



LAND BRANDENBURG

Ministerium
für Landwirtschaft,
Umweltschutz und
Raumordnung

Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg
Postfach 601150 | 14411 Potsdam

Ämter für Immissionsschutz
des Landes Brandenburg

Landesumweltamt Brandenburg

Gemäß Verteiler

Heinrich-Mann-Allee 103
14473 Potsdam

Datum: 31.07.2003
Bearb.: Herr Brendel
Gesch.Z.: 6503-76113-2/03
Hausruf: 0331 866 7911
Fax: 0331 27548 7911

Eberhard.Brendel@mlur.brandenburg.de
Internet: www.brandenburg.de/land/mlur

Erlass des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg zu Anforderungen an die Geräuschemissionsprognose und an die Nachweismessung bei Windenergieanlagen (WEA)

- (WEA-Geräuschemissionserlass) -
vom 31. Juli 2003

Anlage Anhang zum WEA-Geräuschemissionserlass mit den Anlagen 1 bis 3

Bei der Genehmigung von WEA ist auf der Grundlage der Sechsten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm – vom 26.08.1998 (GMBl.S.503)) zu prüfen, ob die von den Anlagen ausgehenden Geräusche keine schädlichen Umwelteinwirkungen hervorrufen können und ob Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen getroffen wird.

Zu diesem Zweck ist vom Antragsteller eine Geräuschemissionsprognose vorzulegen.

Grundlagen für die Ermittlung und Bewertung der Geräuschemission von WEA sind im Anhang beigelegt.

Für die **Prognose** ist der Schallleistungspegel zu verwenden, der entsprechend DIN IEC 61400-11 und der Technischen Richtlinie zur akustischen Vermessung

Dienstgebäude

1 = Heinrich-Mann-Allee 103
2 = Albert-Einstein-Straße 42-46
3 = Spornstraße / Lindenstraße

Telefon

14473 Potsdam
14473 Potsdam
14467 Potsdam

Fax

Zentrale (0331) 866-70 70/71
Vermittlung über (0331) 866-7240
(0331) 866-0 (0331) 866-7895

Tram-Haltestelle

Kunersdorfer Straße
Hauptbahnhof
Alter Markt

Linien

90,X91,92,93,96,X98
90,X91,92,93,96,X98
90,X91,92,93,96,X98

von Windenergieanlagen der Fördergesellschaft für Windenergie (Anhang [14]) ermittelt wurde. Auf Empfehlung des Länderausschusses für Immissionsschutz (Anhang [3]) ist für die Prognose der Schalleistungspegel zu verwenden, der bei einer standardisierten Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 m Höhe, aber bei nicht mehr als 95 % der Nennleistung der WEA ermittelt wurde.

Bei der Erstellung der Prognose ist zu beachten:

1. Die Ausbreitungsrechnung ist nach dem alternativen Verfahren gemäß 7.3.2 von DIN ISO 9613-2 (Anhang [5]) durchzuführen.
2. Auf der Grundlage der Standardabweichungen der Eingangsgrößen und der entfernungsabhängigen Standardabweichung ist die obere Grenze des Vertrauensbereiches des Beurteilungspegels für eine Sicherheit von 90 % - „obere Vertrauensbereichsgrenze“ - zu berechnen.

Die Prüfung der Einhaltung der Schutzpflichten nach 3.2 TA Lärm hat auf der Grundlage der zuvor ermittelten oberen Vertrauensbereichsgrenze zu erfolgen.

Liegt für bereits bestehende WEA die obere Vertrauensbereichsgrenze nicht vor, so ist bei der Ermittlung der Vorbelastung mit einem pauschalen Sicherheitszuschlag von 2 dB (Produktions- und Wiederholungsstandardabweichung, entfernungsbedingte Standardabweichung) zum Beurteilungspegel zu rechnen.

Im Genehmigungsbescheid ist der Beurteilungspegel mit Angabe der ermittelten oberen Vertrauensbereichsgrenze als anlagenbezogener Immissionsgrenzwert festzuschreiben.

Die Prüfung der Einhaltung der Vorsorgepflicht erfolgt nach Nr. 3.3 TA Lärm; die Geräuschemissionen müssen so niedrig sein, wie dies zur Erfüllung der Vorsorgepflicht nötig ist, der Stand der Technik zur Lärminderung ist einzuhalten. Die Vorsorgepflicht gilt auch für immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftige Anlagen (§ 3 Abs. 5 Landesimmissionsschutzgesetz).

Der **Nachweis** der Einhaltung des anlagenbezogenen Immissionsgrenzwertes hat nach A.3 TA Lärm (i. d. R. durch Messung und Berechnung) nach Inbetriebnahme und wiederkehrend alle drei Jahre zu erfolgen. In begründeten Fällen kann auf Antrag bei der Überwachungsbehörde auf die jeweilige Wiederholungsmessung verzichtet werden.

Der Nachweis hat für eine standardisierte Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 m Höhe, aber für nicht mehr als 95 % der Nennleistung der WEA zu erfolgen. Ist für WEA ein geräuschoptimierter Betrieb angeordnet, so ist der Nachweis für dieses Betriebsregime zu erbringen. Die Leistung der WEA ist parallel zur Messung aufzuzeichnen und zu dokumentieren.

Zum Nachweis der Einhaltung des anlagenbezogenen Immissionsgrenzwertes ist die obere Vertrauensbereichsgrenze zu ermitteln.

Sofern eine WEA aus Gründen des Lärmschutzes geräuschreduziert betrieben wird (Leistungs- bzw. Drehzahlbegrenzung), muss eine kontinuierliche Aufzeichnung geeigneter Betriebsparameter (Windgeschwindigkeit, Leistung, Drehzahl) vorgenommen werden, die rückwirkend für eine Zeit von einem Jahr den Nachweis der tatsächlichen Betriebsweise der WEA gegenüber der Überwachungsbehörde ermöglicht.

Der Erlass des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung vom 31.03.1999 wird mit diesem WEA-Geräuschimmissionserlass aufgehoben.

Im Auftrag

Dr. Burkhard Knippenberg

Anhang

zum Erlass vom 31.07.2003 des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg zu Anforderungen an die Geräuschimmissionsprognose und die Nachweismessung bei Windenergieanlagen (WEA)

Grundlagen für die Ermittlung und Bewertung der Geräuschimmission von Windenergieanlagen (WEA)

1 Ermittlung und Bewertung der Geräuschimmission im Rahmen von Genehmigungsverfahren

Im Rahmen von Genehmigungsverfahren ist die Einhaltung der Immissionsrichtwerte nach 6.1 TA Lärm [1] durch eine Geräuschimmissionsprognose nachzuweisen. Diese Prognose ist für konkrete WEA-Standorte und konkrete Immissionsorte zu erarbeiten. Die maßgeblichen Immissionsorte sind genau zu bezeichnen und so zu wählen, dass es keine anderen bewohnten Orte gibt, an denen höhere Beurteilungspegel zu erwarten sind. Unbebaute Flächen, wo nach dem Bau- und Planungsrecht Gebäude mit schutzbedürftigen Räumen erstellt werden dürfen, sind zu berücksichtigen. Zusätzlich zu diesen ortsbezogenen Geräuschimmissionsprognosen soll die zu erwartende Geräuschsituation in Form von Isophonen dargestellt werden.

1.1 Emissionsdaten

- (1) Die Ermittlung der Geräuschimmission erfolgt entsprechend A.2.2 TA Lärm für den Nennleistungsbetrieb der WEA. Bei WEA wird der Schallleistungspegel (L_{WA}) entsprechend [2] für standardisierte Windgeschwindigkeiten (v_{Std}) von 6, 7, 8, 9 und 10 m/s in einer Höhe von 10 m angegeben. Die standardisierte Windgeschwindigkeit ist eine rechnerische Größe. Sie wird unter Annahme eines Standardwindprofils aus der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe berechnet. Die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe wird über die Leistungskurve aus der gemessenen elektrischen Wirkleistung ermittelt.

Für die Geräuschimmissionsprognose wird der Schallleistungspegel für $v_{Std} = 10$ m/s verwendet. Bei großen Nabenhöhen können Fälle auftreten, in denen sich die WEA bei diesen Geschwindigkeiten im nichtlinearen Leistungsbereich oberhalb 95 % der Nennleistung befinden. In diesen Fällen wird der Schallleistungspegel bei 95 % Nennleistung (L_{WA-95}) angegeben und für die Geräuschimmissionsberechnung verwendet. Die dazugehörige standardisierte Windgeschwindigkeit kann dem ausführlichen anlagenbezogenen Schallgutachten entnommen werden. Sie wird in der Geräuschimmissionsprognose mit angegeben.

Ergeben sich durch die Richtcharakteristik unterschiedliche Schallleistungspegel, wird der höchste Wert verwendet.

- (2) Bei älteren WEA-Typen wurden die Schallleistungspegel bei einer standardisierten Windgeschwindigkeit $v_{Std} = 8$ m/s ermittelt. Eine Umrechnung auf die standardisierte Windgeschwindigkeit $v_{Std} = 10$ m/s erfolgt durch Addition von 3 dB [3].

- (3) Die Geräuschimmissionsberechnung erfolgt im Regelfall auf der Grundlage des mittleren Schalleistungspegels für den jeweiligen WEA-Typ. Wenn diese Mittelwerte nicht von den Herstellern angegeben werden, sind sie entsprechend Anlage 1 zu ermitteln. Dabei ist zu beachten, dass in die Mittelwertbildung nur Messwerte von WEA mit gleicher Nabenhöhe eingehen. Die Umrechnung auf einheitliche Nabenhöhen erfolgt entsprechend Anlage 1.
- (4) Kann der Schalleistungspegel nur auf der Basis eines anlagenbezogenen Schallgutachtens ermittelt werden, so ist für die Produktionsstandardabweichung σ_P entsprechend [3] ein Wert von $\sigma_P = 1,2$ dB anzunehmen (Anlage 1).
- (5) Bei der Errichtung von Prototypen, die noch nicht akustisch in einem Testfeld vermessen worden sind, ist eine besondere Sorgfalt bei der akustischen Planung erforderlich. Die zu erwartenden Schallemissionsdaten müssen durch den Hersteller schriftlich und verbindlich erklärt werden.
- (6) Um den unterschiedlichen Standortbedingungen bezüglich der einzuhaltenden Immissionsrichtwerte Rechnung tragen zu können, gibt es bei einigen Herstellern mehrere Betriebsszenarien. So gibt es Leistungskurven für eine schalloptimierte Betriebsweise von WEA. Der schalloptimierte Betrieb ist insbesondere bei pitchgeregelten WEA wirkungsvoll.
- (7) Bei stallgeregelten WEA steigt der Schalleistungspegel auch nach dem Erreichen der Nennleistung weiter an. Die Stallregelung wird vorzugsweise bei WEA mit konstanter Rotordrehzahl verwendet. Eine akustische Optimierung wird hier dadurch erreicht, dass verschiedene Hersteller WEA mit zwei konstanten Drehzahl- und Leistungsbereichen anbieten.

1.2 Ermittlung der Geräuschimmission durch Berechnung

- (1) Die allgemeinen Regelungen gemäß A.2 TA Lärm sind zu beachten.
- (2) Untersuchungen über die Schallausbreitung von hochliegenden Quellen zeigten [4], dass bei Anwendung des frequenzselektiven allgemeinen Berechnungsverfahrens nach 7.3.1 von DIN ISO 9613-2 [5] bei Ausbreitung über porösem Untergrund die berechnete Schalldämpfung größer ist als die messtechnisch ermittelte. Deshalb ist in Anlehnung an [6] als Berechnungsmethodik für die Schallausbreitung das alternative Verfahren nach 7.3.2 der DIN ISO 9613-2 [5] anzuwenden.
- (3) Die meteorologische Korrektur erfolgt anlagenweise. Ersatzweise kann mit $C_0 \leq 1,5$ für alle WEA gerechnet werden.
- (4) Vor-, Zusatz- und Gesamtbelastung gemäß 2.4 TA Lärm sind zu berechnen. Zur Vorbelastung gehören nicht nur die bereits vorhandenen bzw. die geplanten WEA außerhalb der zu beurteilenden Windfarm, sondern auch sonstige gewerb-

liche und industrielle Anlagen.

- (5) Entsprechend TA Lärm sind bei Geräuschimmissionsprognosen auch Aussagen über die Qualität der Prognose zu machen. Als Qualitätsmaß des berechneten Beurteilungspegels ist in Anlehnung an [9] und [10] die obere Vertrauensbereichsgrenze mit einer statistischen Sicherheit von 90 % zu verwenden (Anlage 2).

1.3 Bewertung der Geräuschimmission

Die Bewertung der Zulässigkeit von Vorhaben erfolgt hinsichtlich ihrer immissionsschutzrechtlichen Verträglichkeit mit bereits vorhandener oder geplanter Bebauung. Dabei ist zu prüfen, ob es durch die zu genehmigenden WEA zu Gefahren, erheblichen Nachteilen oder erheblichen Belästigungen kommen kann [11].

- (1) Die immissionsschutzrechtliche Verträglichkeit ist aus Sicht des Lärmschutzes gegeben, wenn die Anforderungen von 3.2 TA Lärm mit hinreichender Sicherheit erfüllt sind.
- (2) Die Sicherheit ist hinreichend, wenn durch die Geräuschimmissionsprognose nachgewiesen wird, dass die entsprechend Anlage 2 ermittelte obere Vertrauensgrenze des Gesamtbeurteilungspegels mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % die Anforderungen von 3.2 TA Lärm erfüllt.
- (3) Bei der akustischen Vermessung [2] werden auch Angaben zur Tonhaltigkeit gemacht. Diese Angaben haben Gültigkeit für den Nahbereich.

Hinsichtlich der Übertragung des Tonzuschlages aus dem Nahbereich (K_{TN}) in den Fernbereich (K_T) (Abstand zur WEA größer 300 m) gilt folgende Regelung [3]:

$0 \leq K_{TN} \leq 2 \text{ dB}$	Tonzuschlag $K_T = 0 \text{ dB}$
$2 < K_{TN} \leq 4 \text{ dB}$	Tonzuschlag $K_T = 3 \text{ dB}$
$K_{TN} > 4 \text{ dB}$	Tonzuschlag $K_T = 6 \text{ dB}$

Bei der Vergabe des Tonzuschlages sind die konkreten örtlichen Gegebenheiten am Immissionsort zu berücksichtigen.

- (4) Die Anlagengeräusche können durch ständig wirkende Fremdgeräusche gemäß 2.4 TA Lärm maskiert werden. Entsprechend TA Lärm darf die Genehmigung wegen Überschreitung der Immissionsrichtwerte nicht versagt werden, wenn infolge von ständig wirkenden Fremdgeräuschen keine zusätzlichen schädlichen Umwelteinwirkungen durch die zu beurteilende Anlage zu erwarten sind.

Verkehrsgeräusche gewährleisten wegen des nächtlichen Minimums des Verkehrsaufkommens keine sichere Maskierung des Anlagengeräusches. Gleiches gilt auch für windinduzierte Umgebungsgeräusche [12].

Der unterschiedliche zeitliche Verlauf der Windgeschwindigkeit an den WEA und am Immissionsort sowie die unterschiedliche Frequenzzusammensetzung beider Geräuscharten führt dazu, dass die WEA immer wieder hörbar sein werden. Hinzu kommt, dass bauliche Verhältnisse zu einer Abschwächung der Windgeschwindigkeit und damit zu einer Verringerung des windinduzierten Umgebungsgerausches führen können.

Untersuchungen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz [13] haben gezeigt, dass selbst bei einer Windgeschwindigkeit über 15 m/s die Anlagengeräusche aus den sonstigen Geräuschen klar identifizierbar waren. Untersuchungen des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen [6] ergaben, dass erst bei Pegeldifferenzen über 10 dB zwischen dem Anlagengeräusch und dem windinduzierten Umgebungsgerausche die Anlagengeräusche nicht mehr wahrnehmbar sind.

Allgemeine Aussagen über die Maskierung der Anlagengeräusche durch windinduzierte Umgebungsgerausche können somit nicht gemacht werden. Sollte von dieser Möglichkeit in Einzelfällen Gebrauch gemacht werden, so sind die lokalen Besonderheiten sowohl am Immissionsort (Auffälligkeit des Anlagengeräusches, Geländeform, Bewuchs, bauliche Verhältnisse, Gebietseinstufung usw.) als auch am Emissionsort (Geländeform, Nennwindgeschwindigkeit der WEA, Nabenhöhe, Regelungsart) sorgfältig zu prüfen.

2 Ermittlung der Geräuschimmission durch Messung

In den Nebenbestimmungen des Genehmigungsbescheides ist festzulegen, dass der Nachweis der Einhaltung der anlagenbezogenen Immissionsgrenzwerte durch eine nach § 26 Bundes-Immissionsschutzgesetz bekanntgegebene Messstelle zu erfolgen hat.

Entsprechend A.3 TA Lärm können Nachweismessungen als Messungen der Geräuschimmission an den maßgeblichen Immissionsorten oder als Ersatzmessungen (Messungen an Ersatzimmissionsorten, Rundummessungen oder Schallleistungsmessungen an einzelnen WEA oder WEA-Gruppen) durchgeführt werden. Bezüglich der zu verwendenden Messgeräte gelten die Festlegungen von A.3 TA Lärm und DIN IEC 61400-11 [2].

Die Nachweismessung hat für eine standardisierte Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 m Höhe, aber bei nicht mehr als 95 % der Nennleistung der WEA zu erfolgen. Ist ein schalloptimierter Betrieb angeordnet, so ist auch für dieses Betriebsregime der Nachweis zu erbringen. Die für den genehmigten Betriebszustand zutreffende standardisierte Windgeschwindigkeit wird im Folgenden als Sollwindgeschwindigkeit v_{soll} bezeichnet.

Neben den akustischen Daten müssen synchron die Windgeschwindigkeit und Windrichtung in 10 m Höhe und die Betriebsdaten der WEA erfasst und aufgezeichnet werden.

2.1 Nachweis durch Emissionsmessung

- (1) Werden durch die zuständige Überwachungsbehörde als Nachweismessungen Emissionsmessungen mit sich anschließender Schallausbreitungsrechnung angeordnet, sind die Standards [2] und [14] einzuhalten. Für die Schallausbreitungsrechnung ist das alternative Verfahren entsprechend [5] zu verwenden.
- (2) Bei der Bestimmung der standardisierten Windgeschwindigkeit ist ausschließlich das in 7.3.1.1 von DIN IEC 61400-11 [2] als Methode 1 beschriebene Verfahren anzuwenden. Dabei ist zu beachten, dass der Faktor κ in Gleichung (6) von DIN IEC 61400-11 außer von dem Verhältnis der Windgeschwindigkeiten auch von der atmosphärischen Stabilität und von der Windrichtung abhängig ist. κ ist das Verhältnis der synchron ermittelten Werte der standardisierten Windgeschwindigkeit v_{Std} zur Anemometerwindgeschwindigkeit v_A in 10 m Höhe.

Die Verwendung von κ zur Umrechnung von v_A in v_{Std} bei abgeschalteter WEA darf nur für Stabilitäts- und Windrichtungsverhältnisse erfolgen, die denen während seiner Bestimmung vergleichbar sind.

- (3) Der Messaufwand zum sicheren Nachweis der Einhaltung der zulässigen Werte ist auf das erforderliche Maß zu optimieren. Dabei werden folgende Gesichtspunkte berücksichtigt:
 - (a) Schutzwürdigkeit des betroffenen Gebietes.
 - (b) Differenz zwischen dem prognostizierten Beurteilungspegel und dem zulässigen Pegel.
 - (c) Regelungsart der WEA
 - (d) Besonderheiten an den Immissionsorten, wie z. B. eine starke Gliederung des Geländes.
- (4) Je Windfarm ist es im Allgemeinen hinreichend, Stichprobenmessungen vorzunehmen und die Messungen nur an den WEA durchzuführen, die maßgeblich zur Schallimmission beitragen.
- (5) Die Messunsicherheit ist entsprechend DIN IEC 61400-11 Anhang D zu ermitteln und anzugeben.

2.2 Nachweis durch Immissionsmessung

Die Festlegung der maßgeblichen Immissionsorte und des Messumfanges hat in Abstimmung mit der zuständigen Immissionsschutzbehörde zu erfolgen. Bei der Wahl des Immissionsortes ist die mögliche Beeinflussung des Anlagengeräusches durch Fremderäusche zu berücksichtigen.

Durch die Messung am Immissionsort soll der Nachweis erbracht werden, dass die Anlagengeräusche den im Genehmigungsbescheid festgesetzten anlagenbezogenen Immissionsgrenzwert bei der Sollwindgeschwindigkeit nicht überschreiten.

Die Messungen werden bei Mitwindbedingungen entsprechend DIN ISO 9613-2 [5] und stabiler atmosphärischer Schichtung durchgeführt. Die Schichtung ist in der Regel stabil, wenn der vertikale Temperaturgradient dT/dz in der Höhe bis 10 m im Bereich $-0,05 < dT/dz < 0,05$ K/m liegt. Als Bezugslinie für die Bestimmung der Mitwindrichtung ist bei Windfarmen die Linie zwischen dem Immissionsort und dem Schwerpunkt der Windfarm zu verwenden. Ist eine einzelne WEA für den Immissionsort pegelbestimmend, so ist die Verbindungslinie zu dieser WEA als Bezugslinie zu verwenden.

Bei einer Richtcharakteristik mit einer Pegelspitze in einer bestimmten Richtung oder bei Tonhaltigkeit in einer bestimmten Richtung sind zusätzliche Messungen in dieser Richtung durchzuführen.

Als akustische Kenngröße ist der Langzeitmittelungspegel nach TA Lärm zu bestimmen. Die Ermittlung des Tonzuschlages erfolgt nach DIN IEC 61400-11 [2] oder nach DIN 45681 [15].

Bei Messungen an WEA sind einige Besonderheiten im Vergleich zu Schallpegelmessungen an anderen gewerblichen oder industriellen Anlagen zu beachten. Diese Besonderheiten beziehen sich insbesondere auf den vergleichsweise großen Aufwand zur Trennung von Anlagengeräusch und Fremdgeräusch (Anlage 3) und auf die Abhängigkeit des Anlagengeräusches von der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe. Dadurch ist das Anlagengeräusch stochastischen Schwankungen unterworfen.

Wird zur Nachweismessung eine Messanordnung entsprechend TA Lärm verwendet, so wird zur Reduzierung der windinduzierten Strömungsgeräusche am Mikrofon und am Stativ die Verwendung eines sekundären Windschirmes dringend empfohlen. Die spektrale Empfindlichkeit des sekundären Windschirmes ist zu dokumentieren. Der Durchmesser dieses Schirmes soll 250 mm betragen. Diese Methode ist nur bei hinreichend großem Signal-Rausch-Verhältnis anwendbar. Der Pegelabstand zwischen dem Gesamtgeräusch und dem Umgebungsgeräusch muss größer als 3 dB sein. Wird dieser Abstand nicht erreicht, müssen Messanordnungen nach Anlage 3 verwendet werden. Dies gilt nicht für den Fall, dass das Gesamtgeräusch (Anlagengeräusch plus windinduziertes Umgebungsgeräusch) im genehmigten Betriebszustand der WEA kleiner als der genehmigte anlagenbezogene Immissionsgrenzwert ist.

Wird auch bei Verwendung einer Messplatte nach Anlage 3 nicht erreicht, dass der Pegelabstand größer als 3 dB ist, so sind die Messungen als Emissionsmessungen nach 2.1 durchzuführen.

3 Quellenverzeichnis

- [1] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI 1998 Nr. 26, S. 503)
- [2] DIN IEC 61400-11 Wind turbine generator systems, Part 11-Acoustic noise measurement techniques
- [3] Länderausschuss für Immissionsschutz: Beratungsunterlage und Niederschrift zu TOP A 1.4 der 99. Sitzung vom 10. bis 12. Mai 2000 in Lübbenau
- [4] Klug, H.; Mellert, V.; Radek, U.: Zuverlässigkeit von Geräuschemmissionsprognosen bei gewerblichen Anlagen. Forschungsbericht 89-105 02 702. Umweltbundesamt Berlin (1989)
- [5] DIN ISO 9613-2 1999-10 Akustik; Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren
- [6] Fronz, W.; Piorr, D.; Kindel, R.: Windenergieanlagen und Immissionsschutz. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Materialien Nr. 63; Essen (2002)
- [7] Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen: Deutsche Übersetzung des "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Beuth Verlag GmbH 1995
- [8] DIN IEC 61400-14 TS Ed. 1 Wind turbines, Part 14: Declaration of sound power level and tonality values of wind turbines
- [9] Probst, W.; Donner, U.: Die Unsicherheit des Beurteilungspegels bei der Immissionsprognose. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 49 (2002) Nr. 3 S. 86 - 90
- [10] Piorr, D.: Zum Nachweis der Einhaltung von Geräuschemmissionswerten mittels Prognose. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 48 (2001), Nr. 5 S. 172 -175
- [11] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 26. September 2002 (BGBl I S.3830)
- [12] Oberverwaltungsgericht Nordrhein-Westfalen: Urteil vom 18. 11. 2002, Az.:7 A 2127/00
- [13] Hammerl, Ch.; Fichtner, J.: Langzeit-Geräuschemissionsmessungen an der 1 MW - Windenergieanlage Nordex N54 in Wiggensbach bei Kempten (Bayern). Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Januar 2000

- [14] Fördergesellschaft für Windenergie e. V. unter Mitwirkung des Arbeitskreises „Geräusche von Windenergieanlagen“ der Immissionsschutzbehörden und Messinstitute: Technische Richtlinie für Windenergieanlagen Teil 1, Bestimmung der Schallimmissionswerte
- [15] DIN 45681 Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen
- [16] Recommended practices for wind turbine testing and evaluation: 10. Measurement of noise immission from wind turbines at noise receptor locations - 1. Edition 1997. Executive Committee of the International Energy Agency Programme for Research and Development on Wind Energy Conversion Systems, Stockholm
- [17] VDI 3723-1 1993-05 Anwendung statistischer Methoden bei der Kennzeichnung schwankender Geräuschimmissionen
- [18] Heimann, D.: Klimatologische Bedingungen der Schallausbreitung. Fortschritte der Akustik. DAGA' 03, Aachen (2003)

Anlage 1

Umrechnung des Schalleistungspegels auf andere Nabenhöhen

Die Umrechnung des Schalleistungspegels einer WEA auf eine andere Nabenhöhe erfolgt nach folgender Berechnungsvorschrift:

$$(1) \quad L_{WA,neu}(v_{Std}) = \Delta L_{WA} + L_{WA,verm}(v_{Std})$$

$$(2) \quad \Delta L_{WA} = a \cdot v_{Std,ref} \cdot \left[\frac{\ln \frac{z_{N,neu}}{z_{0,ref}}}{\ln \frac{z_{N,verm}}{z_{0,ref}}} - 1 \right]$$

$$(3) \quad a = \frac{L_{WA,v2} - L_{WA,v1}}{\Delta v}$$

$$(4) \quad \Delta v = v_{Std 2} - v_{Std 1} \quad v_{Std 2} > v_{Std 1} \quad \text{in m/s}$$

Es bedeuten:

$L_{WA,neu}(v_{Std})$ Schalleistungspegel der neuen WEA bei der standardisierten Windgeschwindigkeit v_{Std}

$L_{WA,verm}(v_{Std})$ Schalleistungspegel der vermessenen WEA bei der standardisierten Windgeschwindigkeit v_{Std}

$L_{WA,v1}$ Schalleistungspegel bei $v_{Std 1}$

$L_{WA,v2}$ Schalleistungspegel bei $v_{Std 2}$

$v_{Std,ref}$ standardisierte Referenzwindgeschwindigkeit in 10 m Höhe

z_{0ref} = 0,05 m Referenzrauigkeitslänge

$z_{N,neu}$ Nabenhöhe der neuen WEA

$z_{N,verm}$ Nabenhöhe der vermessenen WEA

Berechnung des mittleren Schalleistungspegels $L_{WA,m}$ und der Standardabweichung s_{LWA} [8]

$$(5) \quad L_{WA,m} = \sum_{j=1}^n \frac{L_{WA,j}}{n}$$

$$(6) \quad s = \sqrt{\left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (L_{WA,j} - L_{WA,m})^2 \right]}$$

$$(7) \quad \sigma_{LWA} = \sqrt{\left[\frac{1+n}{n} \cdot (s_R^2 + s_P^2) \right]}$$

$$(8) \quad L_{WA,90} = L_{WA,m} + k \cdot \sigma_{LWA}$$

s Standardabweichung des Schalleistungspegels

n Anzahl der vermessenen WEA

σ_R Wiederholstandardabweichung; ein typischer Wert ist $\sigma_R = 0,5$ dB,

σ_P Produktionsstandardabweichung; als Näherung gilt: $\sigma_P = s$,
wenn der Schalleistungspegel nur von einer WEA vorliegt $\sigma_P = 1,2$ dB
gemäß DIN EN 50376 (Stand November 2001)

$L_{WA,90}$ Obere 90 %ige Vertrauensbereichsgrenze,

k Standardnormalvariable (für eine Sicherheit von 90 %: $k = 1,28$)

Anlage 2

Berechnung der Prognosequalität

In Anlehnung an [9] wird von dem Modell ausgegangen, dass die Prognoseunsicherheit mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle zunimmt.

Demzufolge ist bei der Berechnung der Standardabweichung des Beurteilungspegels neben der Standardabweichung des Schalleistungspegels auch eine entfernungsabhängige Standardabweichung zu berücksichtigen. In Anlehnung an Abb. 1 von VDI 2714 und an Untersuchungen über den Einfluss der atmosphärischen Stabilität auf die Schallausbreitung [18] kann die entfernungsabhängige Standardabweichung der Schallpegel für Entfernungen ab 100 m abgeschätzt werden aus:

$$(9) \quad \sigma_d = 2 \cdot \lg \frac{d}{d_0} - 3 \quad \text{in dB}$$

Für $d \leq 100$ m gilt $\sigma_d = 1,0$ dB.

Die Standardabweichung ($\sigma_{p,j}$) der Teilimmissionspegel ($L_{p,j}$) ergibt sich aus:

$$(10) \quad \sigma_{p,j} = \sqrt{(s_{LWA}^2 + s_{d,j}^2)}$$

Die Standardabweichung des Gesamtpegels am Immissionsort ergibt sich nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz [7] und in Anlehnung an [9] aus:

$$(11) \quad \sigma_p = \frac{\sqrt{\left[\sum_{j=1}^m (s_{p,j} \cdot 10^{0,1L_{p,j}})^2 \right]}}{\sum_{j=1}^m 10^{0,1L_{p,j}}}$$

$$(12) \quad L_{p,90} = L_p + k \cdot \sigma_p$$

$$(13) \quad L_{r,90} = L_{p,90} + K_T + K_l - C_{met}$$

Es bedeuten:

σ_d entfernungsabhängige Standardabweichung

$d_0 = 1 \text{ m}$

$d \geq 100 \text{ m}$ Abstand der WEA vom Immissionsort in m

$\sigma_{p,j}$ Standardabweichung der Teilimmissionspegel

σ_{LWA} Standardabweichung des Schalleistungspegels entsprechend Anlage 1

$L_{p,j}$ Teilimmissionspegel der einzelnen WEA

L_p Gesamtimmissionspegel der zu genehmigenden WEA

$L_{p,90}$ Obere Vertrauensbereichsgrenze des Gesamtimmissionspegels mit einer statistischen Sicherheit von 90 %

$L_{r,90}$ Obere Vertrauensbereichsgrenze des Gesamtbeurteilungspegels mit einer statistischen Sicherheit von 90 %

K_T Tonzuschlag am Immissionsort

K_I Zuschlag für Impulshaltigkeit am Immissionsort

C_{met} Meteorologische Korrektur nach DIN 9613-2

k Standardnormalvariable (für eine Sicherheit von 90 %: $k = 1,28$)

m Anzahl der WEA

Anlage 3

Hinweise für die Messung und Messwertbearbeitung zur Ermittlung des Schall- druckpegels am Immissionsort

Zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses kann entsprechend [16] eine Platte mit den Abmessungen 180 x 150 cm² verwendet werden (Abbildung 1)

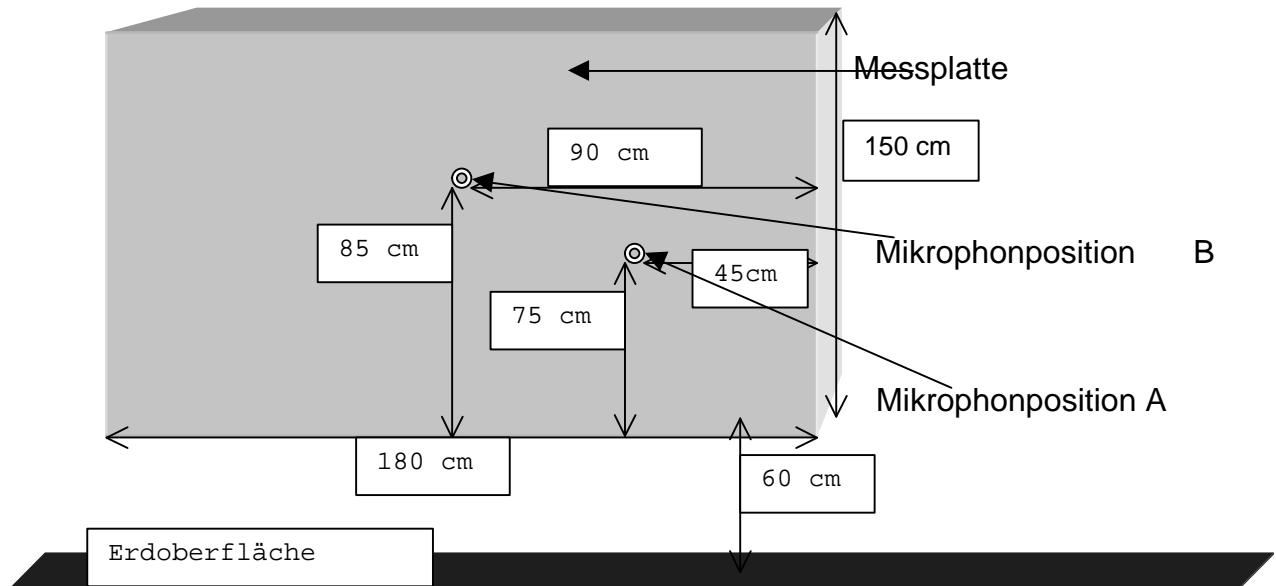


Abbildung 1: Anordnung der Mikrophone an der Messplatte zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses

Die Platte muss akustisch hart sein. Die Dicke soll mindestens 12 mm betragen.

Die Mikrophone sind senkrecht zur Platte anzuordnen. An den beiden Mikrofonpositionen A und B ist das Mikrophon so montieren, dass sich die Kapseloberfläche parallel in der Plattenebene befindet und auf die Schallquelle gerichtet ist. Vor dem Mikrophon ist die Hälfte eines Windschirms mit einem Durchmesser von 90 mm anzuordnen. Gegebenenfalls ist hier ein weiterer sekundärer Windschirm zu montieren. Bei den Messungen ist die Platte senkrecht auszurichten. Der Abstand der längeren Kante von der Erdoberfläche sollte ca. 60 cm betragen.

Die Mikrofonposition A ist vorzugsweise zur Verringerung des Windeinflusses auf das Mikrophon zu verwenden. Die Mikrofonposition B dient der Abschirmung störender Schallquellen. Messgröße ist der AF-bewertete äquivalente Dauerschallpegel $L_{A\text{ eq}}$ für das jeweilige Mittelungsintervall.

Grundsätzlicher Messgeräteaufbau:

(1) Immissionsort:

- Akustisches Messgerät, Aufbau in Absprache mit der Immissionsschutzbehörde.
- Anemometer, Messhöhe 10 m, Aufbau in möglichst freier Anströmung. Nur bei gegliedertem Gelände oder dichter Bebauung erforderlich.

(2) Standort der WEA

- Anemometer mit Windrichtungsanzeiger, Messhöhe 10 m. Aufbau in Windrichtung vor den Windenergieanlagen in einem Abstand $(z_N + D/2)$.
 z_N - Nabenhöhe
D - Rotordurchmesser
- Messgeräte für Luftdruck, Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit; Messhöhe 2 m.
Die Luftdruckmessung kann auch am Immissionsort erfolgen, wenn die Höhe über NN etwa gleich der Höhe über NN an den WEA ist.
- Betriebstechnische Parameter wie elektrische Leistung, Rotordrehzahl; Pitchwinkel bzw. Leistungskurve oder Getriebestufe

Messumfang:

Es sind synchrone Messungen aller Parameter durchzuführen. Der Messumfang soll mindestens je 10 Messintervalle umfassen. Die Mittelungszeit soll 1 ... 10 min betragen. Je größer der Abstand zwischen dem Immissionsort und den WEA ist, um so größer muss die Mittelungszeit sein.

Die Mindestmesszeit beträgt 30 min. Die Messungen sind durchzuführen, wenn die WEA in Betrieb sind und bei abgeschalteten WEA zur Messung des Fremdgeräusches.

Im Bereich von ± 2 m/s um die Sollwindgeschwindigkeit sollen je drei Datenpunkte unterhalb und oberhalb der Sollwindgeschwindigkeit liegen.

Datenauswertung:

(1) Korrektur des Platteneinflusses auf die Schalldruckpegel:
Gesamtpegel L_{tot} :

$$(14) \quad L_{tot} = L_{tot,Brett} - 6 \text{ dB}$$

Fremdgeräuschpegel L_{frd} :

$$(15) \quad L_{\text{frd}} = L_{\text{frd,Brett}} - 6 \text{ dB}$$

- (2) Korrektur der gemessenen elektrischen Leistung P_{mes} auf atmosphärische Standardbedingungen P_{Std} :

$$(16) \quad P_{\text{Std}} = P_{\text{mes}} \cdot \frac{T_{\text{mes}}}{T_{\text{Std}}} \cdot \frac{p_{\text{Std}}}{p_{\text{mes}}}$$

Es bedeuten:

$$T_{\text{mes}} = t_{\text{mes}} + 273 \text{ in K}$$

$$T_{\text{Std}} = 288 \text{ K}$$

t_{mes} - gemessene Lufttemperatur in °C

$$p_{\text{Std}} = 1013 \text{ hPa}$$

p_{mes} - gemessener Luftdruck in hPa

- (3) Ermittlung der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe v_N auf der Grundlage der korrigierten elektrischen Leistung über die Leistungskurve.
- (4) Umrechnung von v_N auf eine Höhe von 10 m unter Annahme eines standardisierten vertikalen Windprofils und einer Referenzrauigkeitslänge $z_{0, \text{ref}}$. Das Ergebnis dieser Umrechnung ist die standardisierte Windgeschwindigkeit v_{Std} . Entsprechend [2] gilt für Ermittlung der standardisierten Windgeschwindigkeit folgende Beziehung:

$$(17) \quad v_{\text{Std}} = v_N \cdot \left[\frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_{0, \text{ref}}}\right) \cdot \ln\left(\frac{z_N}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_N}{z_{0, \text{ref}}}\right) \cdot \ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)} \right]$$

Es bedeuten:

v_N Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe, ermittelt aus P_{Std} über die Leistungskurve

z_2 Höhe 10 m

- z_N Nabenhöhe in m
 z_{0ref} Referenzrauhigkeitslänge 0,05 m
 z_0 Rauigkeitslänge in m

- (5) Berechnung des Korrekturfaktors κ bzw. κ_1 , um bei abgeschalteten WEA v_{Std} ermitteln zu können [2].

$$(18) \quad \kappa = \frac{v_{Std}}{v_2}$$

$$(19) \quad \kappa_1 = \frac{v_{Std}}{v_{2,IO}}$$

Es bedeuten:

- v_2 gemessene Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe vor den WEA
 $v_{2,IO}$ gemessene Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe am Immissionsort

- (6) Darstellung des Gesamtgeräuschpegels L_{tot} und des Fremdgeräuschpegels L_{frd} über die standardisierte Windgeschwindigkeit v_{Std} .

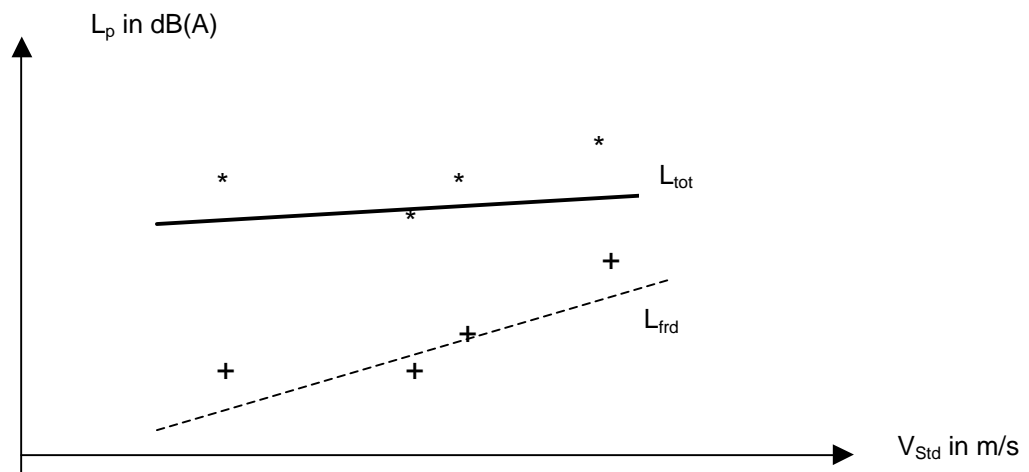


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Abhängigkeit des Gesamtgeräuschpegels und des Fremdgeräuschpegels von v_{Std}

- (7) Zur Ermittlung des Anlagengeräuschpegels L_{Anl} bei der Sollwindgeschwindigkeit ist es hilfreich, wenn Regressionsanalysen einmal zwischen dem Gesamtgeräuschpegel und v_{Std} und zum anderen zwischen dem Fremdgeräuschpegel und v_{Std} durchgeführt werden. Es sind die Ansätze mit der jeweils besten Annäherung zu verwenden. Diese können z.B. folgende Form haben:

$$(20) \quad L_{tot\ ber} = a + b \cdot v_{Std} + c \cdot v_{Std}^2 + d \cdot v_{Std}^3$$

$$(21) \quad L_{frd\ ber} = a_1 + b_1 \cdot v_{Std}$$

Der Anlagengeräuschpegel ist aus der Differenz zwischen dem Gesamtgeräuschpegel und dem Fremdgeräuschpegel bei der entsprechenden standardisierten Windgeschwindigkeit zu berechnen und als Funktion der standardisierten Windgeschwindigkeit darzustellen.

$$(22) \quad L_{\text{Anl}}(v_{\text{Std}}) = 10 \cdot \lg \left(10^{0,1 \cdot L_{\text{tot ber}}(v_{\text{Std}})} - 10^{0,1 \cdot L_{\text{frd ber}}(v_{\text{Std}})} \right)$$

Der maßgebliche Anlagengeräuschpegel $L_{\text{Anl}}(v_{\text{soll}})$ ist dann bei der Sollwindgeschwindigkeit zu ermitteln.

Berechnung der Messunsicherheit

Für den maßgeblichen Anlagengeräuschpegel ist die Messunsicherheit bei der Sollwindgeschwindigkeit anzugeben. Als Maß für die Messunsicherheit des Anlagengeräuschpegels ist die Standardabweichung $s_{\text{Anl}}(v_{\text{soll}})$ zu verwenden. Sie ist in Anlehnung an [16] nach Gleichung (25) zu berechnen.

Standardabweichung des Gesamtgeräuschpegels:

$$(23) \quad s_{\text{tot}} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^n (L_{\text{tot},i} - L_{\text{tot,ber},i})^2}$$

Standardabweichung des Fremdgeräuschpegels:

$$(24) \quad s_{\text{frd}} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^n (L_{\text{frd},i} - L_{\text{frd,ber},i})^2}$$

n Anzahl der Messwerte

Standardabweichung des Anlagengeräuschpegels bei der Sollwindgeschwindigkeit:

$$(25) \quad s_{\text{Anl}}(v_{\text{soll}}) = \frac{\sqrt{(s_{\text{tot}} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{\text{tot}}(v_{\text{soll}})})^2 + (s_{\text{frd}} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{\text{frd}}(v_{\text{soll}})})^2}}{10^{0,1 \cdot L_{\text{Anl}}(v_{\text{soll}})}}$$