

Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen (WKA)



Überarbeiteter Entwurf vom 17.03.2016
mit Änderungen PhysE vom 23.06.2016
Stand 30.06.2016

Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen (WKA)

Bei der Entscheidung über die Genehmigung von WKA ist auf der Grundlage der Sechsten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm – vom 26.08.1998 (GMBI. S. 503)) von der zuständigen Immissionsschutzbehörde zu prüfen, ob die Anforderungen des Immissionsschutzrechts in Bezug auf Geräusche von den Anlagen eingehalten werden, ggf. ist die Genehmigung mit entsprechenden Nebenbestimmungen zu versehen. In den nachfolgenden Hinweisen werden die Anforderungen der TA Lärm an die Durchführung von Immissionsprognosen im Rahmen der Errichtung und des Betriebs von WKA durch eine vorläufige Anpassung des Prognosemodells auf Basis neuerer Erkenntnisse konkretisiert. Zur Ermittlung der Eingangsdaten für die Immissionsprognose werden Erkenntnisquellen benannt. Darüber hinaus werden Empfehlungen zur messtechnischen Überprüfung der im Genehmigungsverfahren festgelegten Werte gegeben.

1. Eingangskenngrößen für Schallimmissionsprognosen

Der für den WKA-Typ und Betriebsmodus spezifische Schallleistungspegel bildet die Eingangsgröße der Schallimmissionsprognosen für konkrete WKA-Projekte. Als Erkenntnisquelle stehen Schallleistungspegel, die auf einer Einfachvermessung (siehe Ziffer 1.2 b)) oder einer Ergebniszusammenfassung aus mehreren Einzelmessungen (siehe Ziffer 1.2 c)) des WKA-Typs beruhen, oder Angaben des Herstellers (siehe Ziffer 1.2 a)) zur Verfügung. Im Übrigen wird auf Ziffer 5.1 verwiesen.

1.1 Vorbelastung

Als Vorbelastung sind neben den bereits genehmigten Windkraftanlagen alle Anlagen, für die die TA Lärm gilt, zu berücksichtigen.

Bei WKA, die als Vorbelastung zu berücksichtigen sind, ist der in ihrer Genehmigung festgelegte zulässige Schallleistungspegel zu verwenden. Gibt es keine derartige Festlegung im Genehmigungsbescheid, so kann der Schallleistungspegel sachlich begründet abgeschätzt werden. Liegt zu dem Anlagentyp in der genehmigten Betriebsweise ein Messbericht vor, kann der für die Vorbelastung anzusetzende Schallleistungspegel des bestimmungsgemäßen Betriebs z. B. auf Basis des im Messbericht dargestellten Geräuschverhaltens abgeschätzt werden. Das unterschiedliche Geräuschverhalten von stall- und pitchgesteuerten WKA ist hierbei zu berücksichtigen. In der Regel ist das Referenzspektrum als Grundlage für die Eingangsdaten der Prognose heranzuziehen (siehe Ziffer 6). Liegen qualifizierte Informationen über detaillierte anlagenbezogene Oktavspektren vor, können auch diese herangezogen werden.

1.2 Zusatzbelastung

Für die Ermittlung der Zusatzbelastung können die folgenden Angaben alternativ für die Immissionsprognose herangezogen werden. Sie sind den Immissionsschutzbehörden zur Verfügung zu stellen, so dass die Eingangsdaten der Prognose überprüft werden können:

a) Angabe des Herstellers

Der Schallleistungspegel, den der Hersteller für den bestimmungsgemäßen Betrieb angibt. Die Herstellerangabe kann z. B. herangezogen werden, wenn bei den ersten Anlagen eines neuen Anlagentyps noch keine Messberichte vorliegen. Diese Angaben müssen nicht nur den Schallleistungspegel L_{WA} , sondern auch das zugehörige Oktavspektrum umfassen. Die Angaben müssen die möglichen Auswirkungen der Serienstreuung und der Unsicherheit der noch ausstehenden Abnahmemessung (siehe Ziffer 5.2) berücksichtigen.

b) Einfachvermessung

Der Schallleistungspegel eines WKA-Typs in einem bestimmten Betriebsmodus und das zugehörige Oktavspektrum wurden durch eine Typvermessung entsprechend den folgenden Richtlinien und Normen ermittelt:

- FGW TR1 in der jeweils gültigen Revision in Verbindung mit
- IEC 61400-11 Ed. 2¹ oder
- IEC 61400-11 Ed. 3²

(siehe Ziffer 5.1).

c) Mehrfachvermessung

Der Schallleistungspegel eines WKA-Typs in einem bestimmten Betriebsmodus und das zugehörige Oktavspektrum wurden durch Vermessung an mehreren WKA dieses Typs ermittelt. Es liegen mindestens drei Vermessungen vor, über die ein zusammenfassender Bericht gemäß FGW TR1 (Anhang D) [1] erstellt wurde. Neben dem Schallleistungspegel des Anlagentyps kann diesem Bericht der Wert für die Serienstreuung entnommen werden.

2. Schallimmissionsprognosen

Die Schallimmissionsprognose ist gemäß Nr. A 2 der TA Lärm nach der DIN ISO 9613-2 [2] durchzuführen. Die DIN ISO 9613-2 gilt für die Berechnung der Schallausbreitung bei bodennahen Quellen (bis 30 m mittlere Höhe zwischen Quelle und Empfänger; s. Kapitel 9, Tabelle 5). Zur Anpassung des Prognoseverfahrens auf hochliegende Quellen hat der Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) auf Basis neuerer Untersuchungsergebnisse [6] und auf Basis theoretischer Berechnungen ein „Interimsverfahren“ [3] veröffentlicht. Für WKA als hochliegende Schallquellen (> 30 m) sind diese neueren Erkenntnisse im Genehmigungsverfahren zu berücksichtigen. Die Immissionsprognose ist daher nach der „Dokumentation zur Schallausbreitung – Interimsverfahren zur Prognose der Geräuschimmissionen von Windkraftanlagen, Fassung 2015-05.1“ [3] – sowohl für Vorbelastungsanlagen als auch für neu beantragte Anlagen – frequenzselektiv durchzuführen. Hierbei sind zur Berechnung der Luftabsorption die Luftdämpfungskoeffizienten α nach Tabelle 2 der DIN ISO 9613-2 [2] für die relative Luftfeuchte 70 % und die Lufttemperatur von 10° C anzusetzen.

¹ entsprechend DIN EN 61400-11(VDE 0127-11):2007-03 Windenergieanlagen – Teil 11: Schallmessverfahren

² entsprechend DIN EN 61400-11(VDE 0127-11):2013-09 Windenergieanlagen – Teil 11: Schallmessverfahren

Zur Berücksichtigung der tatsächlichen Verhältnisse (Lage der maßgeblichen Immissionsorte, Berücksichtigung möglicher Schallreflexionen) ist in der Regel eine Ortsbesichtigung erforderlich.

Als Eingangsdaten für die Immissionsprognose sind Schallleistungspegel und zugehörige Oktavspektren gemäß Ziffer 1 zu verwenden.

Hinsichtlich eines zu berücksichtigenden Tonzuschlags soll wie folgt verfahren werden:

$0 \leq K_{TN} \leq 2$ Tonzuschlag K_T von 0 dB

K_{TN} : Tonhaltigkeit bei Emissionsmessungen im Nahbereich nach der FGW-Richtlinie [1] gemessen,

K_T : Tonzuschlag, der bei Entfernungen über 300 m für die Immissionsprognose zu verwenden ist

WKA, die im Nahbereich höhere tonhaltige Geräuschemissionen hervorrufen, sind nicht Stand der Technik³.

Für WKA-Typen, bei denen in Messberichten nach der FGW-Richtlinie ein $K_{TN} = 2$ dB im Nahbereich ausgewiesen wird, ist am maßgeblichen Immissionsort eine Abnahmemessung zur Beurteilung der Tonhaltigkeit erforderlich (siehe Ziffer 5.3). Wird hierbei eine immissionsseitige Tonhaltigkeit festgestellt, müssen Maßnahmen zur Minderung der Tonhaltigkeit ergriffen werden (kurzfristig z. B. Vermeiden des Dauerbetriebs mit der Drehzahl, bei welcher die Tonhaltigkeit auftritt; langfristig: technische Minderungsmaßnahmen).

Die durch die Drehbewegung der Rotorblätter erzeugte windkraft-anlagentypische Geräuschcharakteristik ist in der Regel weder als ton- noch als impulshaltig einzustufen.

Die Infraschallerzeugung moderner WKA liegt selbst im Nahbereich bei Abständen zwischen 150 und 300 m deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen [4, 5]. Damit sind Gesundheitsschäden und erhebliche Belästigungen nach derzeitigem Erkenntnisstand nicht zu erwarten.

Beurteilungspegel sind nach den Rundungsregeln der DIN 1333 [7] gemäß Ziffer 4.5.1 als ganzzahlige Werte anzugeben.

3. Qualität der Prognose

Bei der Prognose ist auf die Sicherstellung der Nicht-Überschreitung der Immissionsrichtwerte der TA Lärm abzustellen. Die Schallimmissionsprognose für WKA ist mit der Unsicherheit der Emissionsdaten (Unsicherheit der Typvermessung σ_R und Unsicherheit der Serienstreuung σ_P) sowie der

³Falls im Nahbereich im Frequenzbereich ab 3 kHz eine Tonhaltigkeit von $K_{TN} \geq 2$ dB festgestellt wird, und im Emissionsmessbericht plausibel und nachvollziehbar dargelegt wird, dass die festgestellte Tonhaltigkeit aufgrund der hohen Luftabsorption für Immissionsorte in Abständen größer als 500 m keine Immissionsrelevanz hat, kann in der Geräuschprognose der Tonzuschlag in dem entsprechenden Entfernungsbereich zu $K_T = 0$ dB gesetzt werden.

Unsicherheit des Prognosemodells σ_{prog} behaftet.

Die Sicherstellung der Nicht-Überschreitung ist dann anzunehmen, wenn die unter Berücksichtigung der Unsicherheit der Emissionsdaten und der Unsicherheit des Prognosemodells bestimmte obere Vertrauensbereichsgrenze des prognostizierten Beurteilungspegels den IRW unterschreitet.

Überschreitungen des IRW im Rahmen der Regelung unter Nr. 3.2.1 Abs. 3 der TA Lärm sind weiterhin zulässig.

a) Unsicherheit der Herstellerangabe

Wird die Herstellerangabe für die Immissionsprognose herangezogen, werden keine Unsicherheiten für Typvermessung und Serienstreuung ausgewiesen, da entsprechend Ziffer 4.2 eine Abnahmemessung erfolgen muss, um den Nachweis der Nicht-Überschreitung der festgesetzten Herstellerangabe zu erbringen.

b) Unsicherheit der Typvermessung

Bei einer normkonform nach FGW-Richtlinie durchgeführten Typvermessung kann von einer Unsicherheit $\sigma_R = 0,5 \text{ dB}$ ausgegangen werden.

c) Unsicherheit durch Serienstreuung

Bei der Übertragung des an einer WKA vermessenen Schallleistungspegels auf eine andere WKA des gleichen Typs ergibt sich eine Unsicherheit durch die Streuung der in Serie hergestellten WKA. Bei einer Mehrfachvermessung aus mindestens drei Messungen (siehe Ziffer 1.2 c) kann für σ_P die Standardabweichung s der Messwerte aus dem zusammenfassenden Bericht angesetzt werden.

Liegt eine Mehrfachvermessung des Anlagentyps in einer anderen als der beantragten Betriebsweise vor, kann die durch die Mehrfachvermessung dokumentierte Serienstreuung auch auf die beantragte Betriebsweise übertragen werden. In diesem Fall wird eine Abnahmemessung empfohlen.

Liegt keine Mehrfachvermessung vor, ist für σ_P ein Ersatzwert von $1,2 \text{ dB}$ zu wählen.

d) Unsicherheit des Prognosemodells

Die Unsicherheit des Prognosemodells wird wie folgt berücksichtigt:

$$\sigma_{\text{prog}} = 1 \text{ dB}$$

e) Gesamtunsicherheit

Die einzelnen Unsicherheiten können in der Standardabweichung für die Gesamtunsicherheit σ_{ges} zusammengefasst werden:

$$\sigma_{\text{ges}} = \sqrt{(\sigma_R^2 + \sigma_P^2 + \sigma_{\text{prog}}^2)}$$

Mit Hilfe der Gesamtunsicherheit kann die obere Vertrauensbereichsgrenze der prognostizierten Immission (mit einem Vertrauensniveau von 90 %) durch einen Zuschlag abgeschätzt werden, der folgendermaßen berechnet wird:

$$\Delta L = 1,28 \sigma_{\text{ges}}$$

Die Unsicherheit der Emissionsdaten der Vorbelastungsanlagen ist in der gleichen Weise zu berücksichtigen, wie sie im Rahmen der Genehmigungen der Vorbelastungsanlagen angewandt wurde.

4. Empfehlungen für Nebenbestimmungen der Genehmigung

4.1 Allgemeine Hinweise

Als maximal zulässiger Emissionswert ist der in der Prognose verwendete Schallleistungspegel $L_{e,\text{max}}$ im Genehmigungsbescheid festzuschreiben. Dabei sind die in der Prognose angesetzten Unsicherheiten der Emissionsdaten gemäß Ziffer 3 b) und 3 c) als Toleranzbereich zu berücksichtigen, das heißt, es ist die obere Vertrauensbereichsgrenze des Schallleistungspegels für ein einseitiges Vertrauensniveau von 90 % festzuschreiben. Es gilt:

$$L_{e,\text{max}} = \bar{L}_W + 1,28 \cdot \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_P^2}$$

$L_{e,\text{max}}$: maximal zulässiger Emissionspegel

$\bar{L}_W$: Deklarierter (mittlerer) Schallleistungspegel

σ_R : Messunsicherheit (siehe 3 b)).

σ_P : Serienstreuung (siehe 3 c))

Der Schallleistungspegel ist als Einzahlwert in der Genehmigung festzuschreiben.

Das zum Schallleistungspegel zugehörige Oktavspektrum ist in den Genehmigungsbescheid aufzunehmen.

In den Hinweisen oder der Begründung zum Genehmigungsbescheid können Immissionsrichtwertanteile oder Teilbeurteilungspegel der Anlage aufgeführt werden.

Im Fall, dass die Prognose gemäß Ziffer 3 a) auf einer Angabe des Herstellers (siehe Ziffer 1.2 a) beruht, ist der in der Prognose angesetzte Schallleistungspegel als maximal zulässiger Emissionswert festzusetzen.

Bei „Windparks“ sind sachgerecht ausgewählte WKA ggf. für eine Abnahmemessung vorzusehen. Ein maßgebliches Kriterium ist dabei der Beitrag, den die jeweilige WKA an der Gesamtbelastung an den maßgeblichen Immissionsorten hat.

Sofern eine Abnahmemessung gefordert wird, soll vorgegeben werden, in welchem Betriebsbereich das Geräuschverhalten der Anlage untersucht werden soll. Der Betriebsbereich ist mindestens so zu wählen, dass die Windgeschwindigkeit erfasst wird, in der der maximale Schallleistungspegel erwartet wird. Dies ist in der Regel der Bereich, der durch die TR1 [1] abgedeckt wird.

Im Falle, dass eine Abnahmemessung gefordert wird, soll die Vorlage einer Bestätigung der Messstelle über die Annahme der Beauftragung der Messung innerhalb einer Frist von einem Monat nach Inbetriebnahme gefordert werden.

Diese Bescheinigung ist bei der Genehmigungsbehörde einzureichen. Die Vorlage der Messergebnisse hat dann innerhalb einer Frist von 12 Monaten nach Inbetriebnahme zu erfolgen. Fristverlängerungen sind im begründeten Einzelfall möglich.

Wenn die erforderlichen Windgeschwindigkeiten für die Abnahmemessung nicht vorliegen, kann die Nachweisführung durch Extrapolation der Messwerte bei anderen Windgeschwindigkeiten erfolgen.

Liegt eine Mehrfachvermessung eines Betriebszustands vor, nicht jedoch ein Messbericht über das Geräuschverhalten in der beantragten Betriebsweise, und wird plausibel und nachvollziehbar dargelegt, dass die Anlage bis zur Vorlage eines Messberichts mit einer schallreduzierten Betriebsweise so betrieben werden kann, dass die Schallemission der schallreduzierten Betriebsweise erheblich (d. h. mindestens um 3 dB) unterhalb der Schallemission der beantragten Betriebsweise liegt, so kann diese schallreduzierte Betriebsweise bis zur Vorlage des Messberichts zur beantragten Betriebsweise zugelassen werden.

Die Anlage muss mit einer kontinuierlichen Aufzeichnung geeigneter Betriebsparameter (z. B. Leistung und Drehzahl) versehen sein, die rückwirkend für einen Zeitraum von wenigstens 12 Monaten den Nachweis der tatsächlichen Betriebsweise der Anlage ermöglicht. In der Genehmigung müssen in diesem Fall Maximalwerte für die 10-Minuten-Mittelwerte der ausgewählten Betriebsparameter festgelegt werden, so dass eine Kontrolle insbesondere der nächtlichen Betriebsweise der Anlage in dieser Zeitspanne nachträglich möglich ist.

4.2 Falls die Planung auf Basis von Angaben des Herstellers beruht

Durch eine Nebenbestimmung im Genehmigungsbescheid ist sicher zu stellen, dass der Betreiber innerhalb eines Jahres nach Inbetriebnahme der einzelnen WKA die Einhaltung des festgelegten Emissionswertes durch Messung nachweist, sofern der Schalleistungspegel dieser WKA einen Immissionsbeitrag am Beurteilungspegel an den maßgeblichen Immissionsorten erzeugt, der die IRW um bis zu 15 dB(A) unterschreitet. Die Messunsicherheit ist dabei zu Lasten des Betreibers zu berücksichtigen. Die Ziffern 4.3 und 4.4 können in diesem Fall nicht angewendet werden.

Es wird empfohlen, den Nachtbetrieb der Anlage erst aufzunehmen, wenn durch Vorlage eines Berichtes über eine Typvermessung gezeigt wird, dass der in der Schallimmissionsprognose angenommene Emissionswert nicht überschritten wird. Sofern der zur Aufnahme des Nachtbetriebs eingereichte Nachweis auf Messungen an einer anderen als der genehmigten Anlage erfolgte, sind die möglichen Auswirkungen der Serienstreuung sowie der Messunsicherheit zu Lasten des Betreibers zu berücksichtigen.

4.3 Falls nur ein Emissionsmessbericht vorliegt

Falls zum beantragten Anlagentyp in der beantragten Betriebsweise nur ein unabhängiger Messbericht vorliegt, wird eine Abnahmemessung empfohlen.

Liegt vor der Durchführung der Abnahmemessung ein Bericht einer Mehrfachvermessung vor, kann auf eine Abnahmemessung unter

Berücksichtigung von Ziffer 4.1 verzichtet werden, sofern der rechnerische Nachweis der Nicht-Überschreitung der Immissionsrichtwerte der TA Lärm auf Basis des messtechnisch durch die Mehrfachvermessung nachgewiesenen Schallleistungspegels und Spektrums unter Berücksichtigung der Unsicherheit der Emissionsdaten (Messunsicherheit, Serienstreuung) und der Unsicherheit des Prognosemodells sowie der oberen Vertrauensbereichsgrenze geführt wurde.

4.4 Falls mindestens drei Emissionsmessungen vorliegen

Liegt eine Mehrfachvermessung vor, kann prinzipiell auf eine Abnahmemessung unter Berücksichtigung von Ziffer 4.1 verzichtet werden.

4.5 Tonhaltigkeit

Falls die Anlage nach den Planungsunterlagen im Nahbereich eine geringe Tonhaltigkeit ($K_{TN} = 2 \text{ dB}$) aufweist, ist am maßgeblichen Immissionsort eine Abnahme zur Überprüfung der dort von der Anlage verursachten Tonhaltigkeit zu fordern. Sofern im Rahmen einer emissionsseitigen Abnahmemessung eine geringe Tonhaltigkeit festgestellt wird, ist ebenfalls im Rahmen einer immissionsseitigen Abnahmemessung deren Immissionsrelevanz zu untersuchen.

5. Messungen

Bei Abnahmemessungen ist der Messabschlag nach Ziffer 6.9 der TA Lärm nicht vorzunehmen.

5.1 Emissionsmessungen zur Typkennzeichnung

Die Anforderungen an die Schallemissionsmessung und an deren Auswertung sind in der Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen Teil 1: „Bestimmung der Schallemissionswerte“ [1] beschrieben. Diese Richtlinie weist – in der jeweils aktuellen Fassung – auf die gültigen nationalen und internationalen Normen hin, die entsprechend konkretisiert worden sind. Emissionsmessungen sollen nach den Mess- und Auswertevorschriften dieser Technischen Richtlinie durchgeführt werden.

Entsprechend den Vorgaben der Technischen Richtlinie werden akustische Vermessungen durch Messstellen anerkannt, die ihre Kompetenz z.B. durch Teilnahme an regelmäßigen Ringversuchen zur akustischen Vermessung von Windenergieanlagen nach FGW-Richtlinie, das Führen eines spezifischen Qualitätssiegels (z.B. FGW-Siegel) oder auf vergleichbare Weise nachweisen.

5.2 Emissionsseitige Abnahmemessungen

Die in Ziffer 5.1 genannten Anforderungen sind auch bei emissionsseitigen Abnahmemessungen zu erfüllen.

Wird eine emissionsseitige Abnahmemessung gefordert, ist im Anschluss mit den Ergebnissen der Abnahmemessung mit den ermittelten Oktav-Schallleistungspegeln eine erneute Schallausbreitungsrechnung nach dem Interimsverfahren durchzuführen. Bei dieser Neuberechnung ist die Messunsicherheit, nicht jedoch die Unsicherheit des Prognosemodells zu berücksichtigen. Dabei ist der Vergleich mit der Ausbreitungsrechnung unter Ansatz von $L_{e,max}$ durchzuführen. Die auf Basis des gemessenen Emissionsspektrums berechneten A-bewerteten Immissionspegel dürfen die auf Basis des in der Prognose angesetzten Emissionsspektrums berechneten A-

bewerteten Immissionspegel nicht überschreiten. Die Emission darf keine relevante Tonhaltigkeit aufweisen.

Falls die Emission eine geringe Tonhaltigkeit ($K_{TN} = 2 \text{ dB}$) aufweist, ist immissionsseitig zu prüfen, ob die Tonhaltigkeit immissionsrelevant ist.

5.3 Immissionsmessungen

Immissionsmessungen sind bei WKA mit messtechnischen Schwierigkeiten verbunden, die insbesondere durch ein ungünstiges Verhältnis von Anlagen- und (windinduziertem) Hintergrundgeräusch sowie durch meteorologische Schwankungen der Schallausbreitungsbedingungen bedingt sind.

Daher werden in der Regel Emissionsmessungen durchgeführt.

Bei Immissionsmessungen sind zur Reduzierung der windverursachten Störgeräusche an der Messeinrichtung gegebenenfalls geeignete Maßnahmen (z. B. Sekundärwindschirm, Grenzflächenmikrofon) einzusetzen. Die Mikrofonsignale sind sorgfältig abzuhören, damit vermeidbare windverursachte Störgeräusche (z. B. Pfeifen des Windes an Bohrungen des Stativs) erkannt und minimiert werden können.

Nachts (ab eine Stunde vor Sonnenuntergang bis eine Stunde nach Sonnenaufgang) sind die Schallausbreitungsbedingungen erfahrungsgemäß günstiger als tags. Außerdem bilden sich nachts häufig stabile thermische Schichtungen aus, die dazu führen, dass bodennah - bei gleicher Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe - geringere Windgeschwindigkeiten und damit geringere windverursachte Fremdgeräusche auftreten als tags. Gleichzeitig treten auch andere Hintergrundgeräusche nachts zurück. Daher sind Immissionsmessungen im Regelfall nachts durchzuführen.

Ist zu prüfen, ob eine emissionsseitig festgestellte geringe Tonhaltigkeit ($K_{TN} = 2 \text{ dB}$) immissionsrelevant ist, muss die Messung nur in dem Windgeschwindigkeits-/Leistungs-/Drehzahlbereich erfolgen, bei dem emissionsseitig die Tonhaltigkeit festgestellt wurde.

6. Referenzspektrum

Zur Prognose der Vorbelastung ist in der Regel folgendes Referenzspektrum als Grundlage für die Eingangsdaten der Prognose heranzuziehen:⁴:

f [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
$L_{WA, norm} \text{ [dB]}$	-20,3	-11,9	-7,7	-5,5	-6,0	-8,0	-12,0

Liegen qualifizierte Informationen über detaillierte anlagenbezogene Oktavspektren vor, können auch diese herangezogen werden.

Literatur

[1] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte (FGW-Richtlinie TR1), Hg.: Fördergesellschaft für

⁴ Das normierte Spektrum wurde als Mittelwert aus den A-bewerteten Spektren von 56 Windenergieanlagen mit Nennleistungen zwischen 250 kW und 2 MW berechnet, die im Anhang D folgender Veröffentlichung dokumentiert sind: van den Berg G, Pedersen E, Bouma J, Bakker R. Project WINDFARMperception. Visual and acoustic impact of wind turbine farms on residents. FP6–2005-Science-and-Society-20. Specific support action project no. 044628, 2008.

Windenergie und andere Erneuerbare Energien e.V.

[2] ISO 9613-2 (1999-10): Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren

[3] Dokumentation zur Schallausbreitung: Interimsverfahren zur Prognose der Geräuschimmissionen von Windkraftanlagen, Fassung 2015-05.1 (<https://www.din.de/blob/187138/eb8abdf16f058490895cc3105f700533/interimsverfahren-data.pdf>)

[4] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen, Bericht über Ergebnisse des Messprojekts 2013-2015, Februar 2016

[5] Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung: Faktenpapier Windenergie und Infraschall, Bürgerforum Energieland Hessen, Mai 2015

[6] Uppenkamp und Partner: Schalltechnischer Bericht der erweiterten Hauptuntersuchung zur messtechnischen Ermittlung der Ausbreitungsbedingungen für die Geräusche von hohen Windenergieanlagen zur Nachtzeit und Vergleich der Messergebnisse mit Ausbreitungsberechnungen nach DIN ISO 9613-2 (2014)

[7] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN): DIN 1333: Zahlenangaben. 1992-02. Berlin (D) : Beuth-Verlag GmbH, 1992