

Anlage 1

Schallimmissionsprognose

Büro Ramboll, April 2021

Schallimmissionsprognose für
vier Windenergieanlagen
am Standort
Gewerbepark Kilianstädten II
(Hessen)

Datum: 07.04.2021

Bericht Nr. 19-1-3034-001-NBe

Auftraggeber:

Gemeinde Schöneck

Herrnhofstr. 8 | 61137 Schöneck

Auftragsnummer: 356003885

Bearbeiter:

Ramboll Deutschland GmbH

Jeany Behrens M.Sc.

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

DE-34131 Kassel

Tel 0561 / 288 573-0

Die vorliegende Schallimmissionsprognose für den Standort Gewerbepark Kilianstädten II (Hessen) wurde der Ramboll Deutschland GmbH im März 2021 von der Gemeinde Schöneck in Auftrag gegeben und gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik nach bestem Wissen und Gewissen unparteiisch erstellt. Rechtsgrundlage dieses Gutachtens ist das BImSchG [1] mit dem in §1 festgehaltenen Zweck „[...] Menschen [...] vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen [...]“. Die Ramboll Deutschland GmbH ist nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 [2] 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.

Für die physikalische Einhaltung der prognostizierten Ergebnisse des Schallgutachtens werden seitens des Gutachters keine Garantien übernommen. Sie basieren auf den Berechnungen nach Vorgaben der TA-Lärm [3], der DIN ISO 9613-2 [4] modifiziert durch das Interimsverfahren [5] gemäß den aktuellen Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [6] und unter Berücksichtigung spezifischer Landesvorgaben für Hessen sowie auf Basis der vom Auftraggeber und dem WEA-Hersteller zur Verfügung gestellten Standort- und Anlagen-daten.

Alle Rechte an diesem Bericht sind der Ramboll Deutschland GmbH vorbehalten. Dieses Dokument darf, mit Ausnahme des Auftraggebers, der Genehmigungsbehörden 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.

	Nr.	Datum	Bearbeiter	Beschreibung
Original	001	07.04.2021	J. Behrens	Berechnung der Schallimmissionen für die Erweiterung eines Gewerbegebietes

Kassel, 07.04.2021



Jeany Behrens M.Sc.
(Bearbeiter)



Dipl.-Geogr. Marc Brüning
(Prüfer)

Inhalt:

1	Zusammenfassung	4
2	Standortdaten	5
2.1	Aufgabenstellung	5
2.2	Immissionsorte	6
2.2.1	Einwirkungsbereich	6
2.2.2	Immissionsorte und Immissionsrichtwerte	8
2.3	Potenzielle Schallreflexionen und Abschirmungseffekte	9
3	Kenndaten Windenergieanlagen	12
3.1	Allgemeine Angaben	12
3.2	Schallleistungspegel	12
3.2.1	Vorbelastung	13
4	Ergebnisse der Immissionsberechnungen	14
4.1	Beurteilungspegel an den Immissionsorten	14
4.2	Bewertung der Ergebnisse	14
5	Literaturverzeichnis	16
6	Anhang	17

1 Zusammenfassung

Für die vier Windenergieanlagen am Standort Gewerbepark Kilianstädten II wurde eine Schallimmissionsprognose entsprechend der TA-Lärm [3] nach der Berechnungsvorschrift DIN ISO 9613-2 [4] modifiziert nach dem Interimsverfahren [5] entsprechend den Hinweisen der LAI [6] unter Berücksichtigung spezifischer Landesvorgaben für Hessen für die zu berücksichtigende Gesamtbelastung an den dem Projekt benachbarten Immissionsorten durchgeführt.

Der Berechnung zugrunde gelegt wurden die nach FGW-Richtlinie [7] vermessenen Schallleistungspegel des bestehenden Anlagentyps Enercon E-82 mit einer Nabenhöhe (NH) von 138 m.

Die resultierenden Beurteilungspegel L_r im oberen Vertrauensbereich (OVb) an den nach TA Lärm [3] maßgeblichen Immissionsorten sind neben den nächtlichen Immissionsrichtwerten (IRW) in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse

IO	Bezeichnung	IRW [dB(A)]	L_r [dB(A)]	dL [dB(A)]
A	Erweiterungsfläche Gewerbegebiet	50	51	+1

Die zulässigen Nacht-Immissionsrichtwerte werden im überwiegenden Bereich der Erweiterungsfläche des Gewerbegebietes eingehalten. Von einer schädlichen Umwelteinwirkung bzw. einer erheblichen Belästigung i. S. d. BImSchG [1] ist demnach in diesem Bereich nicht auszugehen. Eine kleiner Flächenanteil überschreitet den Richtwert um 1 dB(A) (siehe Abbildung 3). In diesem Bereich sind keine Betriebswohnungen zulässig.

2 Standortdaten

2.1 Aufgabenstellung

Am Standort Gewerbepark Kilianstädten II nordöstlich von Kilianstädten existieren vier Windenergieanlagen (WEA) des Typs Enercon E-82 mit 138 m Nabenhöhe.

Tabelle 2: Kenndaten der WEA

WEA	WEA Hersteller / Typ	Nabenhöhe	Ost	Nord
		[m]	[UTM 32 ETRS89]	
01	Enercon E-82	138	490.618	5.561.897
02	Enercon E-82	138	491.048	5.561.714
03	Enercon E-82	138	491.612	5.561.531
04	Enercon E-82	138	491.211	5.561.196

Es soll der Beurteilungspegel L_r der durch die geplanten Windenergieanlagen hervorgerufenen Schallimmissionen an der Erweiterungsfläche des Gewerbegebietes Killianstädten II berechnet und mit den immissionsschutzrechtlichen Vorgaben der TA Lärm [3] für dieses Gebiet (Immissionsrichtwerte nach Abschnitt 6.1) verglichen und bewertet werden.

Die Immissionsprognose wird entsprechend den aktuellen Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [6] nach dem vom NALS modifizierten Verfahren („Interimsverfahren“) [5] der DIN ISO 9613-2 [4] unter Berücksichtigung der Landesvorgaben (Hessen) durchgeführt. Dabei werden günstige Schallausbreitungsbedingungen angenommen (Mitwindbedingungen, 10°C Lufttemperatur, 70 % Luftfeuchte) (vgl. DIN ISO 9613-2, Kap. 7.2, Tab. 2). Weitere Angaben zu den Grundlagen der Berechnungen sind dem Anhang zu entnehmen. Das Höhenrelief wurde den Höhenlinien der Topographischen Karte 1:25.000 entnommen. Die Berechnung wurde mit der Software windPRO [8], Modul DECIBEL durchgeführt.

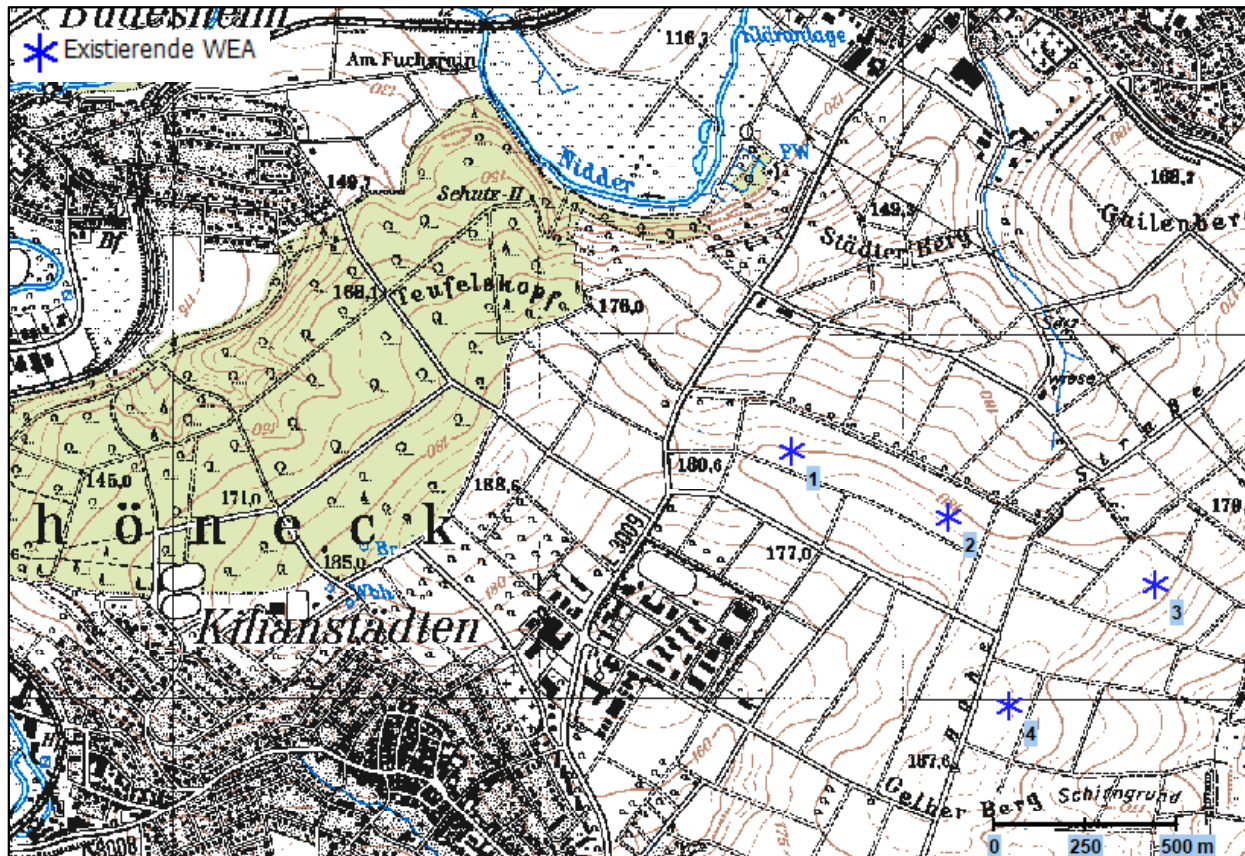


Abbildung 1: Übersichtskarte [9]

2.2 Immissionsorte

2.2.1 Einwirkungsbereich

In der folgenden Abbildung 2 werden die Isophonen der vorhandenen WEA dargestellt sowie die geplante Erweiterung des Gewerbegebiets Kilianstädten II (Immissionsort A). Für den Immissionsort A wurde ein Rezeptor in Größe der geplanten Erweiterungsfläche modelliert und der Punkt mit dem höchsten Beurteilungspegel ermittelt. Für den Fall, dass auf der Erweiterungsfläche Betriebswohnungen geplant werden, wird gemäß TA Lärm Ziffer 6.1 b) [3] von einem nächtlichen Immissionsrichtwert von 50 dB(A) ausgegangen.



Abbildung 2: Isophonenkarte Vorbelastung $L_0 = 105,3 \text{ dB(A)}$ © Geoglis [10]

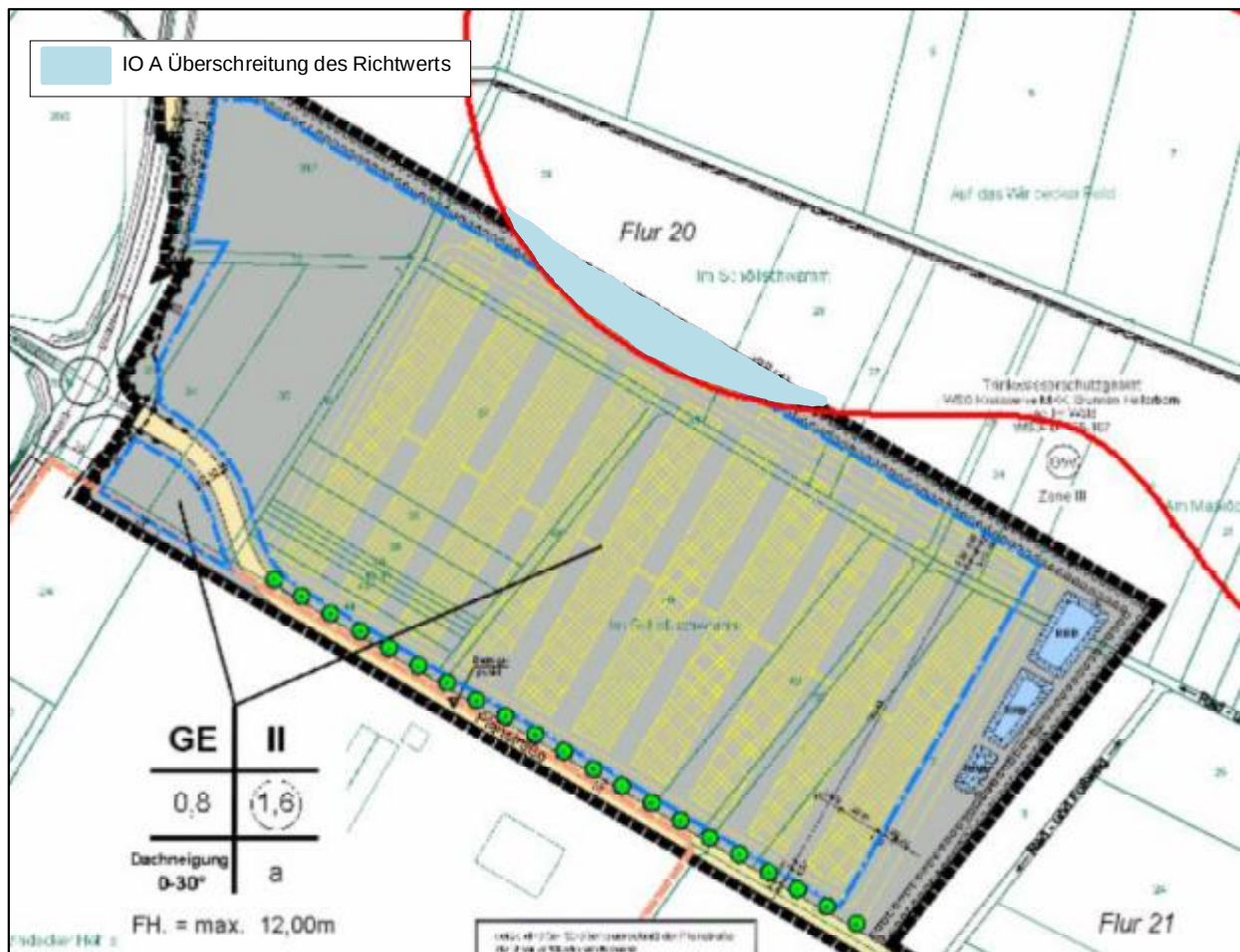


Abbildung 3: Isophonenkarte Vorbelastung Detaillausschnitt Immissionsort A [11]

2.2.2 Immissionsorte und Immissionsrichtwerte

In Tabelle 3 ist der maßgebliche Immissionsort mit seinem im Gutachten verwendeten Bezeichnung und der relevante Immissionsrichtwert aufgeführt. Die genaue Lage des Immissionsortes lässt sich der folgenden Abbildung sowie der Isophonenkarte im Anhang entnehmen. Die Koordinaten sowie die Abstände zwischen dem Immissionsort und Windenergieanlagen (in Metern) werden auf den DECIBEL-Hauptergebnisausdrucken im Anhang angegeben. Für die Beurteilung der Schallimmissionen an den Immissionsorten wird der niedrigere Immissionsrichtwert für den Nachtzeitraum (22-6 Uhr) herangezogen.

Tabelle 3: Immissionsort

IO	Bezeichnung	IRW 22-6 Uhr [dB(A)]	Gebiets- einstufung ¹	Grundlage der Einstufung ²
A	Erweiterungsfläche Gewerbegebiet	50	GE	B-Plan Entwurf „Gewerbepark Kilianstädten Nord II“

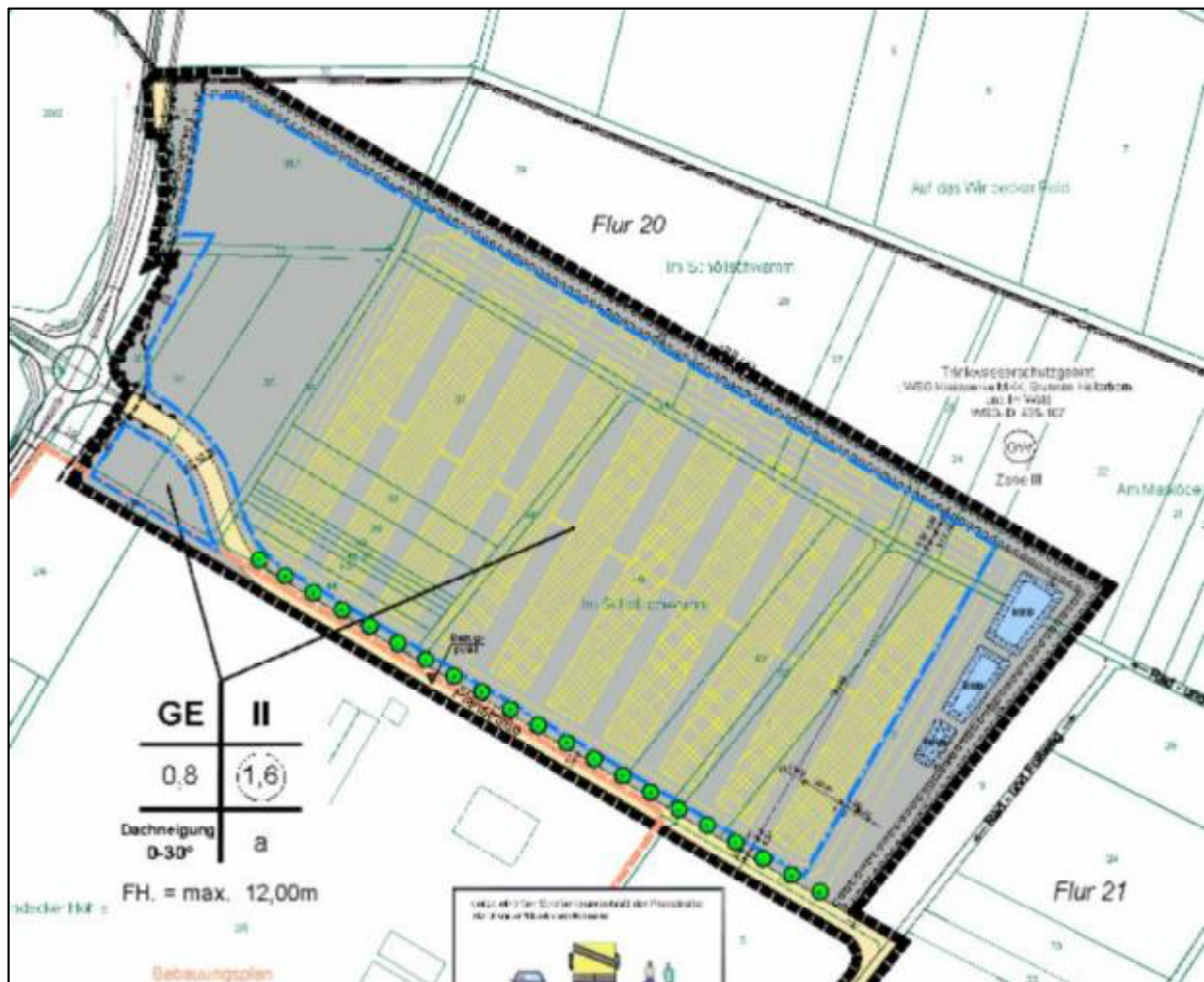


Abbildung 4: Lage des Immissionsortes A in Kilianstädten [11]

2.3 Potenzielle Schallreflexionen und Abschirmungseffekte

Merkliche Reflexionen ergeben sich überwiegend an gegenüber den WEA abgeschirmten

¹ GE = Gewerbegebiet

² BP = Bebauungsplan

Gebäudeseiten oder (durch Reflexionen an den eher niedrigen Nebengebäuden, wie Schuppen, Garagen, Gewächshäuser) im Erdgeschossbereich der Wohngebäude. Hier führen aber auch besonders Abschirmungen wieder zu Pegelsenkungen, so dass im Regelfall die Berechnung bei freier Schallausbreitung (Addition aller Quellen ohne Abschirmungseffekte) höhere Pegel ergibt als bei der Berücksichtigung der konkreten Bebauungsstruktur unter Beachtung von Abschirmungen und Reflexionen. Schallreflexionen, die den Beurteilungspegel relevant erhöhen, treten in der Regel bei Gebäude-WEA-Konstellationen auf, bei denen sich Fenster nahe an Gebäudewinkeln befinden, also bei L-förmigen direkt über Eck stehenden Gebäuden oder U-förmigen Gebäudekonstellationen und die WEA mehrheitlich in Richtung der reflektierenden über Eck stehenden Gebäudestrukturen stehen.

Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass sich der Schalldruckpegel an einem Aufpunkt durch eine vollständige Reflexion an einer Gebäudefläche maximal verdoppeln kann (+3 dB(A)) [11]. Ausgehend von einem üblichen Reflexionsverlust von 1 dB(A) an Gebäuden sind daher Reflexionen, wenn überhaupt, nur an Aufpunkten relevant, an denen ein Beurteilungspegel von weniger als 2,5 dB(A) unter dem Immissionsrichtwert berechnet wurde.

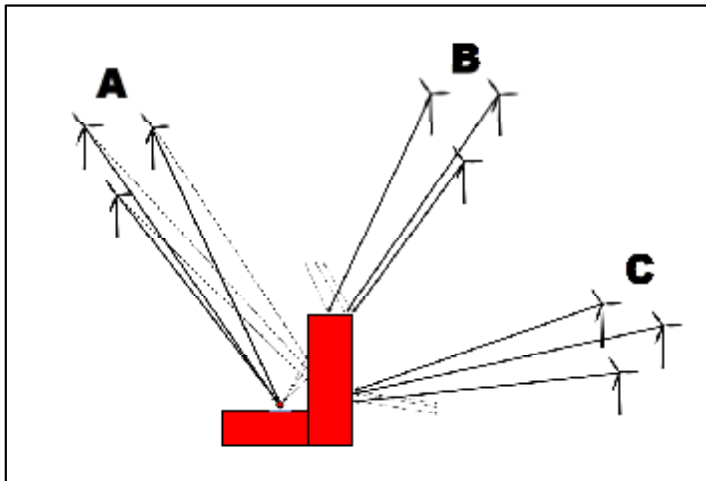


Abbildung 5: Lagekonstellation (Beispiel) – Reflexion von A, Abschirmung von B und C

Die unter Berücksichtigung von Reflexions- und Abschirmungseffekten für eine relevante Pegelerhöhung notwendige Lagekonstellation von Gebäuden und WEA kann derzeit noch nicht ermittelt werden, da es sich bei dem Immissionsort A um eine Erweiterungsfläche eines Gewerbegebietes handelt und keine Gebäude innerhalb der untersuchten Fläche vorhanden ist.

Nach dem Entwurf des Bebauungsplanes stellen die Gebäude des Gewerbegebietes keine entsprechende Lagekonstellation für die Entwicklung von Reflexion- und Abschirmungseffekten dar.

Insbesondere fehlen freie, über Eck stehende Gebäude und mehrheitlich aus einer Richtung kommende Immissionen durch Vorbelastungen.

3 Kenndaten Windenergieanlagen

3.1 Allgemeine Angaben

Am Standort Gewerbepark Kilianstädten II existieren vier Windenergieanlagen des Typs Enercon E-82.

Tabelle 4: Kenndaten relevante Vorbelastungs-WEA (nachts)

WEA	Ost	Nord	Hersteller	Typ	Nennleistung [kW]	Nabenhöhe [m]	L ₀ [dB(A)]
1	490.618	5.561.897	Enercon	E-82-2.000	2.000	138,4	105,3
2	491.048	5.561.714	Enercon	E-82-2.000	2.000	138,4	105,3
3	491.612	5.561.531	Enercon	E-82-2.000	2.000	138,4	105,3
4	491.211	5.561.196	Enercon	E-82-2.000	2.000	138,4	105,3

3.2 Schalleistungspegel

Für die Immissionsprognose wurden in der Berechnung die Schalleistungspegel unter Berücksichtigung der oberen Vertrauensbereichsgrenze L₀ der verschiedenen WEA angesetzt. Die Angaben zum Schalleistungspegel L_{WA} beziehen sich auf den lautesten, mittleren Schalleistungspegel des WEA-Typs im jeweiligen Betriebsmodus. Der Zuschlag ΔL₀ zum oberen Vertrauensbereich wurde, soweit keine anderen Angaben aus den Genehmigungsunterlagen vorlagen, nach den Hinweisen der LAI [6] berechnet (s.u.). Die Emissionen der einzelnen Schallquellen aller WEA überlagern sich an den Immissionsorten (vgl. Kapitel 2.2) zu einem resultierenden Schalldruckpegel bzw. Beurteilungspegel L_r der nach TA Lärm [3] zu bewerten ist.

Die Qualität der Prognose wird nach den Hinweisen der LAI [6] wahrscheinlichkeitsmathematisch aus den Unsicherheiten für die Serienstreuung σ_P, die Typvermessung σ_R und die Prognoseunsicherheit σ_{Prognose} ermittelt.

Der emissionsseitige Zuschlag ΔL₀ für das 90%-Vertrauensintervall wird in der Berechnung der Schallimmissionsprognose auf den Schalleistungspegel L_{WA} der WEA aufgeschlagen:

$$L_0 = L_{WA} + \Delta L_0 \quad \text{mit } \Delta L_0 = 1,28 * \sigma_{\text{ges}}$$

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

Der Zuschlag ΔL_o wird emissionsseitig auf die Schallpegel der Anlagentypen aufgeschlagen. Der statistische Ausgleich der Unsicherheit durch mehrere Quellen wird bei diesem Verfahren nicht betrachtet. Daher liegen die berechneten Werte über den statistisch wahrscheinlich auftretenden Immissionspegeln.

3.2.1 Vorbelastung

Für die bestehenden Anlagen wurden die Oktavspektren aus den Vermessungen des Anlagentyps entnommen. Ein Auszug aus den Messberichten ist als Kopie in der Anlage dieses Gutachtens beigelegt.

Tabelle 5: WEA-Schallwerte Vorbelastung

WEA Daten	WEA Nr.		Typenbezeichnung				Betriebsmodus		NH
	1-4		Enercon E-82/2MW				2000kw		138,4
Quelle Oktavspektrum	Berichtsnummer		Datum				Typ		
	KCE 207542-02.02		18.09.2008				3fach Vermessung		
Unsicherheiten	σ_R [dB(A)]		σ_P [dB(A)]		σ_{Prog} [dB(A)]		ΔL_o [dB(A)]		
	0,5		0,4		1,0		1,5		
Frequenz f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	ΣL_{gesamt}
$L_{\text{WA Okt}}$ [dB(A)]	84,0	91,0	94,6	98,9	99,5	94,3	83,4	77,4	103,8
$L_o \text{ Okt}$ [dB(A)]	85,5	92,5	96,1	100,4	101,0	95,8	84,9	78,9	105,3

4 Ergebnisse der Immissionsberechnungen

4.1 Beurteilungspegel an den Immissionsorten

Die basierend auf den in den vorigen Kapiteln genannten Kenn- und Eingangsdaten ermittelten Beurteilungspegel nach dem oberen Vertrauensbereich sind den folgenden Tabellen zu entnehmen.

Tabelle 6: Beurteilungspegel (L_r) Gesamtbelastung

IO	Bezeichnung	IRW nacht [dB(A)]	L_r [dB(A)]	L_r gerundet [dB(A)] ^{*)}	Differenz L_r - IRW [dB(A)]
A	Erweiterungsfläche Gewerbegebiet	50	51,1	51	+1

^{*)} Es wurden die Rundungsregeln gemäß Nr. 4.5.1 DIN 1333 [12] angewendet.

Im Anhang liegen für die oben genannten Beurteilungspegel Ausdrücke der Berechnungssoftware windPRO vor (Hauptergebnis, Detaillierte Ergebnisse). Weiterhin ist im Anhang eine **Iso-phonenkarte** für den Beurteilungspegel der Gesamtbelastung wiedergegeben.

4.2 Bewertung der Ergebnisse

Die zulässigen Nacht-Immissionsrichtwerte werden im überwiegenden Bereich der Erweiterungsfläche des Gewerbegebietes „Gewerbepark Kilianstädten Nord II“ eingehalten. Von einer schädlichen Umwelteinwirkung bzw. einer erheblichen Belästigung i. S. d. BImSchG [1] ist demnach in diesem Bereich nicht auszugehen. In einem Teilbereich der Erweiterungsfläche wird der Richtwert um gerundet 1 dB(A) überschritten (siehe Abbildung 3, Bereich lauter 50,4 dB[A]). In diesem Bereich sind aufgrund der Überschreitung des Immissionsrichtwerts keine Betriebswohnungen zulässig.

Die detaillierten, auf Grundlage der in Kapitel 1 beschriebenen Daten erzielten Ergebnisse für den Standort Gewerbepark Kilianstädten II sind in Kapitel 4 wiedergegeben. Änderungen an den Positionen der Anlagen, dem Anlagentyp, den im Schallvermessungsbericht des Anlagentyps genannten Anlagenspezifikationen oder sonstigen relevanten Einflussfaktoren für die Schallberechnung erfordern ein neues Gutachten.

Die vorliegenden Schallimmissionsprognose wurde konservativ angesetzt, so dass die berechneten Ergebnisse auf der „Sicheren Seite“ liegen. Weitere Informationen zu den theoretischen

Grundlagen sind der „Anlage zur Schallimmissionsprognose der Ramboll Deutschland GmbH“ zu entnehmen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] 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), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli.
- [2] Norm, „DIN EN ISO/IEC 17025:2005-08, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien,“ 2005.
- [3] TA_Lärm, Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm), (GMBI S. 503), 1998.
- [4] Norm, DIN ISO 9613-2:1999-10, Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien – Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren.
- [5] NALS im DIN und VDI, Interimsverfahren zur Prognose der Geräuschimmissionen von Windkraftanlagen, Unterausschuss NA 001-02-03-19 UA "Schallausbreitung im Freien", 2015.
- [6] 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,.
- [7] FGW_e.V., Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien, Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Revision 18 Hrsg.
- [8] EMD, EMD International A/S, windPRO 3.3 (jeweils aktuellste Version).
- [9] TK25, Topografische Karte im Maßstab 1:25.000, Landesvermessungsamt des jeweiligen Bundeslandes, aktuellste Version.
- [10] geoGLIS_oHG, onmaps GEOBasis-DE / BKG / NRW, 2018.
- [11] Gemeinde Schöneck, Bebauungsplan "Gewerbepark Kilianstädten Nord II" Entwurf, 08.03.2021.
- [12] Hoffmann/von_Lüpke, 0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel - Einführung in die Grundbegriffe und quantitative Erfassung des Lärms,, Erich Schmidt Verlag, 1993.
- [13] Norm, DIN 1333:1992-02, Zahlenangaben.

6 Anhang

- Isophonenkarte Gesamtbelastung
- Berechnungsausdrucke Vorbelastung: Hauptergebnis, Detaillierte Ergebnisse und Annahmen zur Schallberechnung
- Messbericht E-138 zur Ermittlung von Schallleistungspegeln und Oktavbändern der Vorbelastungs-WEA
- Akkreditierungsurkunde
- Theoretische Grundlagen

Projekt:

19-1-3034-001**Gemeinde Schöneck****Herrnhofstraße 8****61137 Schöneck**

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH

Elisabeth-Consbruch-Straße 3

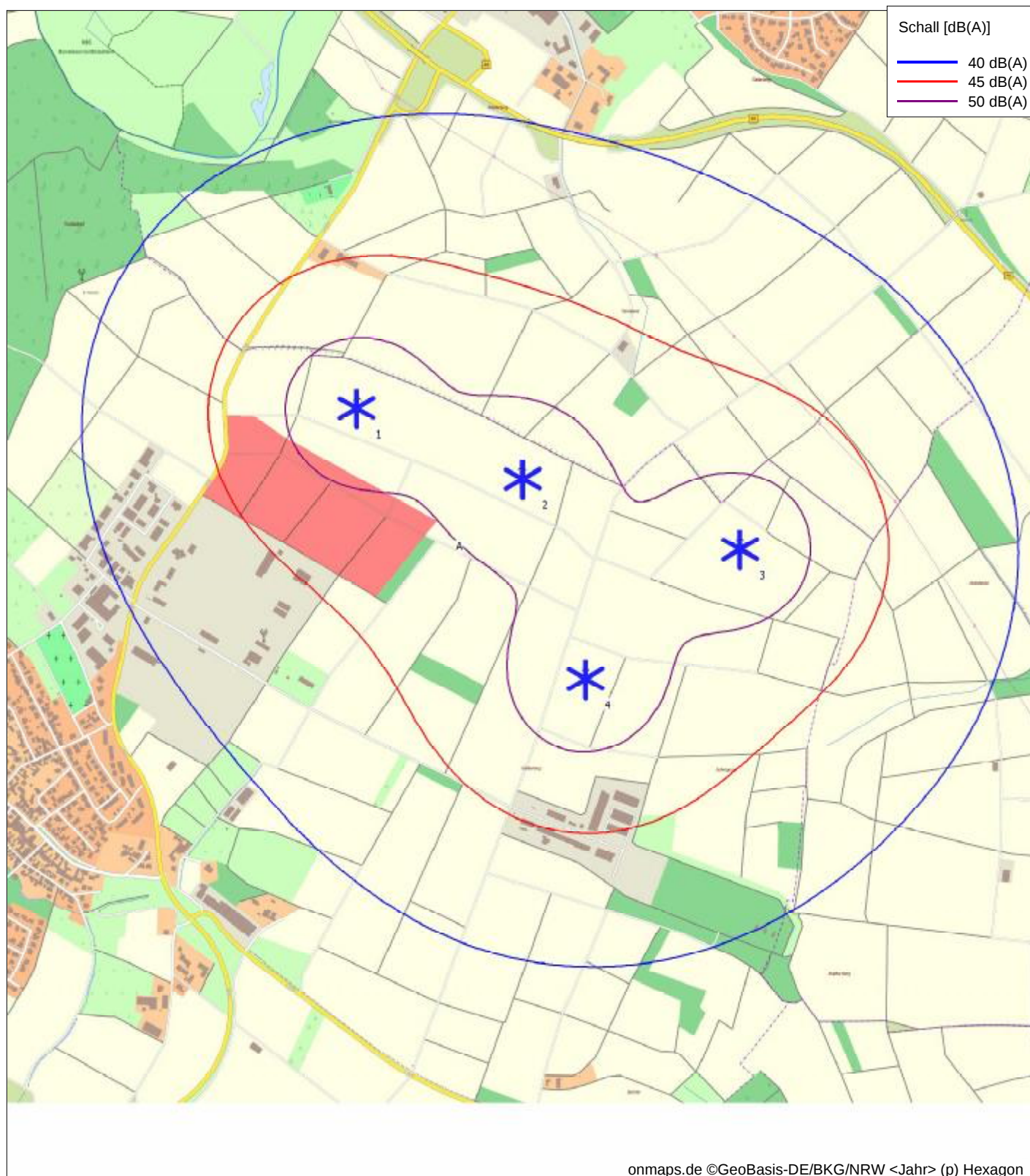
DE-34131 Kassel

-

Jeany Behrens / jeany.behrens@ramboll.com

Berechnet:

07.04.2021 11:30/3.4.415

RAMBOLL**DECIBEL - Karte Lautester Wert bis 95% Nennleistung****Berechnung:** Vorbelastung Erweiterung Gewerbegebiet

0 100 200 300 400 m

Karte: onmpas, Maßstab 1:10.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 491.115 Nord: 5.561.546

* Existierende WEA ■ Schall-Immissionsort

Schallberechnungs-Modell: ISO 9613-2 Deutschland (Interimsverfahren). Windgeschwindigkeit: Lautester Wert bis 95% Nennleistung
Höhe über Meeresspiegel von aktivem Höhenlinien-Objekt

Projekt:

19-1-3034-001
Gemeinde Schöneck

Herrnhofstraße 8
61137 Schöneck

Lizenziierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel



Jeany Behrens / jeany.behrens@ramboll.com
 Berechnet:

29.03.2021 12:08/3.4.415

DECIBEL - Hauptergebnis

Berechnung: Vorbelastung Erweiterung Gewerbegebiet

ISO 9613-2 Deutschland (Interimsverfahren)

Die Berechnung basiert auf der internationalen Norm ISO 9613-2
 "Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors"

Lautester Wert bis 95% Nennleistung

Faktor für Meteorologischen Dämpfungskoeffizient, C0: 0,0 dB

Die gültigen Nacht-Immissionsrichtwerte sind entsprechend TA-Lärm
 festgesetzt auf:

Industriegebiet: 70 dB(A)

Dorf- und Mischgebiet, Außenbereich: 45 dB(A)

Reines Wohngebiet / Kurgebiet u.ä.: 35 dB(A)

Gewerbegebiet: 50 dB(A)

Allgemeines Wohngebiet: 40 dB(A)

Kur- und Feriengebiet: 35 dB(A)

Alle Koordinatenangaben in:

UTM (north)-ETRS89 Zone: 32



Maßstab 1:20.000
 * Existierende WEA ■ Schall-Immissionsort

WEA

	Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ	Hersteller	Typ	Nennleistung	Rotor-durchmesser	Nabenhöhe	Schallwerte	Quelle	Name	Windgeschwindigkeit	LWA
			[m]		Aktuell			[kW]	[m]	[m]				[m/s]	[dB(A)]
1	490.618	5.561.897	177,5	E-82 (1)	Ja	ENERCON	E-82-2.000	2.000	82,0	138,4	USER	FS 3fach NH 138	103,8+1,5=105,3 dB	(95%)	105,3
2	491.048	5.561.714	179,2	E-82 (2)	Ja	ENERCON	E-82-2.000	2.000	82,0	138,4	USER	FS 3fach NH 138	103,8+1,5=105,3 dB	(95%)	105,3
3	491.612	5.561.531	177,8	E-82 (3)	Ja	ENERCON	E-82-2.000	2.000	82,0	138,4	USER	FS 3fach NH 138	103,8+1,5=105,3 dB	(95%)	105,3
4	491.211	5.561.196	185,0	E-82 (4)	Ja	ENERCON	E-82-2.000	2.000	82,0	138,4	USER	FS 3fach NH 138	103,8+1,5=105,3 dB	(95%)	105,3

Berechnungsergebnisse

Beurteilungspegel

Schall-Immissionsort

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Aufpunkthöhe	Anforderung	Beurteilungspegel
				[m]	[m]	Schall [dB(A)]	Von WEA [dB(A)]
A	Erweiterungsfläche Gewerbegebiet	490.547	5.561.758	175,3	5,0	50,0	51,1

Abstände (m)

WEA	A
1	156
2	247
3	790
4	558

Projekt:

19-1-3034-001
Gemeinde Schöneck

Herrnhofstraße 8
61137 Schöneck

Lizenzierter Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel



-
 Jeany Behrens / jeany.behrens@ramboll.com
 Berechnet:
 29.03.2021 12:08/3.4.415

DECIBEL - Detaillierte Ergebnisse

Berechnung: Vorbelastung Erweiterung Gewerbegebiet **Schallberechnungs-Modell:** ISO 9613-2 Deutschland (Interimsverfahren) 10,0 m/s
Annahmen

Berechneter L(DW) = LWA,ref + K + Dc - (Adiv + Aatm + Agr + Abar + Amisc) - Cmet
 (Wenn mit Bodeneffekt gerechnet ist Dc = Domega)

LWA,ref:	Schalleistungspegel der WEA
K:	Einzeltöne
Dc:	Richtwirkungskorrektur
Adiv:	Dämpfung aufgrund geometrischer Ausbreitung
Aatm:	Dämpfung aufgrund von Luftabsorption
Agr:	Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts
Abar:	Dämpfung aufgrund von Abschirmung
Amisc:	Dämpfung aufgrund verschiedener anderer Effekte
Cmet:	Meteorologische Korrektur

Berechnungsergebnisse

Schall-Immissionsort: A Erweiterungsfläche Gewerbegebiet

Lautester Wert bis 95% Nennleistung

WEA

Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]
1	156	205	50,39	105,3	0,00	57,24	0,68	-3,00	0,00	0,00	54,91
2	503	521	41,40	105,3	0,00	65,34	1,57	-3,00	0,00	0,00	63,91
3	1.089	1.098	33,54	105,3	0,00	71,81	2,96	-3,00	0,00	0,00	71,77
4	870	882	35,93	105,3	0,00	69,91	2,47	-3,00	0,00	0,00	69,37
Summe			51,12								

Projekt:

19-1-3034-001
Gemeinde Schöneck

Herrnhofstraße 8
61137 Schöneck

Lizenzierte Anwender:

Ramboll Deutschland GmbH
 Elisabeth-Consbruch-Straße 3
 DE-34131 Kassel



Jeany Behrens / jeany.behrens@ramboll.com
 Berechnet:
 29.03.2021 12:08/3.4.415

DECIBEL - Annahmen für Schallberechnung

Berechnung: Vorbelastung Erweiterung Gewerbegebiet

Schallberechnungs-Modell:

ISO 9613-2 Deutschland (Interimsverfahren)

Windgeschwindigkeit (in 10 m Höhe):

Lautester Wert bis 95% Nennleistung

Bodeneffekt:

Feste Werte, Agr: -3,0, Dc: 0,0

Meteorologischer Koeffizient, C0:

0,0 dB

Art der Anforderung in der Berechnung:

1: WEA-Geräusch vs. Schallrichtwert (z.B. DK, DE, SE, NL)

Schallleistungspegel in der Berechnung:

Schallwerte sind Lwa-Werte (Mittlere Schallleistungspegel; Standard)

Einzeltöne:

Fester Zuschlag wird zu Schallemission von WEA mit Einzeltönen zugefügt

WEA-Katalog

Aufpunkthöhe ü.Gr.:

5,0 m; Aufpunkthöhe in Immissionsort-Objekt hat Vorrang vor Angabe im Modell

Unsicherheitszuschlag:

0,0 dB; Unsicherheitszuschlag des IP hat Priorität

verlangte Unter- (negativ) oder zulässige Überschreitung (positiv) des Schallrichtwerts:

0,0 dB(A)

Oktavbanddaten verwendet

Frequenzabhängige Luftdämpfung

63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
[dB/km]	[dB/km]	[dB/km]	[dB/km]	[dB/km]	[dB/km]	[dB/km]	[dB/km]
0,10	0,40	1,00	1,90	3,70	9,70	32,80	117,00

Alle Koordinatenangaben in:

UTM (north)-ETRS89 Zone: 32

WEA: ENERCON E-82 2000 82.0 !O!

Schall: FS 3fach NH 138 103,8+1,5=105,3 dB

Datenquelle

Quelle/Datum Quelle Bearbeitet

Kötter Bericht Nr. 207542-02.02 03.05.2019 USER 03.05.2019 15:41

Status	Windgeschwindigkeit [m/s]	LWA [dB(A)]	Einzeltone	Oktavbänder							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Von WEA-Katalog	95% der Nennleistung	105,3	Nein	85,5	92,5	96,1	100,4	101,0	95,8	84,9	78,9

Schall-Immissionsort: A Erweiterungsfläche Gewerbegebiet

Vordefinierter Berechnungsstandard: Gewerbegebiet

Höhe Aufpunkt (ü.Gr.): Standardwert des Berechnungsmodells

Unsicherheitszuschlag: Standardwert des Berechnungsmodells

Schallrichtwert: 50,0 dB(A)

Keine Abstandsanforderung

7.) Ergebniszusammenfassung für die Nabenhöhe 138 m

Bestimmung der Schalleistungspegel aus mehreren Einzelmessungen			
			Seite 1 von 2
Auf der Basis von mindestens drei Messungen nach der „Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen“ [1] besteht die Möglichkeit die Schallemissionswerte eines Anlagentyps gemäß [2] anzugeben, um die schalltechnische Planungssicherheit zu erhöhen.			
Anlagendaten			
Hersteller	Enercon GmbH	Anlagenbezeichnung	E-82
		Nennleistung in kW	2.000 (Betrieb I)
		Nabenhöhe in m	138
		Rotordurchmesser in m	82
Angaben zur Einzelmessung	Messung-Nr.		
	1	2	3
Seriennummer	82001	82004	82258
Standort	Ihlow / Simonswolde	Bimolten	Sulingen
vermessene Nabenhöhe (m)	98	108	108
Messinstitut	Müller-BBM GmbH	KÖTTER Consulting Engineers KG	KÖTTER Consulting Engineers KG
Prüfbericht	M65 333/1	207041-01.01	207542-01.01
Datum	21.04.2006	19.04.2007	28.04.2008
Getriebetyp	--	--	--
Generatortyp	E-82	E-82	E-82
Rotorblatttyp	82 - 1	82 - 1	82 - 1

Schallemissionsparameter: Messwerte (Prüfbericht Leistungskurve: Berechnete Kennlinie Rev. 1.0, Januar 2005, Nennleistung 2.000 kW; Enercon E-82)							
Schalleistungspegel $L_{WA,P}$:							
Messung	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe						
	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	7,4 m/s ²⁾	
1 ¹⁾	101,6 dB(A)	103,3 dB(A)	103,4 dB(A)	-- dB(A)	-- dB(A)	103,4 dB(A)	
2 ¹⁾	101,4 dB(A)	103,7 dB(A)	103,7 dB(A)	-- dB(A)	-- dB(A)	103,8 dB(A)	
3 ¹⁾	101,6 dB(A)	103,8 dB(A)	104,0 dB(A)	103,7 dB(A)	-- dB(A)	104,1 dB(A)	
Mittelwert $\bar{L}_W$	101,6 dB(A)	103,6 dB(A)	103,7 dB(A)	-- dB(A)	-- dB(A)	103,8 dB(A)	
Standardabweichung S	0,1 dB	0,3 dB	0,3 dB	-- dB	-- dB	0,4 dB	
K nach [2] $\sigma_R = 0,5$ dB	1,0 dB	1,1 dB	1,1 dB	-- dB	-- dB	1,2 dB	

[1] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte, Revision 18, Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie e. V., Stresemannplatz 4, 24103 Kiel

[2] IEC 61400-14 TS ed. 1, Declaration of Sound Power Level and Tonality Values of Wind Turbines, 2005-03

Bestimmung der Schalleistungspegel aus mehreren Einzelmessungen

Seite 2 von 2

Schallemissionsparameter: Zuschläge

Tonzuschlag bei vermessener Nabenhöhe K_{TN} :

Messung	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe					
	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	7,4 m/s ²⁾
1	0 dB -- Hz	0 dB -- Hz	0 dB -- Hz	-- dB -- Hz	-- dB -- Hz	0 dB -- Hz
2	0 dB -- Hz	0 dB -- Hz	0 dB -- Hz	-- dB -- Hz	-- dB -- Hz	0 dB -- Hz
3	0 dB -- Hz	0 dB -- Hz	0 dB -- Hz	0 dB -- Hz	-- dB -- Hz	0 dB -- Hz

Impulzzuschlag K_{IN} :

Messung	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe					
	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	7,4 m/s ²⁾
1	0 dB	0 dB	0 dB	-- dB	-- dB	0 dB
2	0 dB	0 dB	0 dB	-- dB	-- dB	0 dB
3	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	-- dB	0 dB

Terz-Schalleistungspegel (Mittel aus drei Messungen) Referenzpunkt $v_{10LWA,Pmax}$ in dB(A) ³⁾												
Frequenz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
$L_{WA,P}$	75,8	78,7	81,5	83,0	87,7	86,8	87,1	89,9	91,5	93,1	94,5	94,7
Frequenz	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000	6.300	8.000	10.000
$L_{WA,P}$	94,9	95,2	93,7	91,6	89,4	85,6	81,6	77,5	73,7 ⁴⁾	73,2 ⁴⁾	71,4 ⁴⁾	73,0 ⁴⁾

Oktav-Schalleistungspegel (Mittel aus drei Messungen) Referenzpunkt $v_{10LWA,Pmax}$ in dB(A) ³⁾								
Frequenz	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
$L_{WA,P}$	84,0	91,0	94,6	98,9	99,5	94,3	83,4 ⁴⁾	77,4 ⁴⁾

Die Angaben ersetzen nicht die o. g. Prüfberichte (insbesondere bei Schallimmissionsprognosen).

Bemerkungen:

- ¹⁾ Schalleistungspegel bei umgerechneter Nabenhöhe
- ²⁾ Entspricht 95 % der Nennleistung
- ³⁾ Entspricht $v_{s,95\%} = 7,4$ m/s und der maximalen Schalleistung
- ⁴⁾ Aufgrund von elektrischen Einflüssen durch die WEA bei der dritten Messung basieren die Terz- und Oktavpegel ab 5 kHz lediglich auf den ersten beiden Messungen.

Ausgestellt durch:

KÖTTER Consulting Engineers KG

Bonifatiusstraße 400

48432 Rheine

Datum: 18.09.2008

i. V. Dipl.-Ing. Oliver Bunk

i. A. Dipl.-Ing. Jürgen Weinheimer



Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH

Beliehene gemäß § 8 Absatz 1 AkkStelleG i.V.m. § 1 Absatz 1 AkkStelleGBV
Unterzeichnerin der Multilateralen Abkommen
von EA, ILAC und IAF zur gegenseitigen Anerkennung

Akkreditierung



Die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH bestätigt hiermit, dass das Prüflaboratorien

Ramboll Deutschland GmbH
Onshore Wind

mit den Standorten

Elisabeth-Consbruch-Straße 3, 34131 Kassel
Andreaestraße 3, 30159 Hannover

die Kompetenz nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 besitzt, Prüfungen in folgenden Bereichen durchzuführen:

Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen von Windenergieanlagen (WEA) einschließlich Prüfung windklimatologischer Eingangsdaten; Bestimmung des 60 % Referenzertrag-Nachweises; Bestimmung der Standortgüte; Durchführung und Auswertung von Windmessungen zur Bestimmung des Windpotenzials; Erstellung von Schallimmissionsprognosen für Windenergieanlagen; Erstellung von Schattenwurfprognosen für Windenergieanlagen; Erstellung von Gutachten zur natürlichen Umgebungsturbulenz von Windenergieanlagenstandorten auf der Grundlage der Berechnung von Turbulenzintensitäten

Die Akkreditierungsurkunde gilt nur in Verbindung mit dem Bescheid vom 01.12.2020 mit der Akkreditierungsnummer D-PL-21488-01. Sie besteht aus diesem Deckblatt, der Rückseite des Deckblatts und der folgenden Anlage mit insgesamt 3 Seiten.

Registrierungsnummer der Urkunde: D-PL-21488-01-00

Berlin, 01.12.2020

Im Auftrag Dr. Heike Monke
Abteilungsleiterin

Die Urkunde samt Urkundenanlage gibt den Stand zum Zeitpunkt des Ausstellungsdatums wieder. Der jeweils aktuelle Stand des Geltungsbereiches der Akkreditierung ist der Datenbank akkreditierter Stellen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) zu entnehmen. <https://www.dakks.de/content/datenbank-akkreditierter-stellen>

Bitte hinweisen auf der Rückseite

Theoretische Grundlagen

1 Allgemeines zur Schallproblematik

1.1 Hörbarer Schall

Der Schall besteht aus Luftdruckschwankungen, die vom menschlichen Ohr wahrgenommen werden. Abbildung 1 zeigt den Hörbereich des menschlichen Ohrs in einem logarithmischen Maßstab.

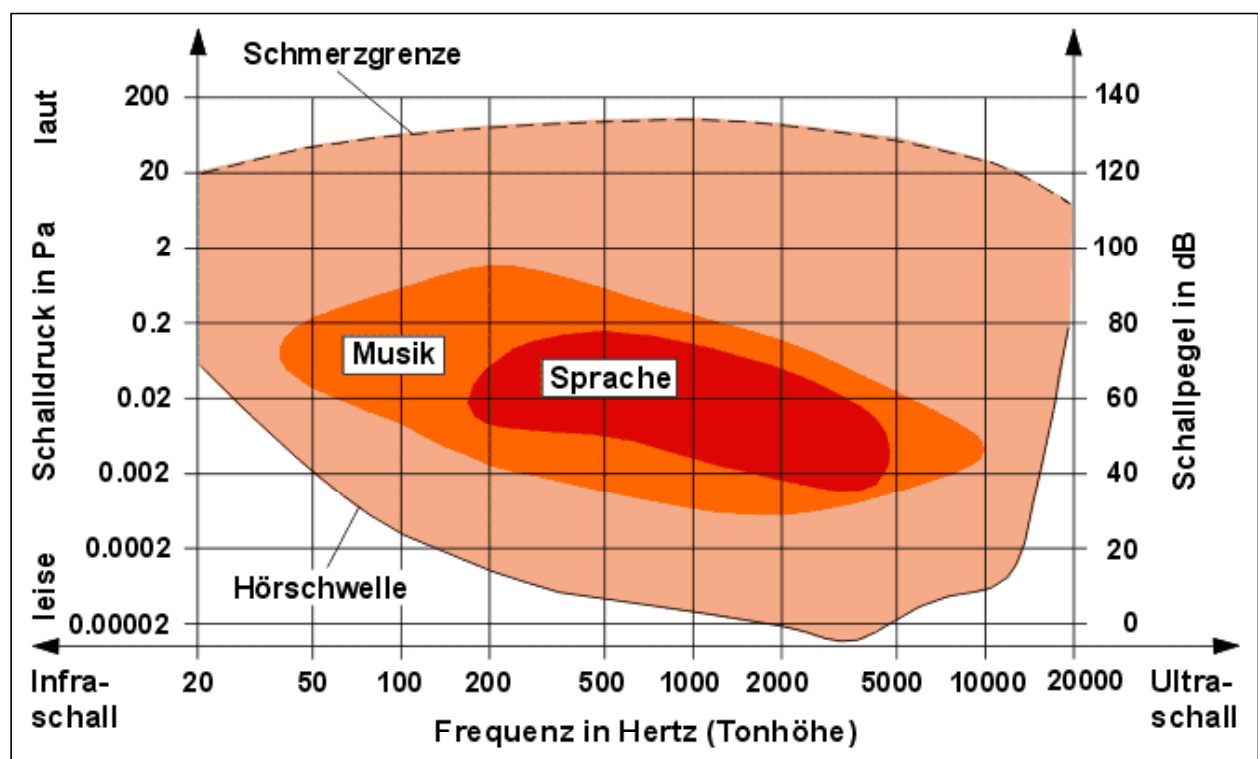


Abbildung 1: Hörbereich des Menschen (1)

Der hörbare Bereich liegt zwischen ca. 20 Hz (Hertz) und 20.000 Hz. Das Ohr nimmt Druckschwankungen ab 0,00002 Pascal (Pa) (= 0 dB) wahr, ab 20 Pa (120 dB) wird der Schall als schmerzhaft wahrgenommen. Der Schall unter 20 Hz wird als Infraschall, der Schall über 20.000 Hz als Ultraschall bezeichnet.

1.2 Schallausbreitung und Vorschriften

Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang von Schallentwicklung, -ausbreitung und -immission sowie die entsprechenden Vorschriften und Richtlinien.

- **Emissionen** sind im Allgemeinen die von einer Anlage (Quelle) ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Erscheinungen.
- **Transmission** ist die Ausbreitung der von einer Quelle emittierten Umweltbelastungen, z.B. die Schallausbreitung. Die Umgebung wirkt dabei dämpfend auf die von der Quelle ausgestrahlten Belastungen.
- **Immissionen** sind die auf Natur, Tiere, Pflanzen und den Menschen einwirkenden Belastungen (Luftverunreinigung, Lärm etc.) sowie lebenswichtige Strahlung (Sonne, Licht, Wärme), die sich aus sämtlichen Quellen überlagert.

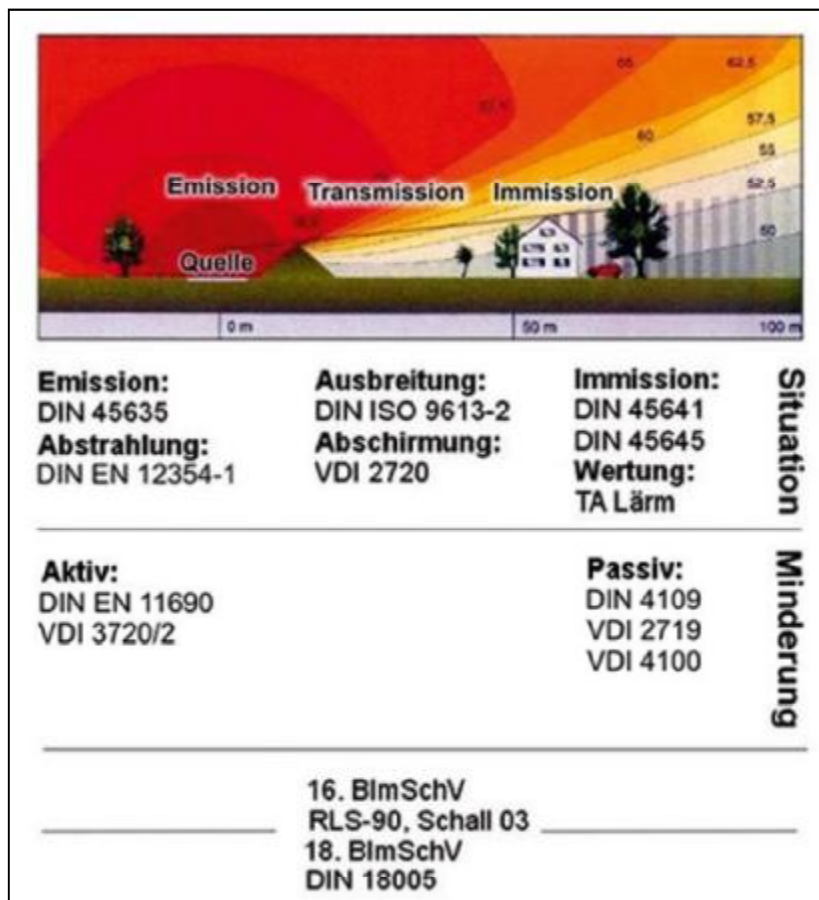


Abbildung 2: Normen und Grundlagen zum Schall (2)

Die gesetzliche Grundlage für die Problematik 'Emission – Transmission – Immission' bildet das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) (3). Bauliche Anlagen müssen von den

Gewerbeaufsichts- bzw. Umweltämtern auf Basis der 'Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm' (TA-Lärm (4)) auf ihre Verträglichkeit gegenüber der Umwelt und dem Menschen geprüft werden. Als Richtlinien für die Beurteilung (damit auch die Bemessung) der Lärmproblematik gelten die in Abbildung 2 erwähnten Normen nach DIN und VDI. Die Fachbehörden des Bereiches Immissionsschutz beurteilen die Lärmimmissionen baulicher Anlagen.

In der Baunutzungsverordnung (BauNVO (5)) sind die Baugebietsarten festgelegt, denen nach der TA Lärm (4) eine immissionsschutzrechtliche Schutzwürdigkeit zugeordnet ist. So gelten nachts folgende Immissionsrichtwerte außerhalb von Gebäuden:

35 dB (A)	für reine Wohn-, Erholungs- bzw. Kurgebiete
40 dB (A)	für allgemeine Wohn- und Kleinsiedlungsgebiete (vorwiegend Wohnungen)
45 dB (A)	für Kern-, Misch- und Dorfgebiete ohne Überwiegen einer Nutzungsart
50 dB (A)	für Gewerbegebiete (vorwiegend gewerbliche Anlagen).

1.3 Schalleistungs-, Schalldruck-, Mittelungs- und Beurteilungspegel

Die kennzeichnende Größe für die Geräuschemission einer Windenergieanlage wird durch den Schalleistungspegel L_W beschrieben. Der Schalleistungspegel L_{WA} ist der maximale Wert in Dezibel [dB] (A-bewertet), der von einer Geräusch- oder Schallquelle (Emissionsort, WEA) abgestrahlt wird. Eine Windenergieanlage verursacht im Bereich des hörbaren Frequenzbandes unterschiedlich laute Geräusche. Da das menschliche Gehör Schall mit unterschiedlicher Frequenz, bei gleichem Leistungspegel unterschiedlich stark wahrnimmt (siehe Abb. 2), wird in der Praxis der Schalleistungspegel über einen Filter gemessen, der der Hörcharakteristik des Menschen angepasst ist. So können verschiedenartige Geräusche miteinander verglichen und bewertet werden. Dieser über einen Filter (mit der Charakteristik „A“ nach (6)) gemessene Schalleistungspegel wird „A-bewerteter Schallpegel“ genannt und ist der Wert der Schallquelle, der für die Berechnung der Schallausbreitung nach der DIN ISO 9613-2 (7) verwendet wird.

Die genaue Verfahrensweise zur Durchführung einer Schallemissionsmessung zur Ermittlung des Schalleistungspegels von WEA kann der entsprechenden Norm bzw. technischen Richtlinie (8), (9) entnommen werden.

Der Schall breitet sich kugelförmig um die Geräuschquelle aus und nimmt hörbar mit seinem Abstand zu ihr logarithmisch ab. Dabei wirken Bebauung, Bewuchs und sonstige Hindernisse dämpfend. Die Luft absorbiert den Schall. Reflexionen (z. B. am Boden) und weitere Geräuschquellen wirken lärmverstärkend. Die Schallausbreitung erfolgt hauptsächlich in Windrichtung.

Der Schalldruckpegel L_S ist der momentane Wert in dB, der an einem beliebigen Immissionsort (z.B. Wohngebäude) in der Umgebung einer oder mehrerer Geräusch- oder Schallquellen gemessen (z.B. mit Mikrofon, Schallmessung) werden kann.

Der Mittelungspegel L_{Aeq} ist der zeitlich energetisch gemittelte Wert des Schalldruckpegels. Für die Schallprognose bei Windenergieanlagen wird vom ungünstigsten Fall ausgegangen, der sich aus der lautesten Nachtstunde bei Mitwindbedingungen, 10 °C Temperatur und 70 % Luftfeuchte ergibt. Der für die Prognose verwendete Mittelungspegel entspricht dem nach FGW-Richtlinie (9) aus 1-minütigen Messwerten ermittelten, maximalen Schallleistungspegel bei 95% der Nennleistung oder bei einer standardisierten Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 m Höhe.

Der Beurteilungspegel L_{rA} resultiert aus dem Mittelungspegel und den Zuschlägen aus der Ton- und Impulshaltigkeit aller Geräuschquellen unter Berücksichtigung der meteorologischen Dämpfung. Die an den Immissionsorten einzuhaltenden Immissionsrichtwerte beziehen sich auf den Beurteilungspegel.

1.4 Vorbelastung, Zusatz- und Gesamtbelastung

Existieren an einem Standort bereits Geräuschquellen (z.B. Windenergieanlagen, Biogasanlagen, gewerbliche Anlagen), so sind diese als Vorbelastung zu berücksichtigen und die neu geplante(n) Anlage(n) als Zusatzbelastung zu bewerten. Die Gesamtbelastung ergibt sich dann aus der energetischen Addition der Geräusche aller zu berücksichtigenden Anlagen.

1.5 Schallimmissionen von Windenergieanlagen

Die Schallquellen bei Windenergieanlagen sind im Wesentlichen die aerodynamischen Geräusche an den Blattspitzen, das Getriebe (sofern vorhanden) und der Generator. Je nach Betriebszustand und Leistung treten diese unterschiedlich auf, sind jedoch überwiegend durch das Blatt geprägt. Die Schallabstrahlung einer WEA ist nie konstant, sondern stark von der Leistung und somit von der Windgeschwindigkeit abhängig. Der immissionsrelevante Schallleistungspegel wurde früher bei $v_{10} = 8$ m/s angegeben. Ab dieser Windgeschwindigkeit übertönen im Allgemeinen die durch Wind bedingten Umgebungsgeräusche (Rauschen von Blättern, Abrissgeräusche an Häuserkanten, Ästen usw.) die Anlagengeräusche, da sie mit der Windgeschwindigkeit stärker als die Anlagengeräusche zunehmen (ca. 2,5 dB(A) pro m/s Windgeschwindigkeitszunahme). Die Umgebungsgeräusche sind dann in der Regel lauter als die WEA, d.h. die Geräuschimmission der WEA wird überdeckt.

In Einzelfällen wurden jedoch geringere Geräuschabstände zwischen den Fremdgeräuschen und

den Anlagengeräuschen gemessen. Dies tritt besonders an windgeschützten Orten auf, oder dann, wenn die WEA bei höheren Windgeschwindigkeiten eine Ton- oder Impulshaltigkeit besitzt. Daher hat sich die Vorgehensweise durchgesetzt (federführend der Arbeitskreis "Geräusche von Windenergieanlagen"), dass bei einem Immissionsrichtwert von 45 dB(A) die Prognose mit dem Schallleistungspegel bei $v_{10} = 10$ m/s oder, da viele Anlagen schon bei einer geringeren Windgeschwindigkeit ihre Nennleistung erreichen, mit dem Wert bei Erreichen von 95 % der Nennleistung, erstellt werden soll.

In kritischen Fällen können die meisten WEA nachts in einem schallreduzierten Betriebszustand gefahren werden, in dem die Drehzahl des Rotors und einhergehend damit die Rotorblattgeräusche reduziert werden. Dadurch verschlechtert sich der Wirkungsgrad des Rotors und viele WEA können durch das begrenzte Drehmoment (bzw. Strom des Wechselrichters) nicht mehr mit Nennleistung betrieben werden. Daher ist der schallreduzierte Betrieb meist mit einer reduzierten maximalen Leistung verbunden.

2 Immissionsprognose

2.1 Normative Grundlagen

Die Prognosen sind nach der Technischen Anleitung Lärm (TA-Lärm (4)) als detaillierte Prognose anhand der DIN ISO 9613-2 (7) zu erstellen, wobei evtl. bestehende Vorbelastungen durch gewerbliche Geräusche an den Immissionsorten berücksichtigt werden müssen. Die DIN ISO 9613-2 gilt für die Berechnung 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 und auf Basis theoretischer Berechnungen ein Interimsverfahren (10) veröffentlicht. Für WKA als hochliegende Schallquellen (> 30 m) sind diese neueren Erkenntnisse mittlerweile in allen Bundesländern im Genehmigungsverfahren zu berücksichtigen. Die Immissionsprognose ist daher nach dem Interimsverfahren – 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.

2.2 Berechnungsgrundlagen

2.2.1 Eingangsdaten

In der Regel wurden bei der schalltechnischen Vermessung von Windenergieanlagen der A-bewertete mittlere Schalleistungspegel sowie nach FGW-Richtlinie (9) oktavbandbezogene Werte ermittelt. Bei noch nicht vermessenen WEA kommen nach LAI-Hinweisen (11) auch Herstelleroktavdaten zur Verwendung, die im Allgemeinen nur geringfügig von Vermessungen abweichen und konservativ in der Prognose mit höheren Unsicherheitszuschlägen berechnet werden (siehe Kapitel Unsicherheiten). Die WEA werden im Modell als Punktschallquellen nachgebildet.

2.2.2 Ausbreitungsrechnung

Die Emissionsdaten der WEA werden bei der Transmission zum Immissionsort verschiedenen Dämpfungen unterworfen, die in der DIN ISO 9613-2 (7) beschrieben und hier dargestellt werden. Die Dämpfungswerte werden frequenzselektiv für die Oktavbandfrequenzen von 62,5 Hz bis 8.000 Hz verwendet, um die resultierende Dämpfung für die Schallausbreitung zu berechnen. Der Dauerschalldruckpegel jeder einzelnen Quelle am Immissionsort berechnet sich nach (7) und (10) dann wie folgt:

$$L_{fr}(DW) = L_W + D_C - A \quad (1)$$

- **L_W : Oktavband-Schalleistungspegel** der Punktschallquelle, in Dezibel, bezogen auf eine Bezugsschalleistung von einem Picowatt (1 pW), A-bewertet.
- **D_C : Richtwirkungskorrektur**, in Dezibel, die beschreibt, um wieviel der von der Punktquelle erzeugte äquivalente Dauerschalldruckpegel in der festgelegten Richtung von dem Pegel einer gerichteten Punktschallquelle mit einem Schalleistungspegel L_W abweicht. D_C ist gleich dem Richtwirkungsmaß D_i der Punktschallquelle zuzüglich eines Richtwirkungsmaßes D_Ω , dass eine Schallausbreitung im Raumwinkel von weniger als 4π Sterad berücksichtigt. Die Richtwirkungskorrektur ist bei Anwendung des bisher verwendeten Alternativen Verfahrens nach [4] anzuwenden, um der Bodenreflexion Rechnung zu tragen. Durch den pauschalen Ansatz der negativen Bodendämpfung nach dem Interimsverfahren entfällt diese und es wird $D_C = 0$ gesetzt.
- **A : Dämpfung** zwischen der Punktquelle (WEA-Gondel) und dem Immissionsort, die bei der Schallausbreitung vorherrscht. Sie bestimmt sich aus den folgenden Dämpfungsarten:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (2)$$

A_{div}: Dämpfung aufgrund der geometrischen Ausbreitung:

$$A_{div} = 20 \lg (d / 1 \text{ m}) + 11 \text{ dB} \quad (3)$$

d: Abstand zwischen Quelle und Immissionsort.

A_{atm}: Dämpfung durch die Luftabsorption

$$A_{atm} = \alpha d / 1000 \quad (4)$$

Nach den Hinweisen der LAI (11) soll das Oktavspektrum als Eingangsdaten für die Berechnungen verwendet werden. Nach DIN ISO 9613-2 (7) kann die Luftdämpfung in jedem Oktavband mit dem jeweiligen Luftdämpfungskoeffizient berechnet werden (statt wie bei 500 Hz-Mittenpegeln mit einem statischen Wert von 1,9 dB(A)/km). Die Dämpfungskoeffizienten für jedes Oktavband werden aus Tab. 2 DIN ISO 9513-2 (7) für meteorologische Bedingungen von 10°C und 70% Luftfeuchte übernommen, was günstige Schallausbreitungsbedingungen bzw. eine geringe Dämpfung bedingt und somit einen konservativen Ansatz darstellt. Die frequenzabhängige Dämpfung spiegelt die realen akustischen Transmissionsbedingungen in Luft besser wider, als der pauschale Ansatz mittels eines Mittenpegels und führt so zu realistischeren Ergebnissen.

Tabelle 1: Parameter Luftabsorption

Temperatur	Rel. Feuchte	Luftdämpfungskoeffizient α , dB/km (gem. DIN ISO 9613-2 (7))							
		Bandmittenfrequenz, Hz							
°C	%	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117

A_{gr}: Bodendämpfung:

Die Bodendämpfung ergibt sich in der Hauptsache aus dem Reflexionsgrad von Schall an einer Bodenoberfläche zwischen Quelle und Empfänger (7). Die DIN ISO 9613-2 erlaubt zwei verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Bodendämpfung, nämlich das Standardverfahren und das Alternative Verfahren. Das Interimsverfahren (11) modifiziert die Berechnung der Bodendämpfung durch eine pauschale Annahme von $A_{gr} = -3 \text{ dB(A)}$. Dies entspricht einer negativen Dämpfung, also einer Zunahme des Pegels auf Empfängerseite und kann als Bodenreflexionseffekt interpretiert werden.

$$A_{gr} = -3 \text{ dB} \quad (5)$$

nach dem Interimsverfahren.

A_{bar}: Dämpfung aufgrund von Abschirmung.

und

A_{misc}: Dämpfung aufgrund verschiedener weiterer Effekte (Bewuchs, Bebauung, Industrie).

In den Berechnungen wird bei Verwendung der Software windPRO konservativ ohne Abschirmung und weiterer Effekte gerechnet: $A_{bar} = 0$, $A_{misc} = 0$. In Einzelfällen (v. a. bei Verwendung von Schallausbreitungsberechnungssoftware wie IMMI) können die Abschirmung oder weitere Effekte berücksichtigt werden. Dies wird dann explizit im Fließtext ausgewiesen. Die Berechnung erfolgt dann nach DIN ISO 9613-2 Kap. 7.4. bzw. Anhang A.

In der Praxis dämpfen u. U. Bebauung und Bewuchs den Schall (A_{bar} , $A_{misc} > 0$), so dass die tatsächlichen Immissionswerte unter jenen der Prognose liegen.

2.2.3 Überlagerung mehrerer Schallquellen

Die Berechnungsterme der Schallimmissionsprognose nach DIN ISO 9613-2 5.4.3.3 (12) gehen bei der Schallausbreitungsberechnung von einer Mitwindsituation für jede Anlagen-Immissionsort-Beziehung aus. Dies tritt in der Realität nicht auf, da die Anlagen im Regelfall räumlich verteilt sind und nicht alle gleichzeitig in Mitwindrichtung zum Immissionsort stehen. In der Berechnung werden somit also Worstcase-Bedingungen für die Windsituation angenommen.

Liegen den Berechnungen mehrere Schallquellen (z. Bsp. bei Windparks) zugrunde, so überlagern sich die einzelnen Schalldruckpegel L_{ATi} entsprechend den Abständen zum betrachteten Immissionsort. In der Bewertung der Lärmimmission nach TA-Lärm ist der aus allen Schallquellen resultierende Schalldruckpegel L_{AT} unter Berücksichtigung der Zuschläge nach der folgenden Gleichung zu ermitteln:

$$L_{AT}(LT) = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{ATi} - C_{met} + K_{Ti} + K_{li})} \quad (6)$$

L_{AT} : Beurteilungspegel am Immissionsort

$L_{A Ti}$: Schallimmissionspegel am Immissionsort einer Emissionsquelle i

i : Index für alle Geräuschquellen von 1-n

K_{Ti} : Zuschlag für Tonhaltigkeit einer Emissionsquelle $i \rightarrow$ i.d.R = 0, s.u.

K_{Ii} : Zuschlag für Impulshaltigkeit einer Emissionsquelle $i \rightarrow$ i.d.R = 0, s.u.

C_{met} : Meteorologische Korrektur.

Die meteorologische Korrektur wird nach (7) in Abhängigkeit von dem Verhältnis von Entfernung zwischen Quelle und Empfänger und deren Höhen berechnet und beträgt für Windenergieanlagen im Regelfall null. Dieser Wert wird durch das Interimsverfahren standardmäßig null ($c_{met} = 0$) gesetzt.

2.2.4 Zuschläge für Einzeltöne (Tonhaltigkeit) K_T

Als Quellen für tonhaltige Geräusche an einer WEA sind in erster Linie drehende mechanische Teile wie beispielsweise Getriebe, Generatoren, Azimutmotoren sowie Hydraulikanlagen zu nennen. Tonhaltigkeiten im Anlagengeräusch sollen konstruktiv vermieden bzw. auf ein Minimum reduziert werden. Basierend auf der bei einer Emissionsmessung gemessenen Tonhaltigkeit im Nahbereich K_{TN} gilt für Entfernungen über 300 m folgender Tonzuschlag K_T :

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

Die Zuschläge für Impuls- und Tonhaltigkeit der Anlagen werden in der Regel bei Schallemissionsmessungen durch autorisierte Institute bewertet und werden in den Berichten zur schalltechnischen Vermessung dokumentiert. Sie werden ebenfalls in den technischen Unterlagen der WEA-Hersteller angegeben.

Sofern für eine WEA ein $K_{TN} = 2$ dB im Nahbereich ausgewiesen wird, ist über Messungen am maßgeblichen Immissionsort zu bestimmen, inwiefern Tonhaltigkeiten dort auftreten und ggf. technische Minderungsmaßnahmen an der WEA vorzunehmen. WEA, die im Nahbereich höhere tonhaltige Geräuschemissionen hervorrufen, entsprechen nicht dem Stand der Technik (11).

2.2.5 Zuschläge für Impulse (Impulshaltigkeit) K_I

Impulshaltige Geräusche also Geräusche mit periodischen oder kurzfristige starken Geräuschpegeländerungen werden als besonders störend empfunden. Die Beurteilung, ob eine Impulshaltigkeit gegeben ist, kann nach DIN 45645 durchgeführt werden. Enthält das Anlagengeräusch (A-bewerteter Schallpegel) öfter, d.h. mehrmals pro Minute, deutlich hervortretende Impulsgeräusche oder ähnlich auffällige Pegeländerungen (laut Messung), dann

ist nach TA Lärm die durch solche Geräusche hervorgerufene erhöhte Störwirkung durch einen Zuschlag zum Mittelungspegel zu berücksichtigen. Dieser Zuschlag K_1 beträgt je nach Auffälligkeit des Tons 3 oder 6 dB(A). In der Praxis werden impulshaltige Geräusche konstruktiv vermieden; ihr Auftreten entspricht somit nicht dem Stand der Technik.

Im Nahbereich einer WEA ist das während des Rotorumlauts jeweils nächstliegende Rotorblatt für einen Betrachter am Boden kurzfristig (und periodisch) lauter. Dieser Effekt tritt mit zunehmender Entfernung von der WEA und der Vergleichmäßigung der einzelnen Blattemissionen im Fernbereich ab 300-500 m jedoch nicht mehr auf. Weitere Quellen für impulshaltige Geräusche bei WEA gibt es in der Regel nicht, so dass die Impulshaltigkeit für eine Schallimmissionsprognose i.d.R. nicht relevant ist.

2.3 Tieffrequente Geräusche und Infraschall

Als tieffrequente Geräusche werden Geräusche bezeichnet, deren vorherrschende Energieanteile in einem Frequenzbereich unter 90 Hz liegen (vgl. Ziffer 7.3 TA Lärm). Tieffrequente Geräusche werden bei Windenergieanlagen schalltechnisch vermessen und werden ab 50 Hz in den Oktavband-Schallleistungspegeln berücksichtigt. Die vermessenen Schallleistungspegel im Frequenzbereich unter 100 Hz liegen regelmäßig deutlich unter den im Frequenzbereich von 100 – 4000 Hz gemessenen Schallleistungspegeln. Infraschall bezeichnet Schall in einem Frequenzbereich unter 20 Hz.

Die derzeit bekannten Untersuchungen, Messungen und Studien (13) (14) (15) (16) zu Infraschall und tieffrequenten Geräuschen von Windenergieanlagen zeigen, dass sich bei den aus den Bestimmungen der TA-Lärm resultierenden Abständen von WEA zu Wohngebäuden an den Immissionsorten keine Gefährdung oder Belästigung ergibt, da die auftretenden Pegel im Infraschallbereich weit unter der Wahrnehmungs- und Hörschwelle und im Bereich von tieffrequenten Geräuschen (20-90 Hz) unter oder geringfügig über der Hörschwelle liegen.

Literaturverzeichnis – Teil theoretische Grundlagen

1. **LUBW.** *Amt für Umweltschutz - Abt. Stadtklimatologie.* Stuttgart : s.n., 2019.
2. **WMBW.** *Städtebauliche Lärmfibel Online.* Stuttgart : Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg / Amt für Umweltschutz Stuttgart, 2019.
3. **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), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli. 2013 (BGBl. I S. 1943) geändert worden ist.
4. **TA_Lärm.** Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm). s.l. : (GMBI S. 503), 26. August 1998.
5. **BauNVO.** *Baunutzungsverordnung.* 26. Juni 1962, Letzte Änderung 13. Mai 2017.
6. **Norm.** *DIN EN 61672-1:2014-07.* 2014-07. Bde. Elektroakustik - Schallpegelmesser - Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1:2013); Deutsche Fassung EN 61672-1:2013.
7. —. *DIN ISO 9613-2:1999-10, Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien – Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren.*
8. —. *DIN EN 61400-11:2013-09; VDE 0127-11:2013-09.* 2013. Bde. Windenergieanlagen - Teil 11: Schallmessverfahren (IEC 61400-11:2012); Deutsche Fassung EN 61400-11:2013.
9. **TR1.** *Technische Richtlinien für Windenergieanlagen - FGW-Richtlinien - Teil 1 - TR 1 – Bestimmung der Schallemissionswerte.* Bd. Revision 18.
10. **NALS im DIN und VDI.** Interimsverfahren zur Prognose der Geräuschimmissionen von Windkraftanlagen. *Fassung 2015-05.1.* s.l. : Unterausschuss NA 001-02-03-19 UA "Schallausbreitung im Freien", Mai 2015.
11. **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,.
12. **Norm.** *ISO 1996-2:2017-07, Akustik - Beschreibung, Messung und Beurteilung von Umgebungslärm - Teil 2: Bestimmung vom Schalldruckpegeln.*
13. **HMWVL.** Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung: Faktenpapier Windenergie und Infraschall, Bürgerforum Energieland Hessen, Mai 2015.
14. **LUBW.** Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen - Bericht über Ergebnisse des Messprojekts 2013-2015, Karlsruhe, Februar 2016.
15. **DNR.** Deutscher Naturschutzring, Dachverband des deutschen Natur- und Umweltverbände, Umwelt- und Naturverträgliche Windenergienutzung in Deutschland (Onshore), www.dnr.de/downloads/infraschall_04-2011.pdf.
16. **LfU_Bayern, LGL_Bayern.** Bayerisches Landesamt für Umwelt & Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, UmweltWissen, Windkraftanlagen – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit?, 4. Auflage - November 2014.