



Durch

Gleitschirmfliegen in der unmittelbaren Nähe von Windkraftanlagen klingt nach einem Himmelfahrtskommando. Die Vorstellung von den Flügeln geschreddert zu werden oder einen Waschgang im Lee der verwirbelten Luft zu absolvieren ist nichts für schwache Nerven. Aber was sind die tatsächlichen Auswirkungen im Lee einer Windkraftanlage? Welche Abstände sind für sicheren Flugbetrieb mit Gleitschirmen erforderlich und wie weit reicht ein Wirbelzopf bei welcher Windgeschwindigkeit?

Energiewende

Man kann es positiv oder negativ sehen. Während die einen die Unabhängigkeit von Atomkraft und Öl in den Mittelpunkt stellen, bemängeln andere die Verspargelung der Landschaft, Lärm und Ineffizienz. In den letzten Jahren wurden in Deutschland überall Windkraftanlagen errichtet. Zunächst vorwiegend im Norden, weil dort die Energieausbeute einen hohen Level erreicht. Inzwischen rücken die Anlagen mit wachsenden Dimensionen und Bauhöhen von bis zu 200 m immer weiter in Richtung Süden vor. Weit über 25.000 Anlagen erzeugen derzeit in ganz Deutschland regenerative Energie. Immer öfter muss der DHV Stellungnahmen zu erforderlichen Abständen von Windkraftanlagen zu Fluggeländen bei Planungsbehörden abgeben. Aktuell werden sehr große Anlagen im Südschwarzwald geplant und gebaut. Piloten und Vereine befürchten zum Teil eine massive Verschlechterung für den Flugsport. ►

den Wind

Windkraftanlagen und Gleitschirmfliegen

Text und Fotos: Björn Klaassen



Charlie Jöst mit der Kameradrohne

Die Videodokumentation wurde von Charlie Jöst erstellt. Sie ist in DHV TV unter www.dhv.de zu sehen.

Testpiloten waren Simon Winkler, Roland Börschel und Björn Klaassen. Der DHV dankt den beteiligten Vereinen für die Mitarbeit und Unterstützung:

- Drachenfliegerclub Böisingen
- Luftsportverein Alsfeld
- Gleitschirmverein Heuberg Baar
- Entenbergflieger Bad Laasphe
- Paragliding Nordwest.

Drei Probleme sind für den Flugsport von zentraler Bedeutung:

- Sicherheit (im Umfeld der Anlage durch drehende Flügel)
- Hinderniswirkung (Einschränkung des Flugraums)
- Turbulenzen (im Lee der Anlagen)

Geeignete Flächen für die Windkraftnutzung sind begrenzt. Die Auswahl richtet sich unter anderem nach der ausreichenden Windmenge und Windstärke (Windhöflichkeit), Abstand zu Wohngebieten, Naturschutz und Eigentumsver-

Beeindruckende Blattspitzenwirbel



FOTO: TOM MENZEL



Die Rauchkörper wurden mit einer 10 m langen Leine an einem Multicopter befestigt und im Lee der Windkraftanlage platziert.

hältnissen. In den Mittelgebirgen stehen die Anlagen immer auf Anhöhen, die gleichzeitig auch von uns Gleitschirm- und Drachenfliegern genutzt werden. Aufgrund der gesetzlichen Zulassungspflicht für Fluggelände in Deutschland mit einem Verwaltungsakt nach § 25 Luftverkehrsgesetz gibt es immerhin einen gewissen Bestandsschutz. Dies ist nicht unerheblich, wenn die Anlagen in der Nähe von Start- und Landeplätzen geplant werden. Für die Betreiber und Verpächter der Grundstücke geht es um viel Geld, da die Investition beträchtlich ist.

Untersuchungen

Anlagenbetreiber beschäftigen sich von Haus aus mit der Strömungsthematik. Die Abstände der Windräder innerhalb eines Windparks betragen aus Effizienzgründen untereinander mindestens den 3-4 fachen Rotordurchmesser. Eine Rolle spielen auch die Turbulenzen im Nachlauf der Anlagen verbunden mit der

Standsicherheit. Eine Studie der Universität Stuttgart aus dem Jahr 2014 untersuchte rechnerisch den Nachlaufeinfluss auf Segelflugzeuge. Ergebnis: In dem zylindrischen Leebereich in unmittelbarer Nähe zur Windkraftanlage erfolgen die Änderungen der Windgeschwindigkeiten abrupt. Mit zunehmendem Abstand zur Anlage sind die Windsprünge weniger stark. Der Durchflug eines Segelflugzeuges ist bei einem Abstand von mehr als 2 x Rotordurchmesser und ausreichender Geschwindigkeit rechnerisch unproblematisch. Eine kritische Anstellwinkeländerung sei bei diesem Abstand nicht zu erwarten.

Das Fraunhofer Institut (IWES) hat die Auswirkungen von UL-Flugzeugen im turbulenten Nachlauf von Windenergieanlagen im Jahr 2012 und 2014 untersucht. Gegenstand der Berechnungen ist der UL-Platz Boslar mit geplanten Windkraftanlagen im Platzrundenbereich. Die Anlagen sollen seitlich und in direkter Verlängerung des Flugplatzes in einer

Entfernung zwischen 400 m und 1.400 m errichtet werden. Das Institut berechnete mit Hilfe eines komplexen Gittermodells den Grad der Turbulenzen. Eine Gefährdung des Flugbetriebs sei nicht gegeben, wenn ein Mindestabstand von 2 x Rotordurchmesser eingehalten würde. Diese Aussage bezieht sich auf eine Windgeschwindigkeit bis max. 10,5 m/sec. Es wurde darauf hingewiesen, dass die aus den Modellrechnungen gewonnenen Aussagen nicht mit hundertprozentiger Sicherheit gelten können.

Die FH Aachen veröffentlichte im Dezember 2015 ein Gutachten zur Feststellung notwendiger Mindestabstände von Windenergieanlagen zu Flugbetriebsräumen an Flugplätzen. Aus den Untersuchungen wurden seitens der FH Aachen Abstandsregelungen hergeleitet. Die Empfehlungen stützen sich auf Berechnungen und Sicherheitszuschläge. Für Flächenflugzeuge und Gleitschirme wird ein Abstand von 7 x Rotordurchmesser als ausreichend festgestellt. Ein weiteres Ergebnis ist die Beeinflussung der Piloten durch dynamische Hindernisse (drehende Windräder).

Relevante Faktoren

Rechenmodelle aus der Turbulenzforschung sind wertvoll. Dennoch sind Theorie und Wirklichkeit von unterschiedlicher Natur. Aus den Studien zu-



FOTO: BETTINA MENSING

Testpilot Simon Winkler im Lee der Anlage bei Bösingern

sammengefasst sind folgende Eckpunkte relevant:

Beim Einflug in ein Windfeld direkt hinter einer Anlage nimmt die Windgeschwindigkeit je nach Umgebungswindstärke um ca. 20 - 35 % ab, da durch die vom Wind angetriebenen Flügel Energie entzogen wird. Es ist mit einem deutlichen Windgradienten zu rechnen.

Das Windfeld hinter einer Anlage ist annähernd zylindrisch wie eine Röhre aus-

geformt, die sich geringfügig aufweitet.

Die Flügel einer Anlage sind aerodynamisch ausgefeilt und für eine optimale Energieentnahme ausgelegt. Die Verwirbelungen sind nicht zu vergleichen mit einem angetriebenen Propeller eines Flugzeugs. Die Strömung hinter der Anlage erhält einen Drall. Zudem entwickeln sich an den Flügelenden bei Geschwindigkeiten von bis zu 70 m/sec deutliche Blattspitzen-turbulenzen, die in ►

Fragen an den Testpiloten Simon Winkler



1. Hast Du gewusst, was Dich im Lee erwartet?

Beim Anblick dieser Anlagen war mir schon etwas mulmig zu Mute. Bei bis zu 35 km/h Wind fliegt man auch nicht gerne hinter ein Hindernis. Kurz gesagt: Ich habe es mir ganz schön turbulent vorgestellt.

2. Gab es überraschende Reaktionen im Lee der Anlage?

Überraschend war die relativ geringe Intensität des Lees. Nur bei absolut passiven Flugverhalten kam es zu Einklappern. Es erinnerte ein bisschen an zerrissene Thermik.

3. Hat Dich das Ergebnis überrascht?

Ich war wirklich sehr verwundert, dass die Turbulenzen eher geringer

waren. Ich habe starke Verwirbelungen sehr nahe am Windkraftwerk erwartet. Tatsächlich war es erst etwa 200 Meter dahinter wirklich unruhig. Sehr nahe am Kraftwerk sowie weiter weg war es dagegen wieder ruhiger. Es gab sozusagen einen spürbaren Turbulenzbereich.

4. Wie war es in unmittelbarer Nähe der gigantischen Flügel?

Durch die bewegenden Flügel war es schwierig, den genauen Abstand einzuschätzen, dies machte mich schon ein bisschen nervös, nahe heran zu fliegen. Da hat's dann schon ordentlich gepfeiffen.

5. Auf was man als Pilot besonders achten?

Kommt man hinter ein Windkraftwerk, sollte man einfach Ruhe bewahren und den aktiven Flugstil wie bei turbulenter Thermik beibehalten. Meist wird es erst bei 100-200 m turbulent. Beim Landen sollte man sich auf ein großflächiges Sinken einstellen. Im besten Falle aber nicht zu nah heranfliegen.

einem Wirbel nach hinten versetzt ab-schwimmen. Die drehenden Flügel stellen ein dynamisches Hindernis dar. Aufgrund der Dimensionen ist eine realistische Abstandseinschätzung für einen Piloten schwierig zu realisieren.

Das Windfeld weist unterschiedlich große Turbulenzonen auf. Es ist nicht klar, wo die größten Turbulenzbereiche zu finden sind. Bei großen Anlagen mit einem Rotordurchmesser von ca. 120 m beträgt allein die Flügelfläche rund einen Hektar. Zum Teil treten bei mittlerer Nennlast stärkere Turbulenzen auf, als bei voller Nennlast.

Die Turbulenzen sind sehr stark von der Windgeschwindigkeit abhängig. Ab ca. 2 – 3 m/sec (10 km/h) Wind fangen sich die Flügel an zu drehen. Die effektivste Energieausbeute erreicht eine Anlage dann, wenn die Abströmgeschwindigkeit auf ca. 70 % der Anströmgeschwindigkeit verzögert wird. Sie liegt ungefähr bei ca. 10-12 m/sec (ca. 40 km/h).

Empirischer Ansatz und Testflüge

Als Versuchsobjekte dienten Anlagen mit einer Nabenhöhe von 70 bis 80 m auf dem Flugplatz Bösing (Baden-Württemberg) und in der Nähe des Flugplatzes Alsfeld (Hessen). In Bösing hatten

Verzögerter Nachlauf im Lee einer Anlage.

Die Windgeschwindigkeit ist um ca. 30% reduziert.

Quelle: Hannah Schimmels Institut für Aerodynamik, Universität Stuttgart

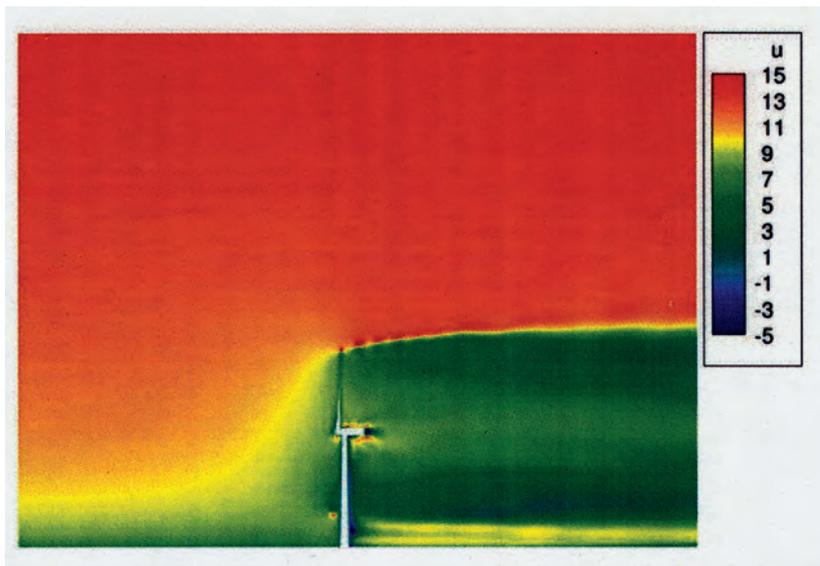


FOTO: TOM MENZEL



Blick vom Geschiebekopf des WKA nach unten mit dem positionierten Rauchkörper. Dahinter die abschwimmenden Wirbel.

wir Zugang in die Anlage (Messung der Windgeschwindigkeit am Getriebekopf). Die Entfernungen zur Anlage steckten wir mit Vermessungsstäben in 50 Meter Intervallen ab. Die Stäbe wurden gleichzeitig zur besseren Sichtbarkeit für die Piloten mit Warnwesten markiert.

Für die Visualisierung der Turbulenzen verwendeten wir Rauchkörper, die unterhalb eines leistungsstarken Multicopters mit einer 10 m langen Leine befestigt wurden. Anschließend steuerte der Drohnenpilot den qualmenden Rauchkörper in das Turbulenzfeld. Eine Kameradrohne filmte gleichzeitig die Szene, um die gefärbten Turbulenzen auf Video festzuhalten. Die Visualisierung verdeutlicht sehr anschaulich die Rotation der Blattspitzenwirbel.

In Bösing und Alsfeld starteten wir mit

Hilfe einer Seilwinde. Nach dem Ausklinken flogen die Testpiloten von oben in das Turbulenzfeld hinein. In Alsfeld wurde die Winde am Mast einer Anlage aufgestellt und die Piloten durch das turbulente Windfeld geschleppt. Insgesamt kamen drei Testpiloten zum Einsatz. Jeder Flug wurde unmittelbar im Detail dokumentiert. Erfasst wurden:

- Windgeschwindigkeit am Getriebekopf der Anlage
- Beschreibung des Fluges, bzw. der Störung
- Entfernung zur Anlage, bei der die Störung aufgetreten ist, bzw. der dichteste Vorbeiflug.

Mit 2 Flugtagen und einer begrenzten Fluganzahl handelt es sich um einen Versuch mit begrenzter statistischer Genauigkeit. Insgesamt wurden 23 Flüge bei unterschiedlichen Windbedingungen durchgeführt.

Was passiert im Rotorbereich?

Es liegt auf der Hand, dass die Windstärke von besonderer Bedeutung ist.

In unserem Fall stand der Wind weitgehend optimal und nahm im Tagesverlauf ohne thermischen Einfluss deutlich an Stärke zu. Somit erflogen wir am ersten Versuchstag in Bösing verschiedene Bedingungen zwischen 3,5 und 9,7 m/sec (12 – 35 km/h). Der zweite Versuchstag fand in Alsfeld in einem Windpark bei schwachen Windbedingungen zwischen 2,5 – 4,0 m/sec (9 – 14 km/h) statt.

Die mit dem Multicopter im turbulenten Windfeld platzierten Rauchkörper machten die Turbulenzen und den Drall für die Bodencrew und die Testpiloten sicht-

bar. Obwohl wir einen relativ großen Raucherzeuger verwendeten, verflüchtete sich die Verfärbung schneller als erwartet. Das Ergebnis war dennoch akzeptabel.

Die Gretchenfrage stellte sich nun beim Einflug in den Turbulenzbereich. Zunächst ist die Grenzschicht mit der Verringerung der Windgeschwindigkeit durch die Energieentnahme bei stärkerem Wind deutlich zu spüren. Es ist ähnlich wie beim Einflug ins Lee einer Baumreihe. In einer Entfernung von ca. 200 m (ca. 3 x Rotordurchmesser) bei ca. 5 m/sec (ca. 18 km/h) Windstärke klappte der Schirm 1 x deutlich ein. Bei noch stärkerem Wind mit grenzwertigen 9,7 m/sec (ca. 35 km/h) stellten wir bei allen Flügen starkes Sinken im Leebereich sowie vereinzelte Klapper fest. Auf einer Tiefe von bis zu 400 m (ca. 6 x Rotordurchmesser) erspürten wir abnehmend den Einflussbereich des turbulenten Windfeldes. Interessanterweise waren die Turbulenzen in unmittelbarer Nähe zur Anlage bei starkem Wind nicht zwangsläufig größer. Es zeigte sich, dass die Turbulenzen bei 3 x Rotordurchmesser zum Teil wahrnehmbarer waren.

Der Unterschied bei schwachem Wind ist deutlich und überrascht kaum. Bei Windgeschwindigkeiten zwischen 2,5 - 4 m/sec (9 - 14 km/h) flogen die Testpiloten sehr dicht an die sich drehenden Flügel. Die Turbulenzen waren kaum wahrnehmbar.

Entfernungseinschätzung

Durch die Bodenmarkierungen konnte die tatsächliche Entfernung zur Anlage in 50 m Schritten gut nachvollzogen werden. Aufgrund der mächtig großen Flügel liegt man bei der Entfernungsabschätzung tendenziell falsch. Ohnehin ist die Annäherung an eine Anlage mit einem Gleitschirm eine große mentale Herausforderung. Das Gefährdungspotential ist offensichtlich. Freiwillig wird kein Pilot von hinten durch das Lee anfliegen. Gleiches gilt für die Luvseite.

Positive Effekte

Es lassen sich auch positive Effekte von Windkraftanlagen beschreiben. Piloten berichten, dass die Anlagen Thermikan-



Windkraftanlage Böisingen

zeiger sein können (zum Beispiel wenn Windräder unterschiedlich ausgerichtet sind und sich dazwischen die Thermik ablöst). Einige Piloten berichten auch über Aufwind über den Anlagen und generell sind Windkraftanlagen immer überdimensionale Windrichtungsanzeiger, was insbesondere für Streckenpiloten interessant ist.

Was tun, wenn Anlagen geplant werden

Wenn Anlagen im Umfeld von Flugplätzen geplant werden, sollten Vereine am besten mit dem DHV Referat Flugbe-

trieb Kontakt aufnehmen, um eine gemeinsame und realistische Strategie zu entwickeln. Tipps gibt es unter www.dhv.de im Flugbetriebsbereich. Siehe auch DHV Info Nr. 195.

Zusammenfassung

Die Literaturrecherche und die durchgeführten Testflüge im Bereich von Windkraftanlagen ergeben ein zunehmend deutliches Bild von der Situation. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Der notwendige Sicherheitsabstand zu Windkraftanlagen ist abhängig von der Windgeschwindigkeit. Mit einem Abstand von 5 - 7 x Rotordurchmesser im Lee der Anlagen dürfte man sich auf sicherem Terrain befinden.

Dieser Abstand bezieht sich auf Flugbetrieb mit weniger als 7 m/sec (ca. 25 km/h) Windgeschwindigkeit. Je stärker der Wind, umso größer und stärker der Leebereich. Das Luftverkehrsgesetz schreibt einen ausreichenden Abstand zu Luftfahrthindernissen vor. Jeder Pilot muss letztlich im Flugbetrieb selbst einschätzen, welcher Sicherheitsabstand erforderlich ist. Seitlich, über und vor einer Anlage ist die Abdrift bei einer Störung stets einzukalkulieren. Bei starkem Wind ist die Abdrift logischerweise stets größer.

Sind Fluggelände von Anlagen betroffen, muss die Zulassungsstelle (DHV) die Eignung überprüfen. Gegebenenfalls muss der Flugbetrieb mit Auflagen eingeschränkt werden. ▽

Literaturquellen:

Untersuchung zum Nachlaufeffluss von Windenergieanlagen auf Segelflugzeuge. Diplomarbeit Hannah Schimmels, Institut für Aerodynamik und Gasdynamik der Universität Stuttgart | Jan. 2014

Böenbelastung von UL-Flugzeugen durch den turbulenten Nachlauf von Windenergieanlagen. Dr. Jonas Schmidt, Dr. Elia Daniele, Dr. Bernhard Stoesesandt, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) Okt. 2014

Windenergieanlagen in Flugplatznähe. Prof. Dr. -Ing. Frank Janser, aCIAS / FH Aachen / University of Applied Sciences, Dez. 2015