

Globale und lokale Windsysteme Zusammenfassung

1. Der Antrieb der globalen Windsysteme

Die globalen Windsysteme sind eine Folge der Sonneneinstrahlung auf die Erde und damit eine indirekte Form der Solarenergie. Durch die unterschiedlichen Einstrahlungswinkel wird die Erde am äquatorialen Gürtel stärker aufgeheizt als an den Erdpolen. Durch die Temperaturdifferenz entstehen Druckunterschiede, die sich durch Luftmassenzirkulation ausgleichen, indem erwärmte Luft in großer Höhe vom äquatorialen Gürtel in Richtung der Erdpole fließt, sich dort abkühlt und in Bodennähe zum Äquator zurückströmt. Diese Strömungen werden jedoch aufgrund der Erddrehung in westliche Richtung abgelenkt, so dass sich diese Zirkulationssysteme nur zwischen dem Äquator und den 30° Breitengraden sowie weniger energiereich zwischen den Erdpolen und den 60° Breitengraden ausprägen. In den mittleren Breiten kann kein stetiges Zirkulationssystem beobachtet werden. Hier kommt es zu einem un stetigen Ausgleich zwischen den energiereichen Zirkulationssystemen am Äquator und den energiearmen Zirkulationssystemen an den Polen, die als Hoch- und Tiefdruckgebiete unser Wettergeschehen in den mittleren Breiten beeinflussen. Da die Hoch- und Tiefdruckgebiete generell in östliche Richtung driften, Tiefdruckgebiete dabei stets gegen und Hochdruckgebiete mit dem Uhrzeigersinn umströmt werden, finden wir in den mittleren Breiten wechselnde Winde mit einem hohen Anteil aus westlicher Richtung vor.

2. Lokale Windsysteme

In ähnlicher Weise haben auch lokale Windsysteme ihre Ursache oft in Temperaturdifferenzen. See-Land-Windsysteme stellen sich in Küstennähe aufgrund der Temperaturdifferenzen zwischen Wasser- und Landmassen ein. Bei Sonneneinstrahlung heizen sich Landmassen schneller auf als Wassermassen, was ein Aufsteigen der über dem Land aufgeheizten Luftmassen und ein Nachströmen kälterer Luftmassen von See her auslöst. Nachts kehrt sich das See-Land-Windsystem um, da die Landmassen schneller wieder auskühlen, während die Wassermassen ihre Temperatur halten. Auch in Gebirgen können sich thermische Windsysteme ausbilden, wenn der Sonne zugewandte Hänge sich aufheizen. Durch die dadurch ausgelösten Hangwinde entstehen Tiefdruckbereiche, die durch ein Nachströmen von Luftmassen durch die Täler ausgeglichen werden.

3. Einflussfaktoren des Standortes

Neben Temperaturdifferenzen sind auch die orografischen Verhältnisse am Standort, also die Geländeform für die Windverhältnisse bedeutend. Diese Geländeeffekte kommen durch eine Verengung oder Erweiterung des Strömungsquerschnittes zustande. Muss eine Luftmasse beispielsweise einen Hügelkamm überströmen, so wird die Strömung hangaufwärts auf einen kleineren Strömungsquerschnitt zusammengestaucht. Da dennoch die gleiche Luftmasse strömen muss, erhöht sich hierdurch die Strömungsgeschwindigkeit. Ähnliche Effekte treten in verstärkter Form dort auf, wo Geländeformationen wie beispielsweise Hochtäler sich derartig verengen, dass ein Düseneffekt zustande kommt. Aufgrund der geschilderten Berg-Tal-Windsysteme überlagern sich orografische Effekte oftmals mit thermischen Windsystemen. Beispiele hierfür sind die äußerst ertragsstarken Canyon-Winde in Kalifornien oder der Mistral im Rhône-Tal. Bei zu großen Steigungen oder felsigen Geländeformationen kann die Strömung dem Geländeprofil oft nicht mehr folgen. In diesen Fällen

kommt es zu turbulenten Wirbelbildungen, die derartige Standorte für die Windenergienutzung problematisch machen. Im kleineren führen auch Hindernisse in direkter Standortumgebung zu einer Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit und zu turbulenter Wirbelbildung. Derartige Störungen können bis in dreifache Hindernishöhe und bis in Strömungsrichtung in eine Entfernung der zwanzigfachen Hindernishöhe reichen. Um die Windverhältnisse eines Standortes einschätzen zu können, ist es erforderlich, die geschilderten Faktoren von groß- zu kleinräumig abzu prüfen. An erster Stelle ist die großräumige geostrophische Hauptwindrichtung zu prüfen, danach eine eventuelle Überlagerung durch lokale thermische Windsysteme. Bei hügeligen Standorten muss ein positiver oder negativer Einfluss durch die Geländestruktur und Abschließend das Vorhandensein und der Einfluss von Hindernissen abgeschätzt werden.

4. Das Höhenprofil des Windes

Der ungestört strömende Wind in großer Höhe wird in Bodennähe durch die Rauigkeit des Geländes abgebremst. Vom Boden aus betrachtet kann somit eine Zunahme des Windes mit der Höhe beobachtet werden, die mit einem logarithmischen Höhenprofil zutreffend dargestellt werden kann. Dieses Höhenprofil ist standortspezifisch von der Geländerauhigkeit, also von Bewuchs, Bebauung usw. abhängig. An Standorten mit geringer Bodenrauhigkeit wie Wiesen- oder Ackerflächen nimmt die Windgeschwindigkeit zunächst sehr schnell zu, erreicht bereits in vergleichsweise geringer Höhe nahezu ihre volle Geschwindigkeit. An Standorten mit hoher Geländerauhigkeit erfolgt die Zunahme der Windgeschwindigkeit dagegen deutlich langsamer und die volle Geschwindigkeit wird erst in größerer Höhe erreicht. Vor allem an derartigen Standorten sollten WEA mit großen Nabhöhen eingesetzt werden. Zu Planungszwecken und für Ertragsprognosen kann die Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Bodenrauhigkeit mittels Formeln für verschiedene Höhen berechnet werden, wenn sie, z. B. durch eine Windmessung für eine bestimmte Höhe bekannt ist. Die Hauptfehlerquelle bei derartigen Umrechnungen besteht in der Einschätzung der Geländerauhigkeit. Außerdem gibt es Fälle, in denen die einfache Berechnung des Windprofils mittels der logarithmischen Höhenformel die tatsächlichen Gegebenheiten falsch einschätzt. Beispiele hierfür sind die Transformation von Winddaten aus geringer Höhe auf Anwendungshöhen von über 100 m, die Berechnung von Windprofilen über Waldflächen, über stark orografisch geprägtem Gelände oder über Wasserflächen. Hier müssen die vertikalen Windprofile durch Messung oder durch komplexe Strömungsmodelle ermittelt werden.

5. Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit

Um das Leistungspotential eines Standortes abschätzen zu können, ist die mittlere Windgeschwindigkeit nicht ausreichend, da die uns interessierende Leistung des Windes nicht linear sondern in dritter Potenz mit der Windgeschwindigkeit zunimmt. Aus diesem Grunde muss die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit für den Standort bekannt sein, bei der jeder Windgeschwindigkeit die Dauer in Stunden zugeordnet wird, in der sie vorkommt. Rechnerisch lassen sich Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit durch die sogenannte Weibull-Verteilung hinreichend exakt abbilden, deren Form von der Windgeschwindigkeit und einem standortspezifischen Formparameter abhängt.