

REDUZIERUNG DER SCHALLABSTRAHLUNG VON WINDENERGIEANLAGEN - MEHR PLANUNGSSICHERHEIT ZUR EINHALTUNG DER IMMISSIONSRICHTWERTE

Klug, H., Gabriel, J., Osten, T.
Deutsches Windenergie-Institut, Ebertstraße 96, 26382 Wilhelmshaven
Tel.: 04421/480815/FAX: 04421/480843/E-Mail:h.klug@dewi.de

Zusammenfassung

Jeder Windparkbetreiber oder Finanzier eines Windparks strebt eine möglichst große Planungssicherheit an. Die erwarteten Energieerträge können jedoch nur erzielt werden, wenn die Annahmen in der Planungsphase beim späteren Betrieb des Windparks auch eingehalten werden. Bei der Planung spielen schon im Vorfeld die Schallimmissionsprognose und das Schattenwurfgutachten eine bedeutende Rolle. Während beim Schattenwurf davon ausgegangen werden kann, daß die von der Geometrie der Anlagen und von der Windparkkonfiguration bestimmten Abschattungszeiten berechenbar sind, treten bei der Schallimmissionsprognose zum Teil erhebliche Planungsunsicherheiten auf. Nach welchen Richtlinien ist der Anlagentyp akustisch vermessen? Wurden mehrere Anlagen des Typs vermessen, um eine Aussage über die Streuung der Schallemissionswerte zu bekommen? Bis zu welcher Windgeschwindigkeit wurde der Schalleistungspegel und die Tonhaltigkeit bestimmt? Wie können Schallemissionswerte vertraglich festgehalten werden, so daß eine ausreichende Planungssicherheit erreicht wird? Wie wird der Nachweis erbracht, daß Garantieleistungen eingehalten werden? Wie werden Meßunsicherheiten bei einer eventuell erforderlichen Nachmessung behandelt? Welche Methoden können an einer bestehenden Anlage angewandt werden, um gegebenenfalls die Schallabstrahlung zu reduzieren? Die Ergebnisse eines Forschungsprojektes zur Reduktion der Schallemission von Windenergieanlagen zeigen hierfür Ansätze auf.

1. Planungssicherheit

Um die Planungssicherheit im Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen zu erhöhen, wurden von dem Arbeitskreis „Geräusche von Windenergieanlagen“ der Immissionsschutzbehörden und Meßinstitute Empfehlungen herausgegeben.

Im Genehmigungsverfahren von Windenergieprojekten ist die Beachtung des Immissionsschutzes der Anlieger geboten. Zur Vermeidung von Nachbarschaftsklagen ist eine sorgfältige Begutachtung der zu erwartenden Schallimmission auf der Grundlage gesicherter Basisdaten angezeigt. Die Empfehlungen sollen Hinweise für Genehmigungsbehörden darstellen und Kriterien für die Prüfung eingereicherter Unterlagen an die Hand geben. Sie sollen helfen, daß Baugenehmigungen aus Sicht des Immissionsschutzes auf verlässlichen Grundlagen erteilt werden.

Kommt ein neuer Windenergieanlagentyp auf den Markt, wird in der Regel an einer (selten auch an mehreren Anlagen) dieses Typs eine Schallmessung durchgeführt. Es wird unter anderem der Schalleistungspegel der Anlage und die Tonhaltigkeit des Anlagengeräusches bestimmt. Die Planung von gesamten Windparks oder weiteren Einzelanlagen dieses Typs basieren dann oft auf dieser einzigen Messung. Um eine größtmögliche Planungssicherheit zu erzielen und Immissionsrichtwertüberschreitungen zu vermeiden, sind deshalb folgende Punkte zu beachten.

1.1 Schallmessungen

Die Bestimmung des Schalleistungspegels und der Tonhaltigkeit muß mit einer möglichst geringen Meßunsicherheit bestimmt werden. Dazu eignen sich für den Schalleistungspegel zunächst die IEA-Richtlinie (4. Acoustics, „Measurement of Noise Emission from Wind Turbines“, 3. Ausgabe, 1994) und der Entwurf DIN IEC 88/48/CDV (Windenergieanlagen, Teil 10: Schallmeßverfahren) und für die Tonhaltigkeit zusätzlich der Entwurf DIN 45681 (Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen). Vergleichsmessungen ergaben jedoch, daß nur zusätzliche Vereinheitlichungen der Meßmethode zu reproduzierbaren Ergebnissen und damit zu geringen Meßunsicherheiten führen. Bei der Bestimmung der Tonhaltigkeit muß über die Anforderungen der DIN 45681 hinaus die Auswertung der Tonhaltigkeit näher spezifiziert werden, da der DIN Entwurf wegen der besonderen Gegebenheiten an WEA keine ausreichend genaue Auswertung zuläßt. Dies zeigt sich insbesondere in der größeren Bandbreite von Einzeltönen, die z.B. durch Generatorschlupf oder durch variable Drehzahl hervorgerufen werden. Die Anforderungen an die Schallmessung und Auswertung sind in der Technischen Richtlinie zur Bestimmung der Leistungskurve, der Schallemissionswerte und der elektrischen Eigenschaften von Windenergieanlagen /1/, unter Mitwirkung des Arbeitskreises „Geräusche von Windenergieanlagen“ der Immissionsschutzbehörden und Meßinstitute, festgelegt. Nur wenn über mehrere Vermessungen von Anlagen eines Typs die Streuung der Schallkennwerte bekannt ist,

entsteht eine Planungssicherheit für den Bau von Windparks mit weiteren Anlagen dieses Typs

1.2 Schallimmissionsprognosen

Bei einer Schallimmissionsprognose wurde bisher in der Regel der Schalleistungspegel und die Tonhaltigkeit bei einer Windgeschwindigkeit von 8 m/s in 10 m Höhe zugrunde gelegt. Nach der letzten Revision der Technischen Richtlinie ist der Schalleistungspegel und die Tonhaltigkeit auch bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 m Höhe zu bestimmen. Nur so kann sichergestellt werden, daß bei hohen Windgeschwindigkeiten keine auffallenden Anlagengeräusche auftreten. Bei üblichen Nabenhöhen von 40 m bis 70 m liegt die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe dann bei etwa 13 bis 14 m/s, so daß bei den meisten Anlagen die Leistungsabgabe im Bereich der Nennleistung liegt. In kritischen Fällen sollte eine Fremdgeräuschmessung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit vorgenommen werden. Dies ist insbesondere dann gegeben, wenn bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 m Höhe der Immissionsrichtwert überschritten wird. Es muß dann sichergestellt sein, daß der L_{95} des windinduzierten Fremdgeräusches über dem Anlagengeräusch liegt und daß die Anlagen keine auffälligen Geräusche (Ton- oder Impulshaltigkeit) aufweisen. Liegt für den geplanten Anlagentyp keine Vermessung bis zu einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 m Höhe nach den Technischen Richtlinien vor, ist nach den Empfehlungen des Arbeitskreises eine Nachmessung nach Inbetriebnahme der Windenergieanlage erforderlich. Basiert die Planung auf einer einzigen Messung des Anlagentyps bei 10 m/s in 10 m Höhe nach den Technischen Richtlinien, sollte eine Nachmessung nur dann verlangt werden, wenn kein Planungsspielraum von 2 dB(A) bezogen auf die Immissionsrichtwerte der umliegenden Immissionspunkte vorhanden ist. Planer und Betreiber sollten sich deshalb vom Hersteller einen bzw. mehrere Meßbericht/e nach den Technischen Richtlinien für Ihre Planung aushändigen lassen, um sowohl die Planungssicherheit zu erhöhen, als auch eine Baugenehmigung ohne Auflage zur Nachmessung zu erhalten. Eine Schallimmissionsprognose nach neuesten Erkenntnissen entsprechend den Empfehlungen des Arbeitskreises führt zudem hoffentlich dazu, daß diese Erkenntnisse Eingang in die gängige Rechtsprechung finden, so daß es in Zukunft zu weniger kontroversen Gerichtsbeschlüssen im Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen kommt, die in jüngster Vergangenheit die Planungssicherheit auf ein Minimum sinken ließen.

2. Reduzierung der Schallabstrahlung

Zum Thema Schallreduktion werden einige Ergebnisse eines Forschungsprojektes und kommerziellen Messungen vorgestellt. Das Forschungsprojekt „Geräuschminderung bei Windenergieanlagen durch Modifikation der Blattspitze, der Blattoberkante und des Anstellwinkels“ wurde mit Mitteln des Bundesministers für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) unter Förderkennziffer 0329669 gefördert

2.1. Ziele des Projektes

In Zusammenarbeit mit Herstellern von Windenergieanlagen und Rotorblättern wurden die aus Windkanalmessungen und dem vom DEWI koordinierten EU Projekt JOU2-CT92-0233 **Aerodynamic Noise from Wind Turbines and Rotor Blade Modification** /3/ sowie aus /4/ gewonnenen Erkenntnisse an unterschiedlichen Windenergieanlagen umgesetzt. Die durch die Modifikation erzielte Geräuschminderung wurde zunächst im Windkanal und schließlich an realen Anlagen vor Ort gemessen. Dabei wurden konventionelle Blattspitzen- und Hinterkantengeometrien modifiziert und direkte Vergleichsmessungen vorgenommen. Es wurde jeweils auf die anlagenspezifischen Anforderungen bzw. Möglichkeiten (z.B. pitch-reguliert, stall-reguliert) einer WKA eingegangen. Da es sich um sehr unterschiedliche Anlagenkonzepte handelt, lassen sich aus den Ergebnissen des Projektes allgemeine Aussagen über Geräuschminderungsmaßnahmen an Windenergieanlagen ableiten, die allen Herstellern zugute kommen.

2.2 Blattspitzengeräusch

Zunächst wurden von DEWI zusammen mit dem Projektpartner ITAP aus Oldenburg 2D-Vorgaben über zwei modifizierte Blattspitzen an einer TACKE TW600 gemacht. Die modifizierten Blattspitzen wurden im Akustik-Windkanal mit den Originalblattspitzen verglichen. Die akustisch optimierte Blattspitze wurde an einer Anlage in der Nähe von Emden angebracht und vom DEWI bei zwei verschiedenen Blatteinstellwinkeln vermessen. Danach wurde die Anlage mit der Originalblattspitze ausgerüstet und vom DEWI noch einmal akustisch vermessen. Die Ergebnisse zeigt Tab. 1.

Blattspitze / Blatteinstellwinkel	Schalleistungspegel bei $v_{10} = 8$ m/s
Serienblattspitze / -1.65°	99.3 dB(A)
Modifizierte Blattspitze / -1.65°	98.6 dB(A)
Modifizierte Blattspitze / -0.75°	97.5 dB(A)

Tab. 1: Bei unterschiedlichen Modifikationen gemessenen Schalleistungspegel

Durch die Modifikation wurde erstmals bei einer 600KW Anlage der Schalleistungspegel von 98 dB(A) unterschritten. Obwohl inzwischen bei den meisten Rotorblättern die in dem EU- und dem BMBF-Forschungsprojekt identifizierten „lauten“ Blattspitzengeometrien durch akustisch optimierte ersetzt wurden, besteht im Einzelfall, da bisher kein verifiziertes Rechenmodell für Blattspitzenlärm zur Verfügung steht, weiterhin zuweilen akuter Handlungsbedarf. So konnte kürzlich durch geringfügige Modifikationen am äußersten Rand der Blattspitze im Anschluß an die Testphase im Akustik-Windkanal der Universität Oldenburg eine Vermessung vor Ort an einer Megawattanlage eine Reduktion des Schalleistungspegels um 2.8 dB(A) nachweisen.

2.3 Modifizierter Blatteinstellwinkel:

Die Ventis V12, an der die Messungen durchgeführt wurden, ist ein zweiflügeliger, pitch geregelter Luvläufer mit einer Nennleistung von 500 kW. Vorort wurde der Schalleistungspegel bei 7 unterschiedlichen Blatteinstellwinkeln und die Leistungskurve bei zwei unterschiedlichen Blatteinstellwinkeln vermessen. Um die unterschiedlichen Blattwinkel einzustellen, wurde jeweils der Steuerungsparameter für die Pitchwinklereinstellung verändert. Schallmessungen wurden für Blatteinstellwinkel – von -3° bis $+3^\circ$ durchgeführt. Ein Wert von $+90^\circ$ entspricht der Fahnenstellung. Die Änderungen der Blattwinklereinstellungen bewirkten deutliche Veränderungen des von der Windenergieanlage abgestrahlten Geräusches. Die Pegelverringerung bei Vergrößerung des Blatteinstellwinkels kann mit der durch den verringerten Anströmwinkel abnehmen-

den turbulenten Grenzschichtdicke erklärt werden. Da bei einer Einstellung von $+3^\circ$ ein leicht ansteigender Schalleistungspegel zu verzeichnen ist, erscheinen für Geräuschminderungsmaßnahmen Blatteinstellwinkel von $+1^\circ$ bis $+2^\circ$ als am vorteilhaftesten. Die Änderung des Blatteinstellwinkels veränderte auch deutlich die spektrale Charakteristik des Anlagengeräusches. Während bei Änderungen auf niedrige Pitchwinkel (größerer Anströmwinkel) die Zunahme eines eher breitbandigen aerodynamischen Geräusches zu verzeichnen ist, führen Winkel von $+2^\circ$ und $+3^\circ$ (kleiner Anströmwinkel) zu einem schmalbandigen Laminarabläsegeräusch im Frequenzbereich von 2 bis 3 kHz.

Parallel zu den Schallmessungen wurden für zwei Pitchwinklereinstellungen Messungen der Leistungskurven durchgeführt. Da jede Leistungskurvevermessung mit erheblichem Aufwand verbunden ist, dienen Leistungskurvenberechnungen im Vorfeld zur Orientierung und Entscheidungshilfe bei der Auswahl der zu vermessenden Einstellungen. Die Leistungskurven ermöglichen eine Quantifizierung der Energieertragsverluste bei Geräuschminderungsmaßnahmen und somit eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit. Zur Berechnung der Leistungskurven wurde das Programm PROPCODE verwendet, das nach Eingabe der Profil- und Rotordaten die Rotorleistung ermittelt.

In *Abb. 1* sind die Schalleistungspegel in Abhängigkeit von dem Blatteinstellwinkel zusammen mit den relativen Jahresenergieerträgen (AEP) dargestellt. AEP = 100% entspricht dabei dem Jahresenergieertrag bei der Standard-Blattwinkel-Einstellung von 0° .

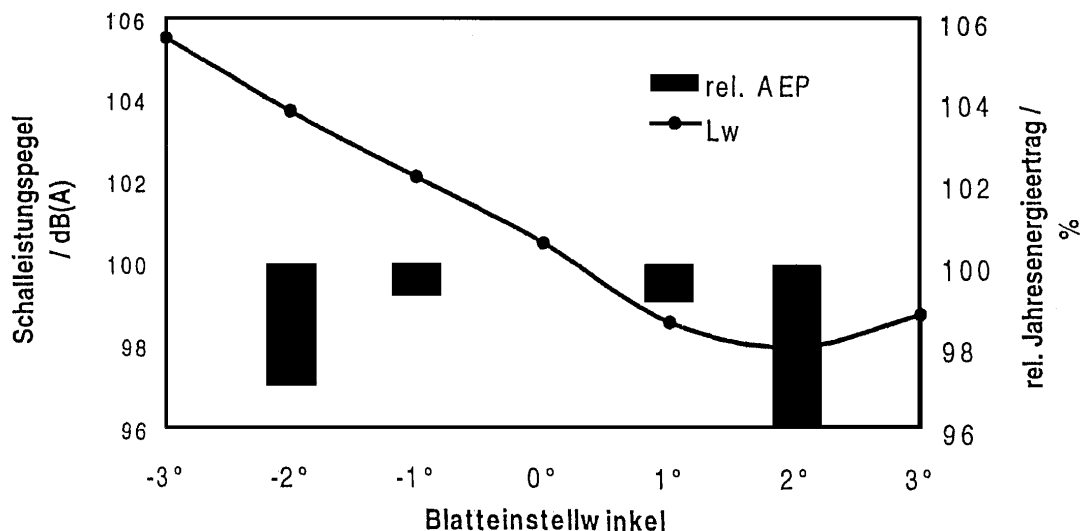


Abb. 1: Gemessene Schalleistungspegel und errechnete Jahresenergieerträge (AEP)

Bei der Abwägung zwischen Geräuschminderung und Energieertragseinbuße schneidet die Blattwinklereinstellung von $+1^\circ$ am günstigsten ab. Auf der Basis der gemessenen Schalleistungspegel und

berechneten Energieerträge ergibt sich ein Verhältnis von 1.9 dB(A) Geräuschminderung zu ca. 1% Ertragsverlust.

3 Zusammenfassung

Die vom Arbeitskreis „Geräusche von Windenergieanlagen“ herausgegebenen Empfehlungen konkretisieren in Verbindung mit den „Technischen Richtlinien“ die Anforderungen an Schallmessungen und Schallimmissionsermittlungen.

Es hat sich gezeigt, daß bei vielen Windenergieanlagen deutliche Reduzierungen der Geräuschabstrahlung durch eine Veränderung der Blattspitzenform erzielt werden können. Eine zusätzliche Verwindung der Blattspitze erweist sich im Windkanal bei hohen Windgeschwindigkeiten als günstig, kann jedoch bei niedrigen Windgeschwindigkeiten (kleiner oder sogar negativer Anströmwinkel) ein Laminarablösegeräusch erzeugen, was unter Umständen durch sog. "Trippen" (erzwungener Umschlag laminar => turbulent) vermieden werden kann.

Bei den Modifikationen der Hinterkante konnte der erhoffte Erfolg bei sägezahnförmigen Hinterkanten im Windkanal nicht nachgewiesen werden. Im Blattspitzenbereich dünne Hinterkanten (ca. 1mm) erweisen sich akustisch günstiger als dicke Hinterkanten (mehr als 2 mm), stellen jedoch ebenfalls hohe Anforderungen an die Produktion und die Handhabung der Rotorblätter.

Eine Modifikation des Blatteinstellwinkels hin zu niedrigeren Anströmwinkeln ergibt deutliche Schallpegelminderungen. Diese liegen in der Größenordnung von bis zu 2 dB(A) pro 1° Blattverstellung. Die Veränderung des Blattwinkels bewirkt allerdings auch eine Veränderung des Leistungsverhaltens. Bei Anlagen mit Blattverstellung (pitch-geregelte oder aktiv-stall-geregelte Anlagen) besteht jedoch die Möglichkeit, den Blattwinkel nur

während des Nachtzeitraumes (geringere Immissionsrichtwerte) zu verändern, so daß die Energieertragsverluste eventuell nur in der Größenordnung von 1% liegen. Um eine standortabhängige Optimierung „Schallabstrahlung gegenüber Energieertrag“ vornehmen zu können, müssen die den bestimmten Blattwinkeln entsprechenden Schalleistungspegel und Leistungskurven vermessen sein. Das gleiche gilt für Modifikationen des Drehzahlverhaltens bei drehzahlvariablen Anlagen

Literatur

- /1/ Technische Richtlinie zur Bestimmung der Leistungskurve, der Schallemissionswerte und der elektrischen Eigenschaften von Windenergieanlagen, Rev. 11, Stand 01.04.1998. Herausgeber: FGW, Fördergesellschaft für Windenergie e.V., Elbehafen, 25541 Brunsbüttel,
- /2/ Klug, Gabriel, Litzka, Betke, Wittwer, Schumacher, Seel, Petersen, Partmann, Kolbert: „Geräuschminderung bei Windenergieanlagen durch Modifikation der Blattspitze, der Blatthinterkante und des Anstellwinkels“ Abschlußbericht des BMBF-Forschungsvorhabens, Förderkennziffer 0329669, Brunsbüttel 1997
- /3/ Klug, Osten, Lowson, Jakobsen, Andersen, van der Borg, Vink, Betke, Schultz-von Glahn, Larsen, 'Aerodynamic Noise from Wind Turbines and Rotor Blade Modification', Final Report DEWI V-95 0006 (EU-Projekt JOU2-CT92-0233), Wilhelmshaven, 1995.
- /4/ H. Klug, 'Aerodynamic Noise from Wind Turbines and Rotor Blade Modification - Experimental Results', Forum Acusticum 1996, Acta Acustica, S.81.