

Schallimmissionen von Windenergieanlagen

Stand: 08/2011

Inhaltsübersicht

- 1. Grundlagen**
- 2. Schallimmissionsschutzrechtliche Bestimmungen**
- 3. Immissionsprognose und Immissionsschutz-Nachweismessung**
- 4. Schallemissionen und –immissionen von Windenergieanlagen**
- 5. Weiterführende Informationen**

IMPRESSUM

Herausgeber:

Repowering-InfoBörse
Kommunale Umwelt-Aktion U.A.N. e.V.
Arnswaldtstraße 28
30195 Hannover



Kooperation:

Das Projekt Repowering-InfoBörse wird gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages und unterstützt vom Deutschen Städte- und Gemeindebund



Bearbeitung des Textes:

Bernd Neddermann, Deutsches Windenergie-Institut (DEWI)

Die in diesem Papier enthaltenen Hinweise und Empfehlungen sind nach bestem Wissen gesucht, zusammengestellt und ausgeführt. Dennoch wird keine Gewähr für Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit übernommen.

1. Grundlagen

Physikalisch gesehen bezeichnet **Schall** Druckschwankungen, die sich über die Luft als Welle in alle Richtungen um eine Schallquelle ausbreiten. Die Beschreibung der Schallwellen erfolgt durch die maximale Auslenkung (Amplitude) und die Häufigkeit (Frequenz) der Schwingungen. Die **Frequenz** ist als Anzahl der Schwingungen pro Sekunde definiert und hat die Maßeinheit Hertz (Hz), wobei 1 Hertz einer Schwingung pro Sekunde entspricht.

Für die Wahrnehmung von Geräuschen ist neben der Frequenz, mit der die Tonhöhe beschrieben wird, auch die Amplitude (Lautstärke) von Bedeutung. Die Lautstärke wird durch den **Schalldruckpegel** als Maß der Druckschwankungen der Schallwellen beschrieben. Der Schalldruckpegel hat die logarithmische Maßeinheit Dezibel (dB). Bei Bezug auf die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Ohrs erfolgt die sog. A-Bewertung unter Verwendung der Maßeinheit dB(A).

Das **menschliche Gehör** kann Schallwellen als Geräusch wahrnehmen, wenn diese im Hörbereich liegen. Der Hörbereich des Menschen umfasst etwa einen Frequenzbereich von 20-20.000 Hz. Schallwellen außerhalb des menschlichen Hörbereichs werden im Bereich tiefer Frequenzen (< 16 Hz) als Infraschall und im Bereich hoher Frequenzen (> 16.000 Hz) als Ultraschall bezeichnet. In Bezug auf den Schalldruckpegel (Lautstärke) wird der Hörbereich nach unten durch die „Hörschwelle“ und nach oben durch die „Unbehaglichkeitsschwelle“ (bzw. darüber hinausgehend die Schmerzgrenze) begrenzt. Abb. 1 gibt hierzu eine Übersicht.

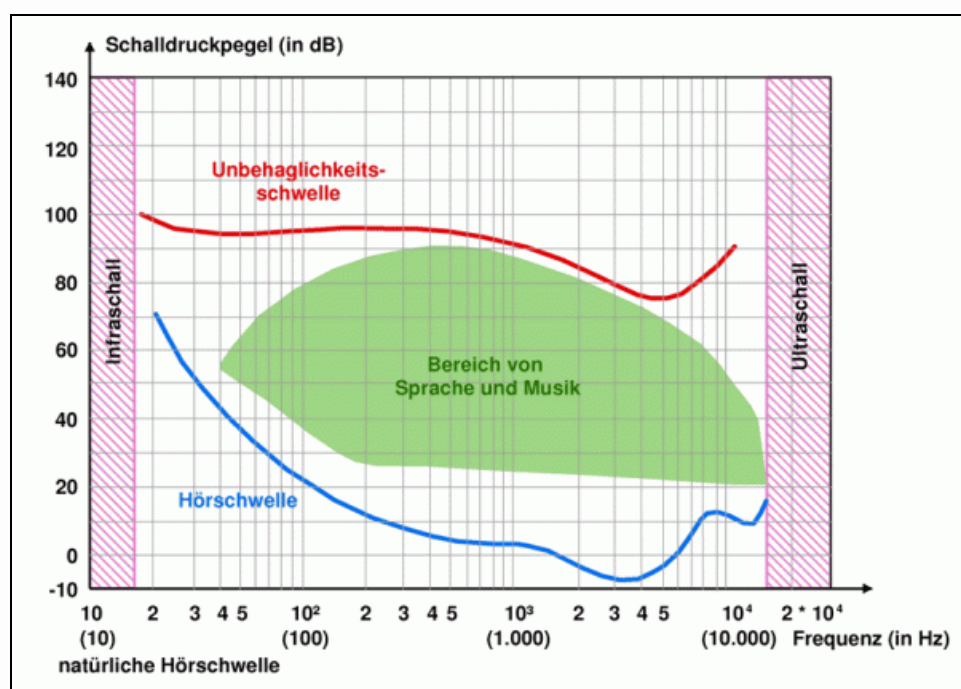


Abb. 1: Hörbereich des Menschen (Quelle: [DNR (2010)])

Eine Besonderheit bei der Bewertung von Geräuschen ist die Verwendung der **logarithmischen Maßeinheit** Dezibel. Der Hörbereich des Menschen lässt sich ebenfalls als ein Spektrum der

Schalldrücke mit der Maßeinheit Pascal (Pa) beschreiben. Bewährt hat sich jedoch in der Praxis die Verwendung der linearen Lautstärkeskala in der Maßeinheit Dezibel. Diese Skala beginnt mit dem Schallpegelwert 0 dB. Am oberen Ende der Skala liegt die Schmerzgrenze beim Schallpegelwert 140 dB, der Schalldruck beträgt dann 200 Pa.

Bei der Verwendung logarithmischer Maßeinheiten ist vor allem zu beachten, dass die Dezibel-Angaben verschiedener Schallquellen **nicht** wie gewohnt arithmetisch **addiert oder subtrahiert** werden können. Das folgende Beispiel soll dies veranschaulichen.

Beispiel:

- Der Schallpegel einer Schallquelle von 45 dB(A) führt bei Auftreten einer zweiten gleich lauten Schallquelle zu einem Summenpegel von 48 dB(A). Kommt eine weitere gleiche Schallquelle hinzu, ergibt sich für alle drei Schallquellen (mit je 45 dB(A)) ein Summenpegel von insgesamt 49,8 dB(A).
- Eine Zunahme um 10 dB(A) bedeutet, dass das menschliche Ohr die Lautstärke doppelt so laut empfindet.

Schallemissionen sind die von einer Schallquelle, z.B. einer Windenergieanlage, ausgehenden Geräusche. **Schallimmissionen** sind die auf Menschen und Tiere einwirkenden Geräusche, z.B. an einem Wohngebäude im Umfeld einer Windenergieanlage.

Für die Wahrnehmung von Geräuschen ist die Schallausbreitung von der Quelle bis zum Einwirkungsort von wesentlicher Bedeutung. Es ist zu beachten, dass die Energie der Schallwellen mit dem Quadrat der Entfernung ($1/r^2$) von der Schallquelle abnimmt. Die von der Schallquelle abgestrahlte Schallleistung, der **Schallleistungspegel**, charakterisiert dabei sozusagen die Ursache des Schalls. Für die Wahrnehmung des Schalls durch das menschliche Ohr ist jedoch der Schalldruck maßgeblich. Die Wirkung des Schalls wird deshalb durch den **Schalldruckpegel** ausgedrückt.

Beispiel:

- Der Betrieb einer Windenergieanlage mit einem Schallleistungspegel von 103 dB verursacht in 800 m Entfernung einen Schalldruckpegel von 33 dB(A).

2. Schallimmissionsschutzrechtliche Bestimmungen

Windenergieanlagen (WEA) mit einer Gesamthöhe von mehr als 50 m müssen nach den Bestimmungen des **Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG)** genehmigt werden. Diese Regelung wurde in der „Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen“ (4. BImSchV) festgelegt und gilt seit Juli 2005¹.

¹ Ergänzender Hinweis: Durch eine Übergangsregelung wurde klargestellt, dass Baugenehmigungen für WEA mit einer Gesamthöhe von mehr als 50 Metern, die bis zum 1. Juli 2005 erteilt worden sind, als immissionsschutzrechtliche Genehmigungen gelten.

Zweck des Bundesimmissionsschutzgesetzes ist u. a., schädliche Umwelteinwirkungen der nach BImSchG zu genehmigenden Anlagen zu vermeiden und zu vermindern und auch dem Schutz und der Vorsorge gegen erhebliche Belästigungen zu dienen.

Dem besonderen Regelungsbedarf bei WEA, insbesondere durch die windgeschwindigkeitsabhängige Schallemission, trägt ein spezieller Arbeitskreis Rechnung. Der „Arbeitskreis Geräusche von Windenergieanlagen“ besteht aus Vertretern der Immissionsschutzbehörden zahlreicher Bundesländer, der Messinstitute und der WEA-Hersteller und spricht WEA-spezifische Empfehlungen für die Genehmigungspraxis aus. Der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) hat die von diesem Arbeitskreis erarbeiteten „**Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windenergieanlagen**“ zur Anwendung empfohlen.

Technische Anleitung Lärm

Die Technische Anleitung Lärm (TA Lärm) wurde als Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum BImSchG erlassen. Die TA Lärm gilt folglich auch für Windenergieanlagen mit einer Gesamthöhe von mehr als 50 m, da diese genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des BImSchG sind.

Die Bestimmungen der TA Lärm sind maßgeblich für die Ermittlung und Beurteilung der Geräusche von Windenergieanlagen im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren. In der TA Lärm sind die für die Genehmigung von Windenergieanlagen einzuhaltenden Immissionsrichtwerte festgelegt. Die Vorschriften zur Ermittlung der Geräuschimmissionen durch Prognose und durch Messung werden im Anhang der TA Lärm dargestellt.

Die TA Lärm beurteilt Geräuschimmissionen auf Basis physikalisch objektiv beschreibbarer Wirkungen und Messungen am Immissionsort. Es ist darauf hinzuweisen, dass die von einzelnen Personen tatsächlich empfundene Belästigung durch Geräusche von vielschichtigen subjektiven Einflüssen (z.B. individuelle Empfindlichkeit, Einstellung zur Geräuschursache) bestimmt wird, die physikalisch nicht zu erfassen sind.

Gemäß BImSchG ist der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche eine Voraussetzung für die Erteilung einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung. Dies wird nach den Bestimmungen der TA Lärm sichergestellt, wenn die Gesamtbelastung am maßgeblichen Immissionsort folgende **Immissionsrichtwerte** für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden nicht überschreitet:

	tags	nachts
Industriegebiete	70 dB(A)	70 dB(A)
Gewerbegebiete	65 dB(A)	50 dB(A)
Kerngebiete, Dorfgebiete, Mischgebiete	60 dB(A)	45 dB(A)
Wohngebiete, Kleinsiedlungsgebiete	55 dB(A)	40 dB(A)
Reine Wohngebiete	50 dB(A)	35 dB(A)
Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten	45 dB(A)	35 dB(A)

Windenergieanlagen werden in der Regel an Standorten im Außenbereich im Sinne des Baugesetzbuches betrieben, sodass der Immissionsrichtwert für Dorf- und Mischgebiete (nachts: 45 dB(A)) für die Genehmigung maßgeblich ist.

Die Einhaltung der Immissionsrichtwerte der TA Lärm ist im Genehmigungsverfahren durch Vorlage einer **Immissionsprognose** (Schallgutachten) nachzuweisen. Neben den Geräuschen der Windenergieanlagen ist dabei auch die Vorbelastung am geplanten Standort zu berücksichtigen, d.h. die Geräusche anderer bereits bestehender gewerblicher und industrieller Quellen. Verkehrsgeräusche werden getrennt betrachtet.

Die Genehmigung von Windenergieanlagen erfolgt zudem verbreitet mit der Auflage, nach der Inbetriebnahme der Anlagen die Geräuschimmission an maßgeblichen Immissionsorten messtechnisch zu ermitteln.

3. Immissionsprognose und Immissionsschutz-Nachweismessung

Die Prognose der durch den Betrieb der Windenergieanlage/n verursachten Geräuschimmission ist in der Regel Bestandteil der Genehmigung und hat eine maßgebliche Bedeutung für die immissionsschutzrechtliche Beurteilung des geplanten Vorhabens. Entsprechend wichtig ist es, dass nach den Vorgaben der TA Lärm ein qualifiziertes Gutachten durch einen erfahrenen Sachverständigen erstellt wird. Die Anforderungen zur Erstellung einer Schallprognose, z. B. eine erforderliche Ortsbegehung, werden auch in den Empfehlungen des „Arbeitskreises Geräusche von Windenergieanlagen“ beschrieben.

Die Prognose basiert auf einer Schallausbreitungsrechnung. Es wird also die Schallemission der Windenergieanlage/n betrachtet und die Ausbreitung des Schalls bis zum Immissionsort ermittelt. Für die Schallausbreitungsrechnung existiert ein in der Praxis bewährter Standard (DIN ISO 9613-2).

Entscheidend für die Qualität dieser Schallimmissionsprognose ist die Belastbarkeit der angesetzten Werte für die Schallemission der geplanten Windenergieanlagen. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse von standardisierten Vermessungen höherwertiger sind als WEA-Herstellerangaben. Nach den Empfehlungen des „Arbeitskreises Geräusche von Windenergieanlagen“ sollen bei Windenergieprojekten Anlagenvermessungen nach der „Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen zur Bestimmung der Schallemissionswerte“ (Hrsg.: Fördergesellschaft Windenergie) die Basis für Schallausbreitungsrechnungen bilden, da auf diesem Wege standardisierte Emissionsdaten für den gesamten relevanten Betriebsbereich (Windgeschwindigkeit von 6 - 10 m/s in 10 m Höhe) berücksichtigt werden können. Außerdem zeichnet sich dieses Messverfahren durch eine hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse sowie durch eine minimierte Messunsicherheit aus. Die oben genannte Technische Richtlinie beinhaltet eine auf das deutsche Immissionsschutzrecht zugeschnittene Spezifikation der einschlägigen internationalen IEC-Richtlinie und stellt somit den derzeit höchsten Standard für Emissionsmessungen an Windenergieanlagen dar.

Zu Serien-Anlagentypen werden vom WEA-Hersteller häufig auch Datenblätter herausgegeben, die mehrere Messungen nach der Technischen Richtlinie zusammenfassen. Diese Datenbasis erweitert den Wissensstand zu dem WEA-Typ. Für die Qualität der Schallprognose bleibt jedoch

entscheidend, dass der unabhängige Sachverständige die jeweils vorhandenen Daten interpretiert, bewertet und gewissenhaft verwendet. Die Erfahrung hat auch bei vielfach vermessenen Großserienanlagen gezeigt, dass die akustischen Eigenschaften der tatsächlich installierten WEA nicht immer mit den vom Hersteller für die Windparkplanung herausgegebenen Daten übereinstimmen. Ursachen hierfür können z.B. Serienstreuungen aber auch Beschädigungen an einzelnen Rotorblättern bei der Installation sein. Daher ist es gängige Genehmigungspraxis, in den Nebenbestimmungen Immissionsschutznachweismessungen der realen Lärmbelastung zu fordern. Mit dieser Maßnahme wird überprüft, ob die Schallemission der installierten WEA den für die Prognose angesetzten Schallquelldaten tatsächlich entspricht.

Immissionsschutz-Nachweismessung

Die Einhaltung der immissionsschutzrechtlichen Auflagen der WEA-Genehmigung ist durch eine Messung nach den Bestimmungen der TA Lärm durchzuführen.

In der Praxis zeigt sich häufig das Problem, dass die Nachweismessung nicht innerhalb des in der Genehmigung festgelegten Zeitraums – in der Regel innerhalb von sechs Monaten nach Inbetriebnahme – vorliegt. Ursache hierfür ist im Regelfall nicht die Untätigkeit des Betreibers sondern die Tatsache, dass am maßgeblichen Immissionsort die für die Vermessung erforderlichen Windbedingungen im betreffenden Zeitraum nicht gegeben sind.

In der Praxis haben sich die vom „Arbeitskreis Geräusche von Windenergieanlagen“ favorisierten Ersatzmessungen im Sinne der TA Lärm (Anhang A.3.4.1 c) bewährt. Immissionsmessungen an den maßgeblichen Immissionsorten sind wegen des Fremdgeräuscheinflusses erfahrungsgemäß in der Regel nicht zielführend bzw. gar nicht praktikabel. Außerdem sind die Messzeitfenster wegen der geforderten Mitwindbedingung nochmals kleiner.

Bei den empfohlenen Ersatzmessungen wird die Schallemission der WEA durch eine qualifizierte Messung nach der „Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen zur Bestimmung der Schallemissionswerte“ (Hrsg.: Fördergesellschaft Windenergie) im Nahbereich ermittelt. Die Schallimmission an den maßgeblichen Immissionsorten wird anschließend auf Basis der gemessenen Daten über standardisierte Schallausbreitungsrechnungen bestimmt.

Vorteile dieses Verfahrens sind:

- gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse
- an die TA Lärm angepasstes und standardisiertes Messverfahren
- windrichtungsunabhängige Messung
- in der Regel geringere Gesamtunsicherheit
- keine Kooperation der Anwohner erforderlich
- aus einer Messung lassen sich Ergebnisse für alle Immissionsorte ableiten
- Die Gesamtimmission kann nach Vor- und Zusatzbelastung sowie für Immissionen aus unterschiedlichen Teilwindparks differenziert werden.

4. Schallemissionen und -immissionen von Windenergieanlagen

Abbildung 2 gibt einen Überblick zu den Schallimmissionen verschiedener Geräuschquellen in der Umwelt und veranschaulicht, dass der Betrieb einer 500 m entfernten Windenergieanlage ähnlich wahrgenommen wird wie das Geräusch einer Unterhaltung.



Abb. 2 Übersicht zu den Schallimmissionen verschiedener Geräuschquellen

Beim Betrieb einer Windenergieanlage nimmt die erzeugte elektrische Leistung mit zunehmender Windgeschwindigkeit zu. Bei Erreichen der Nennleistung, z.B. 2 Megawatt (MW), wird die Anlage so geregelt, dass die Leistung auch bei noch stärkerem Wind nicht weiter ansteigt, um eine Überlastung des Generators zu vermeiden.

Wie die elektrische Leistung, erhöht sich bei zunehmender Windgeschwindigkeit auch die Schallemission einer Windenergieanlage. Bei modernen Windenergieanlagen tritt nach Erreichen der Nennleistung jedoch keine weitere Erhöhung der Schallemission auf, was ebenfalls auf die Leistungsregelung der Anlage zurückzuführen ist.

Grundsätzlich ist in diesem Zusammenhang zu beachten, dass die Geräusche einer Windenergieanlage ab einer bestimmten Windgeschwindigkeit in der Regel durch die Hintergrundgeräusche (Rauschen von Wind, Blättern etc.) überdeckt werden.

Die Schallemission einer Windenergieanlage wird wesentlich durch die Geräusche der drehenden Rotorblätter verursacht. Durch die fortlaufenden Bestrebungen der Anlagenhersteller zur Optimierung der Rotorblattprofile konnten deutliche Fortschritte erreicht werden, sowohl im Hinblick auf die Schallreduzierung als auch auf die Steigerung des Energieertrags der neu entwickelten WEA.

Eine erhebliche Verbesserung der Situation wurde dadurch erreicht, dass heute praktisch nur noch drehzahlvariable Anlagen mit verstellbaren Rotorblättern (engl. *pitch*) eingesetzt werden. In den 1990er-Jahren kamen dagegen verbreitet Anlagen zum Einsatz, bei denen die Leistungsregelung durch Strömungsabriss am Rotorblatt (engl. „stall“) erfolgte. Diese Betriebsweise führt bei zunehmendem Wind zu einer deutlich erhöhten Geräusentwicklung. Dagegen tritt bei pitch-regelerten Windenergieanlagen diese Problematik nicht auf.

Als weitere Schallquellen sind bei einer Windenergieanlage der Antriebsstrang mit Welle, Lager, Getriebe, Kupplung und Generator und die Nachführsysteme für Gondel und Rotorblatt sowie das Kühlgebläse zu nennen. Durch wirkungsvolle Maßnahmen zur Isolierung, Dämpfung und Schallentkopplung konnten hier ebenfalls erhebliche Verbesserungen bei der Schallabstrahlung von WEA erreicht werden.

Vor dem Hintergrund der technologischen Fortschritte erfolgte zwischenzeitlich auch eine weitere Konkretisierung der immissionsschutzrechtlichen Standards. Bewertungsmaßstab ist heute einheitlich der lauteste Betriebspunkt der Anlage und nicht mehr der Beurteilungspegel im Teillastbereich nach dem alten Vermessungsstandard. Zudem wird die Unsicherheit der Prognose berücksichtigt. In der Konsequenz führt dies dazu, dass viele Projekte mit älteren Windenergieanlagen auf Basis der heutigen Anforderungen nicht mehr genehmigungsfähig wären. Durch das Repowering ist in diesen Fällen eine deutliche Verbesserung der Situation zu erwarten, weil beim Betrieb der Repowering-Anlagen die immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsanforderungen nach heutigem (höheren) Standard einzuhalten sind.

Der gemäß TA Lärm während der Nacht in Dorf- und Mischgebieten zulässige Beurteilungspegel von 45 dB(A) wird auch von einer hohen leistungsstarken WEA in der Regel bereits in einer Entfernung von deutlich weniger als 500 Metern zum Anlagenstandort eingehalten.

Tonhaltigkeit

Beim Betrieb älterer Windenergieanlagen kam es in der Vergangenheit teilweise zu Problemen, weil die Anlagen Einzeltöne erzeugten, die im Umfeld des WEA-Standorts als sehr störendes Brummen, Heulen, Quietschen oder Pfeifen wahrgenommen wurden. Ursache dieser „Tonhaltigkeit“ waren zum Beispiel Maschinengeräusche. Angesichts der bei Altanlagen aufgetretenen Probleme wird bei der Entwicklung neuer WEA-Typen ein besonderes Augenmerk auf die Vermeidung der Tonhaltigkeit gelegt.

Abbildung 3 veranschaulicht an einem Beispiel, wie sich die Schallimmission in der Umgebung einer modernen WEA mit 2 MW im Vergleich zu einer 500 kW-Altanlage mit Tonhaltigkeit darstellt.

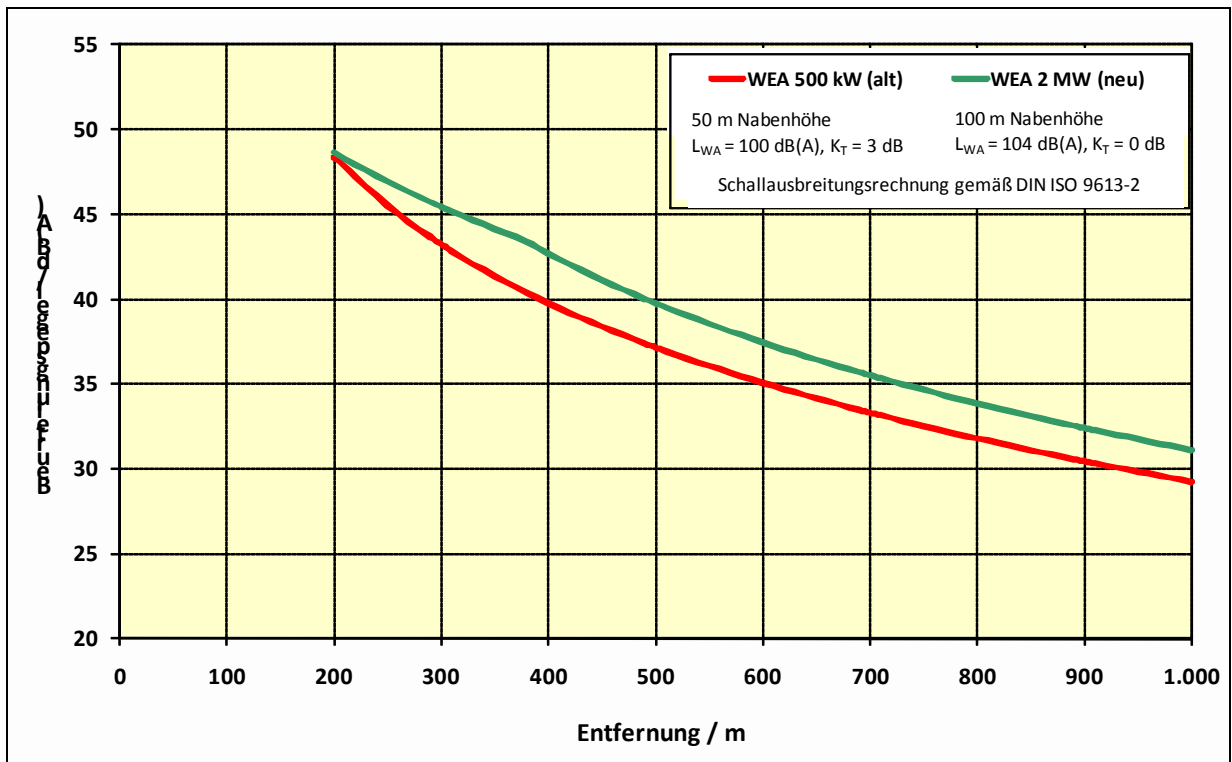


Abb. 3 Schallimmission in der Umgebung einer Windenergieanlage, beispielhaft für 1 alte und 1 moderne WEA (Quelle: DEWI GmbH)

Beim Betrieb mehrerer Windenergieanlagen ist die Gesamtwirkung in der Umgebung des Windparks zu betrachten (Abb. 4).

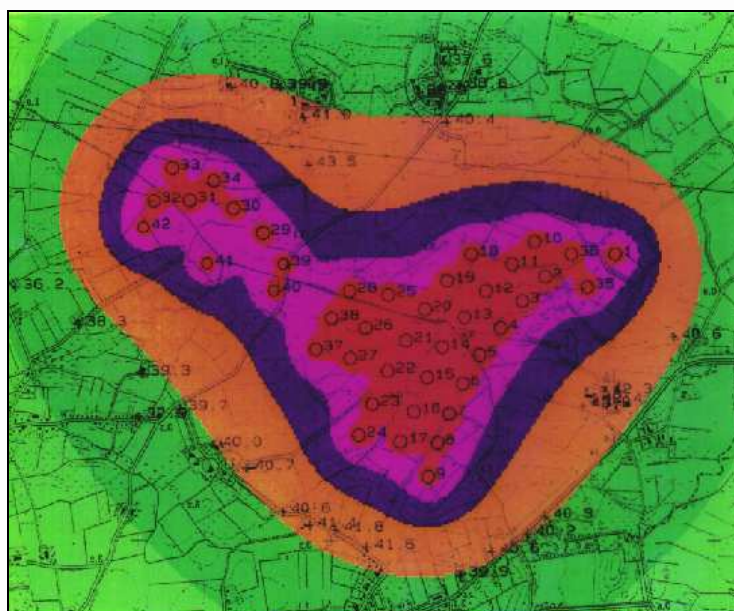


Abb. 4 Beurteilungspegel im Umfeld eines Windparks (Quelle: DEWI GmbH)

Es ist schließlich darauf hinzuweisen, dass moderne drehzahlvariable Windenergieanlagen die Möglichkeit bieten, die Anlagen im „**schallreduzierten Betrieb**“ zu fahren. Bei dieser Betriebsweise können die vorgegebenen Schallgrenzwerte zu jeder Tages- und Nachtzeit automatisch durch eine Reduzierung der Drehzahl eingehalten werden. In der Praxis wird die schallreduzierte Betriebsweise an zahlreichen Standorten als Genehmigungsaufgabe zur Einhaltung der nachts geltenden Immissionsrichtwerte gefordert. Im Zeitraum 22-6 Uhr werden die Anlagen dann z.B. mit reduzierter Leistung betrieben. Mit dieser Maßnahme kann der Pegel der Schallimmissionen um 4 dB(A) und mehr reduziert werden.

Die Regelung des Anlagenbetriebs mit dem Ziel einer Minderung der Schallimmissionen ist allerdings mit Ertragseinbußen verbunden. Diese liegen in der Regel aber in einem Bereich von nur wenigen Prozenten des am Standort möglichen Jahresenergieertrages.

4. Weiterführende Informationen

BlmSchG (2002): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BlmSchG); in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002, BGBl. I S. 3830, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 1. März 2011 (BGBl. I S. 282)

DNR (2010): Informationskampagne „Windkraft im Visier“; Veröffentlichung unter: <http://www.wind-ist-kraft.de/schlagwort/schallschutz/>; Hrsg.: Deutscher Naturschutzring (DNR), 2010

DStGB (2009): Repowering von Windenergieanlagen – Kommunale Handlungsmöglichkeiten; DStGB Dokumentation Nr. 94; Hrsg.: Deutscher Städte- und Gemeindebund (DStGB), 2009

FGW (2008): Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte – Revision 18, Stand: 01.02.2008; Hrsg.: Fördergesellschaft Windenergie e.V.

IEC (2002): Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques; IEC 61400-11, Second Edition 2002-12; Hrsg.: International Electrotechnical Commission, 2002

LAI (2002): Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise); Hrsg.: Länderausschuss für Immissionsschutz, Mai 2002

LAI (2005): Hinweise zum Schallemissionsschutz bei Windenergieanlagen; Hrsg.: Länderausschuss für Immissionsschutz, März 2005

LUA NRW (2002): Sachinformationen zu Geräuschemissionen und -immissionen von Windenergieanlagen; Hrsg.: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, 2002

LUA NRW (2002): Windenergieanlagen und Immissionsschutz; Materialien Nr. 63; Hrsg.: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, 2002

TA Lärm (1998): Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBL Nr. 26/1998 S. 503)