



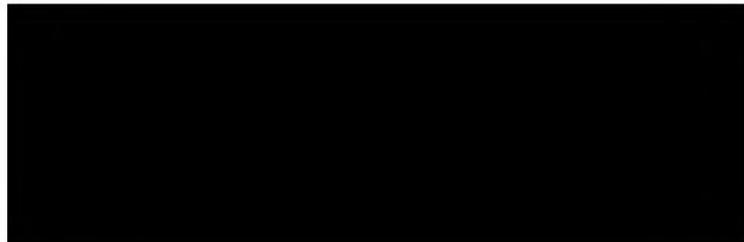
Schallgutachten

119-16-0314-03.01

**Prognose der Schallimmissionen
durch eine Windenergieanlage
am Standort**

Hallschlag

Auftraggeber:



Erstellt am: 18.08.2016

Erstellt von: SOLvent GmbH
Lünener Str. 211
D-59174 Kamen
Tel 0 23 07 / 24 00 63 Fax 24 00 66

Inhalt

INHALT	2
1 AUFGABENSTELLUNG	3
2 ERGEBNISÜBERSICHT	4
3 ERLÄUTERUNG DER VORGEHENSWEISE	7
3.1 BETRACHTUNGEN ZUM SCHALLFELD	7
3.1.1 Schallausschlag und Schallschnelle.....	8
3.1.2 Schalldruck	9
3.1.3 Schallpegel	10
3.1.4 Addition von Schallpegeln	11
3.2 DAS MENSCHLICHE HÖREMPFINDEN.....	12
3.2.1 Mittelungspegel.....	12
3.2.2 Bewertung von Schallereignissen nach ihrer Frequenz	12
3.2.3 Schalldruckpegelberechnung nach DIN ISO 9613-2.....	15
3.3 SCHALLEMISSIONEN VON WINDENERGIEANLAGEN UNTER BAUORDNUNGSRECHTLICHEN GESICHTSPUNKTEN	16
4 SCHALLGUTACHTEN	17
4.1 PROGNOSEVERFAHREN.....	17
4.2 ORTSBESICHTIGUNG	17
4.3 DATEN DER BEURTEILTEN WINDENERGIEANLAGE	18
4.4 DATEN DER MITBERÜCKSICHTIGTEN WINDENERGIEANLAGEN.....	18
4.5 EINWIRKUNGSBEREICH.....	19
4.6 DATEN DER BEURTEILTEN IMMISSIONSORTE	22
4.7 ZUSATZBELASTUNG / PROGNOSE.....	25
4.8 SCHALLREFLEXION AN DEN IMMISSIONSPUNKTEN.....	26
4.9 TIEFFREQUENTE GERÄUSCHE - INKLUSIVE INFRASCHALL	26
4.10 QUALITÄT DER PROGNOSE	27
4.10.1 Prognoseverfahren.....	27
4.10.2 Vermessungsbericht.....	28
4.10.3 Auswirkung der Produktionsstreuung.....	28
4.10.4 Gesamtunsicherheit der Prognoseergebnisse	29
5 ABSCHLUSSERKLÄRUNG	30
6 ANHANG	31

1 Aufgabenstellung

Vom Auftraggeber dieser Ausarbeitung ist beabsichtigt, eine Windenergieanlage des Typs ENERCON E-82 E2 mit TES-Rotorblättern und einer Nabenhöhe von 138,4 m -

für die tags der Normalbetrieb mit 2300 kW Nennleistung und
nachts der Betriebsmodus mit 1400 kW Nennleistung

geplant ist - am Standort

Hallschlag

zu errichten.

Aufgabe dieses Gutachtens ist die Beurteilung der zu erwartenden Schallimmission auf die benachbarte Wohnbebauung. Es handelt sich dabei um Wohngebäude auf dem Gebiet der Verbandsgemeinde Obere Kyll, Landkreis Vulkaneifel, Rheinland-Pfalz, und der Gemeinde Hellenthal, Kreis Euskirchen, Nordrhein-Westfalen.

Anhand der Prognose der Schallimmissionen wird die Einhaltung der in der Nacht geltenden Richtwerte nach der TA-Lärm (Stand: 26.08.1998) überprüft, die deutlich niedriger liegen als die am Tag geltenden Richtwerte.

2 Ergebnisübersicht

Bei der Prognose des Immissionsverhaltens einer Windenergieanlage des Typs ENERCON E-82 E2 mit TES-Rotorblättern und einer Nabenhöhe von 138,4 m - für die tags der Normalbetrieb mit 2300 kW Nennleistung und **nachts der Betriebsmodus mit 1400 kW Nennleistung**

geplant ist - am Standort

Hallschlag

werden die Schallimmissionen auf die nächstgelegene Wohnbebauung untersucht. Zu betrachten sind dabei gemäß TA-Lärm die innerhalb des Einwirkungsbereichs der geplanten Anlagen gelegenen Wohngebäude. Die betrachteten Immissionsorte sind auf den Karten im Anhang gekennzeichnet und werden im Folgenden aufgeführt:

- IP 01 Auf Häselpesch 24, Hallschlag
- IP 02 Buchenweg 9, Hallschlag
- IP 03 Sonnenstraße 13, Hallschlag
- IP 04 Zur Kehr 11, Hallschlag
- IP 05 Zur Kehr 13a, Hallschlag
- IP 06 Zur Kehr 15, Hallschlag
- IP 07 Zur Kehr 17, Hallschlag
- IP 08 Zollhaus Kehr 1, Hallschlag
- IP 09 Siedlung 7, Hallschlag
- IP 10 Siedlung 8, Hallschlag
- IP 11 Siedlung 18, Hallschlag
- IP 12 Kehr 10, Hellenthal
- IP 13 Kehr 12, Hellenthal
- IP 14 Kehr 13, Hellenthal
- IP 15 Kehr 14, Hellenthal
- IP 16 Erlenphenn / Siedlung 2, Ormont
- IP 17 Walenstraße 22, Ormont
- IP 18 WA Ormont Nord
- IP 19 Kyllstraße 15
- IP 20 Walenstraße 8, Ormont
- IP 21 Kyllstraße 9, Ormont
- IP 22 Häselpesch, Flur10, Flurstück 170/19, Hallschlag

Bei den betrachteten Immissionsorten handelt sich um Wohngebäude auf dem Gebiet der Verbandsgemeinde Obere Kyll, Landkreis Vulkaneifel, Rheinland-Pfalz, und der Gemeinde Hellenthal, Kreis Euskirchen, Nordrhein-Westfalen.

Die betrachteten Immissionsorte werden schalltechnisch als Wohngebäude im Außenbereich oder Dorf- und Mischgebiet bzw. im Allgemeinen Wohngebiet beurteilt. Für Wohngebäude im Außenbereich gilt der Richtwert von 45 dB(A) und für Allgemeine Wohngebiete ein Richtwert von 40 dB(A) in der Nacht.

Anhand der Prognose der Schallimmissionen wird die Einhaltung der in der Nacht geltenden Richtwerte nach der TA-Lärm (Stand: 26.08.1998) überprüft, die deutlich niedriger liegen als die am Tag geltenden Richtwerte.

Wird an dem geplanten Standort eine Windenergieanlage des Typs

ENERCON E-82 E2 mit TES-Rotorblättern

mit einer Nabenhöhe von 138,4 m errichtet, und setzt man für diesen Windenergieanlagentyp **im Betriebsmodus mit 1400 kW Nennleistung** den vermessenen Schallleistungspegel von **98,5 dB(A)** an (darin enthalten ein Sicherheitszuschlag von 2,5 dB (siehe Abschnitt 4.10.4)), so ergibt die Einwirkungsbereichs-/Zusatzbelastungsberechnung folgendes **Prognoseergebnis:**

Bez.	Immissionsort	Schall- immissions wert incl. Sicherheits- zuschlag [dB(A)]	Beurteilungs pegel [dB(A)]	Richtwert [dB(A)]
IP 01	Auf Häselpesch 24, Hallschlag	24,2	24	40
IP 02	Buchenweg 9, Hallschlag	23,1	23	45
IP 03	Sonnenstraße 13, Hallschlag	22,5	23	45
IP 04	Zur Kehr 11, Hallschlag	25,8	26	45
IP 05	Zur Kehr 13a, Hallschlag	29,8	30	45
IP 06	Zur Kehr 15, Hallschlag	25,9	26	45
IP 07	Zur Kehr 17, Hallschlag	23,0	23	45
IP 08	Zollhaus Kehr 1, Hallschlag	23,1	23	45
IP 09	Siedlung 7, Hallschlag	21,4	21	45
IP 10	Siedlung 8, Hallschlag	21,5	22	45
IP 11	Siedlung 18, Hallschlag	21,4	21	45
IP 12	Kehr 10, Hellenthal	21,2	21	45
IP 13	Kehr 12, Hellenthal	18,7	19	45
IP 14	Kehr 13, Hellenthal	17,7	18	45
IP 15	Kehr 14, Hellenthal	20,7	21	45
IP 16	Erlenphenn / Siedlung 2, Ormont	25,4	25	45

Bez.	Immissionsort	Schall- immissions wert incl. Sicherheits- zuschlag [dB(A)]	Beurteilungs pegel [dB(A)]	Richtwert [dB(A)]
IP 17	Walenstraße 22, Ormont	23,4	23	40
IP 18	WA Ormont Nord	22,7	23	40
IP 19	Kyllstraße 15	22,3	22	45
IP 20	Walenstraße 8, Ormont	21,8	22	40
IP 21	Kyllstraße 9, Ormont	21,8	22	40
IP 22	Häselpesch, Flur10, Flurstück 170/19, Hallschlag	24,0	24	40

Kein Immissionsort befindet sich im erweiterten Einwirkungsbereich der beurteilten Anlage.

Gemäß TA-Lärm Abschnitt 3.2.1 Absatz 6 (Stand 26.08.1998) wird deshalb auf die Bestimmung der Vorbelastung verzichtet.

3 Erläuterung der Vorgehensweise

Neben den bekannten Schadstoffbelastungen der Luft, des Bodens und des Wassers sind wir zunehmend einer erheblichen Gefährdung durch Lärm ausgesetzt. Etwa 10 % der Bundesbürger sind häufig einem Lärmpegel von über 70 dB ausgesetzt, der nachweisbar das Risiko für Herzinfarkt erhöht. Die Lärmschwerhörigkeit ist zur häufigsten anerkannten Berufskrankheit geworden.

Jeder Schall, den wir als störend und unangenehm empfinden, wird als Lärm bezeichnet. Die Lautstärke ist der bedeutendste, aber nicht der einzige Einflussfaktor auf diese Empfindung. Auch die Einwirkungsdauer, die Frequenzzusammensetzung, die Tageszeit und die subjektive Einstellung der Person können maßgeblichen Einfluss auf die Schallempfindungen haben. Das Knattern eines Motorrades oder eines Presslufthammers stört uns, weil es große Schallpegel und damit hohe Lautstärken bewirkt. Das hohe Quietschen einer ungeölten Tür empfinden wir auch dann als unangenehm, wenn es verhältnismäßig leise ist. Auch das schwache, kaum hörbare Ticken einer Uhr oder das Tropfen eines Wasserhahns kann als lästig empfunden werden, wenn wir in aller Stille ein Buch lesen möchten. Laute Unterhaltungsmusik, die den Nachbarn stört, wird vom „Urheber“ als angenehm empfunden.

Vor diesem Hintergrund ist es von besonderer Wichtigkeit, dass eine an sich so umweltfreundliche Technologie, wie sie die Windkraft darstellt, nicht durch zu hohe Schallemissionen von Windenergieanlagen zu sogenannter „akustischer Umweltverschmutzung“ führt und dadurch insbesondere bei Anwohnern in Misskredit gerät. Hierzu wurden von den Herstellern in den letzten Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen, mit dem Erfolg, dass bei gleichzeitiger Vervielfachung der Anlagenleistungen die Schallemissionen etwa halbiert werden konnten.

Darüber hinaus ist eine Analyse der Schallausbreitung von Windenergieanlagen erforderlich, um die Höhe der Schallimmissionen an bestimmten Geländepunkten in verschiedenen Entfernungen von der Anlage zu ermitteln. Hierzu dient das vorliegende Gutachten.

3.1 Betrachtungen zum Schallfeld

Für das Verständnis der verhältnismäßig komplexen Thematik der individuellen akustischen Wahrnehmung einer Schallquelle ist eine Kenntnis der physikalischen Grundlagen der Akustik unumgänglich. Die Wahrnehmung des menschlichen Ohrs und deren Intensität, insbesondere aber die Frage, ob eine Schallwahrnehmung als störend empfunden wird, ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, die im Folgenden erläutert werden.

3.1.1 Schallausschlag und Schallschnelle

Wird ein Raumgebiet durch eine Schallwelle erfasst, so schwingen die Teilchen des Übertragungsmediums um ihre Ruhelage, sie schlagen aus. Bei der Ausbreitung einer Schallwelle ändert sich zeitlich und räumlich periodisch der Abstand der Teilchen zur Ruhelage (Schallausschlag), ihre Momentangeschwindigkeit sowie Druck und Dichte des Mediums. Die Momentangeschwindigkeit der Teilchen, die Schallschnelle v , gibt an, wie schnell sich die Teilchen um ihre Ruhelage bewegen. Sie ist nicht direkt messbar, da sich die akustischen Schwingungen mit den Wärmebewegungen überlagern.

Der Bereich der Schallschnelle ist außerordentlich groß. Während an der Reizschwelle bei einem Normton von 1.000 Hz Maximalwerte von $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \frac{m}{s}$ erreicht werden können, sind an der Schmerzschwelle Momentangeschwindigkeiten bis zu $0,25 \frac{m}{s}$ nicht selten. Die Größenordnung der Ausschlagamplitude der Teilchen liegt zwischen 20 pm an der Reizschwelle und etwa 1 nm an der Schmerzschwelle. Sofern die Teilchenschwingungen harmonisch sind, gilt für die zeitliche und räumliche Änderung ihrer *Auslenkung* y (*Schallausschlag*):

$$y = y_0 \cdot \sin(\omega(t - \frac{x}{c}))$$

Dabei bedeuten:

y = Schallausschlag

y_0 = Ausschlagamplitude

ω = $2\pi f$

c = Schallgeschwindigkeit

Für die zeitliche Änderung der Schallschnelle v mit $v = dy/dt$ gilt

$$v = y_0 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot (t - \frac{x}{c})) = v_0 \cdot \cos(\omega \cdot (t - \frac{x}{c}))$$

Dabei bedeuten:

y_0 = Ausschlagamplitude

v_0 = Schallschnellamplitude

Die *Schallschnellamplitude* v_0 ist abhängig von der Ausschlagamplitude y_0 und der Schallfrequenz. Es gilt:

$$v_0 = y_0 \cdot \omega$$

Da die Schallschnelle eine Wechselgröße ist, wird sie als Effektiv- oder Scheitelwert angegeben. Bei *harmonischen* Schwingungen gilt für den *Effektivwert* v_{eff} :

$$v_{eff} = \frac{v_0}{\sqrt{2}}$$

3.1.2 Schalldruck

Schallwellen breiten sich durch wechselnde Verdichtungen und Verdünnungen aus. Der Druck im Schallfeld schwankt dabei um den Wert des Ruhedruckes. Der Bereich des Schalldruckes ist ebenfalls außerordentlich groß.

An der Reizschwelle beträgt er lediglich 20 μPa , bei Zimmerlautstärke sind es bereits 20.000 μPa , und an der Schmerzschwelle werden sogar 60.000.000 μPa gemessen. Für den *Schalldruck* p gilt:

$$p = p_0 \cdot \sin(\omega(t - \frac{x}{c}))$$

Dabei bedeutet:

p_0 = Schalldruckamplitude

Schalldruck und Schallschnelle sind bei fortschreitenden Wellen phasengleich und verhalten sich proportional zueinander. Mit abnehmendem Schalldruck verringert sich in gleichem Maße die Schallschnelle. Da der Schalldruck eine Wechselgröße ist, wird er ebenfalls als Effektiv- oder Scheitelwert angegeben. Für den *Scheitelwert* p_0 gilt:

$$p_0 = y_0 \cdot \omega \cdot \rho \cdot c = v_0 \cdot \rho \cdot c$$

Dabei bedeuten:

p_0 = Schalldruckamplitude

y_0 = Ausschlagamplitude

ρ = Dichte des Mediums

c = Schallgeschwindigkeit des Mediums

v_0 = Schallschnellamplitude

Sofern die Druckschwankungen harmonisch sind, gilt für den *Effektivwert* p_{eff} :

$$p_{eff} = \frac{p_0}{\sqrt{2}}$$

3.1.3 Schallpegel

Da der Schalldruck durch einen außerordentlich großen Messbereich gekennzeichnet ist, gibt man ihn als Verhältnisgröße, als *Pegel*, an. Der Schallpegel ist das Verhältnis aus gemessenem Schalldruck p zum Minimaldruck $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ an der Reizschwelle. Der Quotient beider Größen wird auf eine logarithmische Skala abgebildet und zur besseren Handhabbarkeit mit einem Faktor versehen. Die so erhaltenen dimensionslosen Zahlenwerte werden mit dem Einheitsnamen *Bel*¹ belegt. Die Angabe erfolgt in Dezibel (dB). Der Schallpegel L ist demnach ein Maß für die (relativen) Druckschwankungen. Für seine quantitative Beschreibung wird die folgende Definitionsgleichung herangezogen:

$$L = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

Dabei bedeuten:

p = gemessener Schalldruck (Effektivwert)

p_0 = Bezugsdruck an der Reizschwelle ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$)

I = gemessene Schallintensität

I_0 = Bezugsintensität an der Reizschwelle ($I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$)

Die obigen Gleichungen tragen in ihrer logarithmischen Form dem *Weber-Fechnerschen* Gesetz Rechnung. Es beinhaltet die Aussage, dass die *Empfindungsstärke* E proportional zum Logarithmus der *Intensität* I ansteigt. Die Anwendung der Gleichungen ergibt an der Reizschwelle bei einem *Schalldruck* $p = 20 \mu\text{Pa}$ bzw. einer *Schallintensität* $I = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ einen *Schallpegel* von $L = 0 \text{ dB}$. Bei zehnfacher Schallintensität von I_0 beträgt der Schallpegel 10 dB . An der Schmerzschwelle wird bei einem Schalldruck von 60 Pa ein Pegel von 130 dB gemessen. Die Schallintensität beträgt dabei $I_{\text{max}} \approx 10 \text{ W/m}^2$.

Schallpegelwerte werden vielfach den Lautstärkeangaben gleichgesetzt. Das ist nur bedingt möglich, da unser Gehör nicht alle Frequenzen gleich stark empfindet. Die subjektiv empfundene Lautstärke ist abhängig von Amplitude und Frequenz der akustischen Schwingung. Nur für einen Normton $f_N = 1.000 \text{ Hz}$ sind die Lautstärkeangaben (in Phon) mit den Dezibelwerten identisch. Für alle übrigen Frequenzen lässt sich der Zusammenhang zwischen Lautstärke und Schallpegel nach *Robinson* und *Dadson* (Abbildung 3-1) ermitteln.

¹ benannt nach dem amerikanischen Erfinder des Telefons A. G. Bell

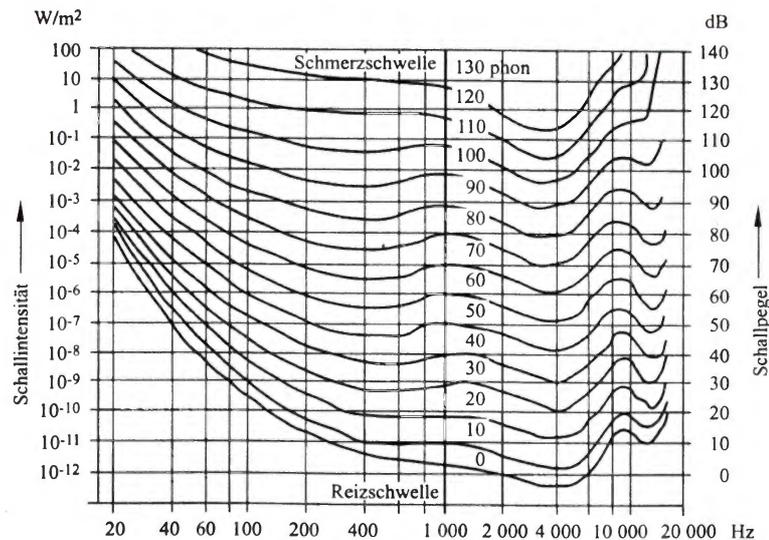


Abbildung 3-1, Kurven gleicher Lautstärke nach Robinson und Dadson

3.1.4 Addition von Schallpegeln

Hat man zu Hause „versehentlich“ die Stereoanlage bis an ihre Leistungsgrenze belastet, und die übrige Familie setzt sich durch Abschalten einer Lautsprecherbox zur Wehr, sinkt zwar der Schallpegel, aber Zimmerlautstärke wird dadurch keineswegs erreicht. Man muss sich nach wie vor die Ohren zuhalten.

Die Tatsache, dass sich die Lautstärke nicht proportional zur Anzahl der Schallquellen verhält, entspricht unseren Erfahrungen und lässt sich mit Hilfe des *Weber-Fechnerschen* Gesetzes begründen. Werden mehrere Schallpegel summiert, erhält man den resultierenden Gesamtpegel durch *energetische Addition*. Für den Gesamtpegel L_{ges} gilt:

$$L_{ges} = 10 \cdot \log\left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i}\right)$$

Für n gleichstarke Schallquellen vereinfacht sich die Gleichung zu:

$$L_{ges} = L_1 + 10 \cdot \log(n)$$

Dabei bedeuten

L_1 = Schallpegel einer Schallquelle

n = Anzahl der Schallquellen.

Eine Lautstärkeverdopplung wird somit nicht durch zwei gleich starke Schallquellen erreicht, sondern erst bei zehnfacher Vergrößerung ihrer Anzahl. Statt der mathematischen Darstellung werden häufig die folgenden Merkgeln verwendet:

1. Die *Halbierung* oder *Verdoppelung* der Anzahl der Schallquellen vermindert oder erhöht den Pegel lediglich um 3 dB.
2. Einen um 10 dB verminderten Pegel empfinden wir als *halb so laut*.

3.2 Das menschliche Hörempfinden

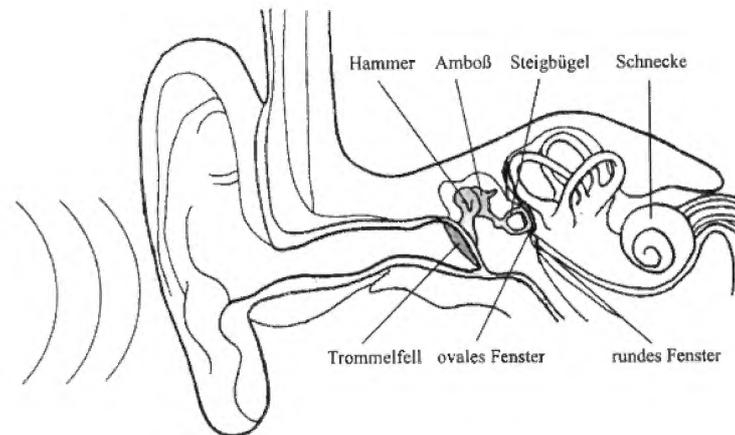


Abbildung 3-2, Aufbau des menschlichen Ohrs

3.2.1 Mittelungspegel

Der Schallpegel ist aus der Sicht des Lärmschutzes die bedeutendste Größe zur Beschreibung der Stärke eines Schallvorganges. Die gesundheitlichen Wirkungen von Lärmbelastungen sind allerdings von weiteren Faktoren abhängig. Neben der Stärke hat vor allem die Dauer der Schalleinwirkung eine entscheidende Bedeutung. Für die messtechnische Überprüfung sind einmalige Messungen von Maximalwerten unzureichend. Um Lärmbelastungen abschätzen zu können, erstreckt sich der Beurteilungszeitraum häufig über mehrere Stunden. Innerhalb dieses Zeitraumes ergeben sich zumeist sehr unterschiedliche Belastungen durch Lärm und damit unterschiedliche Schallpegel. Aus diesem Grund muss ein Mittelungspegel bestimmt werden. Da Schallpegel logarithmische Größen sind, ist eine arithmetische Mittelwertbildung unzulässig. Bei geringen Pegelschwankungen bis zu etwa 10 dB(A) innerhalb einer relevanten Zeiteinheit, wie sie bei Windenergieanlagen auftreten, begnügt man sich häufig mit einem einfachen Schätzverfahren: Die Schwankungsbreite wird durch 3 geteilt und vom Maximalpegel subtrahiert. In vielen anderen Fällen liegen die Schwankungen jedoch deutlich höher, so dass auf exakte Mittelungsverfahren zur Ermittlung des Mittelungspegels zurückgegriffen werden muss. Diese werden hier nicht näher erläutert.

3.2.2 Bewertung von Schallereignissen nach ihrer Frequenz

Die meisten Schallereignisse sind ihrer Natur nach Geräusche, also Frequenzgemische. Da wir nicht alle Frequenzen gleich laut empfinden, müssen Geräuschsituationen zur besseren Vergleichbarkeit einer Frequenzbewertung unterzogen werden. Das geschieht, indem ausgewählte Frequenzkomponenten teilweise oder vollständig durch elektronische Filter unterdrückt werden. Sie bleiben unbewertet. Je nachdem, welcher Frequenzbereich analysiert wird, unterscheidet man zwischen A-, B-, und C-Bewertung.

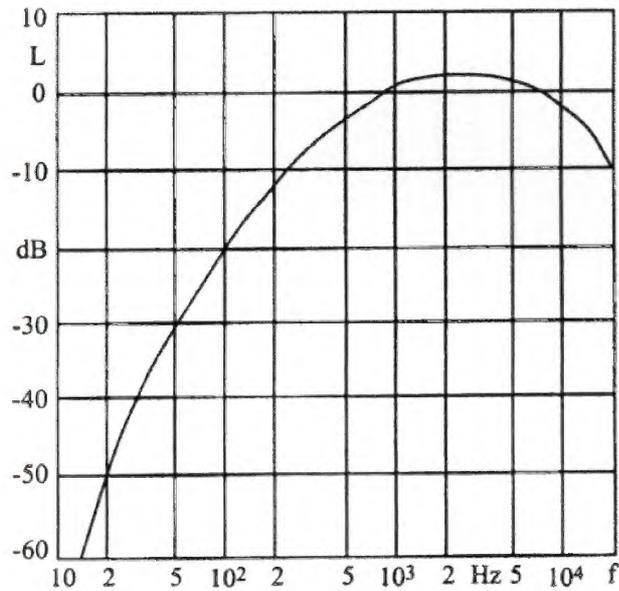


Abbildung 3-3, Dämpfungskurve des A-Filters

In der Praxis ist es üblich, Geräuschsituationen auf der Grundlage der A-Bewertung zu charakterisieren. Dieser Bewertungsmaßstab ist der Besonderheit unseres Gehörs angepasst, das für Frequenzen zwischen 1.000 Hz und 5.000 Hz besonders empfindlich ist. Der Einfluss der Frequenz auf unsere Lautstärkeempfindung ist an der Hörflächenkurve (Abbildung 3-4) ablesbar.

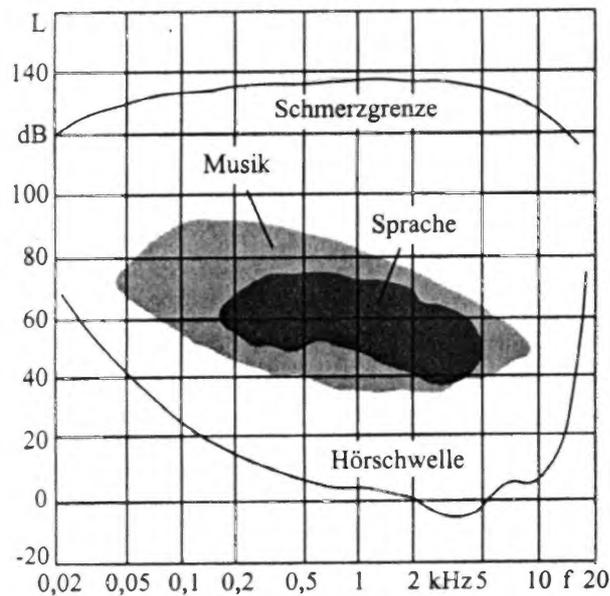


Abbildung 3-4, Hörfläche

Das A-Filter sorgt dafür, dass die mittleren Frequenzen zwischen 1.000 Hz und 5.000 Hz ungehindert passieren können und die höheren und tieferen Anteile unterdrückt werden (Abbildung 3-3). Damit bei Schallpegelangaben erkennbar ist, dass sie gehörrichtig vorgenommen worden sind, wird vielfach der dazugehörige Bewertungsmaßstab angegeben, z.B. 60 dB(A).

Schallquellen	Schalldruck in μPa	Schallpegel in dB(A)	Schallintensität in W/m^2
Reizschwelle	20	0	$10^{-12} = 1 I_0$
Flüstern	200	20	$10^{-10} = 10^2 I_0$
Zimmerlautstärke	20.000	60	$10^{-6} = 10^6 I_0$
Verkehrslärm (stark)	200.000	80	$10^{-4} = 10^8 I_0$
Presslufthammer	600.000	90	$10^{-3} = 10^9 I_0$
Schmerzschwelle	60.000.000	130	$10^1 = 10^{13} I_0$

Tabelle 1, Beispiele für Schalldrücke, Schallpegel und Schallintensitäten

Schallpegelwerte werden mit Hilfe von Schallpegelmessern, die aus Mikrofon, Frequenzfilter, Verstärker und Anzeige bestehen (Abbildung 3-5), ermittelt. Das Mikrofon transformiert die Druckschwankungen in Spannungsschwankungen. Der nachgeschaltete Verstärker erhöht die Spannungswerte, so dass sie analog oder digital angezeigt werden können. Das Filter, zumeist ein A-Filter, realisiert die Frequenzbewertung.

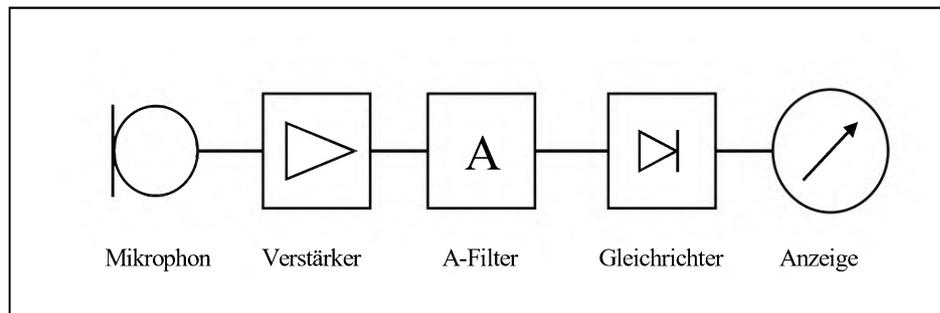


Abbildung 3-5, Blockschaltbild eines Schallpegelmessers

3.2.3 Schalldruckpegelberechnung nach DIN ISO 9613-2

In diesem Gutachten wird das *Alternative Verfahren zur Berechnung A-bewerteter Schalldruckpegel* nach Abschnitt 7.3.2 des Entwurfs der DIN ISO 9613-2 (im Folgenden abgekürzt mit: DIN ISO 9613-2) angewendet.

Die Formel zur Schalldruckpegelberechnung einer Windenergieanlage lautet:

$$L_{AT}(DW) = L_{WA} + D_C - A$$

L_{WA}: Schalleistungspegel der Punktschallquelle A-bewertet.

D_C: Richtungskorrektur für die Quelle ohne Richtwirkung (0 dB), aber unter Berücksichtigung der Reflexion am Boden D_Ω: $D_C = D_Ω - 0$

Zusätzlich bedingt durch Reflexion am Boden gilt:

$$D_Ω = 10 \lg(1 + (d_p^2 + (h_s - h_r)^2) / (d_p^2 + (h_s + h_r)^2))$$

Mit:

h_s: Höhe der Quelle über dem Grund (Nabenhöhe)

h_r: Höhe des Immissionspunktes über Grund

d_p: Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger projiziert

A: Dämpfung zwischen der Punktquelle (WKA-Gondel) und dem Immissionspunkt, die während der Schallausbreitung vorhanden ist. Sie bestimmt sich aus den folgenden Dämpfungsarten:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

A_{div}: Dämpfung aufgrund der geometrischen Ausbreitung

A_{atm}: Dämpfung durch die Luftabsorption: $A_{atm} = \alpha_{500} d / 1000$
 α_{500} : Absorptionskoeffizient der Luft (= 1,9 dB/km)

A_{gr}: Bodendämpfung: $A_{gr} = (4,8 - (2h_m) / d) [17 + 300 / d]$
 Wenn A_{gr} < 0 dann ist A_{gr} = 0

A_{bar}: Dämpfung aufgrund der Abschirmung (Schallschutz), hier mit dem Wert 0 belegt

A_{misc}: Dämpfung aufgrund verschiedener weiterer Effekte (Bewuchs, Bebauung, Industrie), hier mit dem Wert 0 belegt.

Der Schalleistungspegel von Windenergieanlagen liegt heute im Bereich zwischen 98 dB und 104 dB. Hierbei handelt es sich um einen theoretischen Wert, der sich ergäbe, wenn alle Schallquellen einer Windenergieanlage auf einen Punkt konzentriert würden.

Eine Erläuterung der genauen Vorgehensweise bei der Berechnung des Schallpegels nach der DIN ISO 9613-2 mit Hilfe der Software WindPRO des dänischen Softwareherstellers EMD (Version 3.0.654 Modul *Decibel*) befindet sich im angefügten Auszug aus der Programmdokumentation der Software WindPRO im Anhang.

3.3 Schallemissionen von Windenergieanlagen unter bauordnungsrechtlichen Gesichtspunkten²

[...] In dem grundrechtrelevanten Bereich des Schutzes vor Lärmemissionen darf nur der Gesetzgeber absolute Grenzwerte festlegen. Die Rechtsqualität demokratisch legitimierter Parlamentsgesetze weisen die technischen Vorschriften augenfällig nicht auf. Somit kommt es auf die Konkretisierung der auch im Baurecht maßgebenden Erheblichkeitsschwelle des § 3 Abs. 1 BImSchG an. Erhebliche Belästigungen oder erhebliche Nachteile liegen danach vor, wenn die Lärmimmissionen einem vernünftigen Dritten anstelle des Lärmbetroffenen nicht zugemutet werden können. Die Bestimmung der Zumutbarkeit beruht dabei auf einer Bewertung der Lärmimmissionen und ihrer Auswirkungen, in die sowohl normative als auch faktische Faktoren einzustellen sind.

Bei der Bestimmung von Lärmgrenzwerten für Windenergieanlagen muss dabei eine simple Erkenntnis beachtet werden: Lärmimmissionen solcher Anlagen treten nie in einer unbelasteten (ruhigen) Situation auf, vielmehr lärmt die Anlage nur, wenn der Wind weht - und dieser produziert ebenfalls Geräuschimmissionen. Die Drehgeschwindigkeit des Rotors hängt von der Stärke des Windes ab und somit stehen Geräuschvorbelastung durch den Wind und Lärm der Windenergieanlage in untrennbarem Zusammenhang. Zudem ist festzustellen, dass das Windgeräusch den Lärm des Rotors überdecken kann. Die Lärmimmission durch die aerodynamische Umströmung des Rotors liegt im Grenzbereich von 1.000 Hz und ist als „Zischlaut“ dem Windgeräusch ähnlich. [...] Nur soweit mechanische Geräusche des Triebstranges entstehen, können in der natürlichen Umgebung fremde und damit als belästigend empfundene Immissionen auftreten. Damit wird deutlich, dass der sog. Verdeckungseffekt von einer Vielzahl auch konstruktiver Bedingungen abhängt. Ein allgemeiner Rechtssatz, dass Lärmimmissionen von Windenergieanlagen wegen des möglichen Verdeckungseffekts grundsätzlich keine den Nachbarn beeinträchtigenden Wirkungen zeitigen können, lässt sich nicht aufstellen.

Soweit eine Verdeckung der Lärmimmissionen durch das Windgeräusch eintritt, ist dies bei der Beurteilung der Zumutbarkeitsgrenze zu berücksichtigen. Hier gilt, dass nicht unzumutbar sein kann, was neben dem natürlichen Geräusch kaum erfahrbar ist.

Im Ergebnis kann im Hinblick auf eine Beeinträchtigung der Nachbarn durch Lärmimmissionen eine Versagung der Baugenehmigung kaum erfolgen. Durch technische Maßnahmen an der Windenergieanlage lassen sich zumeist erhebliche Lärmbeeinträchtigungen vermeiden. Die Verpflichtung, diese durchzuführen, kann dem Betreiber der Windenergieanlage durch Auflagen und sonstige Nebenbestimmungen (§ 36 Abs. 2 VwVfG) auferlegt werden. [...]

² aus Rechtliche Voraussetzungen und Grenzen der Erteilung von Baugenehmigungen für Windenergieanlagen, Prof. Dr. Albert von Mutius, Ordinarius für öffentliches Recht und Verwaltungslehre sowie Leiter des Lorenz-von-Stein-Instituts für Verwaltungswissenschaften der Universität Kiel

4 Schallgutachten

Der Standort

Hallschlag

liegt auf dem Gebiet der Verbandsgemeinde Obere Kyll, Ortsgemeinde Hallschlag, Landkreis Vulkaneifel, Rheinland-Pfalz.

Die beurteilte Anlage soll ca. 1,6 km südwestlich der Ortslage Hallschlag und ca. 1,7 km nordöstlich der Ortslage Ormont auf einer Höhe von ca. 600 m über NN errichtet werden. Die unmittelbare Umgebung der geplanten Anlage wird überwiegend land- und forstwirtschaftlich genutzt.

Bei der Prognose der Schallimmissionen der beurteilten Windenergieanlage wird die nächstgelegene Wohnbebauung betrachtet. Es handelt sich dabei um Wohngebäude auf dem Gebiet der Verbandsgemeinde Obere Kyll, Landkreis Vulkaneifel, Rheinland-Pfalz, und der Gemeinde Hellenthal, Kreis Euskirchen, Nordrhein-Westfalen.

Anhand der Prognose der Schallimmissionen wird die Einhaltung der in der Nacht geltenden Richtwerte nach der TA-Lärm (Stand: 26.08.1998) überprüft, die deutlich niedriger liegen als die am Tag geltenden Richtwerte.

4.1 Prognoseverfahren

Die im vorliegenden Gutachten dargestellte Schallimmissionsprognose für eine Windenergieanlage des Typs ENERCON E-82 E2 mit TES-Rotorblättern mit einer Nabenhöhe von 138,4 m, wurde mit Hilfe der Software WindPRO des dänischen Softwareherstellers EMD (Version 3.0.654, Modul *Decibel*) durchgeführt. Diese Software stellt die Implementierung des detaillierten Prognoseverfahrens gemäß TA-Lärm vom 28.08.1998 (A.2.3.1) auf Basis der DIN ISO 9613-2 dar. Die genaue Beschreibung der implementierten Ausbreitungsrechnung ist dem Auszug aus der Programmdokumentation der Software WindPRO im Anhang zu entnehmen (Berechnung auf Basis von A-bewerteten Schalleistungspegeln und Berechnung auf Basis des Oktavspektrums). Im vorliegenden Fall wurde die Prognoseberechnung nach dem *Alternativen Verfahren zur Berechnung A-bewerteter Schalldruckpegel* gemäß Abschnitt 7.3.2 der DIN ISO 9613-2 auf Basis eines A-bewerteten Schalleistungspegels (keine oktavbezogenen Werte) durchgeführt.

4.2 Ortsbesichtigung

Der Standort und die nächstgelegene Bebauung wurde am 23.10.2014 in der Zeit zwischen ca. 11:15 Uhr und ca. 11:45 Uhr bei bewölktem Himmel mit guten Sichtverhältnissen vom Gutachter besucht. Diese Ortsbegehung ist mit Fotos dokumentiert worden.

4.3 Daten der beurteilten Windenergieanlage

Bei der Prognose des Immissionsverhaltens einer Windenergieanlage des Typs ENERCON E-82 E2 mit TES-Rotorblättern und einer Nabenhöhe von 138,4 m - für die tags der Normalbetrieb mit 2300 kW Nennleistung (bei einem Schalleistungspegel von 103,9 dB(A), darin enthalten ein Sicherheitszuschlag von 2,1 dB(A)) und **nachts der Betriebsmodus mit 1400 kW Nennleistung**

geplant ist - wurden folgende Berechnungsvoraussetzungen verwendet:

Bez.	Anlagentyp	Nabenhöhe [m]	Rotor Ø [m]	UTM-Koordinaten *		Höhe über NN [m]	Verwendeter Schalleistungspegel [dB(A)]
				Ost	Nord		
WEA 01	ENERCON E-82 E2 - TES P _{max} = 1400 kW	138,4	82,0	32.317.055	5.579.576	607,2	98,5

* Koordinatensystem in diesem Gutachten: UTM ETRS 89, Zonenangabe im Ostwert

Schalleistungspegel gemäß folgender Vermessungen, zzgl. Sicherheitszuschlag, wie in Abschnitt 4.10.4 dargestellt:

WEA Typ	Vermessung				Verwendeter SLP incl. Sicherheitszuschlag [dB(A)]
	Anzahl	Bericht	Datum	SLP [dB(A)]	
ENERCON E-82 E2 - TES P _{max} = 1400 kW	1	KÖTTER, Nr. 213498-02.01	30.05.2014	96,0	98,5

Es ist kein Ton- oder Impulshaltigkeitszuschlag anzusetzen.

4.4 Daten der mitberücksichtigten Windenergieanlagen

In der Umgebung des Standortes befinden sich zahlreiche bereits bestehende und weitere geplante Windenergieanlagen. Da sich jedoch kein Immissionsort im erweiterten Einwirkungsbereich der beurteilten Anlage befindet (s. Abschnitt 4.5), erübrigt eine Berücksichtigung von weiteren Anlagen.

4.5 Einwirkungsbereich

Für die Auswahl der zu betrachtenden Immissionsorte ist der Einwirkungsbereich der geplanten Anlagen maßgeblich. D.h. es ist die Wohnbebauung zu beurteilen, die im Einwirkungsbereich der geplanten Anlagen liegt.

Gemäß der anzuwendenden TA-Lärm (Stand: 26.08.1998) Absatz 2.2 ist der Einwirkungsbereich einer Anlage durch die Fläche bestimmt, in der die von der Anlage ausgehenden Geräusche einen Beurteilungspegel verursachen, der weniger als 10 dB(A) unter dem für die Fläche maßgeblichen Immissionsrichtwert liegt. Aufgrund der Vielzahl der in der Umgebung bestehenden und geplanten Anlagen wird hier jedoch der erweiterte Einwirkungsbereich betrachtet, der durch die Fläche bestimmt wird, in der die von der Anlage ausgehenden Geräusche einen Beurteilungspegel verursachen, der weniger als 15 dB(A) unter dem für die Fläche maßgeblichen Immissionsrichtwert liegt.

Für Wohngebäude im Außenbereich oder Dorf- und Mischgebiet gilt der Richtwert von 45 dB(A) und für Allgemeine Wohngebiete ein Richtwert von 40 dB(A) in der Nacht. Eine entsprechende Wohnbebauung befindet sich dann im erweiterten Einwirkungsbereich einer Anlage, wenn die Anlage am Aufpunkt eine Schallimmission von mindestens 30 dB(A) bzw. 25 dB(A) verursacht.

Um festzustellen, welche Immissionsorte im erweiterten Einwirkungsbereich der beurteilten Windenergieanlage liegen, wurde zunächst die Ausbreitung der Schallimmissionen der beurteilten Anlage allein, d.h. ohne Berücksichtigung von Vorbelastungen untersucht.

Die Einwirkungsbereichs-/Zusatzbelastungsberechnung ergab folgende durch die beurteilte Windenergieanlage allein verursachten Schallimmissionen:

Bez.	Immissionsort	Schall- immissions- wert incl. Sicherheits- zuschlag [dB(A)]	Beurteilungs- pegel [dB(A)]	Richtwert [dB(A)]
IP 01	Auf Häselpesch 24, Hallschlag	24,2	24	40
IP 02	Buchenweg 9, Hallschlag	23,1	23	45
IP 03	Sonnenstraße 13, Hallschlag	22,5	23	45
IP 04	Zur Kehr 11, Hallschlag	25,8	26	45
IP 05	Zur Kehr 13a, Hallschlag	29,8	30	45
IP 06	Zur Kehr 15, Hallschlag	25,9	26	45
IP 07	Zur Kehr 17, Hallschlag	23,0	23	45
IP 08	Zollhaus Kehr 1, Hallschlag	23,1	23	45
IP 09	Siedlung 7, Hallschlag	21,4	21	45

Bez.	Immissionsort	Schall- immissions wert incl. Sicherheits- zuschlag [dB(A)]	Beurteilungs pegel [dB(A)]	Richtwert [dB(A)]
IP 10	Siedlung 8, Hallschlag	21,5	22	45
IP 11	Siedlung 18, Hallschlag	21,4	21	45
IP 12	Kehr 10, Hellenthal	21,2	21	45
IP 13	Kehr 12, Hellenthal	18,7	19	45
IP 14	Kehr 13, Hellenthal	17,7	18	45
IP 15	Kehr 14, Hellenthal	20,7	21	45
IP 16	Erlenphenn / Siedlung 2, Ormont	25,4	25	45
IP 17	Walenstraße 22, Ormont	23,4	23	40
IP 18	WA Ormont Nord	22,7	23	40
IP 19	Kyllstraße 15	22,3	22	45
IP 20	Walenstraße 8, Ormont	21,8	22	40
IP 21	Kyllstraße 9, Ormont	21,8	22	40
IP 22	Häselpesch, Flur10, Flurstück 170/19, Hallschlag	24,0	24	40

Kein Immissionsort befindet sich im erweiterten Einwirkungsbereich der beurteilten Anlage.

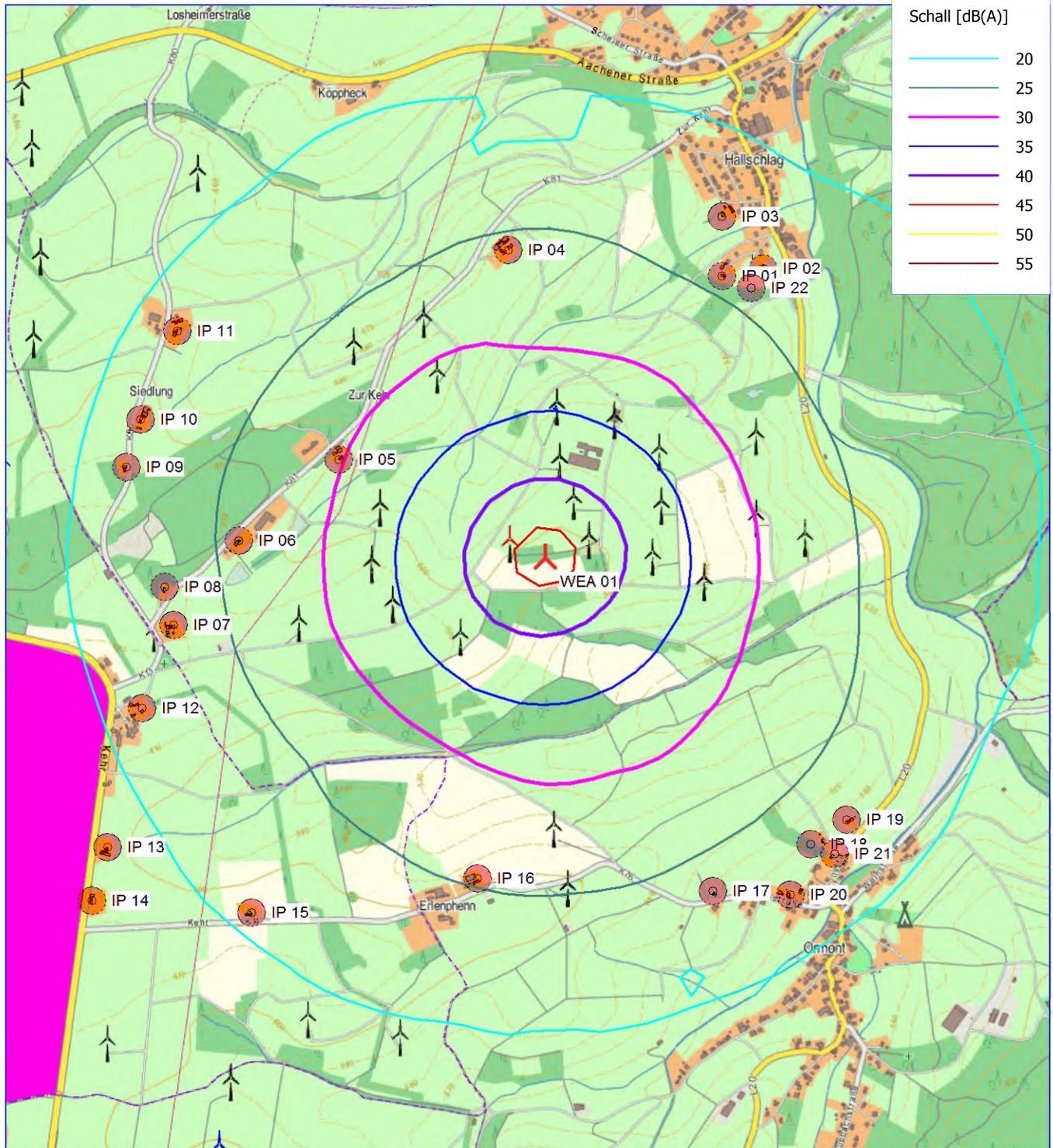
Alle anderen Wohngebäude in der Umgebung sind weiter von dem beurteilten Anlagenstandort entfernt.

Gemäß TA-Lärm Abschnitt 3.2.1 Absatz 6 (Stand 26.08.1998) wird deshalb auf die Bestimmung der Vorbelastung verzichtet.

Die detaillierten Ergebnisse der Einwirkungsbereichs-/Zusatzbelastungsberechnung finden sich im Anhang. Eine zugehörige Karte mit Schall-Iso-Linien folgt auf der nächsten Seite.

DECIBEL - Karte Lautester Wert bis 95% Nennleistung

Berechnung: Einwirkungsbereich/Zusatzbelastung: 1 x E-82 E2 - TES - Pmax = 1400 kW **Schallberechnungs-Modell:** ISO 9613-2 Deutschland 10,0 m/s



Schall [dB(A)]
20
25
30
35
40
45
50
55

0 250 500 750 1000m

Karte: WMS Map gesamt , Maßstab 1:20.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 32.317.055 Nord: 5.579.576
⚡ Neue WEA 📍 Schall-Immissionsort
Schallberechnungs-Modell: ISO 9613-2 Deutschland. Windgeschw.: Lautester Wert bis 95% Nennleistung
Höhe über Meeresspiegel von aktivem Höhenlinien-Objekt

4.6 Daten der beurteilten Immissionsorte

Im Folgenden werden die beurteilten Immissionsorte näher beschrieben. Für diese Immissionsorte werden anschließend die Schallimmissionen der geplanten Windenergieanlagen berechnet.

Bei den betrachteten Immissionsorten handelt sich um Wohngebäude auf dem Gebiet der Verbandsgemeinde Obere Kyll, Landkreis Vulkaneifel, Rheinland-Pfalz, und der Gemeinde Hellenthal, Kreis Euskirchen, Nordrhein-Westfalen.

Die betrachteten Immissionsorte werden schalltechnisch als Wohngebäude im Außenbereich oder Dorf- und Mischgebiet bzw. im Allgemeinen Wohngebiet beurteilt. Dies bedeutet, dass an diesen Aufpunkten nach TA-Lärm (Stand: 26.08.1998) ein Schallimmissionswert von 45 dB(A) bzw. 40 dB(A) in der Nacht nicht überschritten werden darf.

Betrachtete Schall-Immissionsorte:

- **IP 01 Auf Häselpesch 24, Hallschlag**

Der Immissionspunkt *IP 01 Auf Häselpesch 24, Hallschlag* liegt im Nordnordosten der beurteilten Windenergieanlage auf einer Höhe von ca. 535 m über NN. Bei diesem Immissionsort handelt es sich um das zu der geplanten Anlage nächstgelegene Wohnhaus in dem schalltechnisch als Allgemeines Wohngebiet beurteilten Bereich am südwestlichen Rand der Ortslage Hallschlag.

- **IP 02 Buchenweg 9, Hallschlag und
IP 03 Sonnenstraße 13, Hallschlag**

Die Immissionspunkte *IP 02 Buchenweg 9, Hallschlag* und *IP 03 Sonnenstraße 13, Hallschlag* liegen im Nordnordosten der beurteilten Windenergieanlage auf einer Höhe von ca. 525 m über NN. Bei diesen Immissionsorten handelt es sich um die zu der geplanten Anlage nächstgelegenen Wohngebäude in dem schalltechnisch als Dorf- und Mischgebiet beurteilten Bereich am südwestlichen Rand der Ortslage Hallschlag.

- **IP 04 Zur Kehr 11, Hallschlag**

Der Immissionspunkt *IP 04 Zur Kehr 11, Hallschlag* liegt im Norden der beurteilten Windenergieanlage auf einer Höhe von ca. 580 m über NN. Bei diesem Immissionsort handelt es sich um das Wohngebäude eines Gehöfts im Außenbereich der Verbandsgemeinde Obere Kyll.

- **IP 05 Zur Kehr 13a, Hallschlag;**
IP 06 Zur Kehr 15, Hallschlag;
IP 07 Zur Kehr 17, Hallschlag;
IP 08 Zollhaus Kehr 1, Hallschlag;
IP 09 Siedlung 7, Hallschlag;
IP 10 Siedlung 8, Hallschlag und
IP 11 Siedlung 18, Hallschlag

Die Immissionspunkte *IP 05, IP 06, IP 07, IP 08, IP 09, IP 10* und *IP 11* liegen im Westnordwesten und Westen der beurteilten Windenergieanlage auf Höhen von ca. 590 m bis ca. 625 m über NN. Bei diesen Immissionsorten handelt es sich um Wohngebäude im Außenbereich der Verbandsgemeinde Obere Kyll.

- **IP 12 Kehr 10, Hellenthal;**
IP 13 Kehr 12, Hellenthal;
IP 14 Kehr 13, Hellenthal und
IP 15 Kehr 14, Hellenthal

Die Immissionspunkte *IP 12, IP 13, IP 14* und *IP 15* liegen im Westen und Südwesten der beurteilten Windenergieanlage auf Höhen von ca. 600 m bis ca. 610 m über NN. Bei diesen Immissionsorten handelt es sich um Wohngebäude im Außenbereich der Gemeinde Hellenthal.

- **IP 16 Erlenphenn / Siedlung 2, Ormont**

Der Immissionspunkt *IP 16 Erlenphenn / Siedlung 2, Ormont* liegt im Süden der beurteilten Windenergieanlage auf einer Höhe von ca. 600 m über NN. Bei diesem Immissionsort handelt es sich um das Wohngebäude eines Gehöfts im Außenbereich der Verbandsgemeinde Obere Kyll.

- **IP 17 Walenstraße 22, Ormont**

Der Immissionspunkt *IP 17 Walenstraße 22, Ormont* liegt im Südsüdosten der beurteilten Windenergieanlage auf einer Höhe von ca. 570 m über NN. Bei diesem Immissionsort handelt es sich um das zu der geplanten Anlage nächstgelegene Wohnhaus in dem schalltechnisch als Allgemeines Wohngebiet beurteilten Bereich am westlichen Rand der Ortslage Ormont.

- **IP 18 WA Ormont Nord**

Der Immissionspunkt *IP 18 WA Ormont Nord* liegt im Ostsüdosten der beurteilten Windenergieanlage auf einer Höhe von ca. 550 m über NN. Dieser Immissionsort repräsentiert das geplante Allgemeine Wohngebiet am nördlichen Rand der Ortslage Ormont.

- **IP 19 Kyllstraße 15**

Die Immissionspunkte *IP 19 Kyllstraße 15* liegt im Ostsüdosten der beurteilten Windenergieanlage auf einer Höhe von ca. 550 m über NN. Bei diesem Immissionsort handelt es sich um das zu der geplanten Anlage nächstgelegene Wohngebäude in dem schalltechnisch als Dorf- und Mischgebiet beurteilten Bereich am nördlichen Rand der Ortslage Ormont.

- **IP 20 Walenstraße 8, Ormont**

Der Immissionspunkt *IP 20 Walenstraße 8, Ormont* liegt im Südsüdosten der beurteilten Windenergieanlage auf einer Höhe von ca. 550 m über NN. Bei diesem Immissionsort handelt es sich um ein Wohnhaus in dem schalltechnisch als Allgemeines Wohngebiet beurteilten Bereich am westlichen Rand der Ortslage Ormont.

- **IP 21 Kyllstraße 9, Ormont**

Die Immissionspunkte *IP 21 Kyllstraße 9, Ormont* liegt im Ostsüdosten der beurteilten Windenergieanlage auf einer Höhe von ca. 540 m über NN. Bei diesem Immissionsort handelt es sich um ein Wohnhaus in dem schalltechnisch als Allgemeines Wohngebiet beurteilten Bereich am nördlichen Rand der Ortslage Ormont.

- **IP 22 Häselpesch, Flur10, Flurstück 170/19, Hallschlag**

Der Immissionspunkt *IP 22 Häselpesch, Flur10, Flurstück 170/19, Hallschlag* liegt im Nordnordosten der beurteilten Windenergieanlage auf einer Höhe von ca. 530 m über NN. Bei diesem Immissionsort handelt es sich um das zu der geplanten Anlage nächstgelegene *mögliche* Wohnhaus in dem schalltechnisch als Allgemeines Wohngebiet beurteilten Bereich am südwestlichen Rand der Ortslage Hallschlag.

In der folgenden Tabelle finden sich die Koordinaten der betrachteten Aufpunkte sowie die Entfernung zur beurteilten WEA in m:

Bez.	Immissionsort	UTM-Koordinaten*		Höhe über NN (m)	Entfernung zur beurteilten WEA (m)
		Ost	Nord		
IP 01	Auf Häselpesch 24, Hallschlag	32.317.690	5.580.519	534,1	1.137
IP 02	Buchenweg 9, Hallschlag	32.317.832	5.580.540	525,1	1.238
IP 03	Sonnenstraße 13, Hallschlag	32.317.698	5.580.722	526,6	1.314
IP 04	Zur Kehr 11, Hallschlag	32.316.966	5.580.634	580,0	1.062
IP 05	Zur Kehr 13a, Hallschlag	32.316.365	5.579.936	591,7	778
IP 06	Zur Kehr 15, Hallschlag	32.316.017	5.579.670	610,3	1.042
IP 07	Zur Kehr 17, Hallschlag	32.315.785	5.579.390	615,0	1.284
IP 08	Zollhaus Kehr 1, Hallschlag	32.315.759	5.579.523	623,5	1.297
IP 09	Siedlung 7, Hallschlag	32.315.642	5.579.937	610,0	1.458
IP 10	Siedlung 8, Hallschlag	32.315.697	5.580.096	603,0	1.454
IP 11	Siedlung 18, Hallschlag	32.315.831	5.580.395	590,0	1.473
IP 12	Kehr 10, Hellenthal	32.315.667	5.579.109	610,2	1.464

Bez.	Immissionsort	UTM-Koordinaten*		Höhe über NN (m)	Entfernung zur beurteilten WEA (m)
		Ost	Nord		
IP 13	Kehr 12, Hellenthal	32.315.533	5.578.639	600,0	1.787
IP 14	Kehr 13, Hellenthal	32.315.474	5.578.458	609,4	1.936
IP 15	Kehr 14, Hellenthal	32.316.015	5.578.398	610,0	1.571
IP 16	Erlenphenn / Siedlung 2, Ormont	32.316.788	5.578.487	600,0	1.121
IP 17	Walenstraße 22, Ormont	32.317.587	5.578.416	570,4	1.276
IP 18	WA Ormont Nord	32.317.924	5.578.566	550,8	1.332
IP 19	Kyllstraße 15	32.318.050	5.578.646	549,8	1.362
IP 20	Walenstraße 8, Ormont	32.317.849	5.578.396	549,9	1.422
IP 21	Kyllstraße 9, Ormont	32.318.005	5.578.530	542,4	1.413
IP 22	Häselpesch, Flur10, Flurstück 170/19, Hallschlag	32.317.788	5.580.476	532,7	1.161

* Koordinatensystem in diesem Gutachten: UTM ETRS 89, Zonenangabe im Ostwert

4.7 Zusatzbelastung / Prognose

Wie aus Abschnitt 4.5 ersichtlich, befinden sich sämtliche Immissionsorte außerhalb des erweiterten Einwirkungsbereichs der beurteilten Anlage.

Daher ist die Einwirkungsbereichs-/Zusatzbelastungsberechnung gleichzeitig die Prognose, deren Ergebnis ebenfalls im Abschnitt 4.5 dargestellt ist.

Die detaillierten Ergebnisse der Einwirkungsbereichs-/Zusatzbelastungsberechnung finden sich im Anhang.

4.8 Schallreflexion an den Immissionspunkten

Bei der Untersuchung der berücksichtigten Immissionspunkte ist auch eine mögliche Schallreflexion zu beachten. Diese kann in der Theorie zu einer Verdopplung der Schallimmissionen führen und die Schallbelastung um bis zu 3 dB(A) erhöhen. Daher ist die Schallreflexion nur an den Immissionspunkten relevant, an denen der Immissionsbeitrag der berücksichtigten Anlagen weniger als 3 dB(A) unterhalb des zulässigen Richtwertes liegt.

Dies ist bei keinem Immissionsort der Fall. Daher erübrigt sich eine nähere Betrachtung möglicher Schallreflexionen.

4.9 Tieffrequente Geräusche - inklusive Infraschall

Als *tieffrequente Geräusche* wird der Schall bis zu einer Frequenz von 100 Hz bezeichnet. Bei Frequenzen unter 20 Hz wird von *Infraschall* gesprochen. Der Begriff *Infraschall* bezeichnet somit die tiefsten Frequenzen im Bereich der *tieffrequenten Geräusche*.

Tieffrequente Geräusche - inklusive Infraschall - sind für das menschliche Gehör nur bei sehr hohen Pegeln wahrnehmbar. Nach bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen können negative – insbesondere gesundheitsschädliche – Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen nur im Fall von hörbaren Geräuschen belegt werden.^{3 4}

Vermessungen verschiedener WEA-Typen zeigen allerdings, dass die gemessenen Pegel im tieffrequenten Bereich deutlich unter der Hörschwelle nach DIN 45680 liegen.

Studien zeigen zudem, dass die emittierten Pegel von Windenergieanlagen im tieffrequenten Bereich zu niedrig sind für das menschliche Hörempfinden. Selbst dicht an der Anlage liegen die Pegel deutlich unterhalb der normalen Hörschwelle.

Es wird daher davon ausgegangen, dass es durch Windenergieanlagen zu keiner schädlichen Umwelteinwirkung durch tieffrequenten Schall - inklusive Infraschall - kommt.

³ Vgl. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung: Faktenpapier Windenergie und Infraschall. Mai 2015.

⁴ Vgl. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Faktenpapier Windenergieanlagen und Infraschall. 16.12.2015.

4.10 Qualität der Prognose

4.10.1 Prognoseverfahren

Die Prognose wurde gemäß der Norm DIN ISO 9613-2 mit Hilfe der Software WindPRO (Version 3.0.654) erstellt. Diese Berechnung basiert auf vermessenen oder berechneten Schalleistungspegeln, die der FGW-Richtlinie (Technische Richtlinie, Teil 1 zur Bestimmung der Schallemissionswerte von Windenergieanlagen, Rev. 18, Stand 01.02.2008, Fördergesellschaft Windenergie e.V., Kiel) entsprechen.

Bezüglich der Genauigkeit des Prognoseverfahrens gibt die DIN-ISO 9613-2 einen Wert von +/- 3 dB als Maß für die geschätzte Genauigkeit an. Unter der Annahme, dass dieses Maß für die geschätzte Genauigkeit etwa einem Bereich von +/- 2 Standardabweichungen entspricht, ergibt sich eine geschätzte Standardabweichung des Prognosemodells von $\sigma_{\text{Progn.}} = 1,5 \text{ dB(A)}$.

Die Berechnungsvorschrift zur Bestimmung des Schalldruckpegels einer Windenergieanlage (siehe auch Kapitel 2.2.3 in diesem Bericht) gemäß der Norm DIN ISO 9613-2 enthält in ihrer allgemeinen Form Bestandteile, die als Dämpfungsmaße bezeichnet werden. Diese Dämpfungsmaße beschreiben die Reduzierung der Schallemissionen zwischen dem Emissionsort und dem Immissionsort. Diese Dämpfung ergibt sich aufgrund der geometrischen Ausbreitung, der Luftabsorption und der Bodendämpfung. Diese Dämpfungsmaße (A_{div} , A_{atm} , und A_{gr}) wurden, wie in Kapitel 2.2.3 dieser Ausarbeitung beschrieben, in der hier durchgeführten Prognose berücksichtigt.

Darüber hinaus gibt es eine Dämpfung durch den Bewuchs (Bewuchsdämpfung) und die Bebauung (Bebauungsdämpfung), die sich zwischen dem bewerteten Aufpunkt und der Schallquelle am Boden befinden sowie eine Dämpfung aufgrund von Abschirmung. Bei der hier durchgeführten Prognose sind diese Dämpfungsmaße (A_{bar} und A_{misc}) unberücksichtigt geblieben (s. Kapitel 2.2.3 dieser Ausarbeitung sowie Auszug aus der Programmdokumentation der Software WINDpro, S. 332 ff.). D.h. es wird angenommen, dass keine Dämpfung durch Bewuchs, Bebauung oder Abschirmung vorhanden ist.

Aufgrund dieser Nicht-Berücksichtigung der genannten Dämpfungsmaße ist davon auszugehen, dass die in diesem Gutachten prognostizierten Werte höher liegen als die an den Aufpunkten tatsächlich auftretenden Immissionen.

Der Haupteinflussfaktor bei der Berechnungsvorschrift zur Bestimmung des Schalldruckpegels einer Windenergieanlage an einem Immissionsort ist der verwendete Schalleistungspegel der Windenergieanlage. Dieser Wert wird durch Vermessung einer bestehenden Windenergieanlage bestimmt. Während der Messung muss eine Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 Metern Höhe über Grund herrschen.

4.10.2 Vermessungsbericht

Für den in den Berechnungen berücksichtigten Windenergieanlagentyp liegen die Ergebnisse folgender Vermessungen gemäß FGW-Richtlinie (Technische Richtlinie, Teil 1 zur Bestimmung der Schallemissionswerte von Windenergieanlagen, Rev. 18, Stand 01.02.2008, Fördergesellschaft Windenergie e.V., Kiel) bzw. Herstellerangaben vor:

WEA Typ	Vermessung				SLP [dB(A)]
	Anzahl	Bericht	Datum	Messwert [dB(A)]	
ENERCON E-82 E2 - TES P_{max} = 1400 kW	1	KÖTTER, Nr. 213498-02.01	30.05.2014	96,0	96,0

Es ist kein Ton- oder Impulshaltigkeitszuschlag anzusetzen.

Die genannte Messung ist unter typischen Bedingungen, entsprechend dem Messverfahren der DIN-EN61400-11 und unter Berücksichtigung der Randbedingungen der FGW-Richtlinie (Technische Richtlinie, Teil 1 zur Bestimmung der Schallemissionswerte von Windenergieanlagen, Rev. 18, Stand 01.02.2008, Fördergesellschaft Windenergie e.V., Kiel) durchgeführt worden. Das Messverfahren ist somit durch eine Standardabweichung von $\sigma_R = 0,5 \text{ dB(A)}$ gekennzeichnet⁵.

4.10.3 Auswirkung der Produktionsstreuung

Für **einfach vermessene** Anlagentypen wird die *Unsicherheit der Produktionsstreuung* gemäß der Empfehlung „Schallimmissionsschutz in Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen – Empfehlung des Arbeitskreises Geräusche von Windenergieanlagen, Oktober 1999“ mit 2 dB angegeben. Unter dieser Voraussetzung und unter Annahme eines Konfidenzniveaus von 95% ergibt sich die Standardabweichung, welche die Serienstreuung der Emissionsdaten beschreibt, zu $\sigma_P = 1,2 \text{ dB}$.

⁵ s. Piorr, Detlef; Hillen, Richard; Jansen, Markus: Akustische Ringversuche zur Geräuschemissionsmessung an Windenergieanlagen. Tagungsband der DAGA 2001. Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., Berlin

4.10.4 Gesamtunsicherheit der Prognoseergebnisse

Die Berechnung der Gesamtunsicherheit folgt aus den in den Abschnitten 4.10.1, 4.10.2 und 4.10.3 dargestellten Unsicherheitskomponenten:

Die Unsicherheit der gesamten Prognose wird unter den genannten Voraussetzungen durch folgende Standardabweichung beschrieben:

$$\sigma_{\text{ges}} = \sqrt{\sigma_{\text{R}}^2 + \sigma_{\text{P}}^2 + \sigma_{\text{Progn}}^2}$$

Die obere Vertrauensbereichsgrenze der Prognosewerte kann durch folgende Gleichung bestimmt werden:

$$L_0 = L_m + z * \sigma_{\text{ges}}$$

L_m : prognostizierter Immissionswert

z : Standardnormalvariable

Wird bei dieser Berechnung von normalverteilten Prognosefehlern und einem Konfidenzniveau von 90% ausgegangen, ist für die Standardnormalvariable z der Wert 1,28 anzusetzen.

Der Sicherheitszuschlag auf den Schalleistungspegel ist dann

$$e = z * \sigma_{\text{ges}} = 1,28 * \sigma_{\text{ges}}$$

Für den tatsächlichen Immissionswert L gilt demnach mit einer Wahrscheinlichkeit von 90%:

$$L = L_m \pm e.$$

Es ergeben sich die folgenden Gesamtunsicherheiten der Prognose:

Anlagentyp	σ_{R} [dB(A)]	σ_{P} [dB(A)]	σ_{Progn} [dB(A)]	σ_{ges} [dB(A)]	Sicherheits- zuschlag $e = 1,28 * \sigma_{\text{ges}}$ [dB(A)]
ENERCON E-82 E2 - TES P_{max} = 1400 kW	0,5	1,2	1,5	2,0	2,5

Für den im Gutachten berücksichtigten Anlagentyp ergeben sich unter Berücksichtigung der Gesamtunsicherheiten die folgenden Schalleistungspegel:

WEA Typ	Schalleistungs- pegel [dB(A)]	Sicherheits- zuschlag $e = 1,28 * \sigma_{\text{ges}}$ [dB(A)]	Verwendeter Schalleistungs- pegel incl. Sicherheits- zuschlag e [dB(A)]
ENERCON E-82 E2 - TES P_{max} = 1400 kW	96,0	2,5	98,5

5 Abschlusserklärung

Es wird versichert, dass die vorliegenden Ermittlungen unparteiisch, gemäß dem Stand der Technik und nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt wurden. Die Datenerfassung, die zu diesem Gutachten geführt hat, wurde mit größtmöglicher Sorgfalt vorgenommen, alle Berechnungen mehrfach kontrolliert.

Die Berechnungen wurden gemäß der deutschen Norm DIN-ISO 9613-2 und der TA-Lärm vom 26.08.1998 mit der Software WindPRO (Version 3.0.654, Modul *Decibel*) durchgeführt.

Zwischen dem Auftraggeber und der Firma SOLvent GmbH bestehen weder personelle noch kapitalmäßige noch verwandtschaftliche Verflechtungen.

Kamen, 18. August 2016

A faint, semi-transparent watermark of the SOLvent GmbH logo is visible in the background of the page, positioned to the right of the date.

6 Anhang

Es folgen:

- Der detaillierte Berechnungsbericht mit zugehöriger Karte mit ISO-Schalllinien für die Schallimmissionsprognose.
- Kopien der Unterlagen, die zur Bestimmung der Schalleistungspegel der Windenergieanlage des Typs ENERCON E-82 E2 – TES mit $P_{\max} = 1400$ kW verwendet worden sind.
- Auszug aus der Programmdokumentation der Software WindPRO

DECIBEL - Hauptergebnis

Berechnung: Einwirkungsbereich/Zusatzbelastung: 1 x E-82 E2 - TES - Pmax = 1400 kW

Detaillierte Prognose nach TA-Lärm / DIN ISO 9613-2

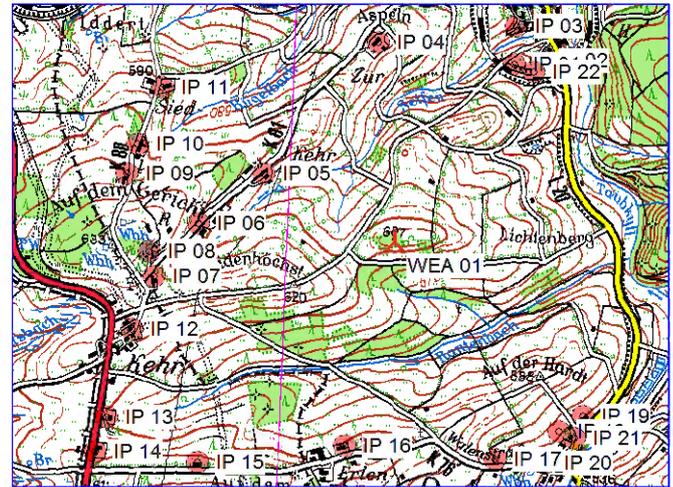
Die Berechnung basiert auf der internationalen Norm ISO 9613-2 "Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors"

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: 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 1:40.000
▲ Neue WEA ■ Schall-Immissionsort

WEA

Ost	Nord	Z	Beschreibung	WEA-Typ			Nennleistung [kW]	Rotor-durchmesser [m]	Nabenhöhe [m]	Schallwerte		Windgeschw. [m/s]	LWA [dB(A)]	Einzel-töne	
				Aktuell	Hersteller	Typ				Quelle	Name				
WEA 01	32.317.055	5.579.576	607,2 E-82 E2 NH 138,4m - ... Ja	ENERCON	E-82	E2-2.300	2.300	82,0	138,4	USER	98,5 (96,0 + 2,5) dB(A)	1.400 kW TES-Rotorblätter einfach verm.	(95%)	98,5	Nein

Berechnungsergebnisse

Beurteilungspegel

Nr.	Name	Ost	Nord	Z	Aufpunkthöhe [m]	Anforderungen		Anforderungen erfüllt?
						Schall [dB(A)]	Beurteilungspegel Von WEA [dB(A)]	
IP 01	Auf Häselpesch 24, Hallschlag	32.317.690	5.580.519	534,1	5,0	40,0	24,2	Ja
IP 02	Buchenweg 9, Hallschlag	32.317.832	5.580.540	525,1	5,0	45,0	23,1	Ja
IP 03	Sonnenstraße 13, Hallschlag	32.317.698	5.580.722	526,6	5,0	45,0	22,5	Ja
IP 04	Zur Kehr 11, Hallschlag	32.316.966	5.580.634	580,0	5,0	45,0	25,8	Ja
IP 05	Zur Kehr 13a, Hallschlag	32.316.365	5.579.936	591,7	5,0	45,0	29,8	Ja
IP 06	Zur Kehr 15, Hallschlag	32.316.017	5.579.670	610,3	5,0	45,0	25,9	Ja
IP 07	Zur Kehr 17, Hallschlag	32.315.785	5.579.390	615,0	5,0	45,0	23,0	Ja
IP 08	Zollhaus Kehr 1, Hallschlag	32.315.759	5.579.523	623,5	5,0	45,0	23,1	Ja
IP 09	Siedlung 7, Hallschlag	32.315.642	5.579.937	610,0	5,0	45,0	21,4	Ja
IP 10	Siedlung 8, Hallschlag	32.315.697	5.580.096	603,0	5,0	45,0	21,5	Ja
IP 11	Siedlung 18, Hallschlag	32.315.831	5.580.395	590,0	5,0	45,0	21,4	Ja
IP 12	Kehr 10, Hellenthal	32.315.667	5.579.109	610,2	5,0	45,0	21,2	Ja
IP 13	Kehr 12, Hellenthal	32.315.533	5.578.639	600,0	5,0	45,0	18,7	Ja
IP 14	Kehr 13, Hellenthal	32.315.474	5.578.458	609,4	5,0	45,0	17,7	Ja
IP 15	Kehr 14, Hellenthal	32.316.015	5.578.398	610,0	5,0	45,0	20,7	Ja
IP 16	Erlenphenn / Siedlung 2, Ormont	32.316.788	5.578.487	600,0	5,0	45,0	25,4	Ja
IP 17	Walenstraße 22, Ormont	32.317.587	5.578.416	570,4	5,0	40,0	23,4	Ja
IP 18	WA Ormont Nord	32.317.924	5.578.566	550,8	5,0	40,0	22,7	Ja
IP 19	Kyllstraße 15	32.318.050	5.578.646	549,8	5,0	45,0	22,3	Ja
IP 20	Walenstraße 8, Ormont	32.317.849	5.578.396	549,9	5,0	40,0	21,8	Ja
IP 21	Kyllstraße 9, Ormont	32.318.005	5.578.530	542,4	5,0	40,0	21,8	Ja
IP 22	Häselpesch, Flurstück 170/19, Hallschlag	32.317.788	5.580.476	532,7	5,0	40,0	24,0	Ja

Abstände (m)

Schall-Immissionsort	WEA	Abstand [m]
IP 01	WEA 01	1137
IP 02	WEA 01	1238
IP 03	WEA 01	1314
IP 04	WEA 01	1062
IP 05	WEA 01	778
IP 06	WEA 01	1042
IP 07	WEA 01	1284
IP 08	WEA 01	1297

(Fortsetzung nächste Seite)...

DECIBEL - Hauptergebnis

Berechnung: Einwirkungsbereich/Zusatzbelastung: 1 x E-82 E2 - TES - Pmax = 1400 kW

...(Fortsetzung von letzter Seite)

WEA

Schall-Immissionsort	WEA 01
IP 09	1458
IP 10	1454
IP 11	1473
IP 12	1464
IP 13	1787
IP 14	1936
IP 15	1571
IP 16	1121
IP 17	1276
IP 18	1332
IP 19	1362
IP 20	1422
IP 21	1413
IP 22	1161

DECIBEL - Detaillierte Ergebnisse

Berechnung: Einwirkungsbereich/Zusatzbelastung: 1 x E-82 E2 - TES - Pmax = 1400 kW **Schallberechnungs-Modell:** ISO 9613-2 Deutschland 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:	Schalldruckpegel an WEA
K:	Einzelöne
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: IP 01 Auf Häselpesch 24, Hallschlag

WEA		Lautester Wert bis 95% Nennleistung												
Nr.	Abstand	Schallweg	Mittlere Höhe	Sichtbar	Berechnet	LWA	Dc	Adiv	Aatm	Agr	Abar	Amisc	A	Cmet
	[m]	[m]	[m]		[dB(A)]	[dB(A)]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
WEA 01	1.137	1.155	65,4	Ja	24,21	98,5	3,01	72,26	2,20	2,85	0,00	0,00	77,30	0,00
Summe	24,21													

Schall-Immissionsort: IP 02 Buchenweg 9, Hallschlag

WEA		Lautester Wert bis 95% Nennleistung												
Nr.	Abstand	Schallweg	Mittlere Höhe	Sichtbar	Berechnet	LWA	Dc	Adiv	Aatm	Agr	Abar	Amisc	A	Cmet
	[m]	[m]	[m]		[dB(A)]	[dB(A)]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
WEA 01	1.238	1.257	64,7	Ja	23,11	98,5	3,01	72,98	2,39	3,02	0,00	0,00	78,40	0,00
Summe	23,11													

Schall-Immissionsort: IP 03 Sonnenstraße 13, Hallschlag

WEA		Lautester Wert bis 95% Nennleistung												
Nr.	Abstand	Schallweg	Mittlere Höhe	Sichtbar	Berechnet	LWA	Dc	Adiv	Aatm	Agr	Abar	Amisc	A	Cmet
	[m]	[m]	[m]		[dB(A)]	[dB(A)]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
WEA 01	1.314	1.331	69,6	Ja	22,49	98,5	3,01	73,49	2,53	3,00	0,00	0,00	79,01	0,00
Summe	22,49													

Schall-Immissionsort: IP 04 Zur Kehr 11, Hallschlag

WEA		Lautester Wert bis 95% Nennleistung												
Nr.	Abstand	Schallweg	Mittlere Höhe	Sichtbar	Berechnet	LWA	Dc	Adiv	Aatm	Agr	Abar	Amisc	A	Cmet
	[m]	[m]	[m]		[dB(A)]	[dB(A)]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
WEA 01	1.062	1.074	85,5	Ja	25,80	98,5	3,01	71,62	2,04	2,05	0,00	0,00	75,71	0,00
Summe	25,80													

Schall-Immissionsort: IP 05 Zur Kehr 13a, Hallschlag

WEA		Lautester Wert bis 95% Nennleistung												
Nr.	Abstand	Schallweg	Mittlere Höhe	Sichtbar	Berechnet	LWA	Dc	Adiv	Aatm	Agr	Abar	Amisc	A	Cmet
	[m]	[m]	[m]		[dB(A)]	[dB(A)]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
WEA 01	778	792	81,4	Ja	29,79	98,5	3,00	68,98	1,51	1,23	0,00	0,00	71,71	0,00
Summe	29,79													

Schall-Immissionsort: IP 06 Zur Kehr 15, Hallschlag

WEA		Lautester Wert bis 95% Nennleistung												
Nr.	Abstand	Schallweg	Mittlere Höhe	Sichtbar	Berechnet	LWA	Dc	Adiv	Aatm	Agr	Abar	Amisc	A	Cmet
	[m]	[m]	[m]		[dB(A)]	[dB(A)]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
WEA 01	1.042	1.050	78,8	Ja	25,88	98,5	3,00	71,43	2,00	2,21	0,00	0,00	75,63	0,00
Summe	25,88													

DECIBEL - Detaillierte Ergebnisse

Berechnung: Einwirkungsbereich/Zusatzbelastung: 1 x E-82 E2 - TES - Pmax = 1400 kW **Schallberechnungs-Modell:** ISO 9613-2 Deutschland 10,0 m/s

Schall-Immissionsort: IP 07 Zur Kehr 17, Hallschlag

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.284	1.290	74,7	Ja	23,04	98,5	3,01	73,21	2,45	2,80	0,00	0,00	78,46	0,00
Summe	23,04													

Schall-Immissionsort: IP 08 Zollhaus Kehr 1, Hallschlag

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.297	1.302	80,3	Ja	23,06	98,5	3,01	73,29	2,47	2,68	0,00	0,00	78,45	0,00
Summe	23,06													

Schall-Immissionsort: IP 09 Siedlung 7, Hallschlag

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.458	1.464	77,7	Ja	21,44	98,5	3,01	74,31	2,78	2,97	0,00	0,00	80,07	0,00
Summe	21,44													

Schall-Immissionsort: IP 10 Siedlung 8, Hallschlag

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.454	1.461	78,5	Ja	21,49	98,5	3,01	74,29	2,78	2,95	0,00	0,00	80,02	0,00
Summe	21,49													

Schall-Immissionsort: IP 11 Siedlung 18, Hallschlag

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.473	1.480	80,7	Ja	21,36	98,5	3,01	74,41	2,81	2,93	0,00	0,00	80,15	0,00
Summe	21,36													

Schall-Immissionsort: IP 12 Kehr 10, Hellenthal

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.464	1.470	69,1	Ja	21,18	98,5	3,01	74,35	2,79	3,18	0,00	0,00	80,32	0,00
Summe	21,18													

Schall-Immissionsort: IP 13 Kehr 12, Hellenthal

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.787	1.793	76,2	Ja	18,69	98,5	3,01	76,07	3,41	3,34	0,00	0,00	82,82	0,00
Summe	18,69													

Schall-Immissionsort: IP 14 Kehr 13, Hellenthal

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.936	1.941	83,9	Ja	17,74	98,5	3,01	76,76	3,69	3,32	0,00	0,00	83,76	0,00
Summe	17,74													

DECIBEL - Detaillierte Ergebnisse

Berechnung: Einwirkungsbereich/Zusatzbelastung: 1 x E-82 E2 - TES - Pmax = 1400 kW **Schallberechnungs-Modell:** ISO 9613-2 Deutschland 10,0 m/s

Schall-Immissionsort: IP 15 Kehr 14, Hellenthal

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.571	1.577	87,6	Ja	20,67	98,5	3,01	74,96	3,00	2,89	0,00	0,00	80,84	0,00
Summe	20,67													

Schall-Immissionsort: IP 16 Erlenphenn / Siedlung 2, Ormont

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.121	1.130	93,9	Ja	25,37	98,5	3,01	72,06	2,15	1,93	0,00	0,00	76,14	0,00
Summe	25,37													

Schall-Immissionsort: IP 17 Walenstraße 22, Ormont

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.276	1.288	86,8	Ja	23,39	98,5	3,01	73,19	2,45	2,48	0,00	0,00	78,12	0,00
Summe	23,39													

Schall-Immissionsort: IP 18 WA Ormont Nord

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.332	1.346	82,0	Ja	22,67	98,5	3,01	73,58	2,56	2,70	0,00	0,00	78,84	0,00
Summe	22,67													

Schall-Immissionsort: IP 19 Kyllstraße 15

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.362	1.375	80,6	Ja	22,35	98,5	3,01	73,77	2,61	2,78	0,00	0,00	79,16	0,00
Summe	22,35													

Schall-Immissionsort: IP 20 Walenstraße 8, Ormont

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.422	1.435	81,3	Ja	21,79	98,5	3,01	74,14	2,73	2,85	0,00	0,00	79,71	0,00
Summe	21,79													

Schall-Immissionsort: IP 21 Kyllstraße 9, Ormont

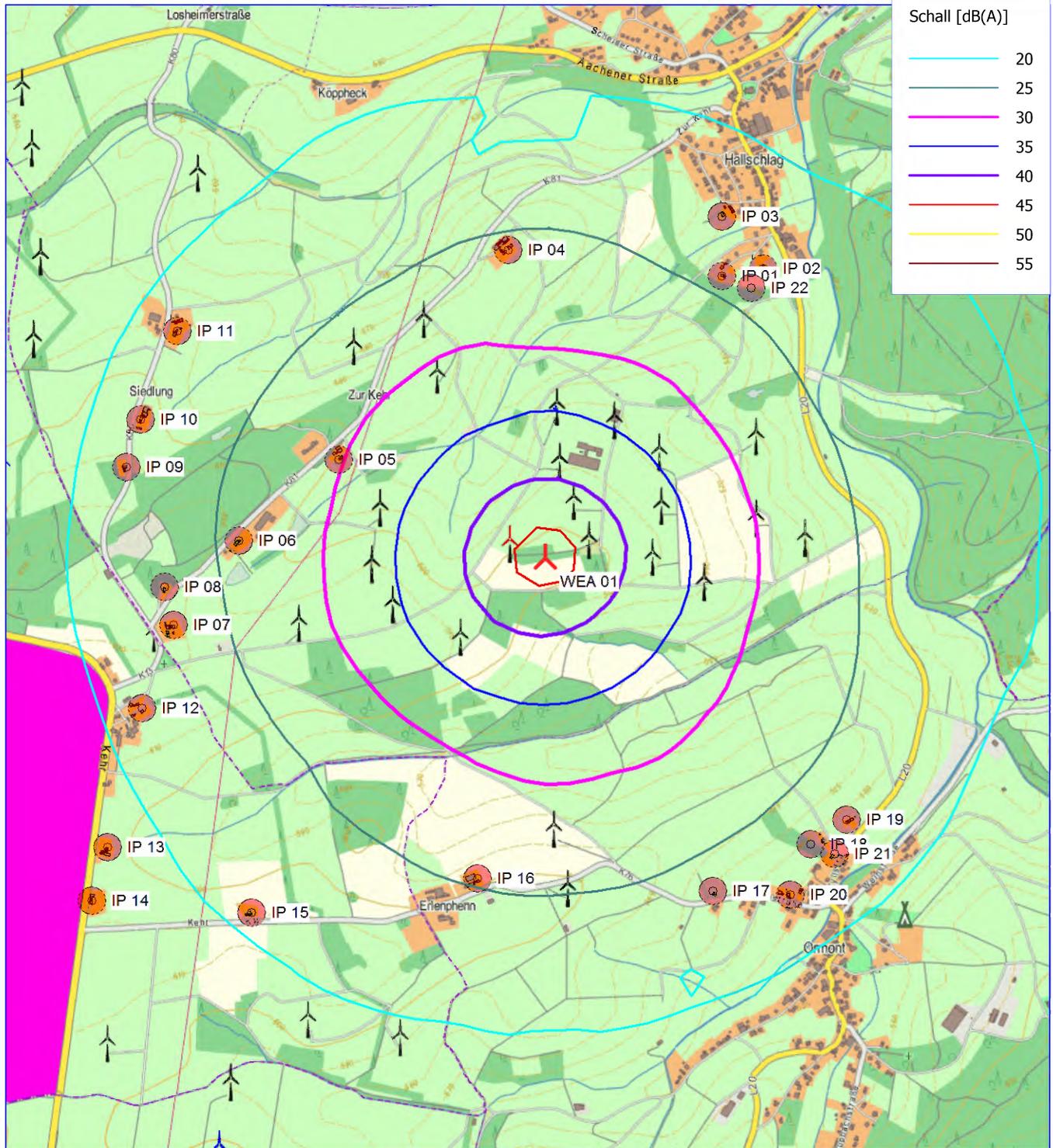
WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.413	1.427	78,7	Ja	21,81	98,5	3,01	74,09	2,71	2,90	0,00	0,00	79,70	0,00
Summe	21,81													

Schall-Immissionsort: IP 22 Häselpesch, Flur10, Flurstück 170/19, Hallschlag

WEA Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Lautester Wert bis 95% Nennleistung									
					Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]
WEA 01	1.161	1.179	65,5	Ja	23,95	98,5	3,01	72,43	2,24	2,88	0,00	0,00	77,55	0,00
Summe	23,95													

DECIBEL - Karte Lautester Wert bis 95% Nennleistung

Berechnung: Einwirkungsbereich/Zusatzbelastung: 1 x E-82 E2 - TES - Pmax = 1400 kW **Schallberechnungs-Modell:** ISO 9613-2 Deutschland 10,0 m/s



0 250 500 750 1000m

Karte: WMS Map gesamt , Maßstab 1:20.000, Mitte: UTM (north)-ETRS89 Zone: 32 Ost: 32.317.055 Nord: 5.579.576

⚡ Neue WEA

📍 Schall-Immissionsort

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

ENERCON E-82 E2 2.3 MW TES schallreduziert 1.400 kW

Schallvermessungsbericht:

KÖTTER Consulting Engineers KG, Prüfbericht 213498-02.01 vom 30.05.2014

Auszug aus dem Prüfbericht

Stamblatt "Geräusche", entsprechend den "Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte"

Rev. 18 vom 01. Februar 2008 (Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie e.V. Stresemannplatz 4, D-24103 Kiel)

Auszug aus dem Prüfbericht 213498-02.01 zur Schallemission einer Windenergieanlage vom Typ E-82 E2 mit TES im schallreduzierten 1.400 kW-Betrieb												
Allgemeine Angaben		Technische Daten (Herstellerangaben)										
Anlagenhersteller	Enercon GmbH	Nennleistung (reduziert):	1.400 kW									
Seriennummer:	825157	Rotordurchmesser:	82 m									
WEA-Standort (ca.):	33142 Büren OT Weiberg	Nabenhöhe über Grund:	138 m									
Standortkoordinaten:	RW: 3472774	Turmbauart:	Konisches Rohr									
	HW: 5709225	Leistungsregelung:	Pitch									
Ergänzende Daten zum Rotor (Herstellerangaben)		Ergänzende Daten zu Getriebe und Generator (Herstellerangaben)										
Rotorblatthersteller	Enercon	Getriebehersteller	entfällt									
Typenbezeichnung Blatt:	E-82-2 mit TES	Typenbezeichnung Getriebe:	entfällt									
Blatteinstellwinkel:	variabel	Generatorhersteller	Enercon									
Rotorblattanzahl:	3	Typenbezeichnung Generator:	E-82 E2									
Rotordrehzahlbereich:	6 – 15,8 U/min	Generatormenndrehzahl:	6 – 15,8 U/min									
Leistungskurve: Kennlinie E-82 E2 1,4 MW berechnet Rev 3.1												
	Referenzpunkt		Schallemissions-Parameter	Bemerkungen								
	Normierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	Elektrische Wirkleistung										
Schalleistungs-Pegel $L_{WA,P}$	6 ms^{-1}	993 kW	94,7 dB(A)									
	7 ms^{-1}	1.244 kW	95,8 dB(A)	(4)								
	8 ms^{-1}	1.368 kW	95,9 dB(A)									
	9 ms^{-1}	1.400 kW	95,5 dB(A)	(3), (4)								
	10 ms^{-1}	--	--	(2)								
	7,6 ms^{-1}	1.330 kW	96,0 dB(A)	(1)								
Tonzuschlag für den Nahbereich K_{TN}	6 ms^{-1}	993 kW	1 dB bei 105 Hz									
	7 ms^{-1}	1.244 kW	1 dB bei 107 Hz									
	8 ms^{-1}	1.368 kW	1 dB bei 114 Hz									
	9 ms^{-1}	1.400 kW	1 dB bei 114 Hz	(3), (5)								
	10 ms^{-1}	--	--	(2)								
	7,6 ms^{-1}	1.330 kW	1 dB bei 114 Hz	(1)								
Impulszuschlag für den Nahbereich K_{IN}	6 ms^{-1}	993 kW	0 dB									
	7 ms^{-1}	1.244 kW	0 dB									
	8 ms^{-1}	1.368 kW	0 dB									
	9 ms^{-1}	1.400 kW	0 dB	(3)								
	10 ms^{-1}	--	--	(2)								
	7,6 ms^{-1}	1.330 kW	0 dB	(1)								
Terz-Schalleistungspegel für $v_s = 7,6 ms^{-1}$ in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
$L_{WA,P}$	70,1*	73,5*	76,4*	79,3*	83,7	80,9**	81,6**	84,5**	84,8**	83,9**	84,0**	86,2**
Frequenz	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000	6.300	8.000	10.000
$L_{WA,P}$	85,0*	86,6**	84,6*	83,9*	82,6**	81,2**	79,3**	77,8**	73,9**	67,8**	66,1**	64,6**
Oktav-Schalleistungspegel für $v_s = 7,6 ms^{-1}$ in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000				
$L_{WA,P}$	78,8*	85,9*	88,6**	89,6**	89,8*	86,8*	82,3**	71,1**				

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht gilt nur in Verbindung mit der Herstellerbescheinigung vom 08.04.2014.

Die Angaben ersetzen nicht den o. g. Prüfbericht (insbesondere bei Schallimmissionsprognosen).

Bemerkungen:

- (1) Die normierte Windgeschwindigkeit von $v_s = 7,6 ms^{-1}$ entspricht 95 % der Nennleistung.
 - (2) Witterungsbedingt keine Daten bei WEA-Betrieb vorhanden
 - (3) Höchste gemessene normierte Windgeschwindigkeit $v_s = 9,0 m/s$
 - (4) Weniger als 18 Werte entsprechend 3 min Messzeit bei WEA-Betrieb, abweichend von [1].
 - (5) Weniger als zwei Minuten Messzeit bei WEA-Betrieb. Das Ergebnis ist ein Anhaltswert.
- * Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 6 dB, Pegelkorrektur um 1,3 dB
 ** Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 3 dB, keine Pegelkorrektur

Gemessen durch: KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG



Datum: 30.05.2014


i. V. Dipl.-Ing. Oliver Bunk


i. A. Markus Niehues

4.1. UMWELT DECIBEL - Schallberechnung

4.1.0 Einführung in DECIBEL

DECIBEL ist der Name eines Berechnungsmoduls, das den Schalldruckpegel von WEA an Schall-Immissionsorten (IP, z.B. Höfen, Wohngebäuden, Wohngebiete, Siedlungen) ermittelt und die Einhaltung der Immissionsrichtwerte prüft. Dabei können existierende Vorbelastungen berücksichtigt sowie die Einhaltung notwendiger Abstände zu den Immissionsrichtwerten, maximal zulässiger Zusatzbelastungen sowie räumlicher Mindestabstände geprüft werden.

Weiterhin bestimmt DECIBEL Linien gleichen Schallniveaus (Isophonen) für einen geplanten Windpark und stellt diese grafisch auf einer Karte dar. Auf diese Weise lassen sich schallkritische Gebiete überprüfen und z.B. Änderungen in der Aufstellungsgeometrie oder Anlagenwahl vornehmen.

Eine Stärke von WindPRO ist die grafische Eingabe der Objekte (WEA, Schall-Immissionsorte) direkt auf dem Bildschirm, auf dem eine Hintergrundkarte dargestellt werden kann. Die Anwendung dieser Kartenfunktion bietet wesentliche Vorteile in der Projektierungsarbeit:

- Die einzuhaltenden Grenzabstände von jedem einzelnen Schall-Immissionsort lassen sich in Form von Restriktionsflächen auf dem Bildschirm anzeigen und die WEA dadurch schnell in den freien Flächen platzieren.
- Die berechneten Isophonen in der Umgebung der WEA können auf der Karte in individueller Farbgebung angezeigt und ausgedruckt werden. So hat der Anwender eine Kontrolle, ob an allen Wohngebäuden der Schallpegel unter den Grenzwerten liegt.

4.1.1 Die DECIBEL Berechnungsmethoden

Die Geräuschemission einer Windenergieanlage wird durch den Schalleistungspegel L_W beschrieben.

Schalleistungspegel L_W - ist der maximale Wert in dB / dB (A-bewertet), der von einer Geräusch- oder Schallquelle (Emissionspunkt, WEA) abgestrahlt wird. Der Wert kann als Oktavband (d.h. die Einzelpegel unterschiedlicher Frequenzbänder, die das Gesamtgeräusch ausmachen) oder als 500Hz-Mittenpegel angegeben werden. WindPRO kann mit beiden Arten von Schalleistungspegel-Angaben rechnen.

Der Lärm breitet sich kreisförmig um die Schallquelle aus und nimmt mit seinem Abstand zu ihr (logarithmisch) hörbar ab. Die Luft und der Boden absorbieren den Schall. Weitere Geräuschquellen wirken Lärm verstärkend.

Schalldruckpegel L_S - ist der 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), berechnet oder einfach auf natürliche Art wahrgenommen werden kann (z.B. durch das menschliche Ohr). Der Schalldruckpegel unter Berücksichtigung von Zuschlägen wird *Beurteilungspegel* genannt und bildet die Grundlage für die Beurteilung der Geräuschemissionen zur Überprüfung, ob die Immissionsrichtwerte eingehalten werden.

Die Berechnung der Lärmimmissionen einer oder mehrerer WEA an einem bestimmten Immissionsort bedarf folgender Informationen und Eingabedaten:

- WEA-Platzierung (X,Y,Z-Koordinaten)
- Nabenhöhe der WEA einschl. des Schalleistungspegels ($L_{WA,ref}$) für eine bestimmte Windgeschwindigkeit, evtl. in Oktavbändern
- Angabe eines Einzelton- oder / und Impulszuschlages (falls vorhanden),
- Koordinaten der Schall-Immissionsorte um die WEA
- Grenzwerte, die in den entsprechenden Gebieten eingehalten werden müssen, gegebenenfalls mit Informationen zum Hintergrundgeräusch und zur zulässigen Zusatzbelastung
- Das zu verwendende Berechnungsmodell
- Wenn die Geländeform zwischen WEA und Schall-Immissionsort berücksichtigt werden soll: ein digitales Geländemodell in Form eines Linienobjekts

Es sind mehrere unterschiedliche Berechnungsmodelle in WindPRO implementiert, die in der Regel den Anforderungen eines bestimmten Landes oder einer bestimmten Region Rechnung tragen. Wenn keine der Länderspezifischen Modelle verwendet werden können, kann die allgemeine Berechnungsnorm *ISO 9613-2 Allgemein* mit individuellen Einstellungen den landesüblichen Anforderungen angepasst werden.

Die Wahl des Berechnungsmodells entscheidet darüber, welche Eingabemöglichkeiten existieren.

4.1.1.1 Die Internationale Berechnungsvorschrift DIN ISO 9613-2 Allgemein

Die ISO 9613-2 "Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien", Teil 2. beschreibt die Ausbreitungsberechnung des Schalls im Freien (siehe Kapitel 4.1.4).

Beim Start einer Berechnung nach diesem Modell kann eine Vielzahl von Parametern angepasst werden. Die verfügbaren Optionen sind in der folgenden Abbildung zu sehen:

Windgeschwindigkeit:

Feste Windgeschwindigkeit: Die Berechnung wird für eine bestimmte Windgeschwindigkeit, die angegeben werden muss, durchgeführt.

Windgeschwindigkeits-Bereich: Die Berechnung wird für einen Windgeschwindigkeitsbereich, der durch Start (Von), Ende (Bis) und eine Schrittweite charakterisiert wird. WindPRO benötigt Schalleistungspegel für die ausgewählten Windgeschwindigkeiten, kann diese jedoch auch basierend auf existierenden Daten extra- oder interpolieren.

95% der Nennleistung: Die Berechnung wird für den Schalleistungspegel der WEA bei 95% der Nennleistung durchgeführt. Wenn dieser Wert nicht verfügbar ist, wird der Anwender zur manuellen Eingabe aufgefordert.

95% der Nennleistung oder Windgeschw.: Wie oben, aber WindPRO wählt selbst einen Ersatz-Wert aus, wenn keine Daten für 95% der Nennleistung vorliegen. Die Windgeschwindigkeit für den Ersatzwert wird vom Anwender angegeben. Wenn auch keine Schalldaten für diesen Wert vorliegen, wird der Anwender zur manuellen Eingabe aufgefordert.

Lautester Wert bis 95% Nennleistung: WindPRO wählt den lautesten verfügbaren Schalleistungspegel aus allen Windgeschwindigkeiten und dem Pegel für 95% der Nennleistung aus.

Oktavbanddaten benötigt: Wenn ausgewählt, wird die Schallausbreitungsberechnung in jedem Fall für Oktavband-Schalleistungspegel durchgeführt. Liegen diese für die benötigten Windgeschwindigkeiten nicht vor,

wird der Anwender zur manuellen Eingabe aufgefordert. Dabei kann auch ein Standard-Oktavband erzeugt werden.

Ist unter **Bodeneffekt** (s.u.) das **Standardverfahren** ausgewählt, so steht diese Option nicht zur Verfügung, da diese Methode immer Oktavbanddaten benötigt.

Nur bestimmte Oktavbänder: Wenn ausgewählt, können Ergebnisse nur für bestimmte Oktavbänder berechnet werden, z.B. für den Fall, dass für einzelne Oktavbänder spezielle Immissionsrichtwerte gelten.

Bodeneffekt (A_{gr})

Keiner: Es wird keine Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts für die Berechnung angenommen. Dies entspricht in etwa sehr glatten Oberflächen z.B. Offshore.

Standardverfahren: Die Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts wird nach dem in ISO 9613-2 beschriebenen Standardverfahren berechnet. Es muss ein **Bodenfaktor** für die Oberfläche angegeben werden, wobei 0 einer harten und 1 einer porösen Oberfläche entspricht. Der Standardwert ist 1, es wird jedoch zunehmend gefordert, eher einen Wert um 0 zu verwenden. In jedem Fall müssen bei der Bewertung lokale Gegebenheiten berücksichtigt werden. Die Schalleistungspegel müssen als Oktavbänder vorliegen, wenn diese nicht verfügbar sind, kann WindPRO ein Standard-Oktavband auf den Schalleistungspegel der WEA skalieren. Diese Methode soll entsprechend DIN ISO 9613-2 für flaches oder gleichmäßig geneigtes Gelände verwendet werden. Wenn diese Bedingungen nicht zutreffen, sollte das **Alternative Verfahren** verwendet werden.

Alternatives Verfahren: Die Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts wird nach dem in ISO 9613-2 beschriebenen alternativen Verfahren berechnet. Dieses Verfahren verwendet die Orographie des Geländes um die Bodendämpfung zu berechnen. Ein Tal zwischen WEA und Immissionsort hat eine geringe Dämpfung zur Folge, wogegen ein Hügel eine hohe Dämpfung zur Folge hat. Wenn kein Digitales Geländemodell in WindPRO eingegeben wurde, wird eine konstante Oberfläche zwischen WEA und Immissionsort angenommen. Dieses Verfahren soll verwendet werden wenn:

- nur der A-gewichtete Schalleistungspegel benötigt wird
- vorwiegend poröser Boden vorliegt und
- der Schall kein reiner Ton ist.

Beide Methoden werden in Kapitel 4.1.4 genauer beleuchtet.

Meteorologischer Koeffizient: Ein Wert für den Meteorologischen Koeffizienten zwischen 0 und 5 kann eingegeben werden. Der Meteorologische Koeffizient soll die Dämpfung aufgrund von speziellen Meteorologischen Bedingungen widerspiegeln. In der Systematik der ISO 9613-2 ist vorgesehen, dass dieser Wert Regions- und Anlassspezifisch seitens der beurteilenden Behörden vorgegeben werden kann. In der Regel ist ein Wert von 0 anzusetzen, was einer konservativen Betrachtung entspricht.

Art der Anforderung in der Berechnung

WEA-Geräusche vs. Schallrichtwert: Die Immissionen der WEA oder der Windfarm werden an jedem Schall-Immissionsort mit den dort angegebenen Immissionsrichtwert verglichen. Wenn die Berechnung für mehrere Windgeschwindigkeiten durchgeführt wird, kann dies ein allgemeiner Wert sein oder für jede Windgeschwindigkeit ein eigener Wert. Dies ist die Standardmethode in Ländern wie Deutschland, Dänemark, Schweden und den Niederlanden.

WEA+Hintergrundgeräusch vs. Hintergrundgeräusch+Zulässige Überschreitung: Um diese Methode anzuwenden, muss im Vorfeld der Berechnung eine Messung oder anderweitige Ermittlung der Hintergrundgeräusche am Immissionsort durchgeführt werden (ggf. für verschiedene Windgeschwindigkeiten). Die berechnete Gesamtbelastung (Zusatzbelastung durch die WEA plus Hintergrundgeräusch) darf einen bestimmten Abstand zum Hintergrundgeräusch nicht überschreiten. Dieses Verfahren ist z.B. in Frankreich gebräuchlich.

WEA-Geräusch vs. Hintergrundgeräusch + Zulässige Überschreitung: Ein Grenzwert, der durch das in einer Messung bestimmte Hintergrundgeräusch zuzüglich einer zulässigen Überschreitung besteht, darf durch das WEA-Geräusch nicht überschritten werden. Diese Variante wird z.B. in Großbritannien und Österreich verwendet.

Schalleistungspegel in der Berechnung

Schallwerte sind L_{WA} -Werte (Mittlere Schalleistungspegel; Standard): Dies ist die Standardeinstellung. Schalleistungspegel, Hintergrundgeräusch und Berechnungsergebnisse werden als mittlere Schalleistungspegel (L_{WA}) angegeben.

Schallwerte sind L_{90} -Werte (tatsächlicher Pegel 90% der Zeit darüber): Mit dieser speziellen Einstellung werden alle Schallwerte als L_{90} -Werte betrachtet, d.h. der Pegel, der 90% der Zeit überschritten wird. Hintergrundgeräusche müssen als L_{90} -Wert angegeben werden, für die WEA werden vom L_{WA} , der im WEA-Katalog vorhanden ist, 2 dB(A) abgezogen, was eine gängige Annäherung an den L_{90} -Pegel darstellt. Auf den Berichten erscheint anstelle des L_{WA} der L_{90} . Diese Einstellung wird z.B. in Großbritannien verwendet.

Einzelöne

Einzelton- und Impulszuschläge werden zu Schallwerten addiert: Dies erlaubt eine Berücksichtigung von WEA-Typ spezifischen Einzelton- und Impulszuschlägen

Einzeltonzuschläge werden von Anforderung abgezogen: Hierbei wird ein pauschaler Einzeltonzuschlag für alle verwendeten WEA-Typen vom Immissionsrichtwert des Schall-Immissionsorts abgezogen.

Aufpunkthöhe ü. Gr.: Hier kann eine Höhe über Grund für den Schall-Immissionsort angegeben werden. Unterschiedliche Normen empfehlen unterschiedliche Höhen, typische Werte sind 1,5m, 4m oder 5m. Wenn „Aufpunkthöhe in Immissionsort-Objekt hat Vorrang vor dieser Angabe“ angekreuzt ist, können individuelle Höhen für die einzelnen Schall-Immissionsorte verwendet werden.

Verlangte Unter- oder zulässige Überschreitung des Schallrichtwerts: Dies ermöglicht es, eine zusätzliche Anpassung des Schall-Immissionsrichtwerts vorzunehmen, z.B. wenn von Behörden ein Unsicherheitszuschlag von 2 dB(A) auf die berechneten Pegel verlangt wird, kann hier -2 dB(A) eingetragen werden, auf den Berichtsausdrucken wird dann der Schallrichtwert als „45 – 2 = 43 dB(A)“ angegeben.

Luftdämpfung

Die ISO 9613-2 gibt bestimmte Luftdämpfungskoeffizienten für die unterschiedlichen Oktavbänder vor. Ist es notwendig, diese an besondere Anforderungen oder Bedingungen anzupassen, so kann das hier getan werden. Nach Klick auf den Knopf erscheint ein Fenster, in dem entweder die Dämpfungskoeffizienten anderer Schallmodelle ausgewählt oder durch die Auswahl *Custom values* die Werte individuell angepasst werden können.

4.1.1.2 ISO 9613-2 Deutschland

Das Berechnungsmodell ISO 9613-2 Deutschland basiert auf dem ISO 9613-2-Modell, wobei die variablen Berechnungsparameter auf die Anforderungen nach den *Hinweisen zum Schallimmissionsschutz bei Windenergieanlagen* der *Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)* zugeschnitten sind.

Berechnungseinstellungen

Die Abbildung unten zeigt die Berechnungseinstellungen für die *ISO 9613-2 Deutschland*. Die ausgegrauten Felder sind fest eingestellt und können nicht geändert werden. Für eine genaue Beschreibung der Felder siehe das Kapitel *ISO 9613-2 Allgemein* (4.1.1.1).

Windgeschwindigkeit: Es wird der lauteste Schalleistungspegel bis Erreichen von 95% der Nennleistung verwendet

Oktavband-Daten benötigt: Es werden keine Oktavbanddaten verwendet.

Bodendämpfung: Das alternative Verfahren zur Bodendämpfung wird verwendet.

Meteorologischer Koeffizient C_0 : Der Meteorologische Koeffizient kann zwischen 0 und 5 dB(A) gewählt werden. Übliche Werte liegen zwischen 0 und 2 dB(A).

Art der Anforderung in der Berechnung: Das Geräusch der WEA darf nicht lauter sein als der im Schall-Immissionsort-Objekt festgelegte Wert.

Schalleistungspegel in der Berechnung: Alle Schallwerte sind L_{WA} -Werte, d.h. mittlere A-gewichtete Schalldruckpegel.

Einzeltöne: Einzelton- und Impulszuschläge werden zu Schallwerten addiert. Die Werte kommen aus dem WEA-Katalog und liegen üblicherweise bei null, 3 oder 6 dB(A).

Aufpunkthöhe ü. Gr.: Standardmäßig beträgt diese 5 m über Grund, dieser Wert kann jedoch angepasst werden.

Verlangte Unter- oder zulässige Überschreitung des Schallrichtwerts: Hier kann vom Anwender ein Wert eingegeben werden

Schall-Immissionsorte

Die gesetzliche Grundlage für die Problematik 'Emission-Transmission-Immission' bildet das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchV, 1974, 1990). Bauliche Anlagen müssen von den Umwelt- bzw. Gewerbeämtern anhand der 'Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm' (kurz: TA-Lärm, 1998) auf ihre Verträglichkeit gegenüber der Umwelt und dem Menschen geprüft werden. Die Richtlinien für die Beurteilung der Lärmproblematik (und damit für die Bemessung und Bewertung) bilden die in Abb. 1 erwähnten Normen nach DIN und VDI und seit November 1998 zusätzlich die ISO 9613-2 (siehe oben). Die Immissionsschutzbehörde, als Teil des Umwelt- bzw. Gewerbeaufsichtsamtes, beurteilt die Lärmimmissionen baulicher Anlagen.

In der Baunutzungsverordnung (BauNVO, 1990) und TA-Lärm sind die Baugebietsarten nach einer Immissionsschutz-Rangfolge festgelegt. So gelten folgende Grenzwerte (nachts):

35 dB für reines Wohngebiet oder Kurgebiet

- 40 dB für allgemeines Wohngebiet (vorwiegend Wohnungen)
- 45 dB für Kern-, Misch- und Dorfgebiete ohne Überwiegen einer Nutzungsart
- 50 dB für Gewerbegebiet (vorwiegend gewerbliche Anlagen)
- 70 dB für Industriegebiet

In der Regel sind für WEA-Projekte im Außenbereich Grenzwerte von 45 dB (Mischgebiete) anzusetzen. Ob und in welcher Höhe Einzeltonzuschläge berücksichtigt oder Sicherheitsabschläge getroffen werden müssen, hängt von den lokalen und den in den Bundesländern geltenden Regelungen ab.

4.1.1.3 ISO 9613-2 Großbritannien

Das Berechnungsmodell ISO 9613-2 Großbritannien basiert auf dem ISO 9613-2-Modell, wobei die variablen Berechnungsparameter auf die Anforderungen der Empfehlung ETSU-R-97 („The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms“) zugeschnitten sind.

Berechnungseinstellungen

Die Abbildung unten zeigt die Berechnungseinstellungen für die *ISO 9613-2 Großbritannien*. Die ausgegrauten Felder sind fest eingestellt und können nicht geändert werden. Für eine genaue Beschreibung der Felder siehe Kapitel ISO 9613-2 Allgemein (4.1.1.1).

The screenshot shows the 'Schallberechnungs-Modell' window with the following settings:

- Model: ISO 9613-2 Großbritannien
- Windgeschwindigkeit: Von 4,0 m/s bis 12,0 m/s, Schrittweite 1,0 m/s
- Oktavband-Daten benötigt
- Nur bestimmte Oktavbänder
- Bodeneffekt (Agr): Standardverfahren, Bodenfaktor: 1,0 [0-1] 0: Harter Boden, 1: Poröser Boden
- Meteorologischer Koeffizient C₀: 0,0 dB. Empfohlenes Maximum: 2 dB
- Art der Anforderung in der Berechnung: 3. WEA-Geräusch vs. Hintergrundger. +Zuläss. Überschreitung (UK, AT etc.)
- Schallleistungspegel in der Berechnung: Schallwerte sind L₉₀-Werte (tatsächlicher Pegel 90% der Zeit darüber)
- Schallwerte aus dem Katalog werden automatisch um 2 dB(A) reduziert
- Einzelöne (Anmerkung: Nur verwendet wenn mindestens eine WEA Einzelöne hat): Einzelton- und Impulszuschläge werden zu Schallwerten addiert
- Aufpunkthöhe ü Gr.: 4,0 m, Aufpunkthöhe in Immissionsort-Objekt hat Vorrang vor dieser Angabe
- verlangte Unter- (negativ) oder zulässige Überschreitung (positiv) des Schallrichtwerts: 0,0 dB(A)
- Details anzeigen
- Luftdämpfung

Windgeschwindigkeit: Der Schallleistungspegel bei Windgeschwindigkeiten zwischen 4 und 12 m/s in 1-m/s-Schritten wird verwendet. Wenn diese Daten nicht vollständig vorliegen, so wird der Anwender beim Start der Berechnung zur Eingabe aufgefordert.

Oktavband-Daten benötigt: Oktavbanddaten werden benötigt. Wenn diese Daten nicht vollständig vorliegen, so wird der Anwender beim Start der Berechnung zur Eingabe aufgefordert.

Bodendämpfung: Das Standardverfahren zur Bodendämpfung wird verwendet. Ein Wert für die Porosität G muss eingegeben werden. Üblicherweise wird ein Wert von G=1 verwendet.

Meteorologischer Koeffizient C₀: Der Meteorologische Koeffizient kann zwischen 0 und 5 dB(A) gewählt werden. Übliche Werte liegen zwischen 0 und 2 dB(A).

Art der Anforderung in der Berechnung: Das Geräusch der WEA wird an jedem Rezeptor für jede der untersuchten Windgeschwindigkeiten mit dem dort gemessenen Hintergrundgeräusch verglichen und darf dieses nicht um mehr als einen bestimmten Wert (normalerweise 5 dB) überschreiten.

4.1.4 Theoretischer Hintergrund der Schallausbreitungs-Modelle

4.1.4.1 Die Internationale Norm ISO 9613-2

Die ISO 9613-2 "Attenuation of sound during propagation outdoors, Part 2. A general method of calculation" beschreibt die Berechnung der Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien.

Dieser Text beschreibt den theoretischen Hintergrund der ISO 9613-2, wie sie in WindPRO implementiert ist.

Berechnungsverfahren ohne Oktavbanddaten

Normalerweise wird bei der schalltechnischen Vermessung von Windenergieanlagen der A-bewertete Schalleistungspegel in Form des 500Hz-Mittenpegels ermittelt. Daher werden die Dämpfungswerte bei 500 Hz verwendet, um die resultierende Dämpfung für die Schallausbreitung abzuschätzen. Der Dauerschalldruckpegel jeder einzelnen Quelle am Immissionspunkt berechnet sich nach der ISO 9613-2 dann wie folgt:

$$L_{AT}(DW) = L_{WA} + D_C - A - C_{met} \quad (1)$$

L_{WA} : Schalleistungspegel der Punktschallquelle A-bewertet.

D_C : Richtwirkungskorrektur für die Quelle ohne Richtwirkung (0 dB) aber unter Berücksichtigung der Reflexion am Boden, D_Ω (Berechnung nach dem alternativen Verfahren)

$$D_C = D_\Omega - 0 \quad (2)$$

D_Ω beschreibt die Reflexion am Boden und berechnet sich nach:

$$D_\Omega = 10 \lg\{1 + [d_p^2 + (h_s - h_r)^2] / [d_p^2 + (h_s + h_r)^2]\} \quad (3)$$

Mit:

h_s : Höhe der Quelle über dem Grund (Nabenhöhe)

h_r : Höhe des Immissionspunktes über Grund (in WindPRO 5m)

d_p : Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger, projiziert auf die Bodenebene. Der Abstand bestimmt sich aus den x und y Koordinaten der Quelle (Index s) und des Immissionspunkts (Index r):

$$d_p = \sqrt{(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2} \quad (4)$$

A: Dämpfung zwischen der Punktquelle (WEA-Gondel) und dem Immissionspunkt, die während der Schallausbreitung vorhanden ist. Sie bestimmt sich aus den folgenden Dämpfungsarten:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (5)$$

A_{div} : Dämpfung aufgrund der geometrischen Ausbreitung

$$A_{div} = 20 \lg(d/1m) + 11 \text{ dB} \quad (6)$$

d: Abstand zwischen Quelle und Immissionspunkt.

A_{atm} : Dämpfung durch die Luftabsorption

$$A_{atm} = \alpha_{500} d / 1000 \quad (7)$$

α_{500} : Absorptionskoeffizient der Luft (= 1,9 dB/km)

Dieser Wert für α_{500} bezieht sich auf die günstigsten Schallausbreitungsbedingungen (Temperatur von 10° und relativer Luftfeuchte von 70%).

A_{gr} : Bodendämpfung

$$A_{gr} = (4,8 - (2h_m / d) [17 + (300 / d)]) \quad (8)$$

Wenn $A_{gr} < 0$ dann ist $A_{gr} = 0$

h_m : mittlere Höhe (in Meter) des Schallausbreitungsweges über dem Boden:

Wenn in WindPRO kein digitales Geländemodell vorhanden ist

$$h_m = (h_s + h_r) / 2 \quad (9a)$$

h_s : Quellhöhe (Nabenhöhe); h_r : Aufpunkthöhe 5 m

Bei vorliegendem digitalem Geländemodell wird die Fläche F zwischen dem Boden und dem Sichtstrahl zwischen Quelle (Gondel) und Aufpunkt berechnet. Die mittlere Höhe berechnet sich dann mit:

$$h_m = F / d \quad (9b)$$

A_{bar} : Dämpfung aufgrund der Abschirmung (Schallschutz), in WindPRO kann kein Schallschutz angegeben werden: $A_{bar} = 0$.

A_{misc} : Dämpfung aufgrund verschiedener weiterer Effekte (Bewuchs, Bebauung, Industrie). In WindPRO gehen diese Effekte nicht in die Prognose ein: $A_{misc} = 0$.

C_{met} : Meteorologische Korrektur, die durch die folgende Gleichung bestimmt wird:

$$C_{met} = 0 \quad \text{für } d_p < 10 (h_s + h_r)$$

$$C_{met} = C_0 [1 - 10(h_s + h_r)/d_p] \quad \text{für } d_p > 10 (h_s + h_r)$$

d_p : Abstand zwischen Quelle und Aufpunkt

Faktor C_0 kann, abhängig von den Wetterbedingungen, zwischen 0 und 5 dB liegen, es ist jedoch in der Regel den beurteilenden Behörden vorbehalten, diesen Wert zu bestimmen.

Berechnungsverfahren mit Oktavbanddaten

Nach der ISO 9613-2 kann die Prognose auch über das Oktavspektrum des Schalleistungspegels der WEA durchgeführt werden. Wird im WEA-Katalog das Oktavspektrum angegeben, so kann es in den WEA-Eigenschaften zur Verwendung ausgewählt werden. Im Folgenden sind nur die Unterschiede zu der 500 Hz Mittenfrequenz bezogenen Berechnung aufgezeigt. Der resultierende Schalldruckpegel L_{AT} berechnet sich dann mit:

$$L_{AT}(DW) = 10 \lg [10^{0,1L_{AT}(63)} + 10^{0,1L_{AT}(125)} + 10^{0,1L_{AT}(250)} + 10^{0,1L_{AT}(500)} + 10^{0,1L_{AT}(1k)} + 10^{0,1L_{AT}(2k)} + 10^{0,1L_{AT}(4k)} + 10^{0,1L_{AT}(8k)}] \quad (10)$$

Mit:

L_{AT} : A-bewerteter Schalldruckpegel der einzelnen Schallquelle bei den unterschiedlichen Mittenfrequenzen (63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz)

Der A-bewertete Schalldruckpegel L_{AT} bei den Mittenfrequenzen jeder einzelnen Schallquelle berechnet sich aus:

$$L_{AT}(DW) = (L_W + A_f) + D_C - A \quad (11)$$

Mit:

L_W : Oktav-Schalleistungspegel der Punktschallquelle nicht A-bewertet. $L_W + A_f$ entspricht dem A-bewerteten Oktav-Schalleistungspegel L_{WA} nach IEC 651.

A_f : genormte A-Bewertung nach IEC 651 (vgl. WindPRO-Katalog Schalldaten, A-bewertet), WindPRO ermittelt nach diesem Verfahren den A-bewerteten Schallpegel.

D_c : Richtwirkungskorrektur für die Quelle ohne Richtwirkung (0 dB) aber mit Reflexion am Boden. Wenn das Standardverfahren zur Bodendämpfung verwendet wird, ist $D_\Omega = 0$. Wenn die Alternative Methode verwendet wird, entspricht D_c dem Fall ohne Oktavbanddaten.

A: Oktavdämpfung, Dämpfung zwischen Punktquelle und Immissionspunkt. Sie bestimmt sich wie oben aus den folgenden Dämpfungsarten:

$$A = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{gr}} + A_{\text{bar}} + A_{\text{misc}} \quad (12)$$

A_{div} : Dämpfung aufgrund der geometrische Ausbreitung

A_{atm} : Dämpfung aufgrund der Luftabsorption, abhängig von der Frequenz

A_{gr} : Bodendämpfung

A_{bar} : Dämpfung aufgrund der Abschirmung (Schallschutz), worst case ohne $A_{\text{bar}} = 0$.

A_{misc} : Dämpfung aufgrund verschiedener weiterer Effekte (Bewuchs, Bebauung, Industrie; worst case $A_{\text{misc}} = 0$)

Bei der Oktavbandbezogenen Ausbreitung ist die Dämpfung durch die Luftabsorption von der Frequenz abhängig mit:

$$A_{\text{atm}} = \alpha_f d / 1000 \quad (13)$$

mit:

α_f : Absorptionskoeffizient der Luft für jedes Oktavband

Der Absorptionskoeffizient α_f ist stark abhängig von der Schallfrequenz, der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchte. Die ungünstigsten Werte bestehen bei einer Temperatur von 10° und 70% Rel. Luftfeuchte nach folgender Tabelle:

Bandmittenfrequenz, [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
α_f , [dB/km]	0,1	0,4	1	1,9	3,7	9,7	32,8	117

Zur Berechnung der Bodendämpfung A_{gr} existieren zwei Möglichkeiten: das alternative Verfahren, das oben im Kapitel über das Berechnungsverfahren ohne Oktavbanddaten dargelegt wurde, und das Standardverfahren. Das Standardverfahren berechnet A_{gr} wie folgt:

$$A_{\text{gr}} = A_s + A_r + A_m \quad (14)$$

Mit

A_s : Die Dämpfung für die Quellregion bis zu einer Entfernung von $30h_s$, maximal aber d_p . Diese Region wird mit dem Bodenfaktor G_s beschrieben, der die Porosität der Oberfläche als Wert zwischen 0 (hart) und 1 (porös) wiedergibt.

A_r : Aufpunkt-Region bis zu einer Entfernung von $30h_r$, maximal aber d_p . Diese Region wird mit dem Bodenfaktor G_r beschrieben

A_m : Die Dämpfung der Mittelregion. Wenn die Quell- und die Aufpunkt-Region überlappen, gibt es keine Mittelregion. Diese Region wird mit dem Bodenfaktor G_m beschrieben

In WindPRO wird nur ein Parameter für G (Porosität) verwendet:

$$G = G_s = G_r = G_m \quad (15)$$

Diese Porosität wird in den Berechnungseinstellungen ausgewählt.

Der unten wiedergegebene Auszug aus der DIN ISO 9613-2 beschreibt die Berechnung der drei Bodendämpfungen.

Nominal midband frequency Hz	A_s or A_r ¹⁾ dB	A_m dB
63	- 1,5	- 3q ²¹
125	- 1,5 + G × d'(h)	- 3q(1 - G _m)
250	- 1,5 + G × b'(h)	
500	- 1,5 + G × c'(h)	
1 000	- 1,5 + G × d(h)	
2 000	- 1,5(1 - G)	
4 000	- 1,5(1 - G)	
8 000	- 1,5(1 - G)	
NOTES		
$d'(h) = 1,5 + 3,0 \times e^{-0,12(h-5)^2} (1 - e^{-d_p/150}) + 5,7 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-2,8 \times 10^{-6} \times d_p^2})$ $b'(h) = 1,5 + 8,6 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-d_p/150})$ $c'(h) = 1,5 + 14,0 \times e^{-0,46h^2} (1 - e^{-d_p/150})$ $d'(h) = 1,5 + 5,0 \times e^{-0,9h^2} (1 - e^{-d_p/150})$		
1) For calculating A_s , take $G = G_s$ and $h = h_s$. For calculating A_r , take $G = G_r$ and $h = h_r$. See 7.3.1 for values of G for various ground surfaces. 2) $q = 0$ when $d_p \leq 30(h_s + h_r)$ $q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p}$ when $d_p > 30(h_s + h_r)$ where d_p is the source-to-receiver distance, in metres, projected onto the ground planes.		

Langzeit-Mittelungspegel (Resultierender Beurteilungspegel)

Liegen den Berechnungen n Schallquellen (u.a. Windpark) zugrunde, so überlagern sich die einzelnen Schalldruckpegel L_{ATi} entsprechend der Abstände zum betrachteten Immissionspunkt. In der Bewertung der Lärmimmission nach TA-Lärm ist der aus n Schallquellen resultierende Schalldruckpegel L_{AT} unter Berücksichtigung der Zuschläge nach der folgenden Gleichung zu ermitteln:

$$L_{AT}(LT) = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{ATi} - C_{met} + K_{Ti} + K_{ji})} \quad (14)$$

L_{AT} : Beurteilungspegel am Immissionspunkt

L_{ATi} : Schallimmissionspegel an dem Immissionspunkt einer Emissionsquelle i

i: Index für alle Geräuschquellen von 1-n

K_{Ti} : Zuschlag für Tonhaltigkeit einer Emissionsquelle i, abhängig von den lokalen Vorschriften

K_{ji} : Zuschlag für Impulshaltigkeit einer Emissionsquelle i abhängig von den lokalen Vorschriften

C_{met} : Meteorologische Korrektur. Diese bestimmt sich nach den Gleichungen:

$$C_{met} = 0 \text{ für } d_p < 10 (h_s + h_r)$$

$$C_{met} = C_0 [1 - 10(h_s + h_r)/d_p] \text{ für } d_p > 10,$$

d_p : Abstand zwischen Quelle und Immissionspunkt projiziert auf den Boden.

Faktor C_0 kann, abhängig von den Wetterbedingungen, zwischen 0 und 5 dB liegen, es ist jedoch in der Regel den beurteilenden Behörden vorbehalten, diesen Wert zu bestimmen.