

Abschätzung der tieffrequenten Geräusche von
sieben Windenergieanlagen
am Standort
Schierenberg
(Brandenburg)

Datum: 26.11.2021

Bericht Nr. 18-1-3021-004a-NH

Auftraggeber:

ABO Wind AG

Volmerstraße 7b | 12489 Berlin

Auftragsnummer: 352002364

Bearbeiter:

Ramboll Deutschland GmbH

Raffael Herth M.Sc.

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

DE-34131 Kassel

Tel 0561 / 288 573-0

Die vorliegende Prüfung auf erheblich belästigende tieffrequente Geräusche (erstellt nach Anleitung des LfU [1] und DIN 45680 gemäß Ziffer 5.2.3 [2] bzw. Beiblatt 1, Ziffer 2.2 [3]) dient als Ergänzung zur Schallimmissionsprognose für den Standort Schierenberg (Brandenburg) vom 19.11.2021 und wurde der Ramboll Deutschland GmbH im November 2021 von der ABO Wind AG in Auftrag gegeben und gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik nach bestem Wissen und Gewissen unparteiisch erstellt. Rechtsgrundlage dieses Gutachtens ist das BImSchG [4] mit dem in § 1 festgehaltenen Zweck „[...] Menschen [...] vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen [...]“. Die Ramboll Deutschland GmbH ist nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 [5] u. a. für die Erstellung von Schallimmissionsprognosen akkreditiert. Die firmenintern verwendeten Berechnungsverfahren gemäß den zuvor genannten Anforderungen sind in der Ramboll-Qualitätsmanagement Prozessbeschreibung „Schall“ festgelegt und dokumentiert.

Die prognostizierten Ergebnisse dieser Abschätzung basieren auf Berechnungen nach Vorgaben der TA-Lärm [6], der DIN ISO 9613-2 [7] modifiziert durch das Interimsverfahren [8] gemäß den aktuellen Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [9] und unter Berücksichtigung spezifischer Landesvorgaben für Brandenburg sowie auf Basis der vom Auftraggeber und dem WEA-Hersteller zur Verfügung gestellten Standort- und Anlagendaten.

Alle Rechte an diesem Bericht sind der Ramboll Deutschland GmbH vorbehalten. Dieses Dokument darf, mit Ausnahme der Genehmigungsbehörden, der Gerichte und der finanzierenden Banken, weder in Teilen noch in vollem Umfang ohne vorherige schriftliche Zustimmung der Ramboll Deutschland GmbH reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

| | Rev.-Nr. | Datum | Bearbeiter | Beschreibung |
|------------------|----------|------------|---------------|----------------------------------|
| Original | 002 | 16.10.2020 | Jonas Feja | Planung 7 WEA |
| Ergänzung | 002 | 27.10.2020 | Kirsten Ulner | Prüfung tieffrequenter Geräusche |
| Nachtrag | 004a | 19.11.2021 | Jonas Feja | 7 x V150 6.0MW |
| Ergänzung | 004a | 26.11.2021 | Raffael Herth | Prüfung tieffrequenter Geräusche |

Kassel, 26.11.2021



Raffael Herth M.Sc.
(Bearbeiter)



Robbin Meisel M.Sc.
(Prüfer)

Inhalt:

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Aufgabenstellung | 4 |
| 1.1 | Beschreibung | 4 |
| 1.2 | Bewertungsmaßstäbe für tieffrequente Geräusche | 4 |
| 1.3 | Prognose tieffrequenter Geräusche in Gebäuden durch WEA | 5 |
| 2 | Vorabschätzungen zur Relevanz der tieffrequenten Geräusche | 8 |
| 2.1 | Ermittlung von tieffrequenten Innenraumgeräuschen durch Prognosen | 8 |
| 2.2 | Vorabprüfung anhand des Außenpegels nach LfU BB | 8 |
| 3 | Prognose der Innenraumpegel | 10 |
| 3.1 | Verfahren | 10 |
| 3.2 | Ermittlung terzbezogener Außenpegel | 10 |
| 3.3 | Ermittlung der terzbezogenen Innenraumpegel | 12 |
| 3.4 | Vorerhebungen nach DIN 45680 | 13 |
| 3.5 | Prüfung der Innenraumgeräusche auf erhebliche Belästigung | 14 |
| 4 | Beurteilung und Bewertung der Ergebnisse | 16 |
| 4.1 | Beurteilung nach DIN 45680 | 16 |
| 4.2 | Bewertung der Situation im Vergleich zum Istzustand | 17 |
| 5 | Quellenverzeichnis | 18 |
| 6 | Anhang | 20 |

1 Aufgabenstellung

1.1 Beschreibung

Für das Wohnhaus Fünfeichen, Ernst-Thälmann-Straße 1a (IO F1) soll eine Abschätzung der möglicherweise zu erwartenden tieffrequenten Geräusche im Innenraum durch vier geplante WEA gemäß dem Leitfaden des LfU [13] erstellt werden. Anschließend erfolgt eine Einordnung, ob diese nach DIN 45680 [2] als erheblich belästigend eingestuft werden können. Die geplanten WEA sollen etwa 1 – 2,5 km südöstlich des zu untersuchenden Wohnhauses errichtet werden. Im Rahmen einer Schallimmissionsprognose [10] wurde bereits die Einhaltung der Kriterien nach TA Lärm (Nacht-Immissionsrichtwerte) nachgewiesen.

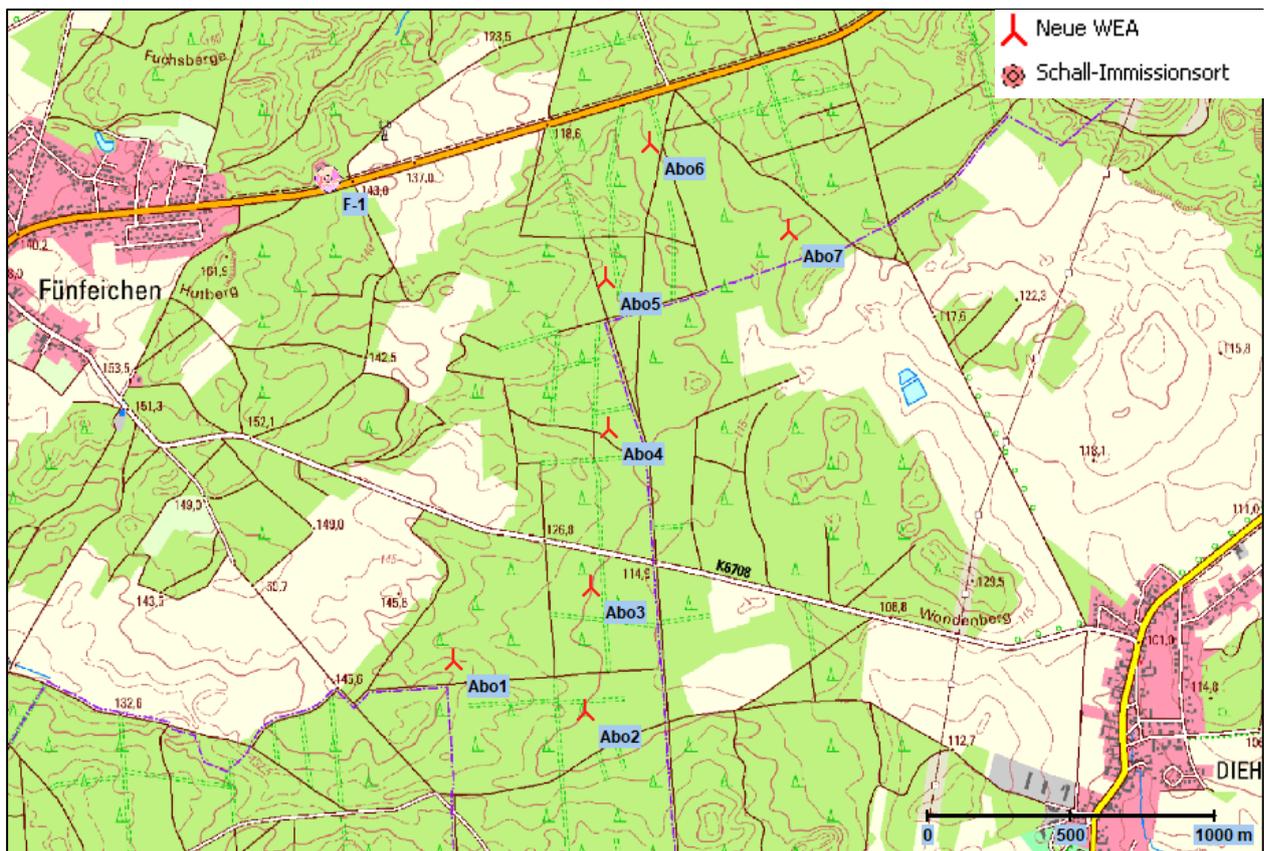


Abbildung 1: Kartenübersicht [11]

1.2 Bewertungsmaßstäbe für tieffrequente Geräusche

Als tieffrequente Geräusche werden Geräusche bezeichnet, deren vorherrschende Energieanteile in einem Frequenzbereich unter 90 Hz liegen (vgl. Ziffer 7.3 TA Lärm [6]). Diese können bei

höheren Schalldruckpegeln belästigend wirken. Ob eine belästigende Wirkung vorliegt, wird mit den Bewertungsmaßstäben der DIN 45680 [2] ermittelt. Die DIN 45680 bezieht sich explizit auf gemessene Innenraumgeräusche und wird in dieser Abschätzung gemäß LfU [13] hilfsweise herangezogen.

Für tieffrequente Geräusche mit deutlich hervortretendem Einzelton¹ wird in der DIN 45680 die Hörschwelle des Menschen in diesem Frequenzbereich als Bewertungsmaßstab herangezogen. Übertreffen die terzbezogenen Innenraumpegel die Bewertungsmaßstäbe nach DIN 45680, ist von einer belästigenden Wirkung auszugehen.

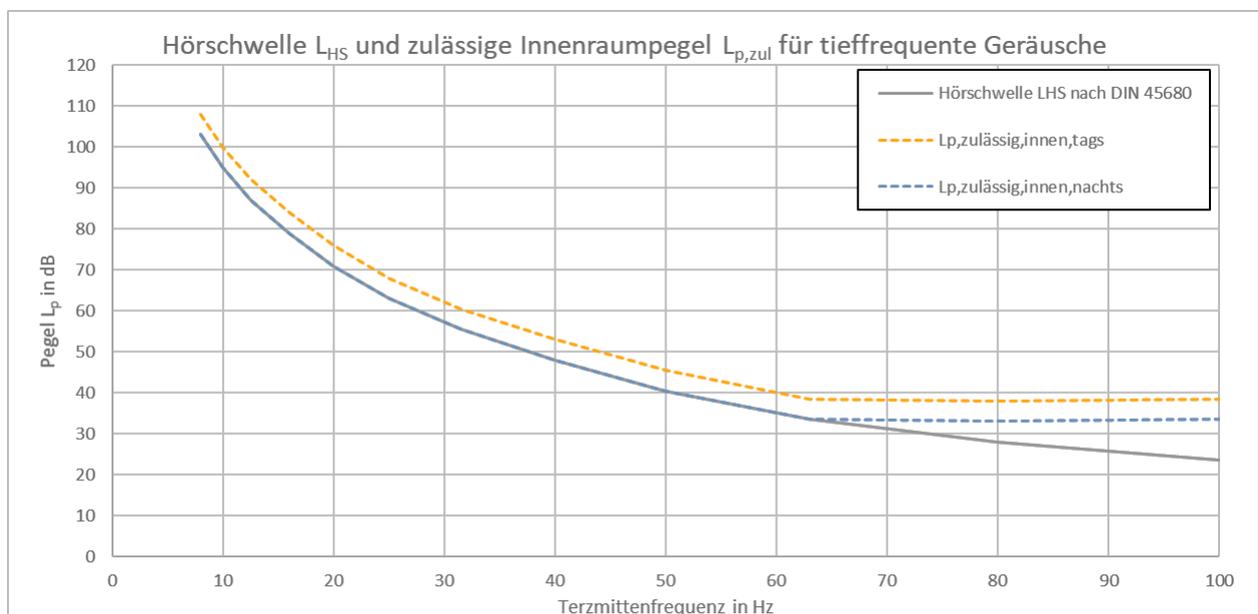


Abbildung 2: Hörschwelle L_{HS} und im Innenraum maximal zulässige Pegel L_p für tieffrequente Geräusche mit deutlich hervortretendem Einzelton nach DIN 45680

1.3 Abschätzung tieffrequenter Geräusche in Gebäuden durch WEA

Windenergieanlagen können Geräusche verursachen (Emissionen) - auch im tieffrequenten Spektralbereich. Die Emissionen der WEA ($L_{WA, Terz}$) sind Anlagentyp- und Betriebsmodus spezifisch und werden in der Regel durch den Hersteller angegeben oder durch Vermessungen ermittelt. Diese breiten sich durch die Luft kugelförmig aus (Transmission) und die Schalldruckintensität nimmt mit der Entfernung etwa quadratisch ab. Zusätzlich erfährt der Schall dabei durch die Luft eine frequenzabhängige Dämpfung (A_{atm}). Die Schallausbreitung und die Dämpfungsterme

¹ Windenergieanlagen im allgemeinen wie auch der untersuchte WEA-Typ im speziellen weisen jedoch keine deutlich hervortretenden Einzeltöne auf. Siehe dazu auch 3.4

werden durch die DIN ISO 9613-2 [7] im Oktavbereich von 63 Hz bis 8000 Hz beschrieben. Für das hier dargestellte Verfahren wird die Anwendung der ISO 9613-2 auf den Frequenzbereich bis 12,5 Hz und Terzbänder extrapoliert. Die so durch die Luft-Transmissionsverluste geminderten Geräusche gelangen schließlich außen an einen Immissionsort, typischerweise ein Wohngebäude (Immission außen, $L_{p, \text{Terz}, \text{außen}}$). Für die Beurteilung nach TA Lärm anhand von Immissionsrichtwerten stellt dies den beurteilungsrelevanten Immissionspegel dar.

Bei der Schallübertragung durch die Gebäudehülle von außen nach innen werden die Geräusche weiter gedämpft (Gebäudedämpfung). Die Dämpfung ist sehr stark vom individuellen Gebäude- bzw. Wandaufbau abhängig und damit von Gebäude zu Gebäude sehr variabel. Sie ist wie die Luftdämpfung ebenfalls frequenzabhängig und wird als Schalldruckpegeldifferenz, Dämmmaß oder Dämmwert (D oder auch D_w) bezeichnet. Die im Innenraum resultierenden Schalldruckpegel werden als $L_{p, \text{Terz}, \text{innen}}$ bezeichnet und sind im hier dargestellten Verfahren nach LfU [1] Ausgangspunkt für eine abschätzende Bewertung von tieffrequenten Geräuschen in Innenräumen nach DIN 45680.



Abbildung 3: Entstehung bzw. Ermittlung innenraumbezogener Geräusche (aus [12])

Das Dämpfungsmaß D der Gebäudehülle kann - abhängig von Gebäudestruktur und Wandaufbau sowie der Geräuschcharakteristik – sehr unterschiedlich sein. Es liegen Erfahrungswerte für das Dämpfungsmaß aus verschiedenen Studien an unterschiedliche Gebäudetypen und für verschiedene Geräuschcharakteristika vor [12] [13] [14]. Zum Zwecke der Abschätzung sind hier konservative Annahmen mit einem erhöhten Vertrauensbereich zu treffen, die eine Mehrzahl der Gebäudetypen abdecken (siehe dazu auch 3.3). Wie bereits erwähnt kann ein Innenraumpegel für eine konkrete Gebäudestruktur mit dieser Vorgehensweise nicht simuliert werden.

In der hier vorgelegten Abschätzung der tieffrequenten Geräusche im Innenraum wird, ausgehend von den terzbezogenen Emissionsspektren der geplanten WEA ($L_{WA, \text{Terz}}$) eine Ausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613-2 durchgeführt und die Außenpegel am IO D ($L_{p, \text{Terz}, \text{außen}}$) berechnet. Ausgehend von einem vorgegebenen Dämpfungsmaß D_w nach den Vorgaben des LfU [13]

werden terzbezogene Innenraumpegel ($L_{p, \text{Terz, innen}}$) berechnet und mit den zulässigen Werten nach DIN 45680 verglichen.

Das im Folgenden angewendete Verfahren zur Abschätzung der Innenraumpegel des LfU [13] hat keinen normativen Prozess durchlaufen. Es stützt sich auf die Ausbreitungsterme der DIN 9613-2 [7] und die in einer Messkampagne [10] ermittelten Dämpfungsterme für Gebäudehüllen. Diese enthalten nur eine Stichprobe an möglichen Gebäudehüllen. Die realen Innenraumgeräusche können deutlich von den in dieser Abschätzung ermittelten Werten abweichen.

2 Vorabschätzungen zur Relevanz der tieffrequenten Geräusche

2.1 Ermittlung von tieffrequenten Innenraumgeräuschen durch Prognosen

Für die Einordnung für zu erwartende tieffrequente Innenraumgeräusche soll anhand der Umstände abgeschätzt werden, ob eine schädliche Umwelteinwirkung durch tieffrequente Töne erwartet werden kann. Die TA Lärm gibt in Anhang 1.5 Anhaltspunkte, nämlich anhand beispielhafter Anlagen, denen man vorherrschende Energieanteile im Bereich tiefer Frequenzen zuschreiben kann, sowie mit dem Hinweis auf die örtlichen Verhältnisse. Windenergieanlagen haben von ihrem Emissionsspektrum her keine vorherrschenden Energieanteile im tieffrequenten Bereich. In seltenen Einzelfällen können je nach Anzahl und Entfernung der WEA und der Gebäudekonstellation tieffrequente Anteile entstehen, die bewertungsrelevant sein können.

Das MLUL enthält hierzu im Windenergieerlass Brandenburg [15] weitere Anforderungen. Gemäß dem WKA-Geräuschimmissionserlass des Landes Brandenburg vom 16.01.2019 mit Anhang [16] [15] (Punkt 2 Absatz 6) ist im Einzelfall bei einer Überschreitung des Beurteilungspegels (inkl. Sicherheitszuschlag, außen, L_{r90}) von 40 dB(A) allein durch die Zusatzbelastung zu prüfen, ob von tieffrequenten Geräuschen, schädliche Umwelteinwirkungen ausgehen (können) (siehe 2.2). Der vorgegebene Wert von 40 dB(A) als Prüfgrenze wurde keinem normativen Verfahren entnommen, sondern basiert auf Annahmen des LfU.

Normgerechte Beurteilungen der tieffrequenten Geräusche nach DIN 45680 lassen sich nur mit gemessenen Innenraumpegeln treffen. Es gibt detaillierte Prognoseverfahren zur abschätzenden Ermittlung der Innenraumgeräusche ausgehend von den Immissionen der WEA ($L_{p, Terz, außen}$) und Annahmen für die Gebäudedämmung, wie das des LfULG Sachsen [17] oder das des LfU Brandenburg [1], welches in Kapitel 3 dargestellt wird. Diese sind zwar nicht normkonkretisierend, werden aber für eine weitergehende Abschätzung verwendet. Sie werden in Kapitel 3 dargestellt.

2.2 Vorabprüfung anhand des Außenpegels nach LfU BB

Gemäß dem WKA-Geräuschimmissionserlass des Landes Brandenburg vom 16.01.2019 mit Anhang [16] [15] (Punkt 2 Absatz 6) ist im Einzelfall bei einer Überschreitung des Beurteilungspegels (außerhalb des Gebäudes) ($L_{r,90}$) von 40 dB(A) allein durch die

Zusatzbelastung (inkl. Sicherheitszuschlag) zu prüfen, ob von Geräuschen, die vorherrschende Energieanteile im Frequenzbereich unter 90 Hz (tieffrequente Geräusche) besitzen, schädliche Umwelteinwirkungen ausgehen (können). Für den positiven Nachweis erfolgt nach der Anleitung des LfU [1] eine weitere Abschätzung der Innenraumgeräusche nach 7.3 Satz 2 TA Lärm [6] (siehe 3.4) und folgend deren Bewertung nach DIN 45680 (Messung und Bewertung der Innenraumgeräusche).

Am zu untersuchenden Immissionsort F-1 „Fünfeichen, Ernst-Thälmann-Straße 1a“ wurde im Bericht Nr. 18-1-3021-004a-NF vom 19.11.2021 sowohl für den Tag-, als auch für den Nachtzeitraum (im offenen Betrieb bzw. Standardmode) ein Beurteilungspegel (außen) durch die Zusatzbelastung von $L_{r,90,tag/nacht} = 41,5 \text{ dB(A)}$ ermittelt.

Gemäß dem Geräuschimmissionserlass des Landes Brandenburg vom 16.1.2019 [16] ist die Vorabprüfung mit +1,5 dB positiv. In Einzelfällen verlangt das LfU eine abschätzende Überprüfung der tieffrequenten Geräusche, wie sie im Folgenden dargestellt wird.

3 Prognose der Innenraumpegel

3.1 Verfahren

Ausgehend von den vorgegebenen Dämmwerten für die Gebäudehülle kann abschätzend prognostiziert werden, ob es zu Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 45680 kommen kann.

Das hier genutzte Verfahren zur Ermittlung der Innenraumgeräusche entspricht der Anleitung des LfU [1]. Ähnliche Vorgehensweisen gibt es auch in anderen Prognoseverfahren [17]. Ausgangspunkt sind terzbezogene Emissionsdaten der WEA, durch welche nach Ausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613-3 die terzbezogenen Außenpegel an der Gebäudehülle berechnet werden. Ausgehend von vorgegebenen Dämmmaßen werden anschließend die terzbezogenen Innenraumpegel berechnet.

Hinweis: Die hier angesetzten Dämmwerte für die Gebäudehülle entsprechen statistisch ermittelten Werten und spiegeln nicht die reale Situation am untersuchten Wohnhaus wider. Für dieses sind die konkreten Dämmwerte der Gebäudehülle unbekannt. Die Ergebnisse haben somit abschätzenden Charakter.

Die Beurteilung ist laut dem Verfahren des LfU gemäß Nr. 7.3 TA Lärm [6] und dem Anhang A.1.5 TA Lärm vorzunehmen. Nach A.1.5 Satz 4 TA Lärm enthalten die DIN 45680 [2], Ausgabe März 1997, und das zugehörige Beiblatt 1 Hinweise zur Ermittlung und Bewertung tieffrequenter Geräusche. Danach sind schädliche Umwelteinwirkungen nicht zu erwarten, wenn die in dem Beiblatt 1 genannten Anhaltswerte nicht überschritten werden (A.1.5 Satz 5 Anhang TA Lärm).

3.2 Ermittlung terzbezogener Außenpegel

Die Ermittlung der terzbezogenen Außenpegel erfolgt gemäß der Anleitung des LfU [1] Absatz 1 durch eine Ausbreitungsrechnung der WEA-Geräusche gemäß DIN ISO 9613 modifiziert nach dem Interimsverfahren [8]. Dabei wird die Anwendung der ISO 9613-2 auf den Frequenzbereich bis 12,5 Hz erweitert und terzbezogen extrapoliert.

Für die Dateneingabe der terzbezogenen Emissionsdaten der geplanten WEA vom Typ Vestas V150-6.0MW wurden die Werte von 12,5 Hz bis 80 Hz den Herstellerangaben (Terzspektren für eine Windgeschwindigkeit bei 12 m/s in 10 m Höhe) entnommen [18]. Zum Zeitpunkt der Überprüfung der tieffrequenten Geräusche lagen keine Terzdaten für den Betriebsmodus BM PO 6000

des WEA Typs Vestas V150 6.0 MW vor. Ersatzweise wurden vorhandene Terzdaten des BM PO 5600 herangezogen. Die Gesamtschallleistungspegel dieser beider Modi unterscheiden sich nicht; das Oktavspektrum unterscheidet sich lediglich in den Frequenzen 63 Hz und 125 Hz um 0,1 dB(A) (PO 6000 < PO 5600). Im Rahmen der Prognosegenauigkeit sind diese Daten für die vorliegende Untersuchung anwendbar. Für Terzen unter 12,5 Hz sind in der Berechnungssoftware keine Daten eingetragbar, diese sind im weiteren Verlauf jedoch auch nicht beurteilungsrelevant (siehe bspw. Abbildung 6). Für Frequenzen oberhalb von 80 Hz ist kein Dämmmaß aus der Anleitung des LfU [1] verfügbar, weshalb diese im weiteren Verlauf nicht dargestellt werden. Da tieffrequente Geräusche mit Frequenzen <90 Hz definiert sind, ist dies ausreichend. Das verwendete Terzspektrum ist der folgenden Abbildungen sowie in Zahlen dem Anhang zu entnehmen.

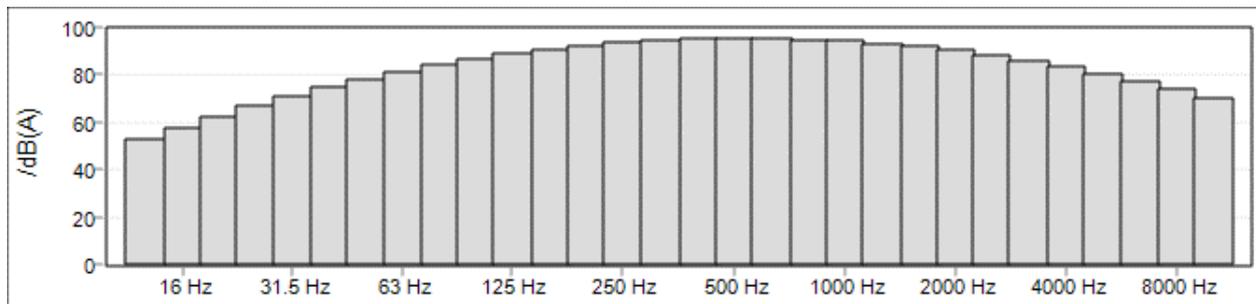


Abbildung 4: Terzspektrum (A-bewertet) Vestas V150 5.6MW BM PO 5600

Die Immissionsberechnung (außen) für den Immissionsort F1 „Fünfeichen, Ernst-Thälmann-Straße 1a“ (außen) wurde mit der Software IMMI 2021 der Firma Wölfel durchgeführt. Die Berechnungsgrundlagen und Ergebnisse sind im Anhang dargestellt.

Folgende Tabellen stellen die berechneten Terzpegel für die tieffrequenten Frequenzbänder am untersuchten Immissionsort (außen) dar. Aufgrund des auswertbaren Datenbereichs sind hier nur die Frequenzen von 12,5 Hz bis 80 Hz dargestellt (siehe zwei Absätze weiter oben). Das vollständige Terzspektrum befindet sich im Anhang.

Tabelle 1: terzbezogene Immissionspegel ($L_{p, \text{Terz}, \text{außen}}$) Tag- und Nachtzeitraum

| Frequenz in Hz | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $L_{p, \text{Terz}, \text{außen}}$ [dB (lin)] | 51,6 | 50,8 | 49,6 | 48,5 | 47,7 | 47,1 | 46,4 | 45,7 | 45,2 |
| $L_{p, \text{Terz}, \text{außen}}$ [dB(A)] | -11,8 | -5,9 | -0,9 | 3,8 | 8,3 | 12,5 | 16,2 | 19,5 | 22,7 |
| $L_{p, \text{Terz}, \text{außen}}$ [dB(C)] | 40,4 | 42,3 | 43,4 | 44,1 | 44,7 | 45,1 | 45,1 | 44,9 | 44,7 |

3.3 Ermittlung der terzbezogenen Innenraumpegel

Aus den berechneten, terzbezogenen Außenpegeln können über die Annahme von Gebäudedämmwerten die Innenraumpegel abgeschätzt werden. Gemäß der Anleitung des Landesamts für Umwelt des Landes Brandenburg „Prognose tieffrequenter Geräusche – Stand April 2018“ [1] sollen hierfür die Dämmwerte D_W „außen-innen“ für tonale Geräusche¹ gemäß Tabelle 1 der Anleitung anzuwenden.

Diese Dämmwerte entstammen aus Messungen an Gebäuden für das „Forschungsvorhaben zur Messung und Prognose der Einwirkung tieffrequenter Schalle“ [13] für das staatliche Umweltamt Kiel [13]. Sie sind gültig für Geräusche mit deutlich hervortretendem Einzelton¹. Die Dämmwerte sind als statistische Hilfs-Werte einzuordnen² und entsprechen nicht den konkreten Dämmwerten am untersuchten Gebäude.

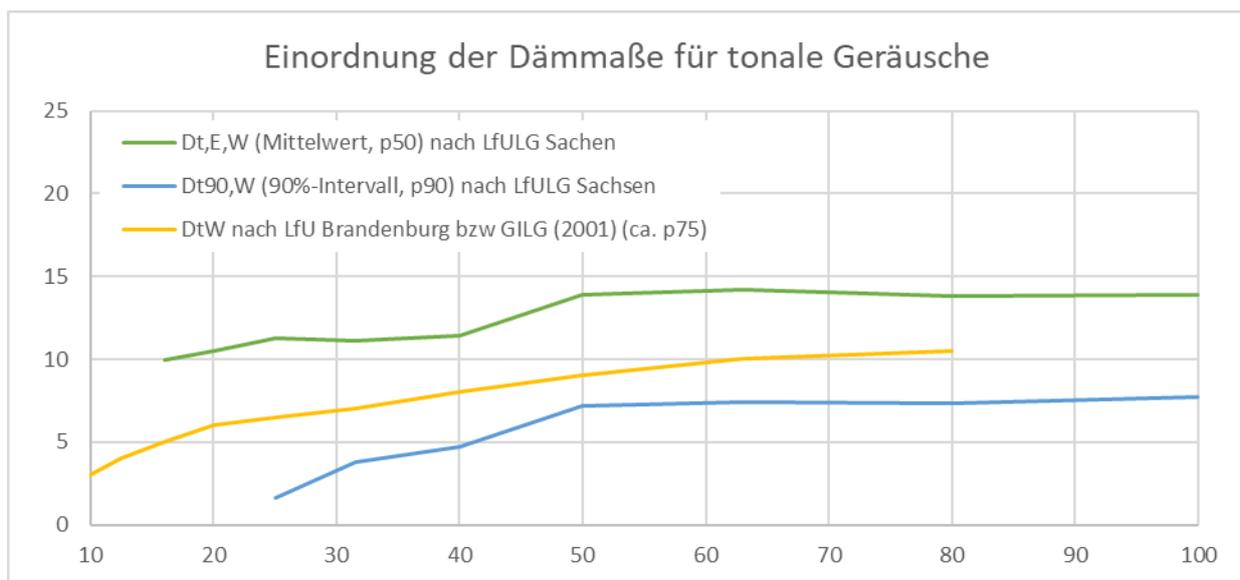


Abbildung 5: Einordnung der hier angewendeten Dämmmaße nach LfU [1] bzw. GILG [13] in eine weitere Studie mit 35 untersuchten Gebäuden [17]

² Die Dämmwerte dieser Studie liegen etwa mittig zwischen dem Mittelwert (p_{50}) $D_{t,E,W}$ und dem 90%-Vertrauensintervall (p_{90}) $D_{t,90,W}$, (entsprechend Gebäuden mit mittlerer und sehr schwacher Gebäudedämmung) der an 35 Gebäuden ermittelten Vergleichs-Dämmwerte des LfULG Sachsen [17] für tonhaltige Geräusche. Damit entsprechen sie einem Vertrauensintervall von etwa 75-80 % (p_{75}), was bedeutet, dass 75 % aller Gebäude höhere Dämmwerte vorweisen, als die in dieser Prognose verwendeten. Die resultierenden, prognostisch ermittelten Innenraumpegel sind somit als gültig für Gebäude mit eher schwacher Schalldämmung zu werten. Eine weiterführende Diskussion dazu findet sich in 4.2.

Tabelle 2: Schallpegeldifferenzen D_w „außen-innen“ (Dämmmaß) für tonale Geräusche nach LfU [1]

| Terzmittenfrequenz in Hz | Dämmmaß D_w in dB |
|--------------------------|---------------------|
| 8 | 2,5 |
| 10 | 3 |
| 12,5 | 4 |
| 16 | 5 |
| 20 | 6 |
| 25 | 6,5 |
| 31,5 | 7 |
| 40 | 8 |
| 50 | 9 |
| 63 | 10 |
| 80 | 10,5 |

In der folgenden Tabelle sind die berechneten terzbezogenen Außenpegel (aus 3.2), die hier anzuwendenden statistischen Dämmmaße (siehe Tabelle 3) und die daraus resultierenden terzbezogenen Innenraumpegel ersichtlich. Sie sollen in dieser Abschätzung die gemessenen Innenraumpegel als Ausgangspunkt für die Belästigungsbewertung nach DIN 45680 ersetzen.

Tabelle 3: Abschätzung terzbezogener Innenraumpegel über die Dämmwerte

| Frequenz in Hz | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $L_{p, \text{Terz, außen}}$ in dB | 51,6 | 50,8 | 49,6 | 48,5 | 47,7 | 47,1 | 46,4 | 45,7 | 45,2 |
| D_w in dB | 4 | 5 | 6 | 6,5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 10,5 |
| $L_{p, \text{Terz, innen}}$ in dB | 47,6 | 45,8 | 43,6 | 42 | 40,7 | 39,1 | 37,4 | 35,7 | 34,7 |

3.4 Vorerhebungen nach DIN 45680

In der DIN 45680 [2] werden die (gemessenen) Innenraumgeräusche zunächst darauf geprüft, ob sie tieffrequent im Sinne der Norm und somit beurteilungsrelevant sind (1) und wenn ja, ob es deutlich hervortretende Einzeltöne gibt (2), wonach der Beurteilungsmaßstab festgelegt wird.

Laut Ziffer 5.1 der DIN 45680 erfolgt die Prüfung (1), ob ein Geräusch vorherrschende Energieanteile im Frequenzbereich unter 90 Hz hat und somit im Sinne der Norm tieffrequent ist, anhand des Vergleichs aus C- und A-bewertetem Beurteilungspegel (innen). Ist die Differenz > 20 dB, ist

von einem beurteilungsrelevanten tieffrequenten Geräusch auszugehen. Da der Beurteilungspegel innen nach oben ausgeführter Methodik nur für den Frequenzbereich 12,5 Hz-80 Hz zur Verfügung steht, die Prüfung (1) sich jedoch auf den gesamten Frequenzbereich bezieht, kann diese nicht stattfinden. Auf die Vorerhebung wird deshalb verzichtet und mit dem nächsten Prüfschritt fortgefahren.

Nach DIN 45680 ist eine Prüfung (2) der gemessenen Innenraumpegel auf deutlich hervortretende Einzeltöne durchzuführen. Dafür werden nebeneinander liegende Terzpegel verglichen. Bei einer Differenz von mehr als 5 dB ist ein deutlich hervortretender Einzelton vorhanden.

Das prognostizierte Innenraumgeräusch enthält keinen deutlich hervortretenden Einzelton, da ein Vergleich der terzbezogenen Innenraumpegel mit den Pegeln der jeweils benachbarten Terzen (siehe Tabelle 3) keine Differenzen größer > 5 dB ergibt.

Die folgende Prüfung auf erheblich belästigende tieffrequente Geräusche folgt dennoch nach Anleitung des LfU [1] dem Pfad der DIN 45680 für Geräusche mit deutlich hervortretendem Einzelton, also gemäß Ziffer 5.2.3 [2] bzw. Beiblatt 1, Ziffer 2.2 [3], da das Innenraumspektrum von WEA nach den Annahmen der Anleitung des LfU als tonal angesehen wird. Dabei handelt es sich um eine konservativere Herangehensweise.

3.5 Prüfung der Innenraumgeräusche auf erhebliche Belästigung

Dieser Prüfschritt umfasst die Ermittlung der Hörschwellendifferenzen ΔL_1 , welche die Unter- oder Überschreitung der Hörschwelle durch das Geräuschs in der jeweiligen Frequenz darstellt und deren Vergleich mit den Anhaltswerten, welche das zulässige Maß der Überschreitung und somit die Beurteilungsgrundlage der DIN 45680 bilden.

Der abschätzend ermittelte Terzinnenpegel $L_{\text{Terz,r}} (= L_{\text{P,Terz,innen}})$ ist nach der Anleitung des LfU [1] für tonhaltige¹ Geräusche zu prüfen und somit gemäß Ziffer 5.2.3 [2] bzw. Beiblatt 1, Ziffer 2.2 [3] der DIN 45680 mit dem Hörschwellenpegel L_{HS} zu vergleichen und daraus die Differenz ΔL_1 zu ermitteln.

Zur Beurteilung der tieffrequenten Geräusche werden die Hörschwellendifferenzen ΔL_1 mit den Anhaltswerten gemäß Beiblatt 1 Tabelle 1 [3] (siehe Tabelle 5) verglichen. Unterschreiten die Hörschwellendifferenzen die Anhaltswerte, liegen gemäß Beiblatt 1 Ziffer 3 keine erheblichen Belästigungen durch tieffrequente Geräuschmissionen vor (Anhang A.1.5, Satz 5 TA Lärm).

Die folgenden Tabellen stellen die Differenzen ΔL_1 der abgeschätzten terzbezogenen Innenraumpegel zur Hörschwelle dar. Negative Werte entsprechen einer Unterschreitung der Hörschwelle, positive einer Überschreitung. Im Bereich 63 Hz und 80 Hz wird die Hörschwelle (mit den angenommen Gebäudedammwerten) im Innenraum überschritten.

Tabelle 4: Ermittlung der Hörschwellendifferenzen ΔL_1

| Hz | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| $L_{\text{Terz},r}$ in dB | 47,6 | 45,8 | 43,6 | 42,0 | 40,7 | 39,1 | 37,4 | 35,7 | 34,7 |
| L_{HS} in dB | 87 | 79 | 71 | 63 | 55,5 | 48 | 40,5 | 33,5 | 28 |
| ΔL_1 in dB | -39,4 | -33,2 | -27,4 | -21,0 | -14,8 | -8,9 | -3,1 | 2,2 | 6,7 |

Die Anhaltswerte zur Beurteilung tieffrequenter Geräusche gemäß Beiblatt 1 Tabelle 1 sowie deren Einordnung in die Beurteilung können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 5: Anhaltswerte zur Beurteilung tieffrequenter Geräusche nach Tabelle 1 DIN 45680

| Beurteilungszeit | maximale ΔL_1 in dB bei Terzmittenfrequenz | |
|------------------|---|-------|
| | 10 bis 63 Hz | 80 Hz |
| Tagesstunden | 5 | 10 |
| Nachtstunden | 0 | 5 |

Tabelle 6: Beurteilung - Vergleich ΔL_1 zu Anhaltswerten (tags)

| Hz | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| $\Delta L_{1,\text{tag}}$ [dB] | -39,4 | -33,2 | -27,4 | -21,0 | -14,8 | -8,9 | -3,1 | 2,2 | 6,7 |
| Anhaltswert | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 |
| Differenz zum Anhaltswert | -44,4 | -38,2 | -32,4 | -26,0 | -19,8 | -13,9 | -8,1 | -2,8 | -3,3 |
| Überschreitung | nein | nein | nein | nein | nein | nein | nein | nein | nein |

Tabelle 7: Beurteilung - Vergleich ΔL_1 zu Anhaltswerten (nachts)

| Hz | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|-----|
| $\Delta L_{1,\text{nacht}}$ [dB] | -39,4 | -33,2 | -27,4 | -21,0 | -14,8 | -8,9 | -3,1 | 2,2 | 6,7 |
| Anhaltswert | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| Differenz zum Anhaltswert | -39,4 | -33,2 | -27,4 | -21,0 | -14,8 | -8,9 | -3,1 | 2,2 | 1,7 |
| Überschreitung | nein | nein | nein | nein | nein | nein | nein | ja | ja |

4 Beurteilung und Bewertung der Ergebnisse

4.1 Beurteilung nach DIN 45680

Die abschätzend ermittelten Hörschwellendifferenzen ΔL_1 unterschreiten in allen Terzbändern für den Tagbetrieb die Anhaltswerte gemäß DIN 45680 [3] um mindestens 2,8 dB.

Im Nachtbetrieb werden die abschätzend ermittelten Anhaltswerte für die Frequenzen 63 Hz und 80 Hz um 2,2 dB bzw. 1,7 dB überschritten.

Werden die Anhaltswerte zur Hörschwelle addiert, kann der maximal zulässige Innenraumpegel dargestellt und so auch grafisch mit den prognostizierten Innenraumpegeln verglichen werden.

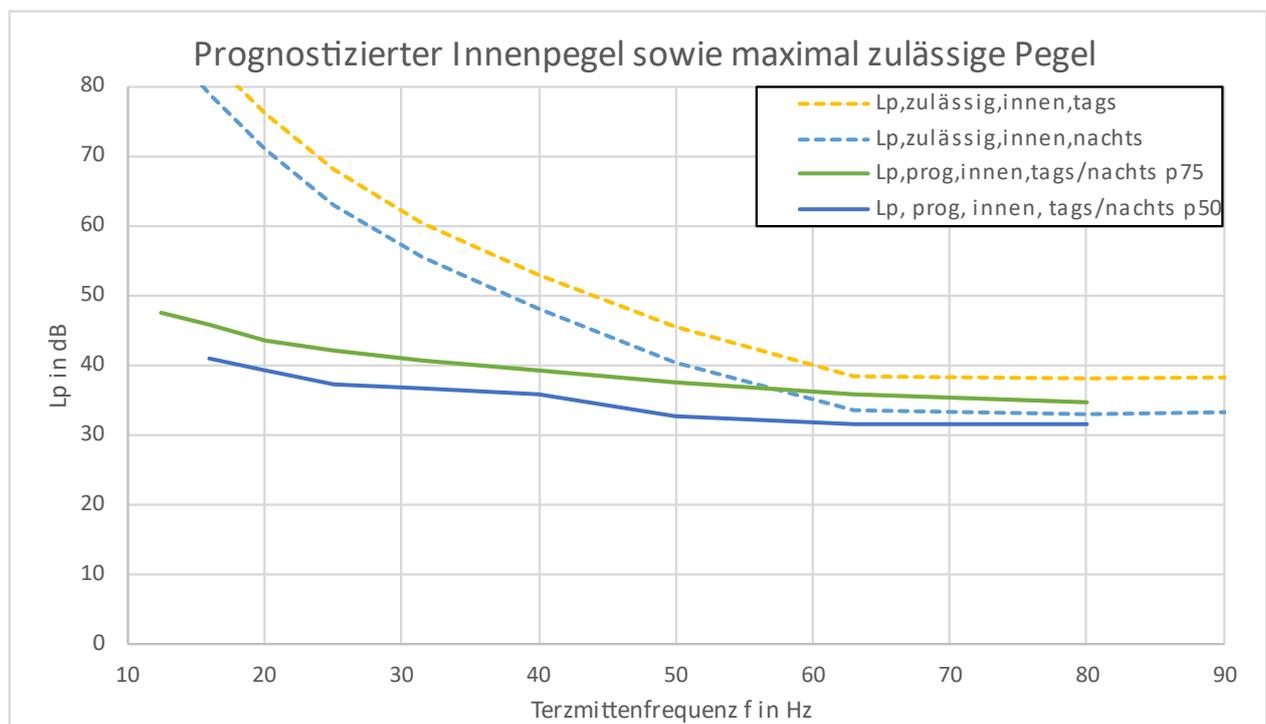


Abbildung 6: Vergleich der prognostizierten Innenraumpegel mit den maximal zulässigen Innenraumpegeln

Die basierend auf den statistischen Dämmwerten abgeschätzte Überschreitung der Anhaltswerte im Nachtbetrieb für die Frequenzen 63 Hz und 80 Hz beträgt 2,2 dB(A) bzw. 1,7 dB(A) (siehe Tabelle 7). Bei einem angenommenen durchschnittlichen Wohnhaus (mit mittlerem Dämmmaß (p50) nach den Ergebnissen von [17]) unterschreitet die Zusatzbelastung die Anhaltswerte um mindestens 1,6 dB(A) (s. Abbildung 6).

4.2 Bewertung der Situation

Die Zusatzbelastung überschreitet nach dem hier angewendeten abschätzenden Verfahren des LfU die Anhaltswerte im Nachtbetrieb für die Frequenzen 63 Hz und 80 Hz um 2,2 dB bzw. 1,7 dB. Im Tagbetrieb werden alle Anhaltswerte unterschritten.

Die hier ermittelten Werte haben abschätzenden Charakter und basieren auf statistischen Angaben zu den Dämmwerten. Die realen Dämmwerte der konkreten Gebäudehülle sind unbekannt.

Zur weiteren Einordnung der ermittelten Werte erfolgt eine statistische Analyse der Ergebnisse.

Werden mittlere Dämmmaße für Gebäudehüllen herangezogen, wie sie in der umfangreichen Studie des LfULG Sachsen ermittelt wurden [17]³, dann werden die Anhaltswerte für den Nachtbetrieb um mindestens 1,6 dB unterschritten.

Unter der Annahme, dass die messtechnisch ermittelten Dämmmaße einer Normalverteilung folgen, werden die Anhaltswerte mit einer Wahrscheinlichkeit von 60-65 % eingehalten.

³ Die p-Werte stellen das Vertrauensintervall dar. p50 bedeutet, dass dieser Wert den Mittelwert über verschiedenen Gebäude darstellt (Annahme: Gebäude mit mittlerer Schalldämmung), p50 bedeutet, dass dieser Wert für 50% der Gebäude mindestens eingehalten wird (Annahme: Gebäude mit mittlerer Schalldämmung).

5 Quellenverzeichnis

- [1] LfU - Abt. technischer Umweltschutz 2, Prognose tieffrequenter Geräusche - Stand April 2018.
- [2] Norm DIN 45680:1997-03, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft.
- [3] Norm DIN 45680:1997-03, Beiblatt 1 - Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen.
- [4] BImSchG, *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274)*, zuletzt durch Artikel 2 Absatz 1 des Gesetzes vom 9. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873) geändert.
- [5] Norm, „DIN EN ISO/IEC 17025:2005-08, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien,“ 2005.
- [6] TA_Lärm, *Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm)*, (GMBI S. 503), 1998.
- [7] Norm, *DIN ISO 9613-2:1999-10, Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien – Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren.*
- [8] NALS im DIN und VDI, *Interimsverfahren zur Prognose der Geräuschimmissionen von Windkraftanlagen*, Unterausschuss NA 001-02-03-19 UA "Schallausbreitung im Freien", 2015.
- [9] LAI, *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz, Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen (WKA), Überarbeiteter Entwurf vom 17.03.2016 mit Änderungen PhysE vom 23.06.2016.*
- [10] Ramboll, Schallimmissionsprognose für vier Windenergieanlagen am Standort Jacobsdorf, Berichtsnummer 16-1-3074-003-NU, 02.09.2019.
- [11] TK25, Topografische Karte im Maßstab 1:25.000, Landesvermessungsamt des jeweiligen Bundeslandes, aktuellste Version.
- [12] Schulze, C.; Eckert, L. & Hübelt, J., Untersuchungen zur Schallimmissionsprognose bei tieffrequenten Geräuschen. *schriftenreihe des LfULG*, Heft 9/2021.
- [13] GILG, J, Berücksichtigung tieffrequenter Geräusche gemäß TA Lärm in Genehmigungs-, Planfeststellungs- und Baugenehmigungsverfahren - Mustergutachten und Handlungsanleitung. Studie im Auftrag des staatlichen Umwelteamtes Kiel. Müller-BBM GmbH., Planegg, 2001.

- [14] HOFFMEYER, D. & JAKOBSEN, J., Sound Insulation of Dwellings at Low Frequencies. Journal of low frequency noise, vibration and active control, 29(1), 15-23., 2010.
- [15] MLUL Brandenburg, Anforderungen an die Geräuschimmissionsprognose und die Nachweismessung von WKA - Anhang, Potsdam, 16.01.19.
- [16] MLUL Brandenburg, Anforderungen an die Geräuschimmissionsprognose und die Nachweismessung von Windkraftanlagen (WKA) - (WKA-Geräuschimmissionserlass), Potsdam, 16.01.2019.
- [17] Christoph Fritzsche, LANU Sachsen, Verfahren der Schallimmissionsprognose bei tieffrequenten Geräuschen Schriftenreihe des LfULG, Heft 10/2021, 24.03.2021.
- [18] Vestas-Wind-Systems, „Third octave noise emission EnVentus V150-5.6MW - Document no: 0079-5099_02,“ Aarhus, 2019.
- [19] A. Brünner, „Rechner für Normalverteilung,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.arndt-bruenner.de/mathe/scripts/normalverteilung1.htm>.

6 Anhang

- Berechnungsergebnisse
- Herstellerangaben und Messberichte zu den Terzpegeln

Zusatzbelastung



| Kurze Liste / Spektren » | | Tag | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| Immissionsberechnung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Element | Bezeichnung | 12.5 Hz | 16 Hz | 20 Hz | 25 Hz | 31.5 Hz | 40 Hz | 50 Hz | 63 Hz | 80 Hz | 100 Hz | 125 Hz | 160 Hz | 200 Hz | 250 Hz | 315 Hz | 400 Hz | 500 Hz | 630 Hz | 800 Hz | 1000 Hz | 1250 Hz | 1600 Hz | 2000 Hz | 2500 Hz | 3150 Hz | 4000 Hz | 5000 Hz | 6350 Hz | 8000 Hz | 10000 Hz | L _r | |
| | | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | /dB |
| IPkt001 » | F1 Ernst-Thälmann-Straße 1a | Zusatzbelastung Einstellung: Kopie von "Referenzeinstellung" | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Spektrum (linear) | 51,6 | 50,8 | 49,6 | 48,5 | 47,7 | 47,1 | 46,4 | 45,7 | 45,2 | 44,3 | 43,5 | 42,7 | 41,5 | 40,2 | 38,9 | 37,4 | 35,6 | 33,8 | 31,5 | 29,0 | 25,8 | 21,5 | 16,0 | 8,4 | -2,1 | -17,3 | -38,5 | -69,8 | | | | 58,8 |
| | Spektrum (A) | -11,8 | -5,9 | -0,9 | 3,8 | 8,3 | 12,5 | 16,2 | 19,5 | 22,7 | 25,2 | 27,4 | 29,3 | 30,6 | 31,6 | 32,3 | 32,6 | 32,4 | 31,9 | 30,7 | 29,0 | 26,4 | 22,5 | 17,2 | 9,7 | -0,9 | -16,3 | -38,0 | -69,9 | | | | 41,5 |
| | Spektrum (C) | 40,4 | 42,3 | 43,4 | 44,1 | 44,7 | 45,1 | 45,1 | 44,9 | 44,7 | 44,0 | 43,3 | 42,6 | 41,5 | 40,2 | 38,9 | 37,4 | 35,6 | 33,8 | 31,5 | 29,0 | 25,8 | 21,4 | 15,8 | 8,1 | -2,6 | -18,1 | -39,8 | -71,8 | | | | 55,3 |

| Kurze Liste / Spektren » | | Nacht | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| Immissionsberechnung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Element | Bezeichnung | 12.5 Hz | 16 Hz | 20 Hz | 25 Hz | 31.5 Hz | 40 Hz | 50 Hz | 63 Hz | 80 Hz | 100 Hz | 125 Hz | 160 Hz | 200 Hz | 250 Hz | 315 Hz | 400 Hz | 500 Hz | 630 Hz | 800 Hz | 1000 Hz | 1250 Hz | 1600 Hz | 2000 Hz | 2500 Hz | 3150 Hz | 4000 Hz | 5000 Hz | 6350 Hz | 8000 Hz | 10000 Hz | L _r | |
| | | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | L _{r,i} /dB | /dB |
| IPkt001 » | F1 Ernst-Thälmann-Straße 1a | Zusatzbelastung Einstellung: Kopie von "Referenzeinstellung" | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Spektrum (linear) | 51,6 | 50,8 | 49,6 | 48,5 | 47,7 | 47,1 | 46,4 | 45,7 | 45,2 | 44,3 | 43,5 | 42,7 | 41,5 | 40,2 | 38,9 | 37,4 | 35,6 | 33,8 | 31,5 | 29,0 | 25,8 | 21,5 | 16,0 | 8,4 | -2,1 | -17,3 | -38,5 | -69,8 | | | | 58,8 |
| | Spektrum (A) | -11,8 | -5,9 | -0,9 | 3,8 | 8,3 | 12,5 | 16,2 | 19,5 | 22,7 | 25,2 | 27,4 | 29,3 | 30,6 | 31,6 | 32,3 | 32,6 | 32,4 | 31,9 | 30,7 | 29,0 | 26,4 | 22,5 | 17,2 | 9,7 | -0,9 | -16,3 | -38,0 | -69,9 | | | | 41,5 |
| | Spektrum (C) | 40,4 | 42,3 | 43,4 | 44,1 | 44,7 | 45,1 | 45,1 | 44,9 | 44,7 | 44,0 | 43,3 | 42,6 | 41,5 | 40,2 | 38,9 | 37,4 | 35,6 | 33,8 | 31,5 | 29,0 | 25,8 | 21,4 | 15,8 | 8,1 | -2,6 | -18,1 | -39,8 | -71,8 | | | | 55,3 |

Restricted
Document no: 0079-5099_02
2019-05-20

Third octave noise emission EnVentus™ V150-5.6MW



Abstract

This document serves as a paper behind the General Specification.

The document describes the measured/estimated third octave spectra for noise levels according to the General Specification.

The document is a living document and will be updated regularly.

When new measurements exist, the document might be updated.

Contents

| | | |
|----|--|----|
| 1. | Introduction..... | 4 |
| 2. | Method..... | 4 |
| | 2.1 Procedure..... | 4 |
| | 2.2 Physical environment..... | 4 |
| 3. | Results..... | 5 |
| | 3.1 Results V150 5.6 MW, Mode 0 | 5 |
| | 3.2 Results V150 5.6 MW, Mode 0-0S | 6 |
| | 3.3 Results V150 SO0 | 7 |
| | 3.4 Results V150 SO2 | 8 |
| | 3.5 Results V150 SO3 | 9 |
| | 3.6 Results V150 SO4 | 10 |
| | 3.7 Results V150 SO5 | 11 |
| | 3.8 Results V150 SO6 | 12 |
| 4. | Limitations | 13 |
| 5. | Recalculation to 10 m wind speeds..... | 13 |

1. Introduction

The purpose of this document is to present the expected third octave noise spectra for the V150-5.6 MW turbine.

Test results for this turbine are not yet available, so data are based on test results from turbines with rotors that are as close as possible in size to the V150. All results are thus based upon internal measurement results obtained on V136 turbines.

2. Method

2.1 Procedure

During measurements, a very large number of correlated values for noise emission spectra and turbine operating parameters are identified.

From these a relation between noise emission within each 1/3 octave band, wind speed and operational conditions are extracted. By combination of these extracted values and the actual turbine operation and rotor size, an estimate of the actual 1/3 octave performance is obtained.

The frequency content is limited to the frequency range 6.3 Hz to 10 kHz to secure that measurement system limitations are not influencing the findings. The stated spectral values are thus representative for the expected noise emission from the turbine at each wind speed.

The method is verified as giving results corresponding to direct measured values.

The reported wind speed range cover hub height wind speeds from 3 to 20 m/s. Extrapolations outside this wind speed range is not possible due to limitations in the measured input data.

The stated values do not in any way enable issuing guarantees.

2.2 Physical environment

The results are valid for the downwind reference position as defined according to IEC 61400-11 Ed.3.

Applicable environmental conditions are thus corresponding to the standardized requirements as described directly and indirectly in IEC 61400-11.

These can be interpreted as air density 1.225 kg/m³, yaw errors below +/- 15 deg. and vertical inflow angles below +/- 10 deg. Blade condition is clean and undamaged.

3. Results

3.1 Results V150 5.6 MW, Mode 0

| Frequency | Hub height wind speeds [m/s] | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 3 m/s | 4 m/s | 5 m/s | 6 m/s | 7 m/s | 8 m/s | 9 m/s | 10 m/s | 11 m/s | 12 m/s | 13 m/s | 14 m/s | 15 m/s | 16 m/s | 17 m/s | 18 m/s | 19 m/s | 20 m/s |
| 6.3 Hz | 18.8 | 17.8 | 20.0 | 22.8 | 26.0 | 28.4 | 28.4 | 28.5 | 30.1 | 32.4 | 33.1 | 33.2 | 33.1 | 32.5 | 32.0 | 31.1 | 30.2 | 28.3 |
| 8 Hz | 25.4 | 24.6 | 26.8 | 29.6 | 32.7 | 35.2 | 35.3 | 35.4 | 36.9 | 39.0 | 39.6 | 39.7 | 39.5 | 39.0 | 38.4 | 37.7 | 36.7 | 35.0 |
| 10 Hz | 31.3 | 30.6 | 32.7 | 35.6 | 38.7 | 41.2 | 41.4 | 41.5 | 42.9 | 44.8 | 45.3 | 45.4 | 45.2 | 44.7 | 44.2 | 43.4 | 42.6 | 40.9 |
| 12.5 Hz | 36.8 | 36.2 | 38.4 | 41.2 | 44.3 | 46.8 | 47.2 | 47.2 | 48.6 | 50.3 | 50.8 | 50.8 | 50.6 | 50.1 | 49.6 | 48.9 | 48.1 | 46.5 |
| 16 Hz | 42.5 | 42.1 | 44.3 | 47.1 | 50.2 | 52.7 | 53.1 | 53.2 | 54.5 | 56.0 | 56.4 | 56.4 | 56.2 | 55.7 | 55.3 | 54.6 | 53.8 | 52.4 |
| 20 Hz | 47.3 | 47.0 | 49.2 | 52.0 | 55.2 | 57.7 | 58.2 | 58.3 | 59.5 | 60.9 | 61.2 | 61.1 | 61.0 | 60.5 | 60.0 | 59.4 | 58.7 | 57.3 |
| 25 Hz | 51.8 | 51.7 | 53.9 | 56.7 | 59.8 | 62.3 | 62.9 | 63.0 | 64.2 | 65.4 | 65.7 | 65.6 | 65.4 | 65.0 | 64.5 | 64.0 | 63.3 | 62.0 |
| 31.5 Hz | 56.2 | 56.1 | 58.3 | 61.1 | 64.2 | 66.8 | 67.5 | 67.6 | 68.7 | 69.7 | 69.9 | 69.9 | 69.7 | 69.3 | 68.9 | 68.3 | 67.7 | 66.5 |
| 40 Hz | 60.3 | 60.4 | 62.6 | 65.4 | 68.5 | 71.1 | 71.8 | 71.9 | 73.0 | 73.9 | 74.0 | 73.9 | 73.8 | 73.4 | 73.0 | 72.5 | 71.9 | 70.8 |
| 50 Hz | 63.8 | 64.0 | 66.2 | 69.0 | 72.1 | 74.7 | 75.5 | 75.6 | 76.7 | 77.4 | 77.5 | 77.4 | 77.3 | 76.9 | 76.5 | 76.1 | 75.5 | 74.5 |
| 63 Hz | 67.2 | 67.4 | 69.6 | 72.4 | 75.5 | 78.1 | 79.0 | 79.1 | 80.1 | 80.7 | 80.8 | 80.7 | 80.5 | 80.2 | 79.9 | 79.4 | 79.0 | 78.1 |
| 80 Hz | 70.3 | 70.5 | 72.8 | 75.6 | 78.7 | 81.3 | 82.3 | 82.4 | 83.3 | 83.8 | 83.9 | 83.7 | 83.6 | 83.3 | 83.0 | 82.6 | 82.2 | 81.4 |
| 100 Hz | 72.8 | 73.2 | 75.4 | 78.2 | 81.3 | 83.9 | 85.0 | 85.1 | 86.0 | 86.4 | 86.4 | 86.3 | 86.1 | 85.8 | 85.6 | 85.2 | 84.8 | 84.1 |
| 125 Hz | 75.0 | 75.4 | 77.7 | 80.5 | 83.6 | 86.2 | 87.3 | 87.4 | 88.3 | 88.6 | 88.6 | 88.5 | 88.3 | 88.1 | 87.8 | 87.5 | 87.2 | 86.6 |
| 160 Hz | 77.1 | 77.6 | 79.8 | 82.6 | 85.7 | 88.4 | 89.5 | 89.6 | 90.5 | 90.7 | 90.7 | 90.6 | 90.4 | 90.2 | 90.0 | 89.8 | 89.5 | 89.0 |
| 200 Hz | 78.7 | 79.2 | 81.4 | 84.2 | 87.3 | 90.0 | 91.2 | 91.3 | 92.1 | 92.3 | 92.2 | 92.1 | 92.0 | 91.8 | 91.6 | 91.4 | 91.2 | 90.8 |
| 250 Hz | 79.9 | 80.4 | 82.7 | 85.5 | 88.6 | 91.3 | 92.5 | 92.6 | 93.4 | 93.5 | 93.5 | 93.4 | 93.3 | 93.1 | 93.0 | 92.8 | 92.6 | 92.3 |
| 315 Hz | 80.9 | 81.4 | 83.7 | 86.5 | 89.6 | 92.3 | 93.5 | 93.6 | 94.5 | 94.5 | 94.4 | 94.3 | 94.3 | 94.1 | 94.0 | 93.9 | 93.8 | 93.5 |
| 400 Hz | 81.5 | 82.1 | 84.3 | 87.1 | 90.2 | 92.9 | 94.2 | 94.3 | 95.1 | 95.1 | 95.0 | 95.0 | 94.9 | 94.9 | 94.8 | 94.7 | 94.6 | 94.5 |
| 500 Hz | 81.8 | 82.3 | 84.6 | 87.4 | 90.5 | 93.2 | 94.5 | 94.6 | 95.4 | 95.4 | 95.3 | 95.3 | 95.3 | 95.2 | 95.2 | 95.2 | 95.1 | 95.0 |
| 630 Hz | 81.7 | 82.2 | 84.5 | 87.3 | 90.4 | 93.1 | 94.5 | 94.6 | 95.4 | 95.3 | 95.3 | 95.3 | 95.3 | 95.3 | 95.3 | 95.3 | 95.3 | 95.3 |
| 800 Hz | 81.3 | 81.8 | 84.1 | 86.9 | 90.0 | 92.7 | 94.1 | 94.2 | 94.9 | 94.9 | 94.9 | 94.9 | 94.9 | 95.0 | 95.0 | 95.1 | 95.1 | 95.2 |
| 1 kHz | 80.5 | 81.0 | 83.3 | 86.2 | 89.3 | 92.0 | 93.4 | 93.5 | 94.2 | 94.1 | 94.2 | 94.2 | 94.3 | 94.4 | 94.4 | 94.5 | 94.6 | 94.8 |
| 1.25 kHz | 79.5 | 79.9 | 82.3 | 85.1 | 88.2 | 90.9 | 92.3 | 92.4 | 93.2 | 93.1 | 93.1 | 93.2 | 93.3 | 93.5 | 93.6 | 93.7 | 93.9 | 94.1 |
| 1.6 kHz | 77.9 | 78.4 | 80.7 | 83.5 | 86.6 | 89.4 | 90.7 | 90.8 | 91.6 | 91.6 | 91.6 | 91.8 | 91.9 | 92.1 | 92.3 | 92.5 | 92.7 | 93.0 |
| 2 kHz | 76.2 | 76.6 | 78.9 | 81.8 | 84.9 | 87.6 | 89.0 | 89.1 | 89.9 | 89.9 | 90.0 | 90.2 | 90.3 | 90.6 | 90.8 | 91.0 | 91.2 | 91.6 |
| 2.5 kHz | 74.2 | 74.5 | 76.8 | 79.7 | 82.8 | 85.6 | 86.9 | 87.0 | 87.8 | 87.8 | 88.0 | 88.2 | 88.4 | 88.7 | 89.0 | 89.2 | 89.5 | 90.0 |
| 3.15 kHz | 71.7 | 72.0 | 74.3 | 77.2 | 80.3 | 83.1 | 84.4 | 84.5 | 85.3 | 85.4 | 85.6 | 85.9 | 86.1 | 86.5 | 86.8 | 87.1 | 87.4 | 88.0 |
| 4 kHz | 68.9 | 69.0 | 71.4 | 74.2 | 77.4 | 80.1 | 81.5 | 81.6 | 82.3 | 82.5 | 82.8 | 83.1 | 83.4 | 83.8 | 84.1 | 84.5 | 84.9 | 85.5 |
| 5 kHz | 65.8 | 65.9 | 68.3 | 71.1 | 74.3 | 77.1 | 78.3 | 78.4 | 79.3 | 79.5 | 79.8 | 80.2 | 80.5 | 81.0 | 81.4 | 81.8 | 82.2 | 82.9 |
| 6.3 kHz | 62.4 | 62.4 | 64.7 | 67.6 | 70.8 | 73.5 | 74.8 | 74.9 | 75.7 | 76.0 | 76.4 | 76.9 | 77.2 | 77.8 | 78.2 | 78.7 | 79.1 | 79.9 |
| 8 kHz | 58.4 | 58.3 | 60.7 | 63.6 | 66.8 | 69.5 | 70.7 | 70.8 | 71.7 | 72.1 | 72.6 | 73.1 | 73.5 | 74.1 | 74.6 | 75.1 | 75.6 | 76.5 |
| 10 kHz | 54.4 | 54.2 | 56.6 | 59.5 | 62.7 | 65.4 | 66.6 | 66.7 | 67.6 | 68.1 | 68.6 | 69.2 | 69.6 | 70.4 | 70.9 | 71.4 | 72.0 | 72.9 |
| A-wgt | 91.3 | 91.8 | 94.1 | 96.9 | 100.0 | 102.7 | 104.0 | 104.1 | 104.9 | 104.9 | 104.9 | 104.9 | 104.9 | 104.9 | 104.9 | 104.9 | 104.9 | 104.9 |

Table 1: V150-Mode 0, expected 1/3 octave band performance, (Blades with serrated trailing edges)