

Ausnutzung der Richtcharakteristik zur Ertragssteigerung von Windenergieanlagen an vorbelasteten Standorten

Oliver Bunk, Rheine

Zusammenfassung Windenergieanlagen (WEA) sind in Deutschland weit verbreitet, da diese momentan bei den erneuerbaren Energien die wirtschaftlichste Lösung darstellen. Einerseits werden die Anlagen seitens der Hersteller in ihren Abmessungen immer größer und in ihrer elektrischen Nennleistung immer leistungsstärker. Andererseits werden gleichzeitig zweckmäßige und wirtschaftliche Standorte für einen sinnvollen Betrieb immer rarer. Dies führt in der Regel dazu, dass Windenergieanlagen oftmals in vorbelasteten Gebieten als Zusatzbelastung errichtet werden, da Neuausweisungen von Sondergebieten seltener werden. Für geringere Geräuschemissionen im Nachtzeitraum werden die Anlagen oftmals in einem abgeregelten Betriebsmodus gefahren, was einen Ertragsverlust bedeutet. Ein anderer Ansatz ist die Ausnutzung der von den WEA ausgehenden Richtcharakteristiken. WEA strahlen aufgrund der größeren wirksamen Fläche in Luv und Lee mehr Immissionen ab als quer zur Windrichtung. Per Emissionsmessungen wurde die Richtcharakteristik an fünf verschiedenen WEA-Modellen dreier Herstellern vermessen.

Utilisation of directivity pattern in order to increase the yield from wind turbine generators on sites already subject to noise pollution

Summary Wind turbine generators (WTGs) are widespread in Germany because they represent currently in renewable forms of energy the most commercially viable solution. Whereas, due to the efforts of the manufacturers WTGs are becoming ever larger in terms of their dimensions as well as increasingly more powerful in terms of their electrical power ratings, suitable commercial locations for practical operation are becoming increasingly hard to find. This generally leads to wind turbine generators often being erected in areas already subject to noise pollution by way of an additional encumbrance because of a decrease in the number of newly designated special areas. For reduced noise immissions between 22.00 hrs and 06.00 hrs, the turbines are required to run in a turned down operating mode. That means a loss of yield. A different approach is to make use of the directivity pattern emanating from the WTGs. WTGs, due to their larger effective area, generate more emissions on the windward and leeward sides than crosswise to the direction of the wind. Emission measurements were taken on five different WTG models from three manufacturers.

Im Rahmen einer von der KÖTTER Consulting Engineers GmbH betreuten Bachelorarbeit „Untersuchung der Richtcharakteristik verschiedener aktueller Windenergieanlagen“ [1] wurde die Richtcharakteristik, d. h. die Schallabstrahlung in verschiedene Richtungen um die Windenergieanlagen (WEA), untersucht. Bislang finden sich messtechnische Aussagen zur Richtcharakteristik nur in Untersuchungen des Landesumweltamtes Nordrhein-West-

falen aus dem Jahre 1988 [2] an einer zu diesem Zeitpunkt üblichen WEA (elektrische Nennleistung < 100 kW und Nabenhöhe < 30 m) (Bild 1).

Diese Messungen wurden aber an einer aus heutiger Sicht kleinen WEA durchgeführt. Somit stellt sich die Frage, ob die damaligen Untersuchungen auf die heutigen Anlagen übertragbar sind, da sich mittlerweile die Technik durch die Optimierung der WEA-Hersteller, insbesondere die Nabenhöhen, die installierte Leistung und die Rotordurchmesser erheblich geändert haben. Vor diesem Hintergrund wurde die Richtcharakteristik der Schallabstrahlung moderner Windenergieanlagen der 1,5-MW- und 2-MW-Klasse mit Nabenhöhen zwischen 63 und 114 m untersucht. Dabei wurden u. a. auch WEA mit Flügelauftriebsprofil bis zur Nabe berücksichtigt. Ziel der Bachelorarbeit war es, ein genaueres Modell der Abstrahlcharakteristik hoher Windkraftanlagen zu erstellen. Die Messwerte sollten nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet werden:

- Abweichung von dem am Referenzpunkt (in Mitwindsituation) ermittelten Schallleistungspegel in den gemessenen Sektoren bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten (anlagenspezifisch und im Durchschnitt aller Anlagen) und
- durchschnittliche Pegelabweichung der Anlagen bei maximaler Schalleistung.

Prinzipiell können an Windenergieanlagen zwei Arten von Schallquellen unterschieden werden: einerseits die aerodyna-

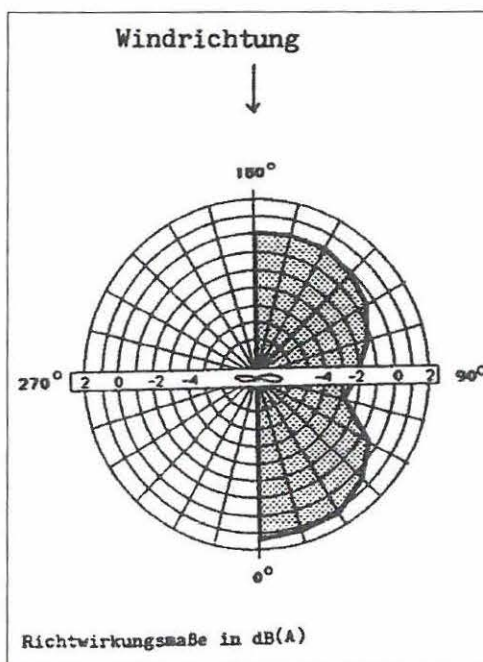


Bild 1 Ermittelte Richtwirkung an einer kleinen WEA aus [2].

mischen Schallquellen, hier also die Geräuschentwicklung der Interaktion der Luft mit dem Rotorblatt, und andererseits die mechanischen Schallquellen durch die rotierenden Bauteile des Antriebsstrangs. Aufgeteilt in die drei Hauptgruppen Rotor, Gondel und Turm ist bei einer herkömmlichen WEA ohne sonstige akustische Auffälligkeiten der Rotor der Hauptemittent. Dieses Geräusch wird in der Regel als breitbandiges Rauschen wahrgenommen und entsteht hauptsächlich durch die Rotorblattspitzen und -hinterkanten. Somit wird schnell klar, dass die höchsten Emissionen einer Windenergieanlage hinter dieser im Lee auftreten.

Dies ist auch die Messposition (Referenzmesspunkt), die bei Vermessungen von WEA gewählt wird. Nach den in Deutschland angewandten Richtlinien und Normen erfolgt eine Emissionsmessung entsprechend der technischen Richtlinie der Fördergesellschaft Windenergie [3], die wiederum der DIN 61400-11 [4] folgt. Hierbei wird ein Mikrofon in einem definierten Abstand R_0 aus Nabenhöhe plus halber Rotordurchmesser, also der Gesamthöhe der WEA, im Lee der WEA platziert. Der Messabstand für den Referenzmesspunkt darf am Messtag um $\pm 20\%$ variieren, um möglichen Fremdgeräuschen durch am Standort vorhandene Vegetation, z. B. Baum- oder Buschreihen, entgegenzuwirken. Ziel dieser Messungen ist die Ermittlung der Schalleistung der Anlage in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Dabei ist ein Windgeschwindigkeitsbereich von 6 bis 10 m/s in 10 m Höhe zu erfassen. Der von heutigen modernen WEA ausgehende maximale Schallleistungspegel liegt meist im Bereich von 95 % der Nennleistung, die abhängig von der Nabenhöhe überwiegend unterhalb von 10 m/s liegt. Gemäß der Norm muss sich das Mikrofon dabei mittig auf einer schallharten, also schallreflektierenden Platte mit mindestens 1 m Durchmesser waagrecht auf dem Boden mit Ausrichtung auf die Windenergieanlage befinden. Zur Verringerung der windbedingten Fremdgeräusche verwendet der Messaufbau einen primären Windschirm, bestehend aus einer offenporigen Schaumstoffhalbkugel mit 90 mm Durchmesser und einem größeren sekundären Windschirm, einer mit einem Nylontuch überspannte Halbkugel aus Draht. Bei der späteren Auswertung wird der experimentell bestimmte Einfluss auf den Frequenzgang mit berücksichtigt.

Um nun die Richtcharakteristik der jeweils vermessenen Windenergieanlage zu bestimmen, wurden weitere Messpunkte um die

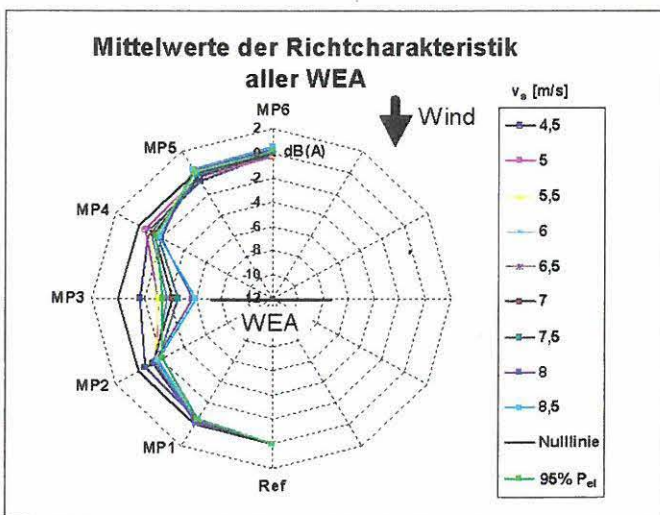


Bild 3 Richtcharakteristiken von hohen WEA in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit [1].

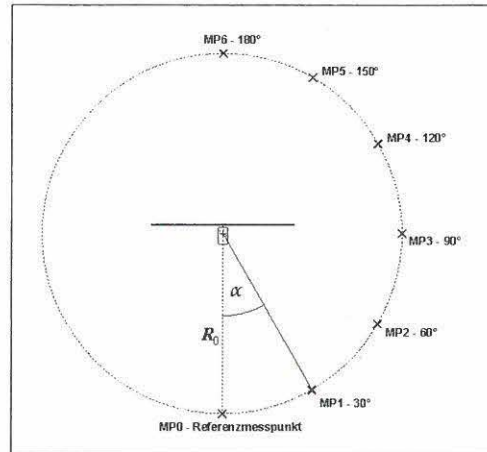


Bild 2 Verteilung und Bezeichnung der Messpunkte für die Emissionsmessung zur Ermittlung der Richtcharakteristik [1].

WEA verteilt. Zusätzlich zum Referenzmesspunkt MP0 wurden im Lee der WEA sechs weitere Messpunkte MP1 bis MP6 definiert, die auf einer Kreisbahn mit dem Abstand R_0 und in jeweils 30°-Schritten für den Winkel α aufgeteilt liegen (Bild 2).

Für alle Messpunkte werden parallel die Schalldruckpegel des Gesamtgeräuschs mit Anlage und des Hintergrundgeräuschs ohne WEA aufgenommen. Nach der Eliminierung von Fremdgeräuschen, die nicht der WEA zuzuordnen sind, z. B. Fahrzeuggeräusche, Fluglärm oder Tiergeräusche etc., lässt sich aus der Differenz der aufgenommenen Messdaten der Schalleistungspegel in der jeweiligen Messposition bestimmen. Zusätzlich wurden während der Messung parallel die Werte für die Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe, der Leistung der WEA, der Drehzahl des Rotors sowie die meteorologischen Daten wie Luftdruck und Temperatur aufgenommen. Aufgrund der Topografie und der vorhandenen Vegetation war es nicht an allen Standorten möglich, alle gewünschten sechs Messpunkte zu errichten. In diesen Fällen wurde mit einer verminderten Anzahl an Messpunkten gemessen.

Ein Vergleich aller vermessenen WEA zeigt eine Richtcharakteristik bei allen untersuchten WEA auf, deren höchster Einfluss im Bereich der Rotorebene zu sehen ist. Diese wird sogar umso ausgeprägter, je mehr die Windgeschwindigkeit ansteigt. So ergibt sich in Bezug auf den Referenzmesspunkt im Lee der WEA eine deutlich geringere Zunahme der Richtwirkung an den Messpunkten MP2 bis MP4. Erreicht die WEA ihre maximale Schalleistung, so ist der Pegel vor und hinter der WEA gleich und die Richtcharakteristik der Windenergieanlagen weist in Bezug auf die Rotorebene eine nahezu symmetrische Form auf. Des Weiteren fällt auf, dass sich auf den jeweils ersten 30° aus der Richtung der Anströmung des Winds heraus, d. h. an den Messpunkten MP1 und MP5, gegenüber der Messposition in Lee (MP0) und Luv (MP6) kaum ein Unterschied in der Schalleistung ergibt (Bild 3).

Zur Beurteilung der WEA wird in der Regel der maximale Schalleistungspegel einer Anlage herangezogen. Auf der Basis dieser Angaben werden dann über die für Genehmigungen notwendigen Schallimmissionsprognosen die Beurteilungspegel an den umliegenden betroffenen Immissionsorten bestimmt. Auch dieser Betriebspunkt wurde in den Auswertungen berücksichtigt und rückt dabei in den Fokus. Die arithmetische Mittelung aller Messdaten zeigt eine gleichmäßig verteilte Richtcharakteristik auf, die ihre höchste Reduzierung der Richtwirkung im MP3 mit 4 dB zeigt (Bild 4). Energetisch gesehen halbiert sich somit der Schalldruck. Auch der subjektive Höreindruck hat dies bei den Messungen vor Ort bestätigt, da die Pegeländerung deutlich wahrnehmbar ist.

Auf Grundlage der bis dato vorhandenen Erkenntnisse [2] wurde davon ausgegangen, dass Windenergieanlagen im Luv (MP6)

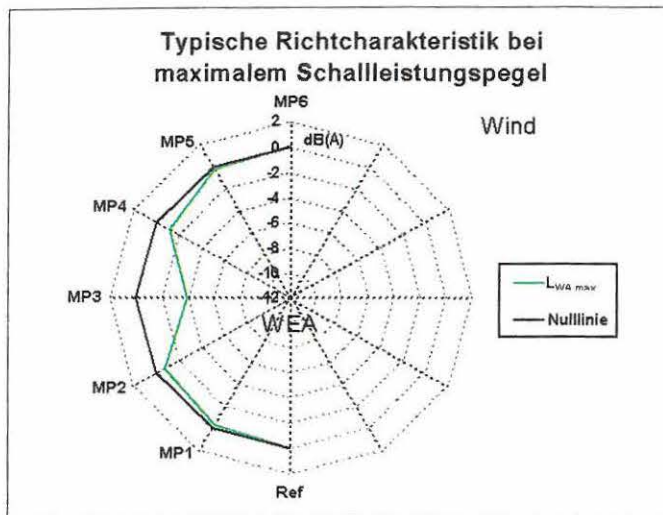


Bild 4 Aus allen Messdaten gemittelte Richtcharakteristik bei maximaler Leistung von hohen Windenergieanlagen [1].

einen niedrigeren Schalleistungspegel als im Lee (MP0) besitzen. Bis auf eine Messung weisen jedoch vor der WEA im Luv (MP6) alle Anlagen einen nahezu gleichen Schalleistungspegel wie im Lee (MP0) der WEA auf.

Zusätzlich wurden auch die Messunsicherheiten der aufgenommenen Messdaten untersucht. Messungen im Freifeld bedingen Fehler, die durch die Genauigkeit der verwendeten Geräte (hier Geräteklasse 1), der Anströmung des Windfelds und den damit verbundenen Schwankungen der Windgeschwindigkeit und der Böen sowie dem standortbedingten Einfluss des Hintergrundgeräuschs und letztendlich der korrekten Messposition einhergehen. Für die Messpunkte im Lee (MP0), im Luv (MP6) und der aus der Windrichtung um 30° versetzten Messpunkte hinter (MP1) und vor der WEA (MP5) ergaben sich gleiche Messunsicherheiten im üblichen Bereich zwischen 0,7 und 1,0 dB. Aufgrund der quer zur Windrichtung angeströmten Messpunkte MP2 bis MP4 ergab sich eine etwas höhere Messgenauigkeit. Selbst bei Addition der Schalldruckpegel und der Messgenauigkeit in der Messposition der Rotorebene ergibt sich ein deutlich geringerer Wert gegenüber dem Referenzmesspunkt.

Ausnutzung der Richtcharakteristik

Um die ermittelte Richtcharakteristik in die Berechnungen zur Schallausbreitung von Windenergieanlagen einzubinden, müssen folgende Überlegungen im Vorfeld gemacht werden:

- Welche Sektoren können mit welchem Öffnungswinkel genutzt werden?
- Welche Pegelreduktionen ergeben sich hieraus?
- Sind die Vermessungsergebnisse eines WEA-Typs auf gleiche WEA an anderen Standorten übertragbar?

Aus diesen Fragen wird schnell klar, dass eine pauschale Anwendung aufgrund der Frage zum Anwohnerschutz vor unzulässigen Immissionen nach dem Verursacherprinzip nicht in Frage kommt. Somit müssen für die einzelnen WEA per schalltechnischer Messung Daten erhoben werden.

Hinsichtlich der bislang durchgeführten Messungen lassen sich grundsätzlich zwei Dinge ableiten. Erstens sind die nutzbaren Sektoren der Leistungserhöhung immer nur quer zur Windrichtung nutzbar. Zweitens wird der Grad der Reduzierungen durch den Öffnungswinkel in der Rotorebene bestimmt. Je weiter der Öffnungswinkel gewählt wird, desto kleiner wird die zur Verfügung stehende Richtwirkung in der Rotorebene für den Nachtzeitraum. Ein größerer Öffnungswinkel ist zwar günstiger hinsichtlich eines möglichen größeren Nutzungswinkels, jedoch sind für den Sprung eines schallreduzierten Betriebs zu einer höheren Leistungsstufe oftmals Differenzen von 2 dB und mehr notwendig.

Es ist also entscheidend, welche Reduzierungen sich an welchem Messpunkt zum eigentlichen Schalleistungspegel im Lee der WEA ergeben haben, da diese die Randpunkte des Sektors ergeben (siehe **Bild 5** links). Da nur eine begrenzte Anzahl an Messpunkten vorherrscht, muss gegebenenfalls eine Mittelung zwischen zwei Messpunkten stattfinden (siehe **Bild 5** rechts). Die Mittelung zwischen zwei Messergebnissen ist zwar mit einer größeren Unsicherheit behaftet, diese lässt sich jedoch mit der Auswahl des geringeren der beiden ermittelten Werte wieder reduzieren. Des Weiteren ergeben sich beim Betrieb innerhalb des Sektors höhere Reduzierungen als an den Rändern des Sektors und somit auch eine zusätzliche Sicherheit hinsichtlich der gewählten Reduzierungen.

Bezüglich der Übertragung der Ergebnisse von gleichen WEA auf unterschiedliche Standorte lassen die gewonnenen Daten keinen eindeutigen Schluss zu. Bei der Durchführung der sieben Messun-

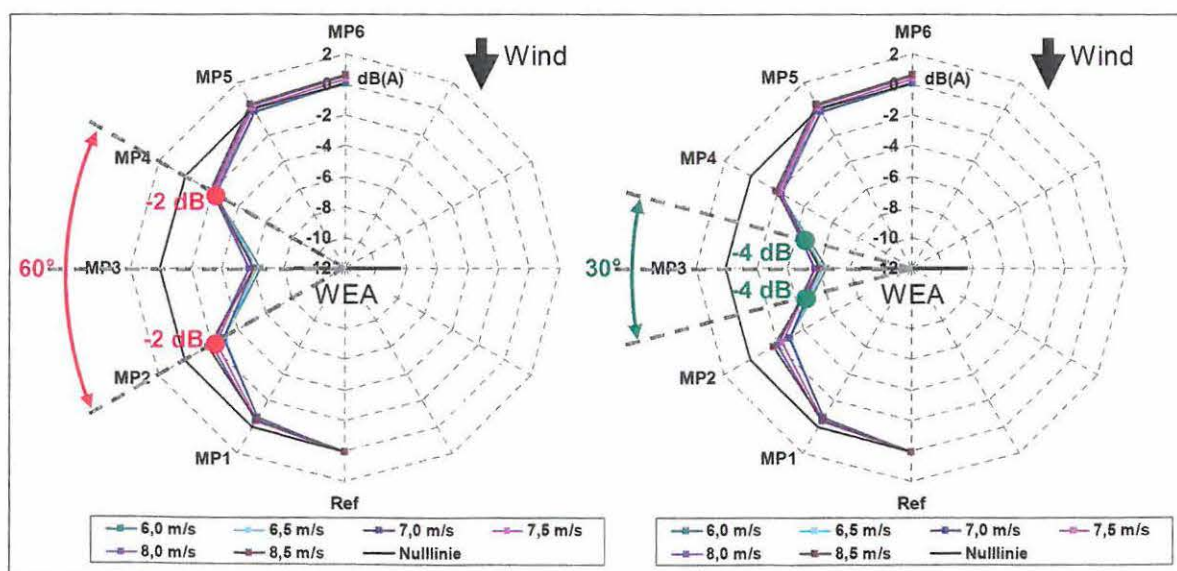


Bild 5 Beispiel zur Auswahl eines Öffnungswinkels anhand vermessener Daten zur Richtcharakteristik in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit [1].

gen an fünf verschiedenen WEA-Typen ergaben sich nur zwei „Messpaare“ mit dem gleichen WEA-Typ. Das erste „Messpaar“ desselben WEA-Typs weist jedoch mit den Nabenhöhen von 63 und 114 m sehr unterschiedliche Voraussetzungen bezüglich der Windverhältnisse und Anströmungen auf. Das zweite „Messpaar“ eines weiteren WEA-Typs besitzt zwar die gleiche Nabenhöhe, jedoch wurden die WEA mit sehr verschiedenen Betriebsmoden von 1 000 kW und dem offenen Betrieb mit 2 300 kW und somit auch sehr unterschiedlichen Betriebseinstellungen während der Messung gefahren. Beide Vergleiche zeigen untereinander Unterschiede bezüglich der gemessenen Werte auf. So ergeben sich in Abhängigkeit der Nabenhöhe zu höheren Nabenhöhen bei gleichem WEA-Typ und Betriebsmodus aufgrund der Windgeschwindigkeitsunterschiede geringere Reduktionen. Ebenfalls ergeben sich geringere Reduktionen bei Vermessung der schallreduzierten Betriebe gegenüber den offenen Betriebsmoden, was aber nicht weiter verwunderlich ist, da hier bei den üblichen drehzahlvariablen WEA oftmals Unterschiede in den maximalen Drehzahlen des jeweiligen Betriebsmodus vorherrschen.

Anwendungsbeispiel

Bei einer Ausbreitungsberechnung für Windenergieanlagen wird der „Worst case“ mit dem höchsten anzusetzenden Schallleistungspegel (inkl. oberer Vertrauensbereich) und einer gleichmäßigen konzentrischen Ausbreitung für jede einzelne Quelle angesetzt. Für die Anwendung der Richtcharakteristik einer Windenergieanlage am Standort kann nun in Abhängigkeit der Windrichtung sowohl von einem Windsektor, also der Mitwind- und Gegenwindsituation, als auch von einem Schallsektor in der jeweiligen Rotorebenenrichtung gesprochen werden. Beide Sektoren werden mit gleichem Öffnungswinkel festgelegt und stehen immer im rechten Winkel zueinander.

Eine Festlegung der Abhängigkeit von der Windrichtung für die Schallsektoren richtet sich nach dem nächstgelegenen Immissionsort, da die WEA hier die größten Teilpegel verursacht. Zunächst wird eine Winkelbeziehung zwischen dem Immissionsort und der WEA festgelegt. Gleichzeitig bedeutet dies im rechten Winkel dazu ebenfalls auch die Festlegung der beiden nutzbaren Windsektoren für eine Erhöhung der Leistung. Danach kann in Abhängigkeit der gewünschten Reduzierung in diesem Sektor anhand der zuvor beschriebenen Definition des Öffnungswinkels einer WEA die Sektorengreße festgelegt werden.

Die Überprüfung der Schallausbreitung erfolgt nun anhand zweier simpler Berechnungsschritte. Im ersten Berechnungsschritt werden die Beurteilungspegel an allen Immissionsorten auf der Basis des maximal möglichen Schallleistungspegel zur Einhaltung der Immissionsrichtwerte im Nachtzeitraum ermittelt. Anschließend werden in einem zweiten Schritt für die im Schallsektor liegenden Immissionsorte die aus den Öffnungswinkel bestimm-

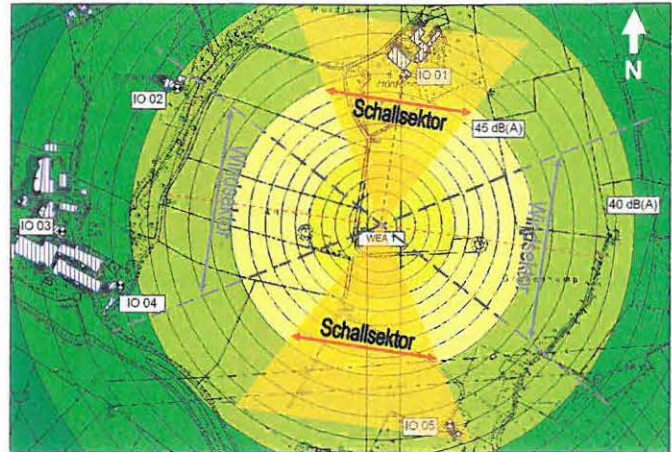


Bild 6 Beispiel einer Anwendung der Richtcharakteristik zur teilweisen Aufhebung eines schallreduzierten Betriebs für eine WEA.

ten Reduzierungen des Schalleistungspegels der WEA wieder abgezogen, um so der Richtcharakteristik genüge zu tun. Da ursprünglich der nächstgelegene Immissionsort, also das höchstbelastete Wohnhaus, gewählt wurde, kann in einem anschließenden iterativen Prozess die Leistung (und somit der Schalleistungspegel) soweit angehoben werden, bis eine Ausschöpfung des Immissionsrichtwerts eines entweder innerhalb oder außerhalb des Schallsektors gelegenen Immissionsorts erreicht wird.

In dem in **Bild 6** gezeigten Beispiel befinden sich der maßgebliche Immissionsort IO-01 im nördlichen und ein weiteres Wohnhaus IO-05 im südlichen Schallsektor. Die übrigen Immissionsorte IO-02 bis IO-04 befinden sich außerhalb der zu betrachtenden Schallsektoren und erfahren keine Reduzierung. Die angesetzte Reduzierung wurde im Schallsektor mit 2 dB angenommen und liegt somit verhältnismäßig niedrig. Da der Immissionsort IO-01 in diesem Beispiel der Immissionsort mit dem höchsten Pegel ist, durch den Schallsektor aber wieder reduziert wird, wird die maximale mögliche Erhöhung auf den nächstbelasteten Immissionsort ausgelegt. Dies ist jedoch in diesem Beispiel wieder der IO01 selber. Somit ist die Reduzierung durch die Richtcharakteristik gleichzeitig die mögliche Erhöhung der WEA (**Tabelle 1**).

Diese Vorgehensweise wird jedoch in Abhängigkeit von der am Standort befindlichen Anzahl der einzubindenden WEA ein zunehmend komplexer Prozess, da sich je WEA die Teilpegel der zu betrachtenden WEA mit jedem Schritt verändern, wie das Beispiel für zwei WEA aufzeigt.

Zu beachten ist hierbei, dass beide Anlagen während der Berechnung die gleiche Ausrichtung des Schallsektors besitzen. In dem in **Bild 7** gezeigten Beispiel richtet sich der Schallsektor nach der

Tabelle 1 Beispielberechnung der maximal möglichen Leistungserhöhung für eine WEA.

Immissionsort	Immissionsrichtwert	Gesamtpegel	Pegel mit Korrektur im Schallsektor	Maximal mögliche Erhöhung	Gesamtpegel inklusive Berücksichtigung Richtcharakteristik
–	in dB(A)	in dB(A)	in dB(A)	in dB	in dB(A)
IO-01	45	45,1	43,1	+ 2,3	45,4
IO-02	45	40,4	40,4		42,7
IO-03	45	36,9	36,9		39,2
IO-04	45	39,1	39,1		41,4
IO-05	45	42,2	40,2		42,5

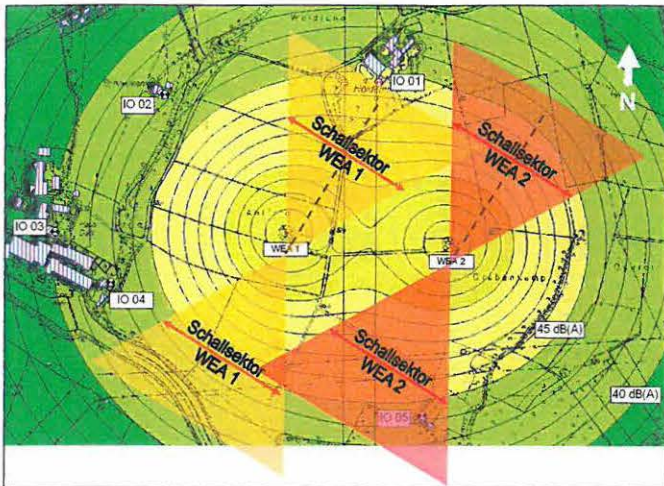


Bild 7 Beispiel einer Anwendung der Richtcharakteristik zur teilweisen Aufhebung eines schallreduzierten Betriebs für zwei WEA.

WEA 01, da der IO-01 der nächstgelegene Immissionsort zu den beiden WEA darstellt. In Bezug der WEA 02 auf den IO-05 ergeben sich wiederum andere Richtungen, die ebenfalls untersucht werden können, aber aufgrund der geringeren Teilpegel eine geringere Erhöhung ergeben (**Tabelle 2**).

Bei der Berechnung mit mehreren WEA ist zu überprüfen, ob die Erhöhung einer Einzelanlage um einen höheren Pegel nicht wirtschaftlicher darstellbar ist, als die gleichzeitige Erhöhung, z. B. beider WEA im hier gezeigten Fall. Je nach WEA-Typ reicht ggf. die errechnete Erhöhung von knapp 1 dB nicht für einen Betriebszustand mit einer höheren Leistungsstufe aus.

Fazit

Die schalltechnischen Messungen haben gezeigt, dass bei den aktuell modernen Windenergieanlagen mit hohen Nabenhöhen grundsätzlich eine Richtcharakteristik vorhanden ist. Die Richtwirkung in der Rotorebene (MP3) ist gegenüber den herkömmlich erhobenen Daten hinter der WEA deutlich geringer und ist von der Windgeschwindigkeit abhängig. Daraus kann wiederum geschlossen werden, dass sich mit dieser Methodik grundsätzlich die elektrische Leistung schallreduzierter betriebener Windenergieanlagen im Nachtzeitraum anheben lässt. Dafür müssen aber bestimmte Voraussetzungen am Standort erfüllt sein.

Bei schalltechnischen Vermessungen liegen in der Regel nur die Ergebnisse der Pegel hinter der WEA vor. Somit müssen die Pegel für die verschiedenen Richtungen um die WEA erst noch erhoben

werden. Dazu sind im Vorfeld ausführliche Planungen und Überlegungen notwendig, um am Messtag die notwendigen höheren Betriebszustände entsprechend nahe an der aktuellen Absenkung zu vermessen. Zudem haben die Vermessungen bei der jeweiligen Nennleistung der WEA zu erfolgen, was die Häufigkeit der Messmöglichkeiten hinsichtlich der Witterungsbedingungen einschränkt. Des Weiteren haben die bisherigen Messungen bislang unterschiedliche Reduzierungen der Schalleistungspegel in der Rotorebene gezeigt. Dies sollte individuell bei jeder WEA selber am Standort überprüft werden. Hier kann ggf. zur Minimierung des Messaufwands eine Reduzierung der Anzahl der Messpunkte auf MP 0 (Referenzmesspunkt) und den Positionen MP 2 bis MP 4 in der Rotorebene erfolgen. Allerdings ist dann von vornherein eine sehr starke Festlegung auf den Öffnungswinkel gegeben.

Ein weiterer beachtenswerter Punkt ist die am Standort einzubindende Anzahl der zu berücksichtigenden WEA. Je höher die Anzahl der einzubeziehenden Windenergieanlagen ist, desto geringer werden in der Regel die Teilpegel. Das bedeutet, dass eine Reduzierung einer einzelnen WEA bei vielen Teilpegeln keine große Wirkung im Gesamtpegel zeigt. Des Weiteren steigt auch mit jeder zusätzlich WEA der Rechenaufwand, da der Schallsektor der zu betrachtenden WEA jeweils auf die übrigen WEA übertragen werden muss und umgekehrt mit anderen Bezugswinkeln.

Eine Grundvoraussetzung der WEA ist auch die entsprechende Ausstattung der Anlagensteuerung. Das bedeutet, dass in der WEA die Möglichkeit bestehen muss, eine zeitlich und gleichzeitig sektoriell abhängige Umschaltung von einem Betriebsmodus in den nächsthöheren zu realisieren.

Es ist davon auszugehen, dass sich die Anwendung der Richtcharakteristik auf nahegelegene Immissionsorte beschränken sollte. Einerseits ist noch nicht komplett erforscht, inwiefern sich die Richtcharakteristik im Fernbereich auswirkt. Andererseits kommt auch hier, wie schon bei der Frage nach der Anzahl der WEA, ebenfalls die Fragestellung nach den geringen Teilpegel und deren Wirkung auf.

Auch ist zu untersuchen, wie es sich mit den zu untersuchenden Immissionsorten verhält. Wenn beispielsweise Immissionsorte sehr dicht beieinander liegen und der eine Immissionsort im Schallsektor platziert ist, der andere aber außerhalb des Schallsektors liegt, sind möglicherweise nur geringe Erhöhungen möglich.

Des Weiteren stellt sich die Frage nach der Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen am ausgesuchten Standort. Typischerweise herrscht in Deutschland West- oder Südwestwind als Hauptwindrichtung vor, solange keine lokalen Gegebenheiten diese im Bereich des Microsittings ablenken (**Bild 8**).

Befinden sich z. B. die zu verwendenden Windsektoren in Windrichtungen mit geringen Häufigkeiten, so stellt sich die Frage nach

Tabelle 2 Beispielberechnung der maximal möglichen Leistungserhöhung für zwei WEA.

Immissionsort	Immissionsrichtwert in dB(A)	Teilpegel		Gesamtpegel zwei WEA in dB(A)	Teilpegel mit Korrektur im Schallsektor		Gesamtpegel mit Korrektur im Schallsektor in dB(A)	Maximal mögliche Erhöhung in dB	Gesamtpegel inklusive Berücksichtigung Richtcharakteristik in dB(A)
		WEA 1 in dB(A)	WEA 2 in dB(A)		WEA 1 in dB(A)	WEA 2 in dB(A)			
IO-01	45	42,4	42,4	45,4	40,4	42,4	43,5	+ 0,9	45,4
IO-02	45	41,9	35,1	42,7	41,9	35,1	42,7		43,6
IO-03	45	39,4	32,5	40,2	39,4	32,5	40,2		41,1
IO-04	45	41,9	34,3	42,6	41,9	34,3	42,6		43,5
IO-05	45	39,7	42,4	44,3	39,7	40,4	43,1		44,0

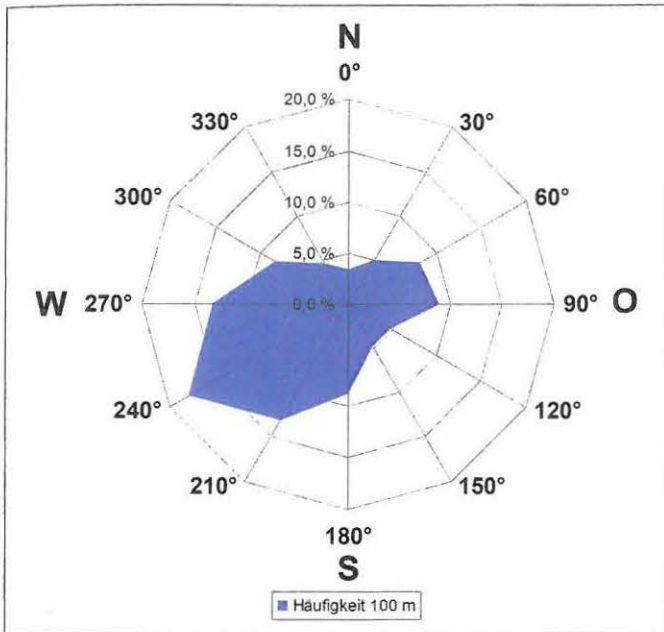


Bild 8 Beispiel einer typischen Häufigkeitsverteilung in Deutschland.

Dipl.-Ing. (FH) **Oliver Bunk**,
KÖTTER Consulting Engineers
GmbH & Co. KG, Rheine.

der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme, da die WEA oftmals nur selten auf Nennleistung kommen und somit auch den maximalen Schallleistungspegel ausnutzen würden. Liegen die Schallsektoren also quer zur Hauptwindrichtung, ist ein Ertragsplus möglich. Liegen die Sektoren dagegen quer zu Nebenwindrichtungen, ist der Aufwand zu überdenken.

Abschließend kann gesagt werden, dass die lärmtechnische Situation stark von der Aufstellung der WEA in Bezug auf den Immissionsort abhängt. Sie sollte vor Beginn der Umsetzung von einem Spezialisten auf alle Möglichkeiten des Standorts geprüft werden.

Literatur

- [1] *Humpohl, M.*: Untersuchung der Richtcharakteristik verschiedener aktueller Windenergieanlagen. Bachelorarbeit Fachhochschule Münster 2010.
- [2] *Pierr, D.*: Schallemissionen von Windkraftanlagen. DAGA 88.
- [3] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Rev. 18, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte. Hrsg.: Fördergesellschaft Windenergie e. V., Kiel 2008.
- [4] DIN EN 61400-11: Windenergieanlagen – Teil 11: Schallmessverfahren. Berlin: Beuth Verlag 2007.

Noise Inspector
für jeden Einsatzbereich

NEW

- Multi-Chassis
- Trigger
- RPM

Der Noise Inspector mit dem Spider-Array wird für Nah- und Fernfeldmessungen eingesetzt. Systempreis: ab 19.900,- €

- Der Noise Inspector mit einem handlichen Intensitätsarray wird für Geräuschquellenlokalisierung ab 50 Hz eingesetzt (Intensitätsarray besteht aus 20 Intensitäts-Sonden). Systempreis: ab 19.900,- €
- Der Akustik-Kompass ist eine 3D-Intensitäts-Sonde zur Schallquellenlokalisierung (3D-Sonde besteht aus 12 Intensitäts-Sonden). Systempreis: ab 11.900,- €.
- Der akkubetriebene Noise Inspector Mobile ist perfekt für den mobilen Einsatz. Systempreis: ab 9900,- €

**Nutzen Sie die Zukunft für Ihren Erfolg!
Sie möchten mehr Informationen – rufen Sie uns an, wir beraten und informieren Sie gern.**

„Getting the better of sound“

Dem Schall ein
Schnäppchen
schlagen

**Professioneller
POWERSchallschutz**
Tür zu - Schall weg
Eigentlich ganz einfach
Oder?

STB POWER line

Schalldämmwerte bis 60 dB

Power Line, die Macht und Kraft des Schallschutzes, das ist die treffende Bezeichnung für diese Schallschutztürenerie. Ein bewertetes Schalldämmmaß von 60 dB beim einflügeligen Typ STB 60-1 Power Line und ein bewertetes Schalldämmmaß von 57 dB beim zweiflügeligen Typ STB 57-2 Power Line sprechen für sich. Ebenso sprechen bei der STB Power Line Serie die Schalldämmwerte auch bei tiefen Frequenzen für sich. Hier wird schon bei 125 Hertz richtig Power gemacht, die Sie sehr wenig von dem hören lässt, was hinter der Tür vor sich geht. Alle Werte der STB Power Line Serie werden mit Höckerswellen erreicht.

Gerne senden wir Ihnen unseren Katalog/CD zu.

BUCHELE
T Ü R E N + T O R E

Stahltürenbau BUCHELE GmbH
Industriestraße 3, 73061 Ebersbach/Fils
Telefon 07163/1001-0 • Telefax 07163/1001-44
www.buchele.de • info@buchele.de

