


Prüfung von Schallimmissionsprognosen für Windkraftanlagen

 Arbeitshilfe, 2. überarbeitete Auflage



Baden-Württemberg

AUFTRAGGEBER	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg Postfach 10 34 39, 70029 Stuttgart
HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	Kompetenzzentrum Windenergie Referat Technischer Arbeitsschutz, Lärmschutz Dr. Christoph Scheck Heike Steinkemper Telefon: 0721 / 5600-2364 E-Mail: windenergie@lubw.bwl.de
STAND	September 2018



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Örtliche Gegebenheiten	3
2.1	Ortsbesichtigung	3
2.2	Immissionsorte und ihre Schutzbedürftigkeit	3
2.3	Vorbelastung	4
2.4	Anlagenstandorte und Lageplan	5
3	Ausgangsdaten / Emissionswerte	6
3.1	Berücksichtigung von Anlagentypen, Nabenhöhe und Betriebsmodi in Typvermessungsberichten	7
3.2	Ton- und Impulshaltigkeit	8
3.3	Beurteilungszeitraum	9
3.4	Berücksichtigung von tieffrequentem Schall (inkl. Infraschall)	9
4	Schallausbreitungsrechnung und Prognose	10
4.1	Schallausbreitung	11
4.2	Topographie	11
4.3	Abschirmungen und Reflexionen	12
4.4	Meteorologische Korrektur	12
4.5	Anwendung der Irrelevanzregelung	12
4.6	Unsicherheiten und Qualität der Prognose	13
4.6.1	Allgemeines	13
4.6.2	Unsicherheiten der Herstellerangabe	13
4.6.3	Messunsicherheit σ_R	14
4.6.4	Serienstreuung / Produktionsstreuung σ_P	14
4.6.5	Prognoseunsicherheit σ_{Prog}	14
4.6.6	Gesamtunsicherheit und obere Vertrauensbereichsgrenze (Qualität der Prognose)	15
4.7	Rundung	15
5	Ergebnisdarstellung	15
6	Quellen	17
6.1	Gesetze und Verordnungen	17
6.2	Erlasse, Hinweise (Bund und Baden-Württemberg)	17
6.3	Normen und Richtlinien	18
6.4	Weitere Literatur	19

1 Einleitung

Im Rahmen von Genehmigungsverfahren für Windkraftanlagen nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) werden in aller Regel Schallimmissionsprognosen nach den Vorschriften der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) erstellt, um zu überprüfen, ob die Bestimmungen des BImSchG im Hinblick auf Schallimmissionen auch nach Errichtung der neuen Windkraftanlagen eingehalten werden können. Diese Prognosen werden dann der Genehmigungsbehörde vorgelegt.

Aufgrund der Vielzahl an Eingangsdaten und der Komplexität der Berechnungsverfahren bestehen bei den zuständigen Behörden teilweise Unsicherheiten, ob abgegebene Prognosen normgerecht erstellt und alle notwendigen Sachverhalte ausreichend berücksichtigt wurden. Die vorliegende Arbeitshilfe soll den Genehmigungsbehörden bei der Beurteilung von Anträgen Hilfestellung und Orientierung im Umgang mit Schallimmissionsprognosen für Windkraftanlagen bieten.

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) hat auf ihrer 134. Sitzung neue Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen verabschiedet (LAI 2017). Das Land Baden-Württemberg hat die Anwendung dieser Hinweise mit Erlass vom 22.12.2017 für seine nachgeordneten Behörden verbindlich vorgeschrieben und damit unter anderem die Verwendung der Dokumentation zur Schallausbreitung: Interimsverfahren zur Prognose der Geräuschimmissionen von Windkraftanlagen, Fassung 2015-05.1 (Interimsverfahren) eingeführt. Die vorliegende Arbeitshilfe wurde entsprechend angepasst.

2 Örtliche Gegebenheiten

2.1 ORTSBESICHTIGUNG

Verschiedene Sachverhalte zur Erstellung der Schallimmissionsprognose wie z. B. Immissionsorte (siehe Kapitel 2.2), Vorbelastung (siehe Kapitel 2.3) oder Reflexionen (siehe Kapitel 4.3) können i. d. R. nur durch bei einer Ortsbegehung gewonnene Kenntnisse beurteilt werden. Daher sollte aus dem Bericht hervorgehen, wann die Begehung stattgefunden hat, welche Personen dabei zugegen waren und welche relevanten Erkenntnisse durch die Ortsbegehung gewonnen werden konnten. Darüber hinaus sollten die in der Schallimmissionsprognose verwendeten Immissionsorte (siehe Kapitel 2.2) fotografisch dokumentiert werden.

2.2 IMMISSIONSORTE UND IHRE SCHUTZBEDÜRFTIGKEIT

Maßgeblicher Immissionsort ist nach Nr. 2.3 der TA Lärm der Ort im Einwirkungsbereich der Anlage, an dem eine Überschreitung der Immissionsrichtwerte am ehesten zu erwarten ist. In vielen Fällen ist dies der zur Quelle am nächsten gelegene schutzbedürftige Raum nach DIN 4109. Teilweise ist es notwendig, aufgrund von Vorbelastung oder unterschiedlicher Immissionsrichtwerte (unterschiedliche Schutzbedürftigkeit der Gebietskategorien, Tag- und Nachtwerte (siehe auch Kapitel 3.3) etc.) mehrere maßgebliche Immissionsorte zu betrachten (vgl. Feldhaus/Tegeger 2014:87). Die maßgeblichen Immissionsorte werden von den zuständigen Behörden vorgegeben (Anhang A.1.2 TA Lärm). Der Gutachter kann der Behörde unterstützend Immissionsorte vorschlagen.

Die Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden sind in Nr. 6.1. TA Lärm festgelegt. Dabei wird entsprechend der Systematik der Baunutzungsverordnung (BauNVO) von einer abgestuften Schutzwürdigkeit der verschiedenen Baugebiete ausgegangen. Die Zuordnung der Immissionsorte zu den in Nr. 6.1. TA Lärm bezeichneten Gebieten und Einrichtungen ergibt sich nach Nr. 6.6 TA Lärm aus den Festlegungen der den Gebieten zugrunde liegenden Bebauungspläne. Für den Außenbereich sind in der TA Lärm keine konkreten Vorgaben enthalten, vielmehr sind Außenbereichsnutzungen entsprechend ihrer Schutzbedürftigkeit zu beurteilen, wobei insbesondere auch die Funktion des Außenbereichs zur Aufnahme störender Nutzungen zu berücksichtigen ist. In vielen Fällen wird dem Außenbereich das Schutzniveau entsprechend der Misch- bzw. Dorfgebiete beigemessen (siehe auch Windenergieerlass Baden-Württemberg 2012:26).

Wenn keine Festlegungen zur Art der baulichen Nutzung (Baugebiet) vorliegen, sind die Immissionsrichtwerte entsprechend der Schutzwürdigkeit der Flächen zu bestimmen (Nr. 6.6. TA Lärm). Dabei sind die besonderen Verhältnisse bzw. die tatsächliche Situation in dem betroffenen Gebiet zu würdigen. Auch wenn die Bebauung erheblich von den planungsrechtlichen Ausweisungen abweicht, kann eine Sonderfallprüfung nach Nr. 3.2.2 der TA Lärm geboten sein (vgl. Hansmann 2000:126/127). Soweit im Flächennutzungsplan Bestimmungen über den Nutzungszweck getroffen werden, kommt diesen ebenfalls eine Indizwirkung zu. Auch wenn im Flächennutzungsplan die Art der Bodennutzung nur in Grundzügen dargestellt wird, lassen sich dadurch in vielen Fällen Hinweise für die Einstufung der Gebiete herauslesen (vgl. Feldhaus/Tegeder 2014:210 m. w. N.). Die Entscheidung über den Grad der Schutzbedürftigkeit bzw. den anzuwendenden Immissionsrichtwert trifft die Behörde.

2.3 VORBELASTUNG

Nach Nr. 2.4 TA Lärm ist die Vorbelastung die Belastung eines Ortes mit Geräuschimmissionen von allen Anlagen, für die die TA Lärm gilt, ohne den Immissionsbeitrag der zu beurteilenden Anlage. So sind beispielsweise die Emissionen bereits bestehender Windkraftanlagen und vorhandener Gewerbelärm bei der Erstellung einer Schallimmissionsprognose mit einzubeziehen. Straßen-, Schienen- und Fluglärm fällt hingegen nicht unter den Vorbelastungsbegriff der TA Lärm.

Die Ermittlung der Vorbelastung durch bereits bestehende Windkraftanlagen z. B. bei der Erweiterung eines Windparks gestaltet sich nicht immer leicht. Die Vorbelastung durch bestehende Anlagen darf nur mit den Auswirkungen ihres rechtmäßigen Betriebs angesetzt werden.

Mit dem Interimsverfahren wird nun frequenzabhängig mit Oktavspektren gerechnet. Hier ist es wichtig ein möglichst belastbares Spektrum für die Vorbelastung heranzuziehen. Die folgenden Vorgehensweisen werden in der genannten Reihenfolge empfohlen:

1. Sind im Genehmigungsbescheid oder in den Antragsunterlagen konkrete Emissionsdaten für die Windkraftanlage enthalten, so sind diese zu verwenden.
2. Liegen im Genehmigungsbescheid oder in den Antragsunterlagen keine Emissionsdaten für die Windkraftanlage vor, sind Oktavspektren aus entsprechenden Typvermessungsberichten nach FGW-TR1 heranzuziehen.

Bestehen Abweichungen zwischen dem genehmigten maximalen Schallleistungspegel und dem Summenschallleistungspegel aus der Typvermessung, kann das Oktavspektrum auf den rechtlich festgelegten Summenschallleistungspegel skaliert werden.

3. Liegen keine Daten zu den Emissionen nach Punkt 1 oder Punkt 2 vor, kann auf das Referenzspektrum der LAI-Hinweise, Nr. 6 zurückgegriffen werden.

Anwendung des Referenzspektrums:

Der in der Tabelle unter Nr. 6 der LAI-Hinweise gelistete Betrag wird vom bekannten Summenschallleistungspegel subtrahiert und ergibt so den Oktavschallleistungspegel für das jeweilige Oktavspektrum.

Beispiel:

Für einen Summenschallleistungspegel von $L_{WA} = 102 \text{ dB(A)}$ ergibt sich bei Verwendung des Referenzspektrums

F [Hz]	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
$L_{WA, norm}$ [dB]	- 20,3	- 11,9	- 7,7	- 5,5	- 6,0	- 8,0	- 12,0	- 22,9

folgendes Spektrum:

F [Hz]	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
$L_{WA, norm}$ [dB]	81,7	90,1	94,3	96,5	96,0	94,0	90,0	79,1

Nach Nr. A.2.3.1 TA Lärm erfolgt die Prognose in der Regel in den Oktaven für die Mittenfrequenzen von 63 Hz bis 4.000 Hz. Bei Windkraftanlagen hat die 8 kHz-Oktave keine immissionsschutzrechtliche Relevanz und kann daher entfallen. Falls die Angabe eines Wertes dennoch erforderlich ist, beträgt der Wert des Referenzspektrums bei 8 kHz – 22,9 dB.

Die Festlegung der Vorbelastung erfolgt in Abstimmung mit der zuständigen Behörde. Diese hat dem Antragsteller die ihr vorliegenden Daten zur Verfügung zu stellen.

2.4 ANLAGENSTANDORTE UND LAGEPLAN

Die Anlagenstandorte der Windkraftanlagen, weiterer Geräuschquellen, deren Schallemissionen nach TA Lärm zu beurteilen sind (zur Vorbelastung siehe Kapitel 2.3) sowie die Immissionsorte (siehe Kapitel 2.2) sind tabellarisch mit Geokoordinaten (Nord- und Ostwert, Höhe über Normalnull) unter Angabe des entsprechenden Koordinaten- und Bezugssystems anzugeben.

Darüber hinaus ist ein aussagekräftiger Lageplan beizufügen.

3 Ausgangsdaten / Emissionswerte

Die Genauigkeit der Prognose hängt wesentlich von der Zuverlässigkeit der Eingabedaten ab. Diese sind deshalb stets kritisch zu prüfen (Anhang A. 2.2 TA Lärm).

Die LAI-Hinweise unterscheiden drei Fälle bei den Emissionsdaten:

Fall 1: Angaben des Herstellers

Die Schallleistungspegel, die Hersteller für den bestimmungsgemäßen Betrieb angeben, sind nur heranzuziehen, wenn keine Vermessungen vorliegen, wenn z. B. bei den ersten Anlagen eines neuen Anlagentyps noch keine Messberichte vorliegen. Die Angaben müssen nicht nur den Schallleistungspegel L_{WA} , sondern auch das zugehörige Oktavspektrum beinhalten. Die Angaben müssen ebenfalls die möglichen Auswirkungen der Serienstreuung und der Unsicherheiten der noch ausstehenden Abnahmemessung berücksichtigen (LAI 2017:3).

Fall 2: Einfachvermessung

Der Schallleistungspegel eines Windkraftanlagen-Typs in einem bestimmten Betriebsmodus und das dazugehörige Oktavspektrum wurde durch eine Typvermessung nach FGW-TR1 und DIN EN 61400-11 ermittelt.

Fall 3: Mehrfachvermessung

Der Schallleistungspegel eines Windkraftanlagen-Typs in einem bestimmten Betriebsmodus und das dazugehörige Oktavspektrum wurde durch Vermessung an mehreren, mindestens drei Windkraftanlagen dieses Typs ermittelt.

Die Typvermessung richtet sich nach der Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte, Revision 18 (FGW-TR1) i. V. m. der DIN EN 61400-11, Windenergieanlagen – Teil 11: Schallmessverfahren.

Idealerweise liegen für die Schallimmissionsprognose drei oder mehr FGW-TR1-konforme Vermessungsberichte für jeden Anlagentyp und Betriebsmodus vor. Damit lässt sich die in der Schallimmissionsprognose als Zuschlag anzusetzende Serienstreuung σ_P reduzieren. Dabei ist zu beachten, dass für jeden einzelnen Betriebsmodus jeweils drei FGW-TR1-konforme Vermessungsberichte vorliegen müssen (zur Bestimmung der Höhe der Unsicherheiten siehe Kapitel 4.6).

Nach Kapitel 5.6.1.1. des Windenergieerlasses Baden-Württemberg sollten den Genehmigungsbehörden gesicherte Datenblätter vorlegt werden, in denen unabhängige Institute das Geräuschverhalten der Anlage in allen regulären Betriebszuständen mindestens bis zum Erreichen der Nennleistung belegen. Für Windkraftanlagen sind dies die Typvermessungsberichte, die den Vorgaben der FGW-TR1 entsprechen.

Im Idealfall werden der Genehmigungsbehörde die vollständigen FGW-TR1-konformen Messberichte für jeden Anlagentyp und Betriebsmodus im Rahmen der Antragstellung vorgelegt, um z. B. die Spezifikation der vermessenen Anlagentypen mit den beantragten Anlagentypen hinsichtlich

Generatortyp, Betriebsmodus etc. überprüfen zu können. Zumindest ist jedoch der Auszug aus dem Prüfbericht nach FGW-TR1 (Anhang B) mit allen danach erforderlichen Angaben vorzulegen.

3.1 BERÜCKSICHTIGUNG VON ANLAGENTYPEN, NABENHÖHE UND BETRIEBSMODI IN TYPVERMESSUNGSBERICHTEN

Bei den Anlagentypen von Windkraftanlagen wird unterschieden zwischen stall-gesteuerten und pitch-gesteuerten Anlagen. Stall-gesteuerte Anlagen kommen an Land (onshore) – außer bei Kleinwindanlagen – heute kaum noch zum Einsatz. Bei pitch-gesteuerten Anlagen werden die Rotorblätter bei Erreichen der Nennleistung aus dem Wind gedreht, sodass elektrische Leistung, Rotordrehzahl und Schalleistungspegel auch bei weiter zunehmender Windgeschwindigkeit i. d. R. nicht weiter ansteigen.

Nach dem Windenergieerlass Baden-Württemberg (2012:27) ist der Immissionsprognose grundsätzlich diejenige bestimmungsgemäße Betriebsart zugrunde zu legen, die zu dem höchsten Beurteilungspegel führt (Anhang A.1 TA Lärm). Bei stall-gesteuerten Windkraftanlagen ist daher das Geräuschverhalten bis zur Abschaltwindgeschwindigkeit zu betrachten. Bei pitch-gesteuerten Anlagen ist *grundsätzlich* das Geräuschverhalten zu berücksichtigen, welches gemäß der Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen – Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte (FGW-TR1) bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 m Höhe über Boden, aber bei nicht mehr als 95 % der Nennleistung ermittelt wurde.

Sollte sich oberhalb von 95% der Nennleistung der bei einer Vermessung ermittelte Schalleistungspegel noch weiter erhöhen, muss im Sinne des höchsten Beurteilungspegels bei bestimmungsgemäßer Betriebsart dieser Maximalpegel als immissionsrelevanter Pegel für die Schallimmissionsprognose angenommen werden (siehe Beispiel in Tabelle 1).

Tabelle 1: Schalleistungspegel einer fiktiven pitch-gesteuerten Anlage in verschiedenen Windbins

Windbin (Messbereich)	6 5,5-6,5 m/s	7 6,5-7,5 m/s	95% der Nennleistung	8 7,5-8,5 m/s	9 8,5-9,5 m/s	10 9,5-10,5 m/s
Standardisierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	6 m/s	7 m/s	7,2 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s
Elektrische Wirkleistung [kW]	...	...	...	...	...	...
Rotordrehzahl [min ⁻¹]	...	...	...	...	...	...
Schalleistungspegel [dB(A)]	102,3	103,6	103,9	104,5	104,8	104,8

Immissionsrelevanter Schalleistungspegel: 104,8 dB(A) (abweichend von der grundsätzlichen Annahme, der lauteste Zustand sei bei einer Windgeschwindigkeit erreicht, die zu 95% der Nennleistung führt)

Hinsichtlich der Nabenhöhe ist zu beachten, dass ein höherer Turm und damit verbunden eine größere Nabenhöhe den Schalleistungspegel einer Windkraftanlage nicht ändert. Bei gleichen Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe werden die gleichen Schallemissionen erzeugt (vgl. dazu Beispiel in Tabelle 2). Der scheinbare Unterschied ergibt sich allein aus der in der FGW-TR1 geforderten Darstellungssystematik, bei der der Schalleistungspegel immer zur standardisierten Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe in Bezug gesetzt wird (vgl. Agatz 2017:81f).

Tabelle 2: Schalleistungspegel gleicher fiktiver pitch-gesteuerter Anlagen unterschiedlicher Nabenhöhe bei gleicher Windgeschwindigkeit in jeweiliger Nabenhöhe

	Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe	Standardisierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	Leistung als Anteil der Nennleistung	Schalleistungspegel
Windkraftanlage mit 100 m Nabenhöhe	10,0 m/s	7,0 m/s	86 %	103,3 dB(A)
Windkraftanlage mit 135 m Nabenhöhe	10,0 m/s	6,7 m/s	86 %	103,3 dB(A)

Bei gleicher standardisierter Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ist die Windgeschwindigkeit in der jeweiligen Nabenhöhe unterschiedlich, d. h. auch die dort erreichte Leistung und der daraus resultierende Schalleistungspegel (vgl. dazu Beispiel in Tabelle 3).

Tabelle 3: Schalleistungspegel gleicher fiktiver pitch-gesteuerter Anlagen unterschiedlicher Nabenhöhe bei gleicher standardisierter Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe

	Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe	Standardisierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	Leistung als Anteil der Nennleistung	Schalleistungspegel
Windkraftanlage mit 100 m Nabenhöhe	9,6 m/s	6,7 m/s	80 %	103,1 dB(A)
Windkraftanlage mit 135 m Nabenhöhe	10,0 m/s	6,7 m/s	86 %	103,3 dB(A)

Für die Schallimmissionsprognose ist die Nabenhöhe in Bezug auf die Schallemission bedeutungslos, da grundsätzlich vom lautesten Betriebszustand ausgegangen (Anhang A.1.2 TA Lärm) und angenommen wird, dass die Windkraftanlage in diesem lautesten Zustand im Dauerbetrieb läuft. Die Nabenhöhe fließt dann durch die Höhenangabe des Zentrums der Schallquelle in die Schallimmissionsprognose ein.

3.2 TON- UND IMPULSHALTIGKEIT

Nach Anhang A.3.3.5 TA Lärm sind Geräusche, bei denen ein oder mehrere Einzeltöne hörbar hervortreten, mit einem Tonhaltigkeitszuschlag K_T je nach Auffälligkeit des Tons in Höhe von 3 oder 6 dB zu beaufschlagen. Die Tonhaltigkeit wird nach FGW-TR1 ermittelt und lässt sich den FGW-TR1-konformen Messberichten des geplanten Anlagentyps entnehmen. Die Ermittlung erfolgt unter Hinzuziehung der Normen DIN EN 61400-11 und der DIN 45681. Daraus ergibt sich die Tonhaltigkeit bei Emissionsmessungen im Nahbereich K_{TN} .

Die Tonhaltigkeit K_{TN} von Windkraftanlagengeräuschen ist nach Abschnitt 2 der LAI-Hinweise 2017 bei Neuplanungen wie folgt zu bewerten:

$$0 \leq K_{TN} \leq 2 \quad \text{Tonzuschlag } K_T = 0 \text{ dB}$$

K_{TN} = Tonhaltigkeit bei Emissionsmessungen im Nahbereich nach FGW-TR1 gemessen

K_T = in Abhängigkeit vom K_{TN} ab einer Entfernung von 300 m für die Immissionsprognose anzusetzende Tonzuschläge

Für Windkraftanlagen, die im Nahbereich nach FGW-TR1 ermittelt eine Tonhaltigkeit von $K_{TN} = 2$ dB aufweisen, ist am maßgeblichen Immissionsort eine Abnahmemessung zur Beurteilung der Tonhaltigkeit anzuordnen. Wird eine immissionsseitige Tonhaltigkeit festgestellt, müssen Maßnahmen zur Minderung ergriffen werden (LAI 2017:4).

Neu zu errichtende Anlagen, deren Tonhaltigkeit K_{TN} mehr als 2 dB beträgt, entsprechen nicht dem Stand der Technik (Windenergieerlass Baden-Württemberg 2012:27; LAI 2017:4).

Die windkraftanlagentypische Geräuschcharakteristik ist im Regelfall weder als ton- noch als impulshaltig einzustufen (LAI 2017:4).

3.3 BEURTEILUNGSZEITRAUM

Die Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden nach Nr. 6.1 der TA Lärm sind differenziert nach Tag- und Nachtwerten (Beurteilungszeitraum Tag: 6-22 Uhr, lauteste volle Nachtstunde zwischen 22 und 6 Uhr (TA Lärm, Nr. 6.4)). Da das Emissionsverhalten von Windkraftanlagen – im Gegensatz zu manch anderen nach TA Lärm zu beurteilenden Geräuschquellen – nicht tageszeitabhängig ist, ist üblicherweise der niedrigere Nachtwert einzuhalten.

Außerdem ist zu prüfen, ob aufgrund von Vorbelastungen, die z. B. nur tagsüber auftreten, insbesondere bei den Gebieten mit niedrigen Immissionsrichtwerten (z. B. Kurgebiete, Krankenhäuser und Pflegeanstalten, reine Wohngebiete) auch tagsüber die Immissionsrichtwerte eingehalten werden.

3.4 BERÜCKSICHTIGUNG VON TIEFFREQUEMTEM SCHALL (INKL. INFRASCHALL)

Für tieffrequente Geräusche (inkl. Infraschall) sind in der TA Lärm ausdrücklich eigene Mess- und Beurteilungsverfahren vorgesehen, die in der DIN 45680 und dem zugehörigen Beiblatt 1 festgelegt sind (abweichend vom üblichen Messverfahren der TA Lärm z. B. Messung im Innenraum). Dabei werden Schallwellen auch im Infraschallbereich bis hinunter zu 8 Hz, in Ausnahmefällen bis zu 6,3 Hz berücksichtigt. Messungen an verschiedenen Anlagentypen haben gezeigt, dass tieffrequenter Schall durch Windkraftanlagen selbst im Nahbereich in Abständen zwischen 150 und 300 m deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle liegt (vgl. u. a. LUBW 2016). Schädliche Umwelteinwirkungen durch tieffrequente Geräusche sind an maßgeblichen Immissionsorten also in aller Regel nicht zu erwarten. Insofern ist eine spezielle Betrachtung der tieffrequenten Geräusche in der Schallimmissionsprognose entbehrlich.

Weitere Informationen zu tieffrequenten Geräuschen inkl. Infraschall erhalten Sie auf den Internetseiten des Kompetenzzentrums Windenergie der LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg unter <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/erneuerbare-energien/infraschall>.

4 Schallausbreitungsrechnung und Prognose

Die TA Lärm kennt die

- überschlägige Prognose (Anhang A.2.4) und die
- detaillierte Prognose (Anhang A.2.3).

Geräuschprognosen für Windkraftanlagen müssen derzeit als detaillierte Prognose durchgeführt werden. Im Ergebnisbericht sollte die zur Berechnung der Schallausbreitung verwendete Software (Name und Versionsnummer), Zwischenergebnisse und Ausdrücke von Rechenprotokollen angegeben werden.

Nach Anhang A.2 der TA Lärm ist die Schallimmissionsprognose nach der DIN ISO 9613-2 durchzuführen. Entsprechend Kap. 9 gilt die DIN ISO 9613-2 für die Berechnung der Schallausbreitung bodennaher Quellen bis 30 m mittlere Höhe zwischen Quelle und Empfänger (DIN ISO 9613-2:Tabelle 5). Auf Grundlage neuerer Untersuchungsergebnisse und auf Basis theoretischer Berechnungen hat der Normausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) zur Anpassung des Prognoseverfahrens auf hochliegende Quellen ein „Interimsverfahren“ veröffentlicht:

- Dokumentation zur Schallausbreitung – Interimsverfahren zur Prognose von Geräuschimmissionen von Windkraftanlagen, Fassung 2015-05.01
(<https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nals/dokumentation-zur-schallausbreitung-interimsverfahren-zur-prognose-der-geraeuschimmissionen-von-windkraftanlagen-fassung-2015-05-1-85310>)

Das Interimsverfahren erweitert den Anwendungsbereich der DIN ISO 9613-2 auf hochliegende Quellen. Wesentliche Merkmale des Berechnungsverfahrens sind:

- Berechnung im Oktavspektrum (frequenzabhängig)
- Eine Windkraftanlage wird als ungerichtet ins Freie abstrahlende Punktschallquelle dargestellt.
- Festlegung der Bodendämpfung unabhängig von der Frequenz, Bodeneigenschaft und Entfernung mit $A_{gr} = -3 \text{ dB}$
- Keine Berücksichtigung einer meteorologischen Korrektur

Für die Immissionsprognosen im Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen ist das o.g. Verfahren frequenzselektiv durchzuführen. Dies gilt sowohl für die Vorbelastung durch Windkraftanlagen als auch für die Zusatzbelastung durch die neu beantragten Anlagen. Zur Berechnung der Luftabsorption sind die Luftdämpfungskoeffizienten α für die relative Luftfeuchte 70 % und die Lufttemperatur von 10° C anzusetzen (DIN ISO 9613-2:Tabelle 2).

4.1 SCHALLAUSBREITUNG

Die Berechnung der Immissionspegel an einem Immissionsaufpunkt erfolgt nach folgender Gleichung:

$$L(DW) = LW + Dc - A_{div} - A_{atm} - A_{gr} - A_{bar}$$

Dabei ist:	L_W	Oktavband-Schalleistungspegel der Punktschallquelle
	D_C	Richtwirkungskorrektur
	A_{div}	Dämpfung aufgrund geometrischer Ausbreitung
	A_{atm}	Dämpfung aufgrund von Luftabsorption
	A_{gr}	Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts
	A_{bar}	Dämpfung aufgrund von Abschirmung

Für eine ungerichtet, ins freie abstrahlende Punktschallquelle wie eine Windenergieanlage ist die Richtwirkungskorrektur $D_C = 0$ anzusetzen.

Nach dem anzuwendenden Interimsverfahren ist die Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts $A_{gr} = - 3$ dB zusetzen (vgl. oben.)

Die Dämpfung aufgrund von Luftabsorption A_{atm} berechnet sich nun frequenzabhängig nach Abschnitt 7.2 der DIN ISO 9613-2:

$$A_{atm} = \alpha \cdot d / 1000$$

α :	Luftdämpfungskoeffizient [dB/km] nach Tab. 2
d :	Abstand Schallquelle zum Empfänger [m]

Der Luftdämpfungskoeffizient α [dB/km] ergibt sich aus Tabelle 2 DIN ISO 9613-2:

Tabelle 4: Luftdämpfungskoeffizient α für Oktavbänder (Tabelle 2 DIN ISO 9613-2)

Temperatur [°C]	Rel. Feuchte [%]	Bandmittenfrequenz [Hz]							
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117

Die Dämpfung aufgrund der geometrischen Ausbreitung A_{div} und aufgrund der Abschirmung A_{bar} (s. Kap. 4.3) berechnen sich entsprechend der DIN ISO 9613-2 (Abschnitt 7.1 bzw. 7.4).

4.2 TOPOGRAPHIE

Die Topographie (insbesondere Höhenlage der Quelle und der Immissionsorte) spielt für die Berechnung der Dämpfungsterme insbesondere für die geometrische Schallausbreitung und die Luftabsorption eine Rolle. Daher ist es für die korrekte Berechnung wichtig, genaue Daten zur Topographie in die Schallimmissionsprognose einzuspeisen.

Zur Nachvollziehbarkeit der Berechnung müssen im Ergebnisbericht der Prognose die angesetzten Höhendaten bzw. die Methode ihrer Erhebung dokumentiert werden. Bei den gängigen Softwareprogrammen sind im Ergebnisbericht die Höhenangaben der Quellen und Immissionsorte sowie die mittlere Höhe des Schallausbreitungswegs über Grund ablesbar. Sinnvoll ist es darüber hinaus, bei der Datenübernahme aus einem digitalen Geländemodell dessen Urheber, das Datum der Erhebung und die Rasterweite anzugeben. Bei von den Gutachtern selbst erstellten Höhenlinien/-modellen sollte die Kartengrundlage mit Maßstab angegeben werden.

4.3 ABSCHIRMUNGEN UND REFLEXIONEN

Bei der detaillierten Prognose nach Anhang A.2.3.4 TA Lärm sind Abschirmungen und Reflexionen nach den Nr. 7.4 und 7.5 der DIN ISO 9613-2 zu berücksichtigen. Abschirmwirkungen von Gebäuden werden in Schallprognosen für Windkraftanlagen meist nicht berücksichtigt. Dies ist unschädlich, da diese Herangehensweise einen konservativen Ansatz darstellt.

Reflexionen können allerdings zu einem höheren Beurteilungspegel führen, sodass im Rahmen der Schallprognose stets eine Aussage zu möglichen Schallreflexionen erforderlich ist. Entweder muss der Gutachter ausschließen, dass es zu Reflexionen kommen kann oder er speist die Lage und Größe reflektierender Wände in die Prognosesoftware ein. Grundlage hierfür ist die Ortsbegehung der als maßgeblich infrage kommenden Immissionsorte (vgl. Agatz 2017:95).

Im Allgemeinen werden bei Anwendung der DIN ISO 9613-2 zur Schallausbreitungsrechnung für Lärmprognosen nur Reflexionen am Boden (auf dem direkten Schallausbreitungsweg) und an Gebäuden oder Wänden berücksichtigt. Für den seltenen Fall, dass sich die Schallimmission aufgrund von Reflexionen an natürlichen Hindernissen erhöhen könnte, ist es Aufgabe des Gutachters, im Bericht auf mögliche schallpegelerhöhende örtliche Gegebenheiten hinzuweisen und die daraus resultierenden Reflexionen anhand der Vorgaben der DIN ISO 9613-2 zu berechnen. Siehe hierzu das Hinweispapier der LUBW „Schallreflexionen durch Topographie und Vegetation“ (2017).

4.4 METEOROLOGISCHE KORREKTUR

DIN ISO 9613-2 hält ein Verfahren bereit, um bei der Bildung des Beurteilungspegels für die verschiedenen Witterungsbedingungen im Jahresverlauf eine meteorologische Korrektur (C_{met}) zu berücksichtigen. Nach dem Interimsverfahren ist für Windenergieanlagen $C_{met} = 0$ zu setzen (Abschnitt 4.3).

4.5 ANWENDUNG DER IRRELEVANZREGELUNG

Die Genehmigung für die zu beurteilende Anlage darf auch bei einer Überschreitung der Immissionsrichtwerte aufgrund der Vorbelastung aus Gründen des Lärmschutzes nicht versagt werden, wenn der von der Anlage verursachte Immissionsbeitrag als nicht relevant anzusehen ist. Das ist in der Regel der Fall, wenn die von der zu beurteilenden Anlage ausgehende Zusatzbelastung die Immissionsrichtwerte nach Nr. 6 der TA Lärm am maßgeblichen Immissionsort um mindestens 6 dB(A) unterschreitet (Nr. 3.2.1 Abs. 2 der TA Lärm).

Nr. 3.2.1 TA Lärm gibt Hinweise für den Regelfall. In begründeten Einzelfällen kann auch eine andere Entscheidung im Rahmen einer Sonderfallprüfung nach Nr. 3.2.2 erforderlich sein. Wirken bspw. mehrere Anlagen auf einen Immissionsort ein, die jede für sich mindestens 6 dB(A) unter

dem Immissionsrichtwert liegt, die aber insgesamt zu einer relevanten Überschreitung des Immissionswertes führen, so können die Voraussetzungen für eine ergänzende Prüfung im Sonderfall gegeben sein (siehe LAI-Hinweise zur Auslegung der TA Lärm vom März 2017).

Tabelle 5: Beispiel: Addition der Schallpegel von unter der Irrelevanzschwelle liegenden Anlagen zum Richtwert

Neue Windkraftanlage 1 (Immissionsbeitrag)	39 dB(A)		
Neue Windkraftanlage 2 (Immissionsbeitrag)	39 dB(A)		
Neue Windkraftanlage 3 (Immissionsbeitrag)	39 dB(A)		
Neue Windkraftanlage 4 (Immissionsbeitrag)	39 dB(A)		
Zusatzbelastung	45 dB(A)	IRW	45 dB(A)

4.6 UNSICHERHEITEN UND QUALITÄT DER PROGNOSE

4.6.1 ALLGEMEINES

Die Genauigkeit der Prognose hängt wesentlich von der Zuverlässigkeit der Eingabedaten ab. Die Belastbarkeit der Eingangsdaten kann durch die Berücksichtigung von Unsicherheiten erhöht werden. Dabei unterscheidet man den pauschalen Zuschlag und statistische Methoden auf Basis von Unsicherheiten verschiedener Größen. Diese Größen sind die Messunsicherheit σ_R und die Serienstreuung/Produktionsstreuung σ_P , mit denen die Belastbarkeit der Eingangsdaten erhöht wird. Darüber hinaus werden die Unsicherheiten der Prognosemethode σ_{Prog} in die Unsicherheitsbetrachtung einbezogen.

Unsicherheiten können entweder emissionsseitig oder immissionsseitig auf die Schallpegelwerte aufgeschlagen werden. Sind nur wenige Anlagen gleichen Typs und mit gleichem Betriebsmodus beantragt und besteht keine Vorbelastung, kann die Unsicherheit immissionsseitig aufgeschlagen werden. Sobald allerdings eine Vorbelastung mit einbezogen werden muss, verschiedene Anlagentypen verwendet werden oder die einzelnen Anlagen in unterschiedlichen Betriebsmodi gefahren werden, ist es sinnvoller, diese Aufschläge emissionsseitig vorzunehmen, um der unterschiedlichen Höhe der Aufschläge je nach Anlagentyp und Betriebsmodus einfacher gerecht werden zu können und die Nachvollziehbarkeit zu erhöhen.

4.6.2 UNSICHERHEITEN DER HERSTELLERANGABE

Laut LAI-Hinweisen 2017 sollen die Herstellerangaben nicht nur den Schalleistungspegel L_{WA} und das dazugehörige Oktavspektrum beinhalten, sondern müssen auch die möglichen Auswirkungen der Serienstreuung und der Unsicherheit ausstehender Messungen berücksichtigen.

Werden hierzu vom Hersteller keine Angaben gemacht, wird empfohlen, die Standardwerte für die Messunsicherheit $\sigma_R = 0,5$ dB und für die Serienstreuung $\sigma_P = 1,2$ dB anzusetzen und gleichzeitig den Nachtbetrieb zunächst nicht zuzulassen und bis zur Vorlage eines Vermessungsberichts aufzuschieben.

Wenn die mit dem Standardwert für die Messunsicherheit σ_R (0,5 dB) prognostizierten Immissionspegel deutlich unter dem jeweiligen Richtwert der TA Lärm liegen, kann in Einzelfällen der Nachtbetrieb auch vorab auf Basis einer Herstellerangabe mit Verpflichtung zur Abnahmemessung zugelassen werden. Zur Orientierung, ob eine ausreichende Unterschreitung des Richtwertes

gegeben ist, empfiehlt es sich, die Immissionspegel mit einer Messunsicherheit von 3 dB(A) zu berechnen und zu prüfen, ob die Richtwerte damit eingehalten werden können. Die Festlegung des maximal zulässigen Schalleistungspegels in der Genehmigung sollte jedoch bei nicht vermessenen Windenergieanlagen auf Basis des Standardwertes für die Messunsicherheit σ_R von 0,5 dB erfolgen, um der Windenergieanlage kein unangemessen hohes Schallkontingent einzuräumen (vgl. Agatz 2017: Anhang I).

4.6.3 MESSUNSICHERHEIT σ_R

Die Daten in den Typvermessungsberichten für die einzelnen Anlagen und ihre Betriebsmodi sind mit einer Messunsicherheit σ_R behaftet. Der Standardwert für σ_R liegt bei 0,5 dB, wenn die Windkraftanlage FGW-konform vermessen wurde. Bei diesem Wert handelt es sich um einen Erfahrungswert aus Ringversuchen qualifizierter Messinstitute, der von der LAI empfohlen wird (vgl. Agatz 2017: Anhang I; LAI 2017:5).

4.6.4 SERIENSTREUUNG / PRODUKTIONSSTREUUNG σ_P

Innerhalb eines Anlagentyps existiert eine Streuung der Schallemissionspegel der einzelnen Anlagen, z. B. aufgrund schwankender Fertigungsqualitäten. Sind drei oder mehr Messberichte vorhanden, entspricht die Serienstreuung σ_P der Stichprobenstandardabweichung s der Schalleistungspegel aus den FGW-konformen Vermessungsberichten:

$$\sigma_P = s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L}_W)^2}$$

mit

$$\bar{L}_W = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{n}$$

σ_P : *Serienstreuung/Produktionsstreuung*

s : *Stichprobenstandardabweichung*

n : *Anzahl der Messberichte*

L_i : *Schalleistungspegel aus dem Messbericht i , i von 1 bis n*

\bar{L}_W : *arithmetisches Mittel aus den Schalleistungspegeln der einzelnen Vermessungsberichte*

Für die Unsicherheit der Serienstreuung σ_P sind Werte bis zu einer Untergrenze von 0 dB möglich, wenn für die Schalleistungspegel in allen drei vorgelegten Vermessungsberichten der gleiche Wert ermittelt wurde. Hierbei handelt es sich um eine eher theoretische Fallkonstruktion.

Liegt einer oder zwei FGW-konforme Vermessungsberichte vor, wird für die Serienstreuung σ_P ein Wert von 1,2 dB angenommen. Auch hierbei handelt es sich um einen allgemeinen Erfahrungswert, der von der LAI empfohlen wird (LAI 2017:5).

4.6.5 PROGNOSEUNSICHERHEIT σ_{Prog}

Die LAI gibt für das Interimsverfahren eine Unsicherheit von **$\sigma_{Prog} = 1,0$ dB** an

4.6.6 GESAMTUNSICHERHEIT UND OBERE VERTRAUENSBEREICHSGRENZE (QUALITÄT DER PROGNOSE)

Die Gesamtunsicherheit σ_{ges} wird durch pythagoreische Addition der einzelnen Unsicherheiten (σ_R , σ_P und σ_{Prog}) ermittelt, da es sich bei den einzelnen Unsicherheiten um statistisch abhängige Größen handelt:

$$\sigma_{ges} = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_P^2 + \sigma_{Prog}^2}$$

Wenn für die Messunsicherheit σ_R und die Prognoseunsicherheit σ_{Prog} die vorgeschlagenen Standardwerte eingesetzt werden, ist der Wert für die Gesamtunsicherheit (exkl. oberem Vertrauensbereich, s. u.) immer größer gleich 1,1 dB.

Zur Erhöhung der Sicherheit wird die obere Vertrauensbereichsgrenze abgeschätzt, unterhalb der mit 90 %iger Wahrscheinlichkeit die Gesamtunsicherheit liegt. Dies erfolgt durch Multiplikation der Gesamtunsicherheit σ_{ges} mit dem Faktor 1,28.

In Tabelle 6 sind verschiedene Werte für die Gesamtunsicherheit inklusive des oberen Vertrauensbereichs je nach Fallkonstellation (Anzahl der vorliegenden Messberichte) aufgeführt:

Tabelle 6: Gesamtunsicherheit in verschiedenen Fallkonstellationen

		σ_R	σ_P	σ_{Prog}	σ_{ges}	σ_{ges} inkl. oberer Vertrauensbereichsgrenze ($\sigma_{ges} * 1,28$)
a)	Vorliegen von drei und mehr Vermessungsberichten	0,5 dB	s**	1,0 dB	$\geq 1,1$ dB	$\geq 1,4$ dB
b)	Vorliegen von ein oder zwei Vermessungsberichten	0,5 dB	1,2 dB	1,0 dB	1,6 dB	2,1 dB
c)	Vorliegen keines Vermessungsberichts (nur Herstellerangabe ohne Angaben zur Unsicherheit) und Aufschieben des Nachtbetriebs	0,5 dB	1,2 dB	1,0 dB	1,6 dB	2,1 dB
d)	Vorliegen keines Vermessungsberichts (nur Herstellerangabe) und vorzeitige Zulassung des Nachtbetriebs*	3,0 dB	1,2 dB	1,0 dB	3,4 dB	4,3 dB

*) Hierbei handelt es sich um Einzelfälle. Die Berechnung der Schallimmissionsprognose mit den angegebenen Werten dient nur zur Orientierung, ob die Immissionswerte der TA Lärm an den Immissionsorten deutlich unterschritten werden (siehe Kapitel 4.6.2).

***) Standardabweichung

Die Gesamtunsicherheit inklusive des oberen Vertrauensbereichs kann den Wert von 1,4 dB(A) nicht unterschreiten, wenn die in Kapitel 4.6.2 und 4.6.5 genannten Erfahrungswerte für die Messunsicherheit σ_R (0,5 dB) und die Prognoseunsicherheit σ_{Prog} (1,0 dB) angenommen werden.

4.7 RUNDUNG

Die Beurteilungspegel sind nach den Rundungsregeln der DIN 1333 Abschnitt 4.5.1 als ganzzahliger Werte anzugeben (Windenergieerlass Baden-Württemberg 2012: 27; LAI 2017:4).

5 Ergebnisdarstellung

Notwendig ist die Darstellung des Endergebnisses unter Bezug auf die Aufgabenstellung und aller relevanten Nebenbedingungen. Die Schallimmissionsprognose für Windkraftanlagen muss – wie

alle anderen Schallimmissionsprognosen – nach Anhang A.2.6 TA Lärm verschiedene Angaben enthalten:

- Bezeichnung der Anlage (Näheres unter Kapitel 3.1 dieser Arbeitshilfe)
- Antragsteller
- Auftraggeber
- Name der Institution und des verantwortlichen Bearbeiters der Schallimmissionsprognose
- Aufgabenstellung:
Aus der Aufgabenstellung sollte hervorgehen, welche Zielsetzung die vorliegende Untersuchung/Prognose verfolgt und zu welchem Zweck sie entstanden ist.
- verwendetes Verfahren (Näheres unter Kapitel 4 dieser Arbeitshilfe)
- Beschreibung des Betriebsablaufs, soweit er schalltechnisch relevant ist (Näheres unter Kapitel 3 dieser Arbeitshilfe)
- Lageplan, aus dem die Anordnung der Anlage, der relevanten Schallquellen, der maßgeblichen Immissionsorte und ggf. der Ersatzimmissionsorte zu ersehen ist (siehe Kapitel 2.4)
- Liste der relevanten Schallquellen mit technischen Daten und Betriebszeiten (Näheres unter Kapitel 3 dieser Arbeitshilfe)
- Angaben über die geplanten Schallschutzmaßnahmen (wenn erforderlich)
- bei der detaillierten Prognose Angaben über die relevanten Hindernisse (Schallschirme, Bebauung und Bewuchs)
- Angaben für jeden maßgeblichen Immissionsort (Näheres unter Kapitel 2.2 dieser Arbeitshilfe)
- Qualität der Prognose (Näheres unter Kapitel 4.6 dieser Arbeitshilfe)

Bei dieser Liste handelt es sich nicht um einen abschließenden Katalog. Je nach Situation des Einzelfalls müssen nicht alle Angaben enthalten sein, teilweise kann es auch sinnvoll sein, weitere Angaben in die Ergebnisdarstellung der Schallimmissionsprognose aufzunehmen.

Es steht dem Berichtsteller frei – ggf. auf Wunsch des Auftraggebers – die Ergebnisse der Untersuchung innerhalb des Berichtes zu interpretieren bzw. zu kommentieren. Allerdings sind diese Meinungsäußerungen als solche deutlich zu kennzeichnen und von den objektiven Berichtsteilen abzusetzen. Die abschließende Beurteilung der jeweiligen Immissionssituationen bleibt allein der zuständigen Behörde vorbehalten.

6 Quellen

6.1 GESETZE UND VERORDNUNGEN

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge – Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2771).

Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke – Baunutzungsverordnung – BauNVO in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786).

6.2 ERLASSE, HINWEISE (BUND UND BADEN-WÜRTTEMBERG)

Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) (2017): Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen (WKA), verabschiedet auf der 134. Sitzung des LAI, 05./06.09.2017, abrufbar unter: https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/20171201-top09_1_anlage_lai_hinweise_wka-stand_2016_06_30_veroeffentlicht_2_1512116255.pdf (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) (2017): LAI-Hinweise zur Auslegung der TA Lärm (Fragen und Antworten zur TA Lärm) in der Fassung des Beschlusses zu TOP 9.4 der 133. LAI-Sitzung am 22. und 23. März 2017, abrufbar unter: https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/aktualisierte_hinweise_ta_laerm_2_1503575642.pdf zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2017): Einführung der „Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen“ der Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) vom 22.12.2017, Az.: 46-4583, Stuttgart, abrufbar im Intranet der Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg, Datenbank für Vorschriften und Erlasse (DAVE) unter: http://www.gaa.bwl.de/servlet/is/220611/Erlass_LAI_Hinweise_22_12_2017.pdf?command=downloadContent&filename=Erlass_LAI_Hinweise_22_12_2017.pdf (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, Ministeriums für Finanzen des Landes Baden-Württemberg (2012): Windenergieerlass Baden-Württemberg, Gemeinsame Verwaltungsvorschrift der vorgenannten Ministerien vom 9.05.2012 (Az. 64-4583/404), abrufbar unter: <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/erneuerbare-energien/rechtliches> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

6.3 NORMEN UND RICHTLINIEN

DIN 4109:2018-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen, bestellbar unter: <https://www.beuth.de/de/norm/din-4109-1/280079001> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

DIN ISO 9613-2:1999-10: Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, bestellbar unter: <http://www.beuth.de/de/norm/din-iso-9613-2/17730017> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

Dokumentation zur Schallausbreitung: Interimsverfahren zur Prognose der Geräuschemissionen von Windkraftanlagen, Fassung 2015-05.1 (Interimsverfahren), abrufbar unter: <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nals/dokumentation-zur-schallausbreitung-interimsverfahren-zur-prognose-der-geraeuschmissionen-von-windkraftanlagen-fassung-2015-05-1-85310> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

DIN 45645-1:1996-07: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen – Teil 1: Geräuschemissionen in der Nachbarschaft, bestellbar unter: <http://www.beuth.de/de/norm/din-45645-1/2781958> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

DIN 45680:1997-03: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft, bestellbar unter: <https://www.beuth.de/de/norm/din-45680/2917742> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

DIN 45680 Beiblatt 1:1997-03: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft - Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen, bestellbar unter: <https://www.beuth.de/de/norm/din-45680-beiblatt-1/2918761> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

DIN 45681:2006-08: Akustik - Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschemissionen, Berichtigungen zu DIN 45681:2005-03, bestellbar unter: <http://www.beuth.de/de/norm/din-45681-berichtigung-2/91624493> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

DIN EN 61400-11:2013-09: Windenergieanlagen- Teil 11: Schallmessverfahren, bestellbar unter <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-61400-11/188354432> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018)¹.

DIN EN 61400-11:2007-03: Windenergieanlagen- Teil 11: Schallmessverfahren, bestellbar unter <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-61400-11/96270393> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018)¹.

Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte, Revision 18, Stand 1.02.2008, FGW e. V. – Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien, Berlin, bestellbar unter: <http://www.wind-fgw.de/produkt/tr-1-bestimmung-der-schallemissionswerte/> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018), zitiert FGW-TR1.

¹ Nach aktuellen LAI-Hinweisen können Messungen von WKA-Typen nach beiden Fassungen der DIN EN 61400-11 erfolgen.

6.4 WEITERE LITERATUR

Agatz, Monika (2017): Windenergie-Handbuch, 14. Ausgabe, Gelsenkirchen, abrufbar unter: <http://windenergie-handbuch.de/windenergie-handbuch/> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) (2010): Lärmermittlung und Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung bei Windkraftanlagen, Untersuchungsbericht Nr. 452'460, Dübendorf, abrufbar unter: https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/laerm/fachinfo-da-ten/laermermittlung_undmassnahmenzuremissionsbegrenzungbeiwindkrafta.pdf.download.pdf/laermermittlung_undmassnahmenzuremissionsbegrenzungbeiwindkrafta.pdf (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

Feldhaus, Gerhard; Tegeder, Klaus (2014): Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) – Kommentar, Heidelberg.

Hansmann, Klaus (2000): TA Lärm, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – Kommentar, München.

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2002): Windenergieanlagen und Immissionsschutz, Materialien Nr. 63, Essen, abrufbar unter: http://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/geraeusche/pdf/mat63_web.pdf (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (2016): Tieffrequente Geräusche und Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen, Bericht über Ergebnisse des Messprojekts 2013-2015, Karlsruhe, abrufbar unter: <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/257896/> (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (2017): Schallreflexionen durch Topographie und Vegetation. Zu möglichen „Echowirkungen“ von Windkraftanlagen, Karlsruhe, abrufbar unter: http://www.gaa.bwl.de/servlet/is/64533/WEA_Schallreflexionen-Topographie.pdf (zuletzt abgerufen am 26.09.2018).

