Hochspannung und Windkraft

Mindestabstände zu Hochspannungs-Freileitungen realistischer bewerten

Beitrag als PDF auf www.energy20.net

Quelle: Fluid & Energy Engineering

Ein Windpark in der Nähe einer Hochspannungs-Freileitung.

Aufgrund knapper werdender Flächen für Windenergieanlagen schrumpfen die Abstände zu angrenzenden Bauwerken, insbesondere auch zu Freileitungen. Deren Leiterseile können durch eine periodische Ablösung von Luftwirbeln zu Schwingungen angeregt und geschädigt werden. Simulationen schaffen projektbezogen Planungssicherheit und vermeiden unnötige Kosten.

Thomas Hahm

Die Normen DIN EN 50341-3-4 zu Freileitungen über AC 45 kV [1] und DIN EN 50423-3-4 zu Freileitungen über AC 1 kV bis einschließlich 45 kV [2] legen die allgemeinen Anforderungen fest, die bei der Planung, Errichtung und Betrieb von Freileitungen erfüllt werden müssen.

Die Norm [1] fordert für Freileitungen über AC 45 kV einen horizontalen Mindestabstand zwischen Rotorblattspitze in ungünstigster Stellung und äußerstem ruhenden Leiterseil von einem Rotordurchmesser. Bis zu einem Abstand von drei Rotordurchmessern werden Schwingungsschutzmaßnahmen gefordert, wenn nicht sichergestellt ist, dass die Leiterseile außerhalb der Nachlaufströmung der Windenergieanlage liegen. Um diesen Nachweis führen zu können, muss die Ausdehnung des Bereiches der Nachlaufströmung bekannt sein, der einen schädigenden Einfluss ausübt.

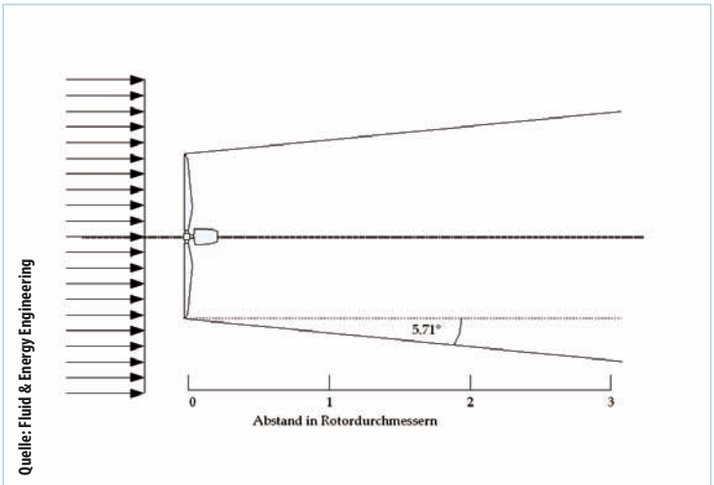
In der Norm [2] ist ein vereinfachtes Verfahren angegeben, mit dem die Ausdehnung des Nachlaufs abgeschätzt werden kann. Hier wird für die Nachlaufströmung ausgehend vom Rotor ein Kegelstumpf mit einer Steigung von 0.1 entsprechend einem Aufweitungswinkel von knapp 6° unterstellt. Das Verfahren entspricht den Vorschlägen einer vom Land Nordrhein-Westfalen sowie den Unternehmen RWE Energie, VEW Energie, NEG Micon Deutschland, Nordex Balcke-Dürr und Enercon geförderte Studie [3].

In [1] hat das Verfahren keinen Eingang gefunden, wird aber mangels Alternativen auch für Freileitungen über AC 45 kV angewendet, da gerade diese Freileitungen Höhen erreichen, die von Nachlaufströmungen moderner Windenergieanlagen betroffen sein können.

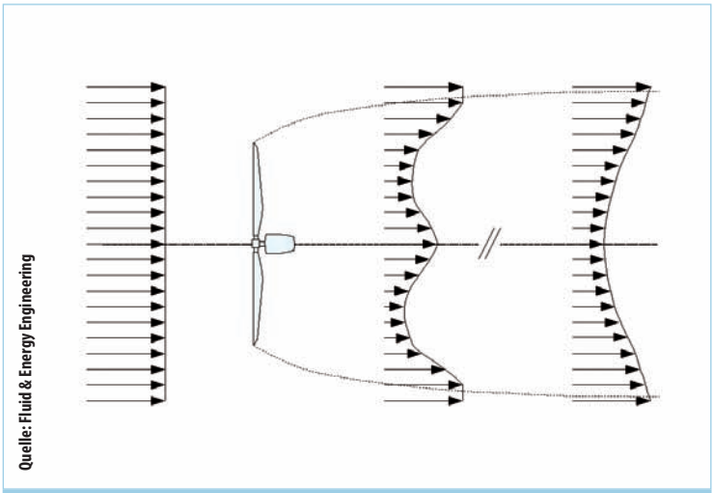
Wie weit reicht die Nachlaufströmung?

Die Nachlaufströmung entsteht dadurch, dass dem Wind Energie entzogen wird. Aus diesem Grund verringert sich die Windgeschwindigkeit direkt hinter dem Rotor spürbar. Parallel dazu steigt die Turbulenz deutlich. Eine Grenze zwischen ungestörter und gestörter Strömung lässt sich jedoch nur schwer definieren. Physikalisch gesehen ist die Annahme eines sich beständig erweiternden Nachlaufs unplausibel. Vielmehr wird das entstehende Windgeschwindigkeits-

Dr. Thomas Hahm
Geschäftsführer bei der Fluid & Energy Engineering in Hamburg
T +49/40/5554908/1
F +49/40/5554908/4
hahm@fluid2e.de



Einfaches Modell für die Aufweitung des Nachlaufs einer Windenergieanlage nach [2] beziehungsweise [3].



Nah- und Fernbereich der Nachlaufströmung einer Windenergieanlage. Im Fernbereich verschwinden die ausgeprägten Konturen; es entsteht ein weicher Verlauf.

defizit wieder aufgefüllt und die Störung löst sich auf. Um ein Kriterium für die relevante Ausdehnung der Nachlaufströmung angeben zu können, muss man mögliche Ursachen für Leiterseilanregungen genauer betrachten.

Angeströmte Leiterseile werden durch eine periodische Ablösung von Luftwirbeln zu erzwungenen Schwingungen angeregt. Die Ablösefrequenz von Wirbeln an feststehenden Zylindern ist allgemein proportional zur Windgeschwindigkeit und umgekehrt proportional zum Zylinderdurchmesser. Stimmt die Wirbelablösefrequenz mit einer Eigenfrequenz des Seils ungefähr überein, wird das Seil quer zum Wind zu Schwingungen angeregt, die wegen der damit verbundenen Biegewechselbeanspruchung vorwiegend an den Unterstützungen zu Bruchschäden der Seile führen können. Relevante Schwingungsamplituden in der Aufhängung der Leiterseile liegen nach [4] und [5] im Bereich bis 50 Hz. Ablösefrequenzen bis 50 Hz entstehen durch Windgeschwindigkeiten unterhalb von etwa 7 m/s.

Resonanz verstärkt geringe Anregekräfte

Für typische Bedingungen von Leiterseilen beträgt der Abstand der Eigenfrequenzen nur etwa 0.1 Hz [4]. Wegen der geringen Seil-Eigendämpfung und der dichten Folge von Eigenfrequenzen erfahren die an sich niedrigen Anregekräfte eine Resonanzüberhöhung, so dass Dämpfer zur Reduzierung der auftretenden Biegewechselbeanspruchung verschiedentlich eingesetzt werden [4], [5].

Da nur die geringen Windgeschwindigkeiten bis ca. 7 m/s zur Anregung führen und andererseits eine Windenergieanlage die Windgeschwindigkeit in ihrem Nachlauf reduziert, besteht die Möglichkeit, dass es durch benachbarte Anlagen aufgrund der häufiger auftretenden geringen Windgeschwindigkeiten zu einer erhöhten Schwingungsbelastung kommt. Diesem Ansatz folgt die bereits erwähnte Studie [3]. Bei der Ermittlung der Schädigungspotentiale wurden dabei folgende Annahmen getroffen:

- Das Seil befindet sich in der gesamten Länge des Spannfelds ständig im Einflussbereich der Nachlaufströmung.
- Als natürliche Turbulenzintensität wurden 10% und für deren Erhöhung im Nachlauf 5% unterstellt. Nach [3] wirken dabei hohe Turbulenzintensitäten dämpfend.
- Weiterhin werden die Leiterseile vom Kern der Nachlaufströmung getroffen und erfahren dabei eine gegenüber dem ungestörten Wind bis auf 40% reduzierte Anströmgeschwindigkeit.

Diese Werte sind als konservativ in Bezug auf ihr Schädigungspotential zu sehen, weil

- es bei einer typischen Spannfeldlänge von 350 m bis 400 m bei Hochspannungsleitungen (110 – 220 kV) nicht möglich ist, dass die Seile in ihrer gesamten Länge und ständig vom Nachlauf einer Windenergieanlage getroffen werden,
- unterhalb von 7 m/s Windgeschwindigkeit sowohl die Umgebungsturbulenzintensität als auch deren Erhöhung durch den Nachlauf größer als die unterstellten Werte sind. Im Bereich von 3 bis 7 m/s werden Windenergieanlagen für Umgebungsturbulenzintensitäten von 42.0 bis 24.9% ausgelegt. Dies kann als Obergrenze angesehen werden und entspricht in etwa der Größenordnung, die im direkten Nachlauf der Windenergieanlagen bei diesen Windgeschwindigkeiten erreicht wird.
- eine Erniedrigung der Windgeschwindigkeit auf 40% der ungestörten Strömung dicht am erreichbaren Grenzwert liegt.

Verbessertes Verständnis der Strömung

Seit Veröffentlichung von [3] im Jahr 1999 hat sich das Verständnis der Nachlaufströmung ständig erweitert. Eine gute Einführung in das Thema bietet die Darstellung der Aerodynamik der Nachlaufströmung in [8] aus dem Jahr 2003, die auf einer Auswertung von 269 Literaturstellen basiert.

Grundsätzlich unterscheidet man den Nahbereich der Nachlaufströmung, in dem die von den Blattspitzen generierte Turbulenz und das von der Windenergieanlage insgesamt erzeugte Windgeschwindigkeitsdefizit mit deutlichen Konturen präsent sind. Abhängig von der atmosphärischen Strömung geht dieser Nahbereich zwischen 3 bis 5 Rotordurchmesser Abstand hinter der Anlage in den Fernbereich der Nachlaufströmung über, in dem die vorhandenen scharfen Konturen verschwinden und in einen weichen, Verlauf übergehen (Abbildung oben rechts).

Definierte Bedingungen im Nahbereich

Interessant ist der Nahbereich der Nachlaufströmung, da nur hier – wenn überhaupt – die definierten Bedingungen erreicht werden können. Der Kern der Nachlaufströmung mit einer nennenswerten Reduzierung der Windgeschwindigkeit ist in diesem Bereich scharf abgegrenzt und kleiner als der Rotordurchmesser. Der ›

angenommene schädigungsrelevante Bereich der auf 40% reduzierten Anströmgeschwindigkeit muss daher deutlich kleiner sein als der in [2] und [3] definierte Kegelstumpf.

Eine genaue Verifizierung dieses Bereiches gestaltet sich schwierig. Geeignete Freifeldmessungen an realen Anlagen liegen nicht vor oder geben nur Ausschnitte wieder. Es sind daher verschiedene Nachlaufmodelle entwickelt worden (siehe zum Beispiel [8]). In den letzten Jahren haben sich zunehmend dreidimensionale Simulationen mit Hilfe von Computational Fluid Dynamics (CFD) etabliert, die bereits in stationären Berechnungen gute Übereinstimmungen mit Messergebnissen bezüglich des Windgeschwindigkeitsdefizits liefern (siehe zum Beispiel [9]).

Simulation bringt Klarheit

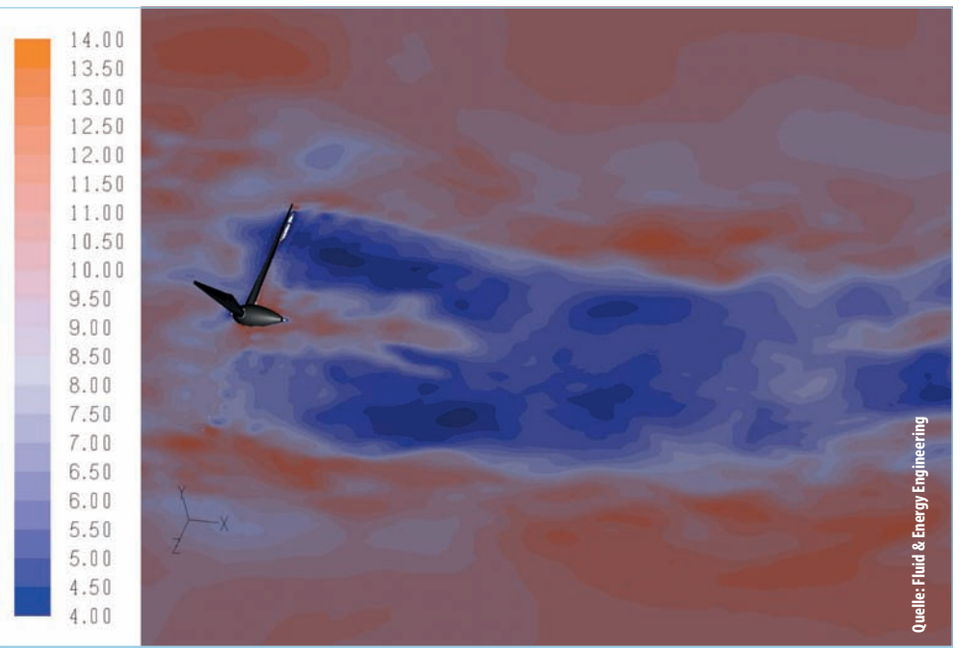
Es liegt daher nahe, den relevanten Einflussbereich einer Windenergieanlage bezüglich benachbarter Freileitungen durch eine dreidimensionale CFD-Simulation zu erfassen. In allen von uns bislang durchgeführten Untersuchungen dehnt sich der oben definierte Einflussbereich des Nachlaufs dabei nicht über die horizontal nach hinten verlängerte Rotorfläche hinaus aus und löst sich zum Ende des Nahbereichs auf. Im Einzelfall ist in sehr strukturiertem Gelände der Einfluss des Geländeprofils zu berücksichtigen.

Neuere Untersuchungen zeigen darüber hinaus noch ein weiteres wichtiges Detail der Nachlaufströmung [10]. Der Nachlauf mäandert (siehe Abbildung rechts oben). Daher zeigen die bislang aus Messungen bekannten Profile der Windgeschwindigkeit im Fernbereich des Nachlaufs eine Auffächerung, die aus der üblichen Mittelung über 10-Minuten-Messintervalle resultiert. Auf kleineren Zeitskalen ist der Nachlauf deutlich kleiner.

Die Messungen erfassen weiterhin aufgrund der konstanten Messhöhe nur die horizontale Auffächerung. In der Vertikalen ist das Mäandern zum Boden hin behindert, so dass sich die Erkenntnisse über die Ausdehnung des Nachlaufs, wie sie an Messmasten gewonnen werden, nicht direkt auf die vertikale Ebene übertragen lassen.

Neubewertung wünschenswert

Auf Basis dieser Erkenntnisse und den aus CFD-Berechnungen wie in [10] prinzipiell ableitbaren Detailergebnissen zum räumlichen und zeitlichen Verlauf der Nachlaufströmung ist eine Neubewertung der Ermüdung von Leiterseilen im Nachlauf von Windenergieanlagen wünschenswert. Bis dahin kann mit den erwähnten Simulationen im Einzelfall der Einflussbereich von Windenergieanlagen auf Freileitungen genauer bewertet werden. Damit erhalten sowohl Windparkplaner als auch Betreiber von Freileitungen eine erhöhte Planungssicherheit und vermeiden unnötige Kosten für die Installation von Dämpfern.



Simulation der mäandernden Nachlaufströmung (Isoflächen gleicher Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe) [10].

Fazit

Für Windenergieanlagen in der Nähe von Freileitungen werden im aktuellen Normenwerk Bedingungen festgelegt, die sicherstellen sollen, dass die Leiterseile nicht geschädigt werden. Diese resultieren aus einem konservativ definierten Schädigungsbereich der Nachlaufströmung hinter einer Windenergieanlage.

Mit modernen Simulationsmethoden und den sich ständig erweiternden Erkenntnissen über die Struktur des Nachlaufs lässt sich dieser Bereich projektbezogen eingrenzen. Damit werden unnötige Kosten für die Dämpfung von Freileitungsseilen vermieden und eine erhöhte Planungssicherheit für Windparks in der Nähe von Freileitungen gewonnen. ■

Literatur

[1] DIN EN 50341-3-4; Freileitungen über AC 45 kV, Teil 3: Nationale Normative Festlegungen, März 2002.
[2] DIN EN 50423-3-4; Freileitungen über AC 1 kV bis einschließlich 45 kV – Teil 3-4: Nationale Normative Festlegungen, Mai 2005.
[3] Degener, T.; Kießling, F.; Tzschoppe, J.; Mindestabstand zwischen Windenergieanlagen und Freileitungen; Elektrizitätswirtschaft Jg. 98 (1999), Heft 7, Seite 32-35.
[4] P. Hagedorn : Leiterseilschwingungen in Theorie und Praxis – ein Überblick. etz-Report 26, VDE-Verlag, Berlin, Offenbach (1990).
[5] W. Philipps : Seilschwingungen bei Freileitungen Elektrizitätswirtschaft Jg. 67 (1968), Heft 11, S. 279 ff.
[6] T. Drews : Probleme der winderregten Seilschwingungen in den USA. Elektrizitätswirtschaft Jg. 67 (1968) Heft 11, S. 291 ff.
[7] W. Bückner, W. Philipps : Die mechanische Bemessung der Freileitungsseile, Elektrizitätswirtschaft Jg. 69 (1970), Heft 26, S. 686 ff.
[8] L.J. Vermeer, J.N. Sørensen, A. Crespo; Wind turbine wake aerodynamics; Progress in Aerospace Sciences 39, pp. 467-510, 2003.
[9] Th. Hahm, J. Kröning; Modellierung der Nachlaufströmung einer Windenergieanlage; Fluent Anwenderkonferenz 2001; Bingen, 17.]18. Sept. 2001.
[10] St. Wußow, L. Sitzki, Th. Hahm; 3D-simulation of the turbulent wake behind a wind turbine; The Science of Making Torque from Wind, Journal of Physics: Conference Series 75 (2007) 012033.

Weiterführende Infos auf www.energy20.net
more @ click E2048600