwindigkeiten den berechneten Windgeschwindigkeiten aus dem Bayerischen Windatlas gegenüber.

	Gundremmingen	Grafenrheinfeld	Isar II
<b>100 Meter Höhe über Grund</b>			
Messung	4,2 m/s	4,2 m/s	4,2 m/s
Windatlas	4,5 m/s	4,1 m/s	4,0 m/s
<b>130 Meter Höhe über Grund</b>			
Messung	4,9 m/s	4,7 m/s	4,5 m/s
Windatlas	4,9 m/s	4,5 m/s	4,5 m/s
<b>160 Meter Höhe über Grund</b>			
Messung	5,5 m/s	5,0 m/s	4,8 m/s
Windatlas	5,2 m/s	4,9 m/s	4,9 m/s

# QUALITÄTSSICHERUNG

Die Abweichungen zwischen den Messungen des LfU und den Windgeschwindigkeiten aus dem Bayerischen Windatlas sind kleiner als 0,3 m/s bzw. unterscheiden sich um weniger als 7%. Der Windatlas erreicht daher an diesen Orten eine sehr gute Genauigkeit. Die Windmessungen des LfU finden in Gegenden mit mäßigem Windaufkommen statt. Windkraftanlagen werden hinge-

gen in der Regel in windstarken Regionen errichtet. Als weiterer Baustein der Qualitätssicherung wurden deshalb in drei windstarken Regionen Bayerns Angaben zur Windgeschwindigkeit aus Emissionsprospekten von drei Windparkprojekten mit den Werten aus dem Bayerischen Windatlas verglichen:

	Maßbach	Heppdiel	Töpen
<b>130 Meter Höhe über Grund</b>			
Windgutachten <sup>2</sup>	5,6 m/s	5,6 m/s	6,5 m/s
Windatlas	5,2 m/s	5,2 m/s	6,1 m/s

<sup>2</sup> Aus den Angaben der Windgutachter wurde die Windgeschwindigkeit in 130 Meter Höhe über Grund über ein logarithmisches Höhenprofil geschätzt, wobei ein Exponentialkoeffizient von 0,25 angenommen wurde. Dies entspricht einer Rauigkeit, wie sie von Feldern erzeugt wird.

Der Bayerische Windatlas hat auch an diesen windstarken Orten einen Fehler, der unter 7% liegt. Eine Angabe zur Unsicherheit des gesamten Bayerischen Windatlas ist daraus aber nicht möglich. Der letzte Baustein zur Qualitätssicherung beinhaltet den Abgleich der Werte

aus dem Bayerischen Windatlas mit Messdaten des DWD. Die Windmessungen des DWD werden in der Regel in 10 Meter Höhe über Grund ausgeführt. Eine eigens dafür erstellte Windkarte ermöglicht den direkten Vergleich:

DWD-Station	Würzburg	Bamberg	Hof	Nürnberg
DWD	3,22 m/s	2,31 m/s	3,20 m/s	3,04 m/s
Bayerischer Windatlas	3,0 m/s	2,4 m/s	4,2 m/s	2,8 m/s

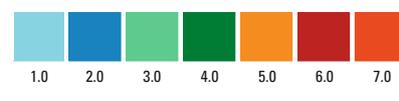
DWD-Station	Weiden	Regensburg	Großer Arber	Straubing
DWD	2,38 m/s	2,40 m/s	6,97 m/s	2,68 m/s
Bayerischer Windatlas	3,2 m/s	3,0 m/s	4,2 m/s	2,8 m/s

DWD-Station	Augsburg	München-Flughafen	Fürstzell	Kempten
DWD	3,00 m/s	3,14 m/s	3,00 m/s	2,11 m/s
Bayerischer Windatlas	3,0 m/s	3,2 m/s	2,3 m/s	3,0 m/s

DWD-Station	Öhringen	Hohenpeißenberg	Wendelstein
DWD	2,03 m/s	5,33 m/s in 22 m Höhe ca. 4,3 m/s in 10 m Höhe	6,97 m/s
Bayerischer Windatlas	1,9 m/s	3,7 m/s	4,6 m/s

Abb. 14: Berechnete Windgeschwindigkeit in 10 Meter Höhe über Grund und gemessene Windgeschwindigkeit an DWD Stationen. Die mittleren Windgeschwindigkeiten, die an DWD Stationen gemessen wurden, sind in der Karte ortsgenau eingetragen.

Windgeschwindigkeit in m/s:



Die berechneten Werte der Windgeschwindigkeit im Bayerischen Windatlas weichen an vielen Orten um weniger als 0,5 m/s von Messungen ab, die an hohen Türmen oder in Bodennähe erhoben wurden.

An einigen Stationen des DWD sind die Unterschiede zwischen den Messungen und den berechneten Windgeschwindigkeiten wesentlich höher als 1 m/s. Die größten Abweichungen finden sich an den Stationen, die auf Bergen platziert sind. Dies betrifft z. B. den Großer Arber, den Hohenpeißenberg oder den Wendelstein. Dort wird deutlich, dass meteorologische Modelle die Windverhältnisse in kleinräumigen topografischen Strukturen nur teilweise erfassen.

Am Beispiel des Großen Arber soll dies erläutert werden. Der Große Arber ist eine **einzelne**, steil aus dem Gelände ragende Bergkuppe. Der Gipfel hat eine Höhe von 1.446 Meter. Innerhalb eines Radius von 500 Meter um den Gipfel fällt das Gelände nach allen Seiten hin auf eine Höhe von etwa 1.200 Meter ab. Der Bayerische Windatlas zeigt an der Stelle des Gipfels des Großen Arber eine deutlich niedrigere Windgeschwindigkeit als

die vom DWD gemessene. Trotz der scheinbar hohen Auflösung von 100 Meter berechnet das Modell nicht die Windgeschwindigkeit, die auf dem Arbergipfel gemessen wurde.

Auch am Wendelstein, der wie der Große Arber als einzelner Gipfel herausragt, wurde in den letzten 30 Jahren eine höhere mittlere Windgeschwindigkeit von 6,9 m/s gemessen. Die berechnete Windgeschwindigkeit beträgt hingegen nur 4,6 m/s. An der Zugspitze wurden dagegen Winde von 7,3 m/s gemessen und eine Windgeschwindigkeit von 6,7 m/s berechnet. Der Fehler der Berechnungen beträgt am Wendelstein mehr als 30%. An der Zugspitze, die wegen des langen Gebirgskammes von der Alp Spitze bis zur Zugspitze nicht einzeln herausragt, wird dagegen eine Genauigkeit erreicht, die an vielen anderen Stationen in Bayern erzielt wurde.

Für die Nutzer des Bayerischen Windatlas bedeutet dies, dass man davon ausgehen kann, dass die Windkarten die Windverhältnisse in den Naturräumen Bayerns für regionale oder landesweite planerische Zwecke ausreichend genau darstellen.

Die Überhöhung der Windgeschwindigkeit **einzelner** Berge oder Hügel wird von den Windkarten des Bayerischen Windatlas hingegen nur teilweise erfasst. Der Bayerische Windatlas zeigt die regionalen Windverhältnisse gut, aber bei den lokalen Winden können stärkere Abweichungen auftreten. Gemessene Windgeschwindigkeiten können dabei um mehr als 1 m/s von den berechneten Werten des Bayerischen Windatlas abweichen. Die lokalen Windverhältnisse, die für die wirtschaftliche Planung von Windkraftanlagen entscheidend sind, müssen deshalb mit Windmessungen vor Ort verifiziert werden.

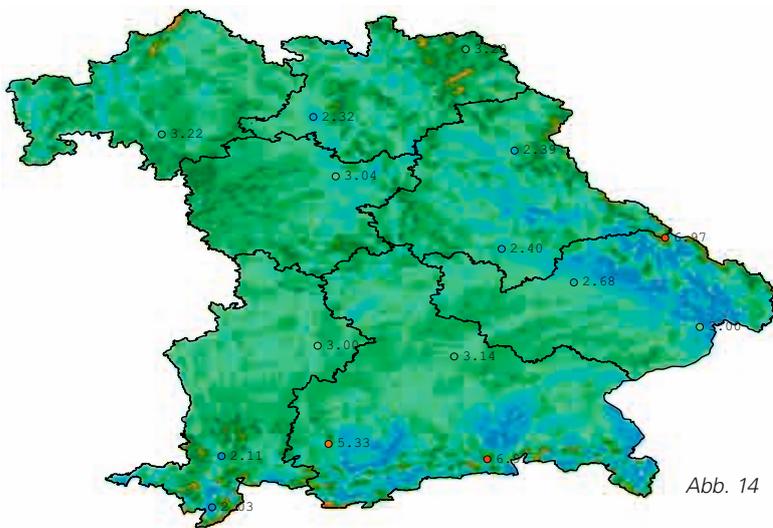


Abb. 14

<sup>3</sup> *Climate Normals (dt. klimatologische Bezugsgröße, klimatologisches Mittel) ist ein Standard der World-Meteorological-Organisation, WMO, Genf. Nationale Wetterbehörden erstellen klimatologische Karten als Mittelwert über 30 Jahre. Der Zeitraum, über den das Mittel gebildet wird, muss mindestens 30 volle Jahre enthalten und soll zu einem vollen Jahrzehnt enden. Das Climate Normal des Windes ist die normierende Bezugsgröße, auf deren Basis die jährlichen Änderungen des Winddargebotes bezogen werden. In anderen Worten: Die Windkarten des Bayerischen Windatlas zeigen die langjährigen, mittleren Windgeschwindigkeiten. Im Ertragsindex des Bayerischen Windatlas entspricht der 100-Prozent-Wert dem mittleren Ertrag des 30-jährigen Zeitraums 1981–2010. Die Windkarten und der Ertragsindex des Bayerischen Windatlas sind nach den Vorgaben internationaler Normen erstellt.*



# KAPITEL 7

# METHODIK

---

Die Windkarten des Bayerischen Windatlas beruhen auf der Berechnung von Mittelwerten klimatologisch relevanter Winde<sup>3</sup> und Temperaturschichtungen mithilfe eines Wettermodells, das global vorhandene meteorologische Daten auf regionale Bedingungen verfeinert. Es handelt sich hierbei um ein vierdimensionales (drei Raumrichtungen plus die zeitliche Achse), thermodynamisches Modell. Dieses Vorgehen unterscheidet den Bayerischen Windatlas von Windatlanten, die auf reinen sog. CFD-Modellen (Computational Fluid Dynamics) beruhen. In CFD-Modellen wird der Wind nur dreidimensional (ohne die Änderungen des Windes zwischen Tag und Nacht) und rein dynamisch (ohne den Einfluss der Temperatur auf den Wind) erfasst.

Auf den klimatologisch relevanten Winden aufbauend wurden die Windkarten des Bayerischen Windatlas mit einem weiteren meteorologischen Modell auf einem sehr feinen Raster von 100 Meter berechnet.

## Klimatologische Winde

Fast alle Länder der Welt führen Wetterbeobachtungen aus und melden diese an eine zentrale Stelle. Die weltweiten Daten werden vornehmlich für die Wettervorhersage aufbereitet. Daneben dokumentieren weltweit zwei Zentren das Wetter der Vergangenheit. Dort werden die weltweiten Beobachtungen in globale Wettermodelle eingeführt. Die Aufgabe globaler Wettermodelle ist es, aus den unregelmäßig über dem Globus verstreuten Beobachtungsstationen Wetterdaten zu erstellen, die auf einem regelmäßigen Raster über der gesamten Atmosphäre vorliegen. Diese historischen Wetterdaten werden als Re-Analyse-Daten bezeichnet. In Deutschland misst der DWD an ca. 1.800 Orten die Windgeschwindigkeiten. Zusätzlich werden in Deutschland täglich Wetterballons an neun Orten in die Atmosphäre steigen gelassen und seit etwa 30 Jahren wird das Wetter über Bayern mehrmals täglich durch Satelliten beobachtet.

Die klimatologischen Winde sollen als ein 30-jähriges Mittel der Jahre 1981 bis 2010 gebildet werden. Anstatt diesen Zeitraum vollständig nachzubereiten, werden nur 365 Tage betrachtet. Die Tage werden so gewählt, dass jeder Tag eines Jahres zufällig aus dem 30-jährigen Zeitraum gezogen wird. An diesen 365 Tagen wird das Wettergeschehen im Minutentakt verfolgt und zu jeder Stunde erfasst.

Der Wind ändert sich im Laufe des Tages, während des Jahres und zwischen den Jahren nicht nur aufgrund der sich ändernden Temperatur, sondern auch aufgrund der sich ändernden vertikalen Temperaturunterschiede der Atmosphäre. Neben der Topografie ist deshalb der in vertikaler Richtung herrschende Temperaturunterschied zur Beschreibung der klimatologischen Winde entscheidend. Dies wird mit dem gewählten Verfahren berücksichtigt.

In einem ersten Schritt wurden die global vorliegenden meteorologischen CFSR-Re-Analyse-Daten mit dem Wettermodell WRF<sup>4</sup> verfeinert. Dabei nimmt das Rechenmodell die globalen Daten in seine Berechnungen auf und füllt die Lücken auf ein feines Raster. Solche Verfahren nennt man Assimilationsverfahren.

<sup>4</sup> WRF: *Weather Research and Forecasting Model*.  
Siehe auch: [www.wrf-model.org](http://www.wrf-model.org)

Mithilfe eines solchen Assimilationsverfahrens wurden bei der Erstellung des Bayerischen Windatlas die regionalen meteorologischen Parameter zunächst auf ein Raster von 1.000 Meter heruntergebrochen. Dabei kam ein Wettermodell zum Einsatz, das die Winde, die Temperatur und andere meteorologische Größen auf einer realistischen Topografie ermittelt hat.

Das Wettermodell WRF wird in vielen Ländern der Welt von nationalen meteorologischen Diensten zur täglichen Wettervorhersage genutzt. Darüber hinaus dient es der wissenschaftlichen Forschung und ist das weltweit am besten validierte Wettermodell. Hochaufgelöste Windkarten, wie die des Bayerischen Windatlas, können nur auf modernsten Computeranlagen berechnet werden. Der Bayerische Windatlas wurde auf einer Computeranlage mit mehreren hundert CPU-Kernen erstellt. Die Rechner benötigten viele Wochen, um die Windkarten und den Ertragsindex zu berechnen.

## Kleinräumige Windgeschwindigkeit

Die klimatologischen Winde, die mit dem WRF-Modell auf einem landesweiten Raster von 1.000 Meter berechnet wurden, werden in einem zweiten Schritt auf das Zielraster von 100 Meter verfeinert. In diesem Schritt wird die vorher ermittelte regionale Meteorologie auf die lokalen Bedingungen angepasst. Dazu wurde das Modell calmet<sup>5</sup> eingesetzt. Dieses Modell wurde ursprünglich für die Belange des Immissionsschutzes entwickelt. Das Modell ist das einzige Rechenmodell, das von der US-amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA für zeitlich variierende Immissionsberechnungen zugelassen ist.

<sup>5</sup> calmet wurde von Atmospheric Studies Group erstellt. Siehe auch: [www.src.com](http://www.src.com)

Für den Bayerischen Windatlas wurden in dieses Modell die Topografie, Bodenrauigkeit und andere wichtige Parameter, die die thermophysikalischen Eigenschaften des Bodens erfassen, eingebaut. Das Modell berechnet dann aus den meteorologischen Daten des zuvor genutzten WRF-Modells die Windkarten auf einem

# METHODIK

---

Raster von 100 Meter. Die Windgeschwindigkeiten werden zu jeder vollen Stunde eines Jahres erfasst. Der Mittelwert bildet dann die eigentliche Windkarte. Die Windkarten des Bayerischen Windatlas setzen sich aus 8.760 Stundenwerten der Windgeschwindigkeit zusammen.

## Topografie, Landnutzung

Die Topografie und die Beschaffenheit des Bodens müssen bei der Berechnung der meteorologischen Verhältnisse über einem Gelände berücksichtigt werden.

Zum Aufbau der Topografie standen im Gebiet von Bayern die Daten des Digitalen Gelände-Modells (DGM-25) in einer horizontalen Rasterung von 25 Meter zur Verfügung. Die Höhengenaugigkeit dieser Daten wird von der Bayerischen Vermessungsverwaltung mit  $\pm 2\text{--}3$  Meter angegeben<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Siehe: [www.vermessung.bayern.de/geobasis\\_lvg/gelaendemodell/dgm25.html](http://www.vermessung.bayern.de/geobasis_lvg/gelaendemodell/dgm25.html)

Neben der Topografie spielen in einem meteorologischen Modell die physikalischen Eigenschaften des Bodens eine zentrale Rolle. Die unterschiedliche Landnutzung und der Bewuchs am Boden beeinflussen die thermischen und mechanischen Eigenschaften der Oberfläche und somit die Bewegung der darüberliegenden Luft. Die relevanten Angaben zur Wärmeabgabe zwischen der Atmosphäre und dem Erdreich bzw. der mechanischen Reibung der Luftströmung am Boden wurden aus den sog. ATKIS<sup>7</sup>-Daten abgeleitet.

<sup>7</sup> ATKIS = Amtliches Topografisch-Kartografisches Informationssystem. ATKIS enthält eine Klassifizierung der Landnutzung. Daraus wurden die Rauigkeit des Bodens, die Rückstrahlungsfähigkeit des Bodens (Albedo) und der Anteil der Blätter im Gelände (Leaf Area Index) sowie weitere Werte, die die thermischen Eigenschaften des Geländes beschreiben, abgeleitet.

Das DGM-25 und die Informationen aus den ATKIS-Daten wurden auf ein Raster von 100 Meter vergrößert und zur Berechnung der Windkarten genutzt.

## Energieertragskarten

Eine Windkraftanlage setzt nur einen Teil des vorhandenen Windes in elektrische Leistung um. Dieser Anteil hängt von der Konstruktion der Turbine ab und kann je nach Typ der Windkraftanlage recht unterschiedlich sein. Jede Windkraftanlage wird daher mit einer

sog. Leistungskurve beschrieben. In der Leistungskurve ist festgehalten, welche Leistung bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit erzeugt werden kann.

Für den Bayerischen Windatlas wurde eine realitätsnahe Windkraftanlage zugrunde gelegt. Diese synthetische Windkraftanlage hat eine maximale Leistung von zwei Megawatt. Ihre Leistungskurve wurde als eine Mischung aus handelsüblichen Windkraftanlagen erstellt, die für schwachwindige Standorte geeignet sind. Diese Leistungskurve ist in der folgenden Grafik dargestellt:

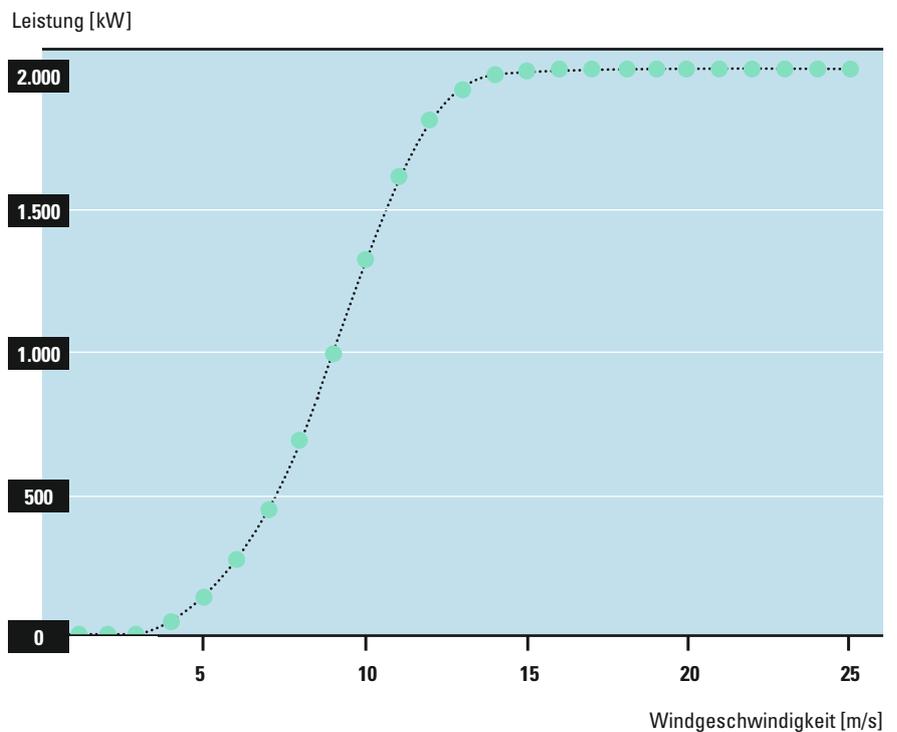


Abb. 15:

**Leistungskurve der Windkraftanlage, die für die Ertragskarten und den Ertragsindex des Bayerischen Windatlas genutzt wurde.**

Diese Windkraftanlage produziert Energie ab einer Windgeschwindigkeit von drei Meter pro Sekunde. Bei Windgeschwindigkeiten über 25 Meter pro Sekunde wird sie aus Sicherheitsgründen abgeschaltet.

# METHODIK

---

Die momentane Leistung einer Windkraftanlage wird aus der Leistungskurve ermittelt und muss zusätzlich mit der Luftdichte korrigiert werden. Der jährliche Energieertrag der Windkraftanlage ergibt sich, indem die momentane Leistung über den Verlauf des Jahres aufaddiert wird.

Aus den Windkarten des Bayerischen Windatlas kann die mittlere Windgeschwindigkeit aus einem Raster mit Abstand von 100 Meter entnommen werden. Die zeitliche Variation des Windes ist auf diesem sehr feinen Raster nicht im Detail bekannt.

Daher wurde angenommen, dass der Ertragsindex des Bayerischen Windatlas den zeitlichen Verlauf der Windgeschwindigkeit auch auf dem Raster von 100 Meter hinreichend genau beschreibt. Der Ertragsindex kann nun auf den Wert der mittleren Windgeschwindigkeit der Windkarte skaliert werden. Zusammen mit der auf die jeweilige Höhe korrigierten Luftdichte wird der Energieertrag für jeden Rasterpunkt der Windkarte bestimmt.

Das Ergebnis ist eine Energieertragskarte, die vollumfänglich dem täglich schwankenden Windangebot und dem Einfluss der Luftdichte auf die Ertragskraft einer Windkraftanlage gerecht wird.

## Ertragsindex

Für den Bayerischen Windatlas wurde ein Ertragsindex erstellt, der den zeitlichen Verlauf des jährlichen Energieertrags einer Windkraftanlage in Bezug auf das 30-jährige Mittel der Jahre 1981–2010 zeigt.

Der Ertragsindex wurde mit dem Wettermodell WRF erstellt, das die CFSR-Daten nutzt, um auf einem Raster von vier Kilometer die Windverhältnisse der Vergangenheit zu rekonstruieren. Auch in diesem Modell der Atmosphäre werden eine realitätsnahe Topografie und die Beschaffenheit der Erdoberfläche berücksichtigt. Mit dem Wettermodell WRF wird der zeitliche Verlauf des Windes und anderer meteorologischer Parameter bestimmt. Die grob aufgelösten CFSR-Daten werden mit dem Wettermodell WRF verfeinert und es werden hoch aufgelöste Wetterdaten ermittelt.

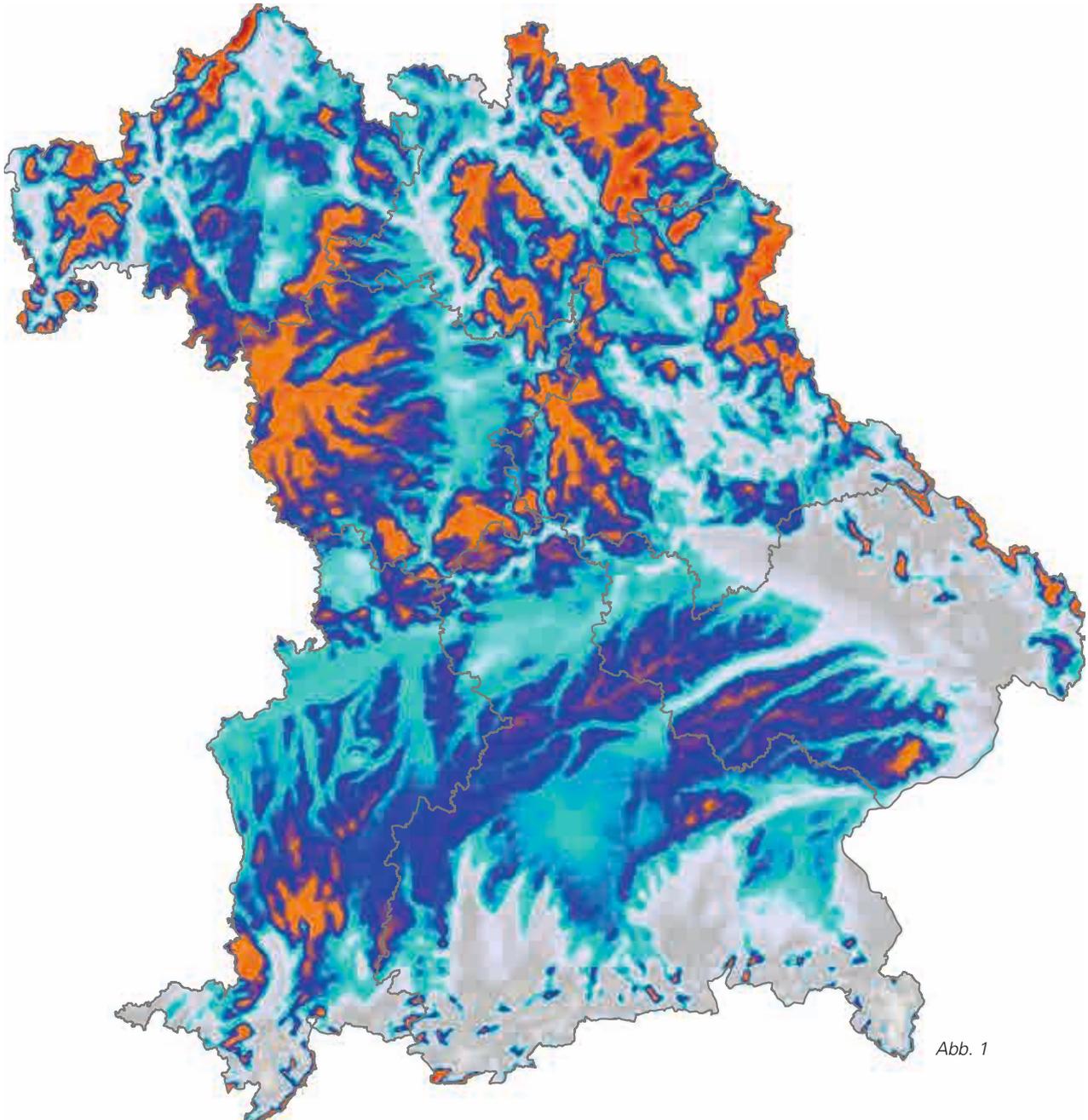
Dieses bewährte Verfahren wird seit mehr als 20 Jahren für die Klimaforschung und für kommerzielle Anwendungen eingesetzt.

Die Daten aus dem Wettermodell wurden als Zehn-Minuten-Werte für den Zeitraum ab dem Jahr 1981 erstellt. Aus den Basisdaten der Windgeschwindigkeit und der Luftdichte wurden Jahresmittel des Ertrags einer synthetischen Windkraftanlage gebildet und als Climate Normal auf den Zeitraum von 1981 bis 2010 bezogen. In der Online-Version des Bayerischen Windatlas können die Werte dieses Ertragsindex eingesehen werden.

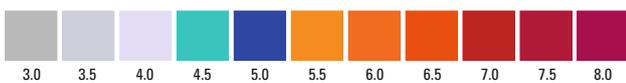
Auch für die Berechnung der Energieertragskarten mit Raster von 100 Meter wurden aus den Basisdaten des Wettermodells die Luftdichte und der zeitliche Verlauf der Windgeschwindigkeit genutzt. Deshalb konnten die Energieerträge im Zehn-Minuten-Takt über die letzten 30 Jahre verfolgt werden.

# ANHANG

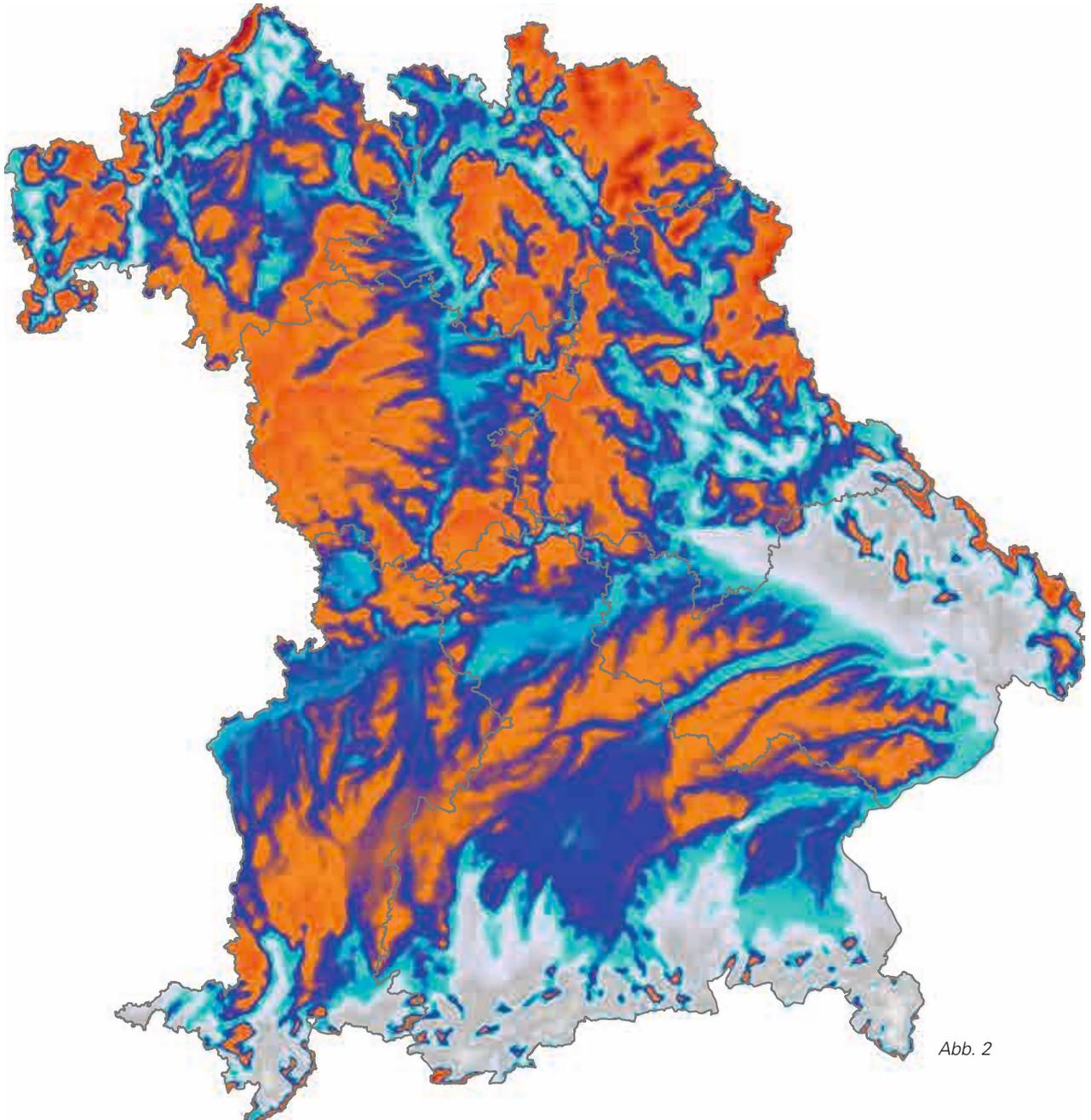
## Windverhältnisse in 100 Meter Höhe über Grund



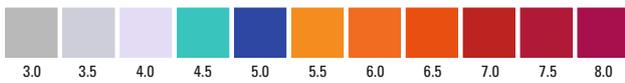
Windgeschwindigkeit in m/s:



## Windverhältnisse in 130 Meter Höhe über Grund

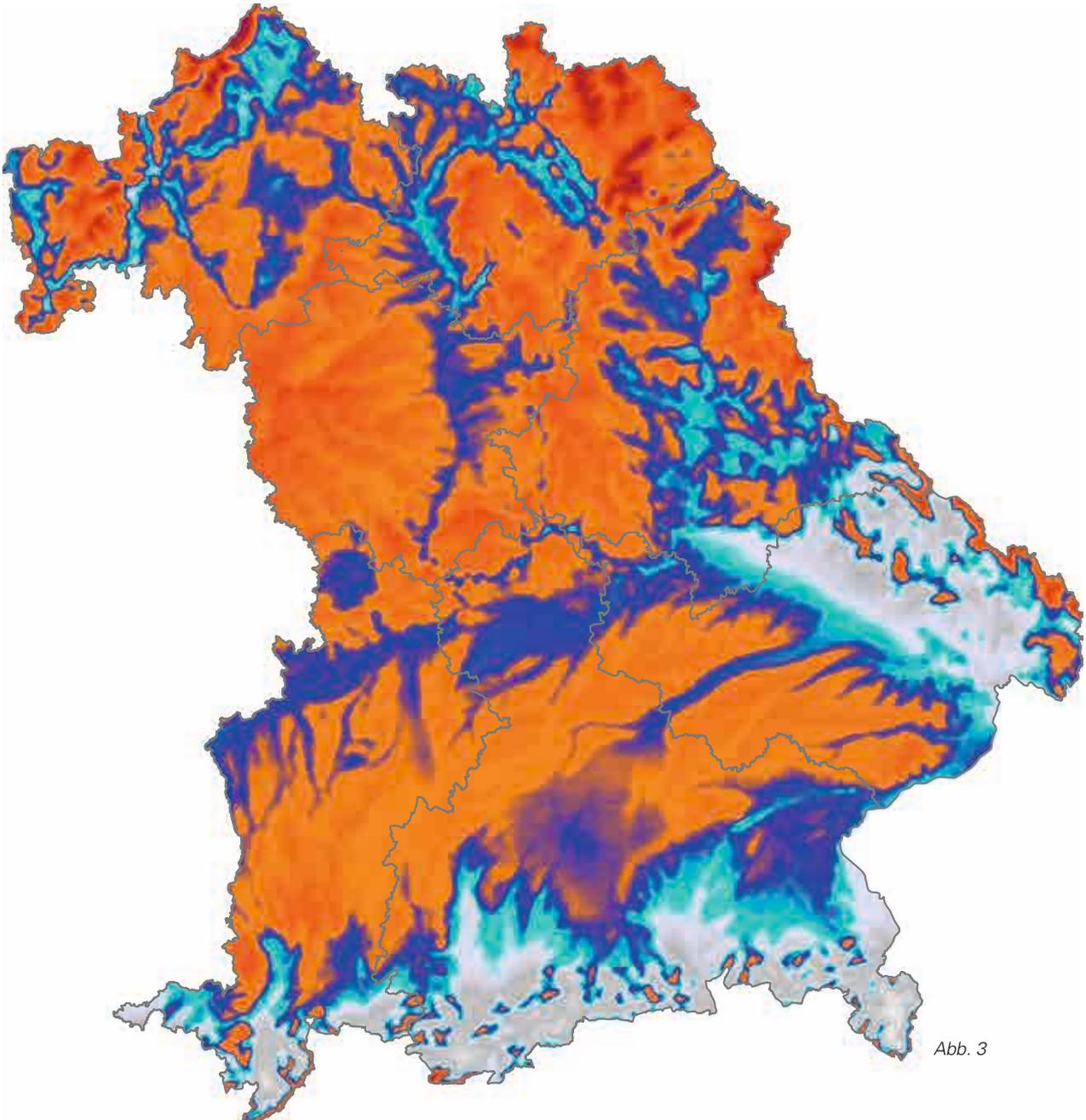


Windgeschwindigkeit in m/s:

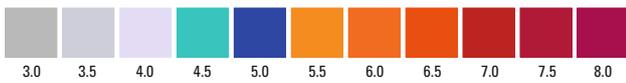


# ANHANG

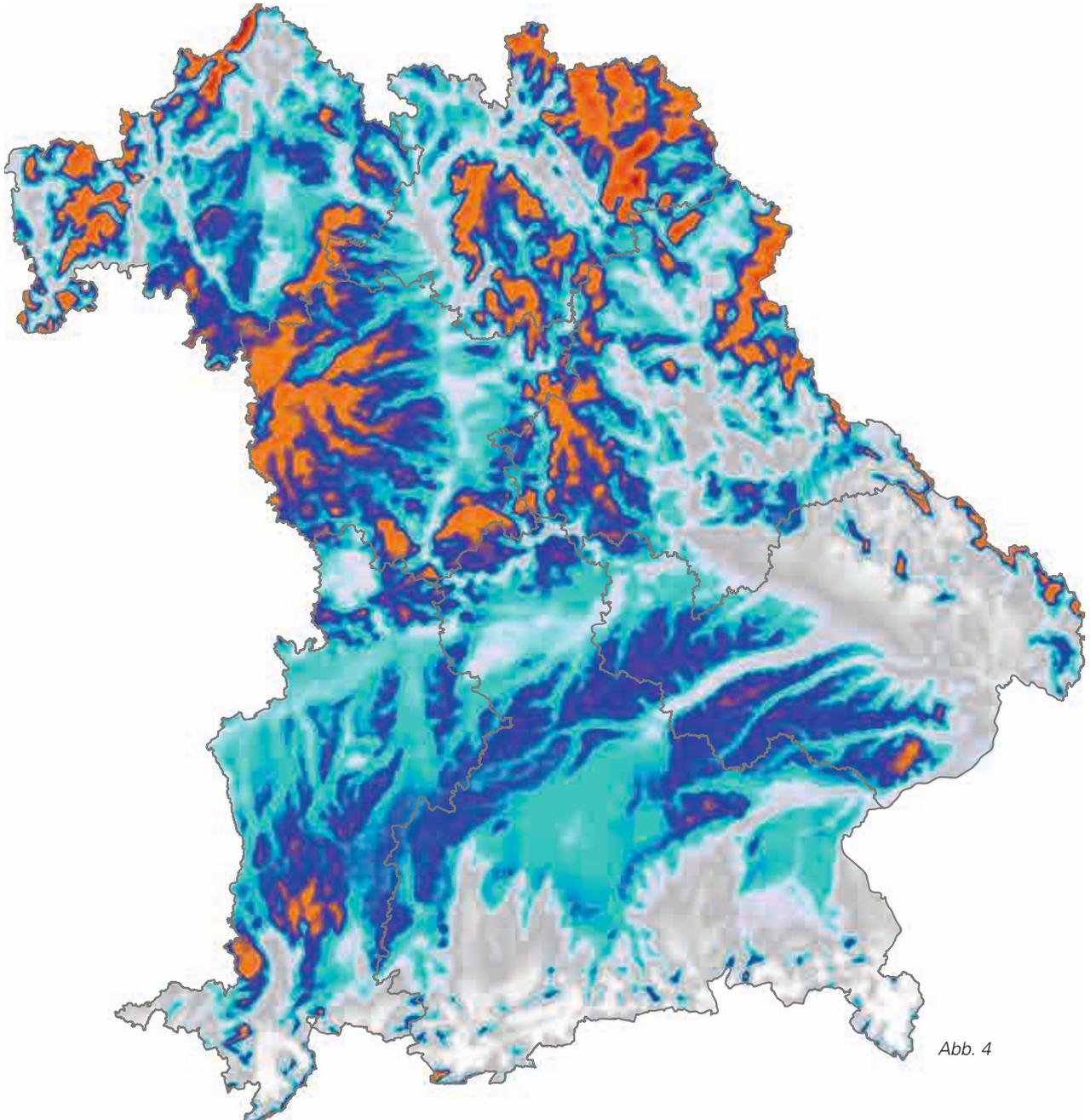
## Windverhältnisse in 160 Meter Höhe über Grund



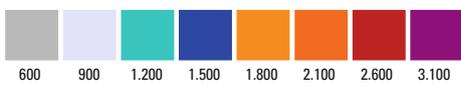
Windgeschwindigkeit in m/s:



## Volllaststunden in 100 Meter Höhe über Grund

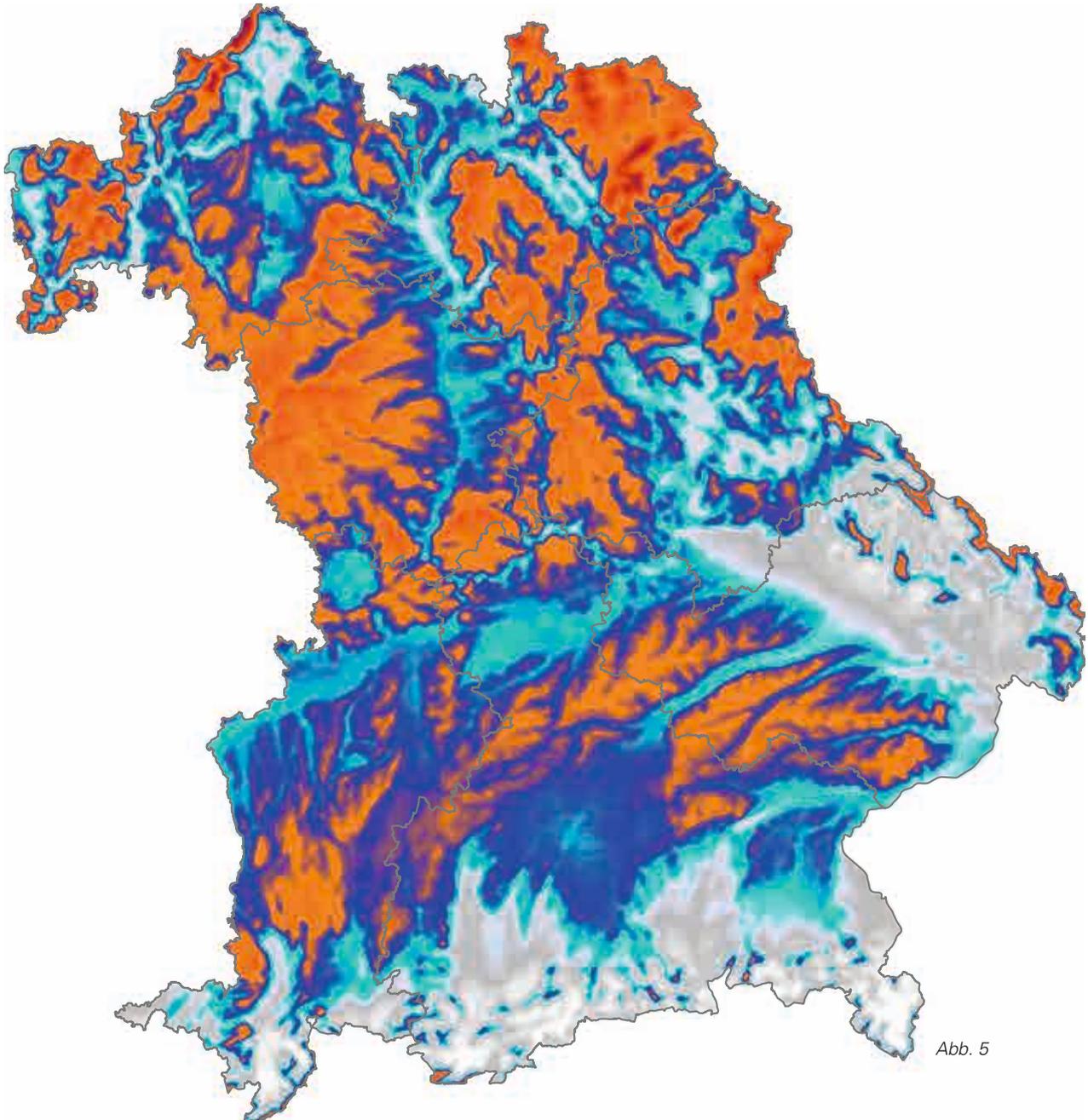


Volllaststunden pro Jahr:

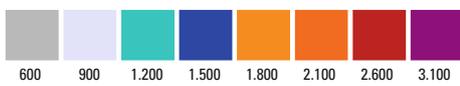


# ANHANG

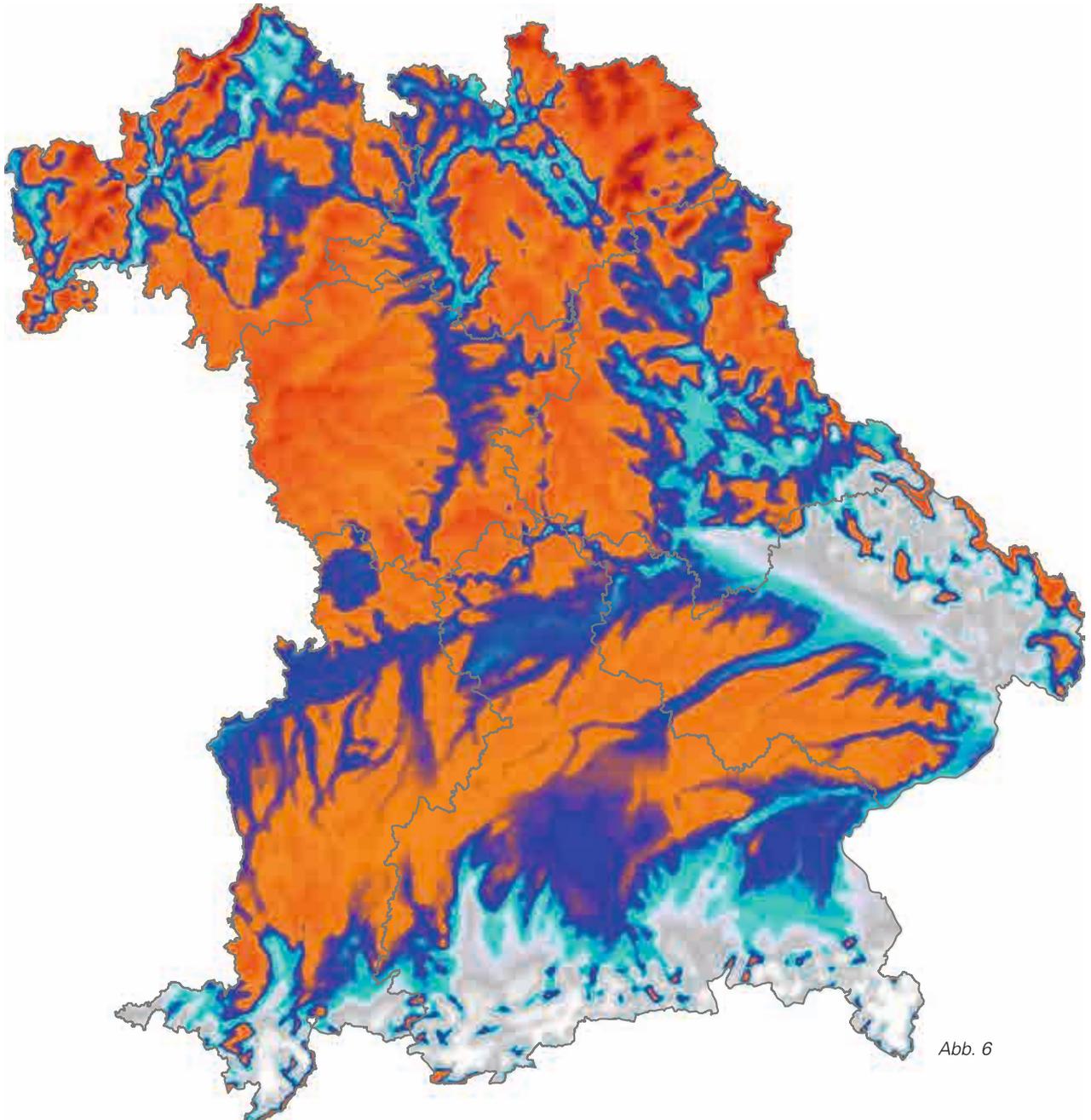
## Volllaststunden in 130 Meter Höhe über Grund



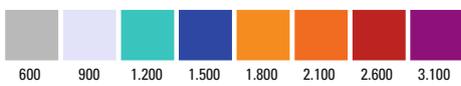
Volllaststunden pro Jahr:



## Volllaststunden in 160 Meter Höhe über Grund



Volllaststunden pro Jahr:



# ANHANG

## Referenzertrag in 100 Meter Höhe

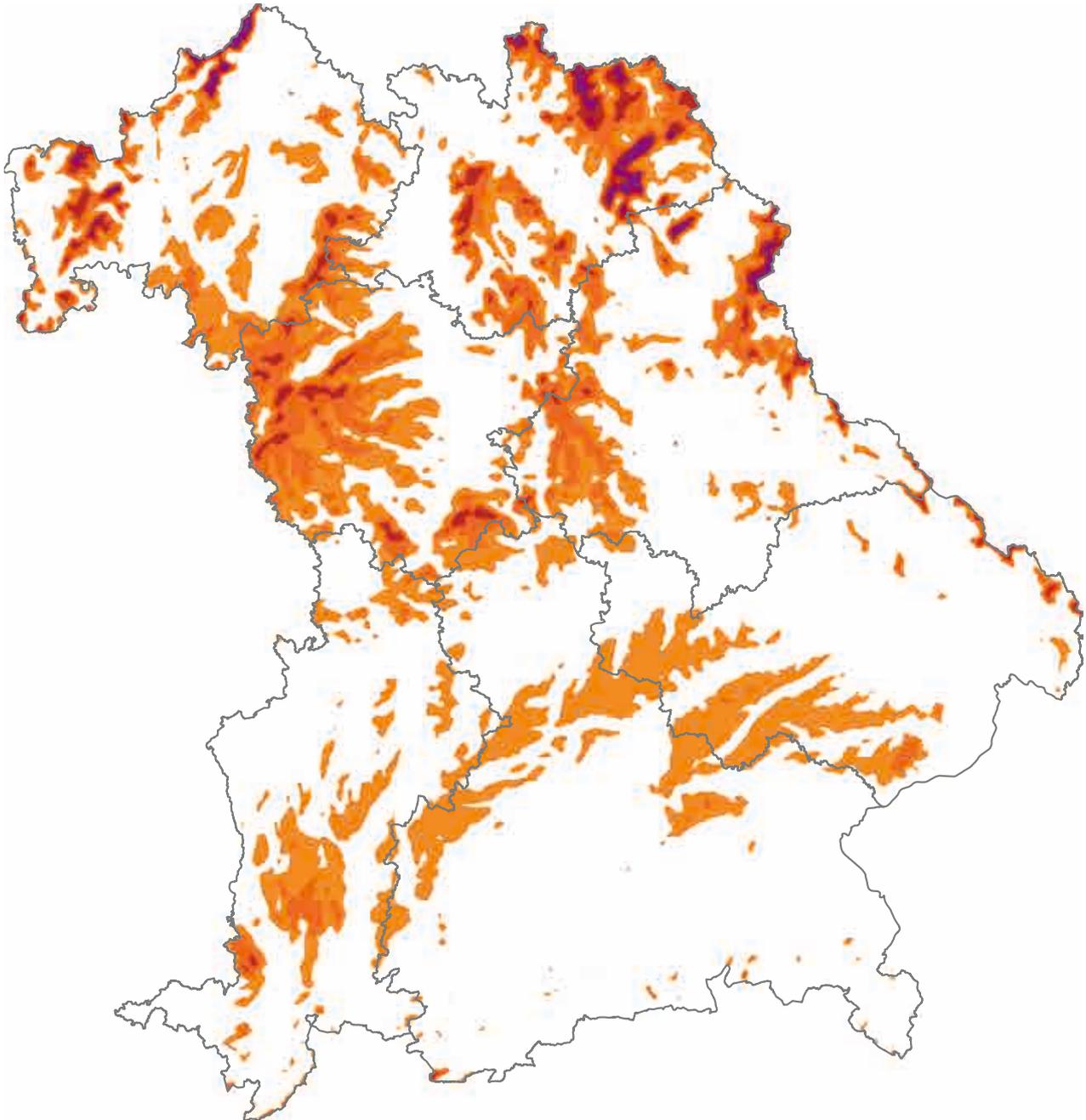
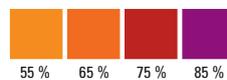


Abb. 7:  
**Anteil am Referenzertrag in 100 Meter Höhe. Die Farben zeigen den Anteil in Prozent. Der Referenzertrag der Windkraftanlage mit Nabenhöhe von 100 Meter beträgt 5.063 Megawattstunden pro Jahr.**

Anteil am Referenzertrag:



## Referenzertrag in 130 Meter Höhe

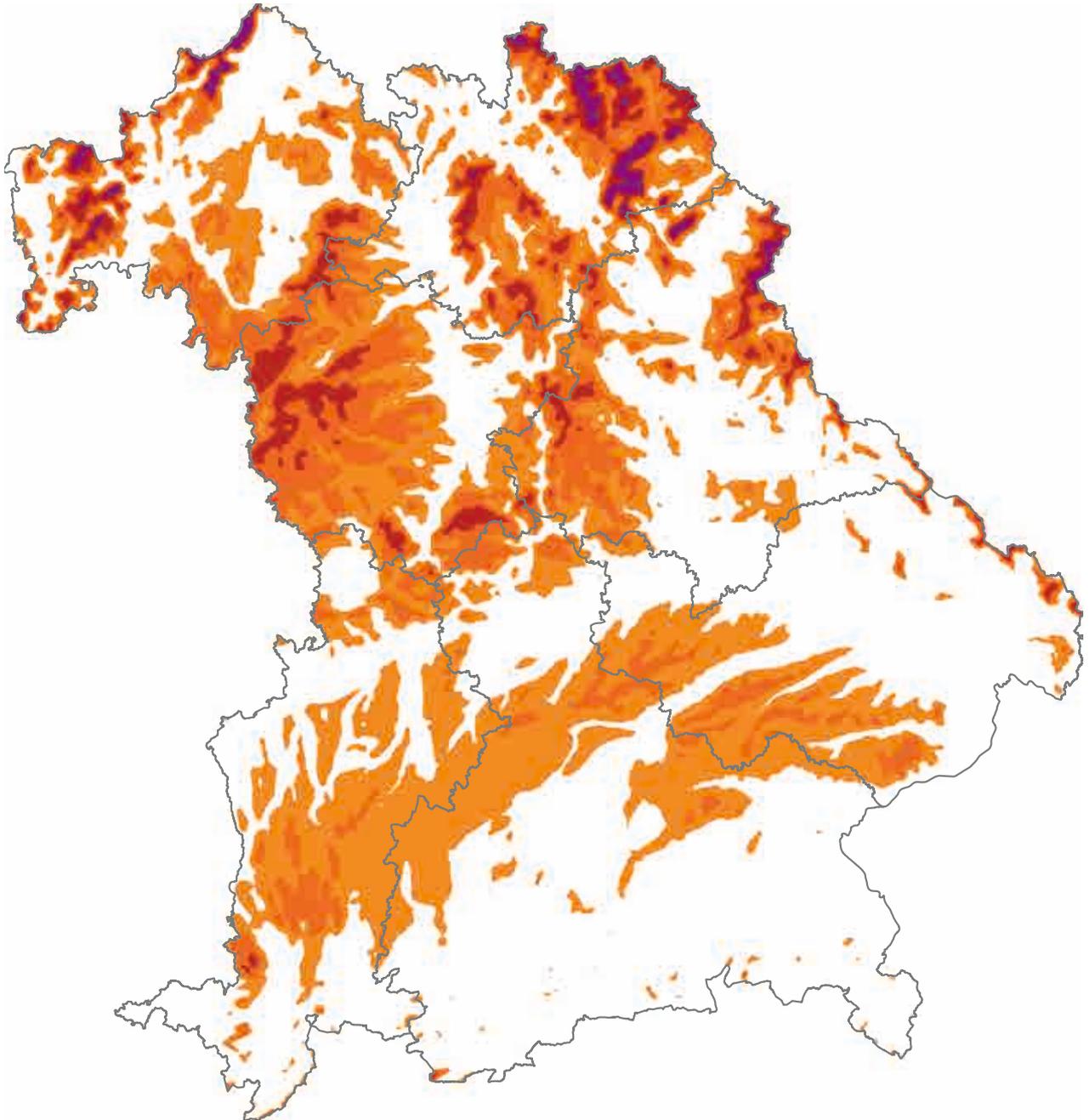
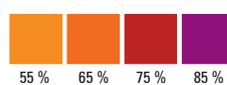


Abb. 8:

**Anteil am Referenzertrag in 130 Meter Höhe. Der Referenzertrag in Nabhöhe von 130 Meter beträgt 5.448 Megawattstunden pro Jahr.**

Anteil am Referenzertrag:



# ANHANG

## Referenzertrag in 160 Meter Höhe

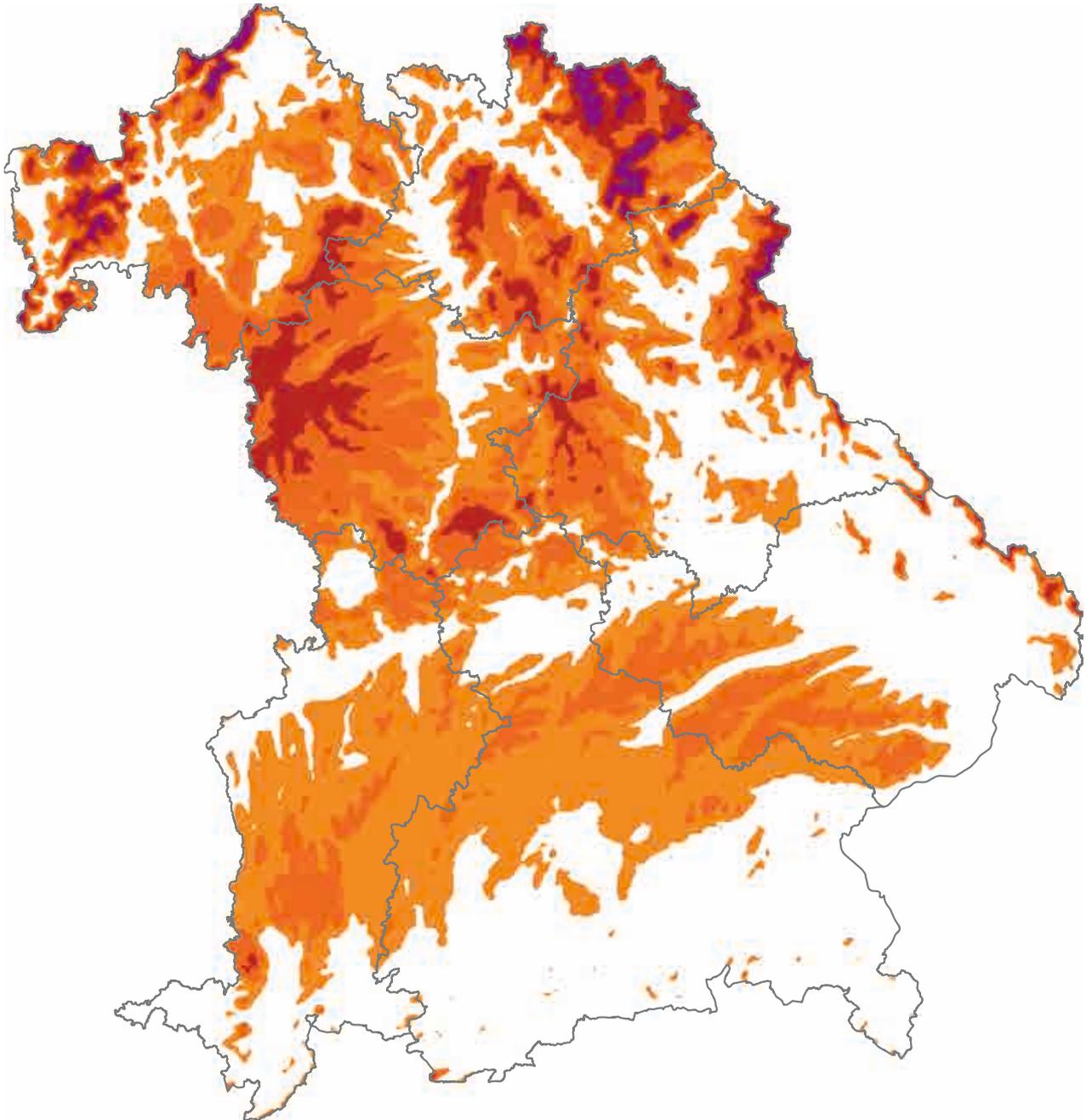
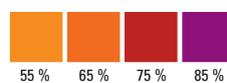


Abb. 9:

**Anteil am Referenzertrag in 160 Meter Höhe. Der Referenzertrag in Nabenhöhe von 160 Meter beträgt 5.752 Megawattstunden pro Jahr.**

Anteil am Referenzertrag:



# Bayern.

Die Zukunft.

Bayern. Die Zukunft. | [www.bayern-die-zukunft.de](http://www.bayern-die-zukunft.de)



**BAYERN | DIREKT** ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung.

Unter Telefon **089 122220** oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

---

## IMPRESSUM

Herausgeber: Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie  
Prinzregentenstraße 28 | 80538 München  
Postanschrift 80525 München  
Telefon 089 2162-2303 | 089 2162-0  
Telefax 089 2162-3326 | 089 2162-2760  
[info@stmwi.bayern.de](mailto:info@stmwi.bayern.de) | [poststelle@stmwi.bayern.de](mailto:poststelle@stmwi.bayern.de)  
[www.stmwi.bayern.de](http://www.stmwi.bayern.de)

Gestaltung: trio-group münchen

Bildnachweis: © shutterstock.com

Druck: Asterion Germany GmbH

Stand: März 2014



[www.stmwi.bayern.de](http://www.stmwi.bayern.de)  
Kosten abhängig vom  
Netzbetreiber

---

## HINWEIS

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.

Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben von parteipolitischen Informationen oder Werbemitteln. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Die Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit des Inhalts kann dessen ungeachtet nicht übernommen werden.



Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie  
[www.stmwi.bayern.de](http://www.stmwi.bayern.de)