



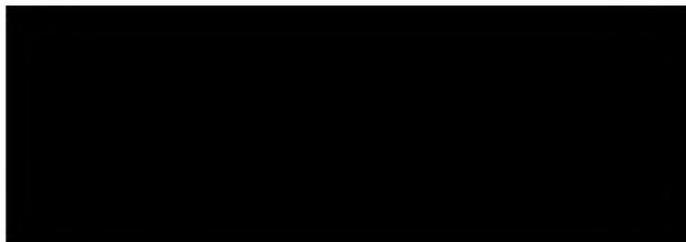
# Schallgutachten

006-11-0245-03.04

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

**Illerich II**

**Auftraggeber:**



**Erstellt am: 08.04.2015**

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

# Inhalt

<b>INHALT</b> .....	<b>2</b>
<b>1 AUFGABENSTELLUNG</b> .....	<b>3</b>
<b>2 SCHALLGUTACHTEN</b> .....	<b>4</b>
2.1 PROGNOSEVERFAHREN .....	4
2.2 DATEN DER BEURTEILTEN WINDENERGIEANLAGE .....	5
2.3 DATEN DER BEURTEILTEN IMMISSIONSORTE .....	6
2.4 ZUSATZBELASTUNG / PROGNOSEERGEBNIS .....	7
2.5 QUALITÄT DER PROGNOSE .....	8
2.5.1 <i>Prognoseverfahren</i> .....	8
2.5.2 <i>Vermessungsberichte</i> .....	9
2.5.3 <i>Auswirkung der Produktionsstreuung</i> .....	9
2.5.4 <i>Gesamtunsicherheit der Prognoseergebnisse</i> .....	10
<b>3 ABSCHLUSSERKLÄRUNG</b> .....	<b>11</b>
<b>4 ANHANG</b> .....	<b>12</b>

# 1 Aufgabenstellung

Vom Auftraggeber dieser Ausarbeitung wird am Standort

## **Illerich II**

eine entsprechend der Genehmigung der Kreisverwaltung Cochem-Zell (Aktenzeichen: BIM-K 0075/2011) errichtete Windenergieanlage (WEA) des Typs ENERCON E-82/E2 2.3MW mit einer Nabenhöhe von 138,4 m betrieben. Zu dieser Anlage hat die SOLvent GmbH mit Datum vom 07.08.2012 das Schallgutachten Nr. 006-12-0245-03.02 erstellt, das im Genehmigungsverfahren verwendet wurde.

Mit der jetzt vorliegenden Ausarbeitung wird nachgewiesen, dass die in der Genehmigung enthaltenen Nebenbestimmungen zum Immissionsschutz – Lärm – auch dann eingehalten werden, wenn an der WEA folgende Änderung vorgenommen wird:

### **Ausstattung mit TES-Rotorblättern und schallreduzierter Nachtbetrieb mit 1.600kW Nennleistung.**

Durch die TES-Rotorblätter wird der Schallleistungspegel im Vergleich zu den sonst verwendeten Rotorblättern deutlich vermindert, so dass eine höhere Leistungsabgabe der Anlage bei gleichen oder niedrigeren Schallbelastungen der Immissionsorte möglich ist.

In dieser Ausarbeitung werden ausschließlich die zur Beurteilung dieser Änderung an der WEA notwendigen Informationen, Angaben und Eingabedaten dargestellt. Alle weiteren, der grundsätzlichen schalltechnischen Beurteilung dieser WEA dienenden Grundlagen, Angaben und Eingabedaten sind dem Schallgutachten Nr. 006-12-0245-03.02 vom 07.08.2012 zu entnehmen, das im Genehmigungsverfahren verwendet wurde.

Für die Ausarbeitung Nr. 006-12-0245-03.03 vom 02.12.2014 wurde die vorliegende Überarbeitung erforderlich, da für den berücksichtigten Betriebsmodus der betrachteten WEA ein aktueller Schallvermessungsbericht mit entsprechenden Nabenhöhen bezogenen Schallleistungspegeln vorliegt.

## 2 Schallgutachten

Anhand der Prognose der Schallimmissionen der WEA unter Berücksichtigung der technischen Änderungen (s. Abschnitt 1) wird die Einhaltung der in der Genehmigung enthaltenen Nebenbestimmungen zum Immissionsschutz – Lärm – überprüft, insbesondere der für die Nachtzeit nach TA-Lärm (Stand: 26.08.1998) genehmigte **Schalleistungspegel** und die an bestimmten Immissionsorten in der Nachtzeit nach TA-Lärm (Stand: 26.08.1998) durch die beurteilte WEA (Zusatzbelastung) nicht zu überschreitenden **Immissionswerte**.

In dieser Ausarbeitung werden ausschließlich die für diese Überprüfung notwendigen Informationen, Angaben und Eingabedaten dargestellt. Alle weiteren, der grundsätzlichen schalltechnischen Beurteilung dieser WEA dienenden Grundlagen, Angaben und Eingabedaten sind dem Schallgutachten Nr. 006-12-0245-03.02 vom 07.08.2012 zu entnehmen, das im Genehmigungsverfahren verwendet wurde.

### 2.1 Prognoseverfahren

Die in der vorliegenden Ausarbeitung dargestellte Schallimmissionsprognose für eine Windenergieanlage des Typs ENERCON E-82/E2 2.3MW mit einer Nabenhöhe von 138,4 m mit TES-Rotorblättern, wurde mit Hilfe der Software WindPRO des dänischen Softwareherstellers EMD (Version 2.9.285, Modul *Decibel*) durchgeführt. Diese Software stellt die Implementierung des detaillierten Prognoseverfahrens gemäß TA-Lärm vom 26.08.1998 (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.

## 2.2 Daten der beurteilten Windenergieanlage

Bei der Prognose des Immissionsverhaltens der Windenergieanlage des Typs ENERCON E-82/E2 2.3MW mit TES-Rotorblättern wurden folgende Berechnungsvoraussetzungen verwendet:

### WKA 02 ENERCON E-82/E 2.3MW mit TES-Rotorblättern

- **geplante Windenergieanlage:** **ENERCON E-82/E2 2.3MW**
- **Rotordurchmesser:** **82,0 m**
- **geplante Nabenhöhe:** **138,4 m**
- **geplanter Standort (Gauß Krüger\*):** **2.583.772 Rechts**  
**5.564.791 Hoch**
- **Höhenlage des Standorts:** **379,7 m über NN**
- **Schalleistungspegel im 1.600kW Nachtbetrieb:**
  - **vermessener Schalleistungspegel:** **97,2 dB(A)**
  - **verwendeter Schalleistungspegel inkl. Sicherheitszuschlag:** **99,7 dB(A)**
- **Zuschlag für Ton- und Impulshaltigkeit:** **0 dB(A)**

\* Koordinatensystem in diesem Gutachten:  
Gauß-Krüger 3°-Streifen-System, Bessel-Ellipsoid, Potsdam Datum, Zone 2

Schalleistungspegel für die Anlage des Typs ENERCON E-82/E2 mit TES-Rotorblättern im **schallreduzierten Betrieb mit 1.600kW Nennleistung**, gemäß KÖTTER, Schalltechnischer Bericht 212237-04.01 vom 09.03.2015. Dieser Bericht gibt bei 138 m Nabenhöhe einen Schalleistungspegel von 97,2 dB(A) an. Unter Berücksichtigung einer Prognoseunsicherheit von 2,5 dB(A) (siehe Abschnitt 2.5.4) ergibt sich der in den Berechnungen verwendete Schalleistungspegel von **99,7dB(A)**.

Es ist kein Ton- oder Impulshaltigkeitszuschlag anzusetzen.

## 2.3 Daten der beurteilten Immissionsorte

In den Nebenbestimmungen zum Immissionsschutz – Lärm – der Genehmigung der beurteilten WEA werden vier - auch im Schallgutachten Nr. 006-12-0245-03.02 vom 07.08.2012 berücksichtigte – maßgebliche Immissionsorte genannt, an denen bestimmte Schallimmissionswerte durch die beurteilte Anlage (Zusatzbelastung) nicht überschritten werden dürfen.

In der folgenden Tabelle finden sich die Gauß-Krüger-Koordinaten der betrachteten Aufpunkte sowie die jeweils durch die beurteilte Anlage (Zusatzbelastung) einzuhaltenden Immissionswerte:

Immissionsort	Gauß-Krüger-Koordinaten*		Höhe über NN (m)	Einzuhalten-der Wert gemäß Genehmigung [dB(A)]
	Rechtswert	Hochwert		
IP 03 Hambuchermühle/Suhrhof 1, Hambuch	2.583.497	5.565.220	360,0	37,8
IP 04 Hambuchermühle/Suhrhof 2, Hambuch	2.583.441	5.565.237	360,0	36,6
IP 05 Hambuchermühle/Suhrhof 3, Hambuch	2.583.428	5.565.167	363,5	37,6
IP 06 Hambuchermühle/Suhrhof 4, Hambuch	2.583.406	5.565.162	365,8	37,3

\* Koordinatensystem in diesem Gutachten: Gauß-Krüger 3°-Streifen-System, Bessel-Ellipsoid, Potsdam Datum, Zone 2

## 2.4 Zusatzbelastung / Prognoseergebnis

Für die maßgeblichen Immissionsorte (s. Abschnitt 2.3) werden die Schallimmissionen durch die beurteilte WEA (s. Abschnitt 2.2) des Typs ENERCON E-82/E2 2.3MW mit TES-Rotorblättern und 138,4 m Nabenhöhe im schallreduzierten Betriebsmodus mit **1.600kW Nennleistung** mit einem Schallleistungspegel von **99,7 dB(A)** (darin enthalten ein Sicherheitszuschlag von 2,5 dB(A) betrachtet und mit den einzuhaltenden Werten verglichen.

Unter den genannten Voraussetzungen werden, gemäß der Norm DIN ISO 9613-2 und mit Hilfe der Software WindPRO (Version 2.9.285) des dänischen Softwareherstellers EMD, folgende Schalldruckpegel prognostiziert:

Schall-Immissionsort	Schall-immissionswert incl. Sicherheitszuschlag [dB(A)]	Einzuhaltender Wert gemäß Genehmigung [dB(A)]	Abstand zum einzuhaltenen Wert [dB(A)]
IP 03 Hambuchermühle/Suhrhof 1, Hambuch	36,1	37,8	1,7
IP 04 Hambuchermühle/Suhrhof 2, Hambuch	34,9	36,6	1,7
IP 05 Hambuchermühle/Suhrhof 3, Hambuch	35,9	37,6	1,7
IP 06 Hambuchermühle/Suhrhof 4, Hambuch	35,6	37,3	1,7

Die gemäß den Nebenbestimmungen zum Immissionsschutz – Lärm – der Genehmigung der beurteilten WEA einzuhaltenden Werte werden an den maßgeblichen Immissionsorten jeweils um 1,7 dB(A) unterschritten.

## 2.5 Qualität der Prognose

### 2.5.1 Prognoseverfahren

Die Prognose wurde gemäß der Norm DIN ISO 9613-2 mit Hilfe der Software WindPRO (Version 2.9.285) erstellt. Diese Berechnung basiert auf vermessenen oder berechneten Schalleistungspegeln, die der FGW-Richtlinie (Technische Richtlinie, Teil 1 zur Bestimmung der Schallemissionswerte von Windenergieanlagen, Rev. 15, Stand 01.01.2004, 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 ( $A_{\text{div}}$ ,  $A_{\text{atm}}$ , und  $A_{\text{gr}}$ ) 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 ( $A_{\text{bar}}$  und  $A_{\text{misc}}$ ) 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.

## 2.5.2 Vermessungsberichte

Für den Windenergieanlagentyp **ENERCON E-82/E2 mit TES-Rotorblättern im schallreduzierten Betrieb mit 1.600 kW Nennleistung** liegt das Ergebnis der folgenden Vermessung gemäß FGW-Richtlinien (Technische Richtlinien, Teil 1 zur Bestimmung der Schallemissionswerte von Windenergieanlagen, Rev. 15, Stand 01.01.2004, Fördergesellschaft Windenergie e.V., Kiel) vor:

- KÖTTER, Schalltechnischer Bericht Nr. 212237-04.01 vom 09.03.2015. Dieser Bericht gibt bei **1.600kW Nennleistung** und einer Nabenhöhe von 138 m einen Schalleistungspegel von **97,2 dB(A)** an.

Es ist kein Ton- oder Impulshaltigkeitszuschlag anzusetzen.

Die genannte Messung wurde 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. 15, Stand 01.01.2004, Fördergesellschaft Windenergie e.V., Kiel) durchgeführt. Das Messverfahren ist somit durch eine Standardabweichung von  $\sigma_R = 0,5 \text{ dB(A)}$  gekennzeichnet

## 2.5.3 Auswirkung der Produktionsstreuung

Für die Anlage des Typs **ENERCON E-82/E2 mit TES-Rotorblättern im schallreduzierten Nachtbetrieb mit 1.600 kW Nennleistung** wird die *Unsicherheit der Produktionsstreuung* gemäß der Empfehlung „Schallimmissionsschutz in Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen – Empfehlung des Arbeitskreises Geräusche von Windenergieanlagen, Oktober 1999“ mit 2 dB(A) angegeben, da derzeit eine Vermessung gemäß FGW-Richtlinie (Technische Richtlinie, Teil 1 zur Bestimmung der Schallemissionswerte von Windenergieanlagen, Rev. 15, Stand 01.01.2004, Fördergesellschaft Windenergie e.V., Kiel) vorliegt.

Unter dieser Voraussetzung und unter Annahme eines 95% Konfidenzintervalls ergibt sich die Standardabweichung, welche die Serienstreuung der Emissionsdaten beschreibt mit:  $\sigma_P = 1,2 \text{ dB(A)}$ .

## 2.5.4 Gesamtunsicherheit der Prognoseergebnisse

Die Berechnung der Gesamtunsicherheit folgt aus den in den Abschnitten 2.5.1, 2.5.2 und 2.5.3 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 ergibt sich die folgende Gesamtunsicherheit der Prognose:

Anlagentyp	$\sigma_{\text{R}}$	$\sigma_{\text{P}}$	$\sigma_{\text{Progn}}$	$\sigma_{\text{ges}}$	Sicherheitszuschlag $e = 1,28 * \sigma_{\text{ges}}$
<b>ENERCON E-82 E2 2.3 MW mit TES-Rotorblättern im Betrieb mit <math>P_{\text{max}} = 1600 \text{ kW}</math></b>	<b>0,5 dB</b>	<b>1,2 dB</b>	<b>1,5 dB</b>	<b>2,0 dB</b>	<b>2,5 dB</b>

Für den im Gutachten berücksichtigten Anlagentyp ergibt sich unter Berücksichtigung der Gesamtunsicherheit der folgende Schalleistungspegel:

Anlagentyp	Schalleistungspegel gemäß Vermessungsbericht / Herstellerangaben	Verwendeter Schalleistungspegel incl. Sicherheitszuschlag $e$
<b>ENERCON E-82 E2 2.3 MW mit TES-Rotorblättern im Betrieb mit <math>P_{\text{max}} = 1600 \text{ kW}</math></b>	<b>97,2 dB(A)</b>	<b>99,7 dB(A)</b>

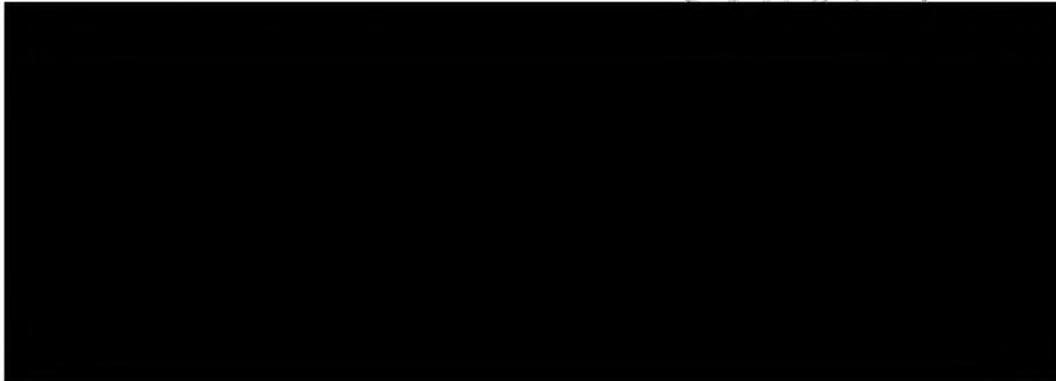
### 3 Abschlusserklärung

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 2.9.285, Modul *Decibel*) durchgeführt.

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

Kamen, 08. April 2015



## 4 Anhang

Es folgen:

- Der detaillierte Berechnungsbericht mit zugehöriger Karte mit ISO-Schalllinien für die Schallimmissionsprognose.
- Kopien der Unterlagen, die zur Bestimmung der Schalleistungspegel der beurteilten Windenergieanlage vom Typ ENERCON E-82/E2 2.3MW mit TES-Rotorblättern im schallreduzierten Betrieb mit 1.600 kW Nennleistung benutzt worden sind.
- Auszug aus der Programmdokumentation der Software WindPRO

Projekt: Illerich  
 Beschreibung: 006-11-0245-03.04

Ausdruck/Seite: 08.04.2015 08:53 / 1  
 Lizenzierter Anwender:  
**SOLvent GmbH**  
 Lünener Straße 211  
 DE-59174 Kamen  
 +49 2307 240063  
 Johannes Waterkamp / jw@solvent.de  
 Berechnet: 08.04.2015 08:52/2.9.285



## DECIBEL - Hauptergebnis

Berechnung: Zusatzbelastung (1 x E-82/E2 1,6MW TES)

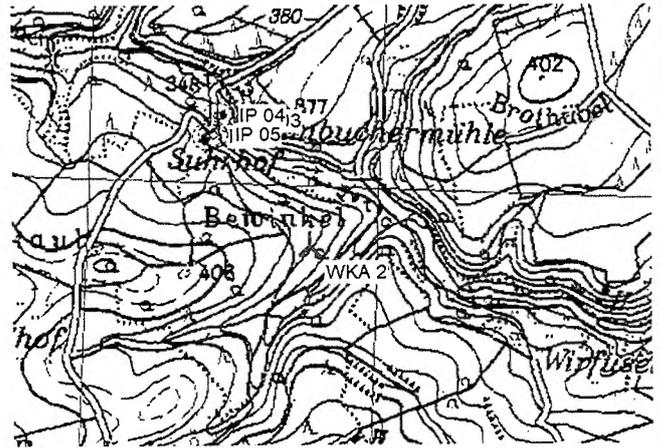
Detaillierte Prognose nach TA-Lärm / DIN ISO 9613-2

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

Windgeschw. in 10 m Höhe: 10,0 m/s  
 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)



Maßstab 1:25.000  
 Neue WEA  
 Schall-Immissionsort

### WEA

GK (Bessel) Zone: 2	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				
WKA 2	2.583.772	5.564.791	379,7	WKA 2 (E-82/E2) 1.6...	Ja	ENERCON	E-82 E2-2.300	2.300	82,0	138,4	USER	99,7 (97,2 + 2,5)	1.600 kW TES-Rotorblätter einfach verm.	(95%)	99,7	0 dB

### Berechnungsergebnisse

#### Beurteilungspegel

Schall-Immissionsort Nr.	Name	GK (Bessel) Zone: 2			Aufpunkthöhe [m]	Schall [dB(A)]	Anforderungen Von WEA [dB(A)]	Anforderungen erfüllt? Schall
		Ost	Nord	Z [m]				
IP 03	Hambuchermühle/Suhrhof 1, Hambuch	2.583.497	5.565.220	360,0	5,0	45,0	36,1	Ja
IP 04	Hambuchermühle/Suhrhof 2, Hambuch	2.583.441	5.565.236	360,0	5,0	45,0	34,9	Ja
IP 05	Hambuchermühle/Suhrhof 3, Hambuch	2.583.428	5.565.167	363,5	5,0	45,0	35,9	Ja
IP 06	Hambuchermühle/Suhrhof 4, Hambuch	2.583.406	5.565.162	365,8	5,0	45,0	35,6	Ja

#### Abstände (m)

Schall-Immissionsort	WEA WKA 2
IP 03	509
IP 04	554
IP 05	509
IP 06	520

Projekt: Illerich  
 Beschreibung: 006-11-0245-03.04

Ausdruck/Seite  
 08.04.2015 08:53 / 2

Lizenzierter Anwender:  
**SOLvent GmbH**  
 Lünener Straße 211  
 DE-59174 Kamen  
 +49 2307 240063  
 Johannes Waterkamp / jw@solvent.de  
 Berechnet:  
 08.04.2015 08:52/2.9.285



**DECIBEL - Detaillierte Ergebnisse**

**Berechnung:** Zusatzbelastung (1 x E-82/E2 1,6MW TES) **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: Einzeltöne
- Dc: Richtwirkungskorrektur
- Adiv: Dämpfung aufgrund geometrischer Ausbreitung
- Aatm: Dämpfung aufgrund von Luftabsorption
- Agr: Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts
- Abar: Dämpfung aufgrund von Abschirmung
- Amisc: Dämpfung aufgrund verschiedener anderer Effekte
- Cmet: Meteorologische Korrektur

**Berechnungsergebnisse**

**Schall-Immissionsort: IP 03 Hambuchermühle/Suhrhof 1, Hambuch**

WEA		95% der Nennleistung													
Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]	
WKA 2	509	531	71,9	Ja	36,12	99,7	2,99	65,51	1,01	0,05	0,00	0,00	66,57	0,00	
Summe	36,12														

**Schall-Immissionsort: IP 04 Hambuchermühle/Suhrhof 2, Hambuch**

WEA		95% der Nennleistung													
Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]	
WKA 2	554	575	71,2	Ja	34,94	99,7	2,99	66,20	1,09	0,46	0,00	0,00	67,75	0,00	
Summe	34,94														

**Schall-Immissionsort: IP 05 Hambuchermühle/Suhrhof 3, Hambuch**

WEA		95% der Nennleistung													
Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]	
WKA 2	509	531	68,4	Ja	35,91	99,7	2,99	65,50	1,01	0,28	0,00	0,00	66,78	0,00	
Summe	35,91														

**Schall-Immissionsort: IP 06 Hambuchermühle/Suhrhof 4, Hambuch**

WEA		95% der Nennleistung													
Nr.	Abstand [m]	Schallweg [m]	Mittlere Höhe [m]	Sichtbar	Berechnet [dB(A)]	LWA [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	Abar [dB]	Amisc [dB]	A [dB]	Cmet [dB]	
WKA 2	520	541	68,0	Ja	35,61	99,7	2,99	65,66	1,03	0,39	0,00	0,00	67,08	0,00	
Summe	35,61														

Projekt: Illerich  
 Beschreibung: 006-11-0245-03.04

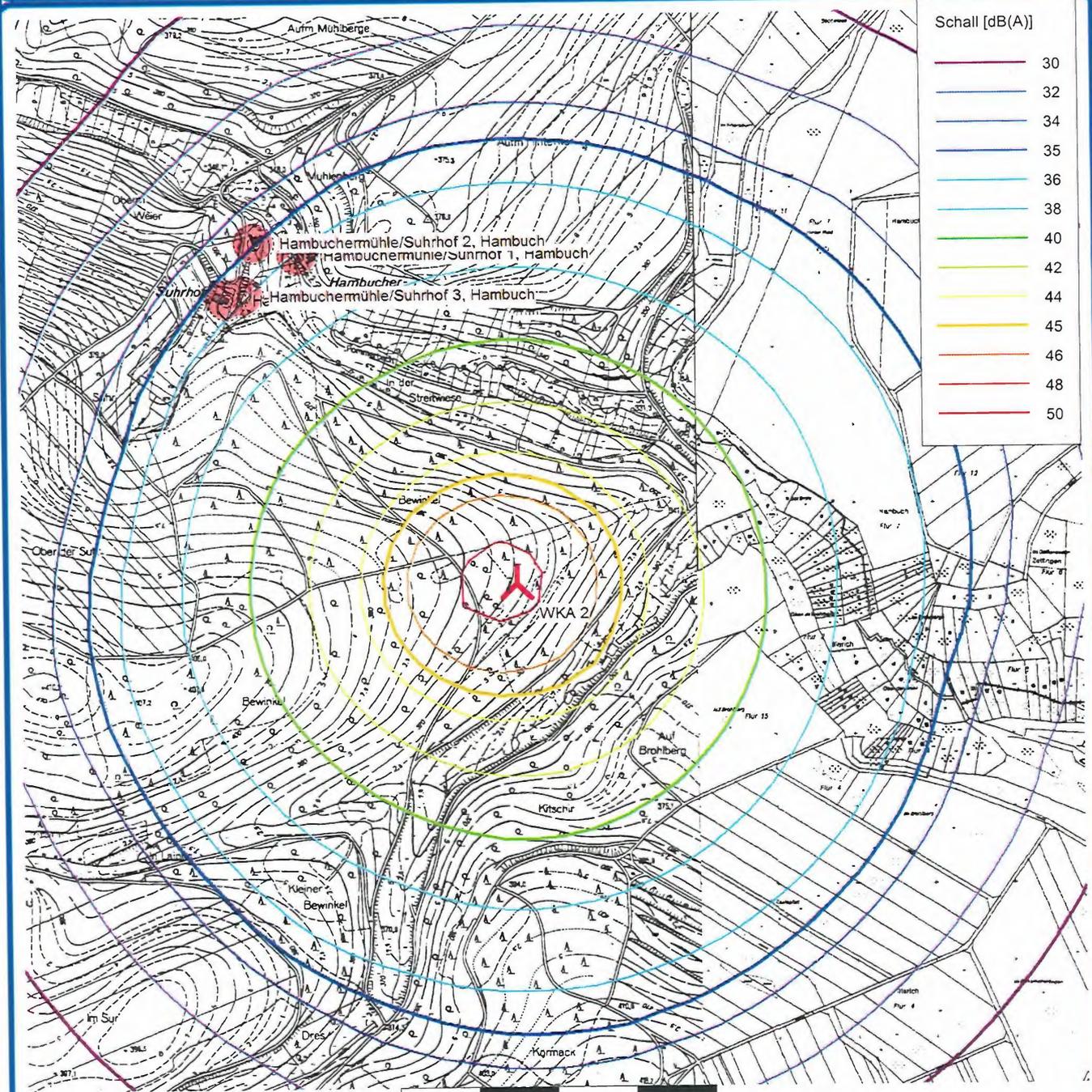
Ausdruck/Seite  
 08.04.2015 08:53 / 3

Lizenzierter Anwender:  
**SOLvent GmbH**  
 Lünener Straße 211  
 DE-59174 Kamen  
 +49 2307 240063  
 Johannes Waterkamp / jw@solvent.de  
 Berechnet:  
 08.04.2015 08:52/2.9.285



**DECIBEL - Karte 95% der Nennleistung ansonsten 10,0 m/s**

Berechnung: Zusatzbelastung (1 x E-82/E2 1,6MW TES) Schallberechnungs-Modell: ISO 9613-2 Deutschland 10,0 m/s



Schall [dB(A)]	
30	—
32	—
34	—
35	—
36	—
38	—
40	—
42	—
44	—
45	—
46	—
48	—
50	—

Karte: Eulgem5000 , Maßstab 1:7.500, Mitte: GK (Bessel) Zone: 2 Ost: 2.583.895 Nord: 5.565.000

▲ Neue WEA

■ Schall-Immissionsort

Schallberechnungs-Modell: ISO 9613-2 Deutschland. Windgeschw.: 95% der Nennleistung ansonsten 10,0 m/s  
 Höhe über Meeresspiegel von aktivem Höhenlinien-Objekt

## **SCHALLTECHNISCHER BERICHT NR. 212237-04.01**

über die Nabhöhenumrechnung für die Schallemissionen einer Windenergieanlage des Typs ENERCON E-82 E2 mit TES im Windpark Schöppinger Berg bei 48624 Schöppingen im Betriebsmodus BM 1.600 kW<sub>S</sub>

**Datum:**

09.03.2015

**Auftraggeber:**

ENERCON GmbH  
August-Bebel-Damm 24 - 30  
39126 Magdeburg

**Bearbeiter:**

Dipl.-Ing. Oliver Bunk  
Matthias Humpohl, B. Sc.

## 1.) Zusammenfassung

Im Bericht 212237-02.06 wurden die Schallemissionen einer Windenergieanlage (WEA) des Typs ENERCON E-82 E2 mit TES mit der Seriennummer 825643 im Betriebsmodus BM 1.600 kW<sub>s</sub> ermittelt. Das ist die WEA Nr. 04 im WP Schöppingen Berg am Standort 48624 Schöppingen, Nordrhein-Westfalen.

Von der vermessenen Nabenhöhe  $h_{N,mess} = 98,4$  m soll nun auf die Nabenhöhen  $h_N = 59$  m, 69 m, 78 m, 85 m, 108,4 m und 138,4 m umgerechnet werden. Es wurde der vermessene Windgeschwindigkeitsbereich von  $v_s = 5,5$  m/s bis 8,9 m/s untersucht.

Die maximale Schalleistung ergab sich für alle untersuchten Nabenhöhen zu  $L_{WA} = 97,2$  dB(A) entsprechend 95% der Nennleistung, oder wie bei der tatsächlichen Nabenhöhe  $h_N = 98,4$  m entsprechend  $v_s = 8$  m/s.

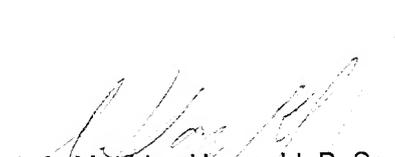
Vorliegender Bericht wurde nach bestem Wissen und Gewissen mit größter Sorgfalt erstellt.

Dieser Bericht enthält 4 Seiten und sieben Anlagen.

Rheine, 09.03.2015 Hu / BS

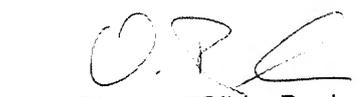
KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG

Bericht verfasst durch:



i. A. Matthias Hümpohl, B. Sc.  
(stellvertr. Projektleiter)

geprüft und freigegeben durch den  
Fachgebietsleiter Windenergie:



i. V. Dipl.-Ing. Oliver Bunk  
(stellvertr. fachlich verantwortlich)

## INHALTSVERZEICHNIS

1.)	Zusammenfassung	2
2.)	Bearbeitungsgrundlagen	4
3.)	Ergebniszusammenfassung für die gemessene Nabenhöhe 98,4 m	5
4.)	Ergebniszusammenfassung für die berechnete Nabenhöhe 59 m	7
5.)	Ergebniszusammenfassung für die berechnete Nabenhöhe 69 m	9
6.)	Ergebniszusammenfassung für die berechnete Nabenhöhe 78 m	11
7.)	Ergebniszusammenfassung für die berechnete Nabenhöhe 85 m	13
8.)	Ergebniszusammenfassung für die berechnete Nabenhöhe 108,4 m	15
9.)	Ergebniszusammenfassung für die berechnete Nabenhöhe 138,4 m	17

## 2.) Bearbeitungsgrundlagen

Für die Ermittlung der Geräuschemissionen werden folgende Normen, Vorschriften und Unterlagen herangezogen:

- [1] DIN EN 61400-11, Windenergieanlagen - Teil 11: Schallmessverfahren; Ausgabe März 2007
- [2] Fördergesellschaft Windenergie e. V.: Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Revision 18, Stand 01.02.2008, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte
- [3] Schalltechnischer Bericht Nr. 212237-02.06 über die Ermittlung der Schallemissionen einer Windenergieanlage des Typs Enercon E-82 E2 mit TES, Nr. 4 im Windpark Schöppinger Berg, bei 48624 Schöppingen im schallreduzierten Betriebsmodus BM 1.600 kW<sub>s</sub>, KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG, Rheine, 11.02.2015

3.) Ergebniszusammenfassung für die gemessene Nabenhöhe 98,4 m

<b>Auszug aus dem Prüfbericht</b> <b>Stamtblatt "Geräusche", entsprechend den "Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen,</b> <b>Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte"</b> <small>Rev. 18 vom 01.Februar 2008 (Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie e.V. Stresemannplatz 4, D-24103 Kiel)</small>				
Auszug aus dem Prüfbericht 212237-02.06 zur Schallemission einer Windenergieanlage vom Typ E-82 E2 mit TES				
Allgemeine Angaben		Technische Daten (Herstellerangaben)		
Anlagenhersteller:	Enercon GmbH	Nennleistung (reduziert):	1.600 kW	
Seriennummer:	825643	Rotordurchmesser:	82 m	
WEA-Standort (ca.):	48624 Schöppingen	Nabenhöhe über Grund:	98,4 m	
Standortkoordinaten:	R: 2.585.537 H: 5.775.752	Turmbauart:	Konisches Pitch	
Ergänzende Daten zum Rotor (Herstellerangaben)		Ergänzende Daten zu Getriebe und Generator (Herstellerangaben)		
Rotorblatthersteller:	ENERCON	Getriebehersteller:	entfällt	
Typenbezeichnung Blatt:	E-82-2	Typenbezeichnung Getriebe:	entfällt	
Blatteinstellwinkel:	variabel	Generatorhersteller:	ENERCON	
Rotorblattanzahl:	3	Typenbezeichnung Generator:	E-82 E2	
Rotordrehzahlbereich:	6 – 16,1 U/min	Generatornennzahl:	16,1 U/min	
Leistungskurve: SIAS-001-ct_E82_E2_1.6MWred_Vers.3.1ger-ger				
	Referenzpunkt		Schallemissions-Parameter	Bemerkungen
	Normierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	Elektrische Wirkleistung		
Schallleistungs-Pegel $L_{WA,P}$	6 $ms^{-1}$	980 kW	95,2 dB(A)*	
	7 $ms^{-1}$	1.311 kW	96,6 dB(A)	
	8 $ms^{-1}$	1.495 kW	97,2 dB(A)	(3, 4)
	9 $ms^{-1}$	1.600 kW	96,8 dB(A)	(2)
	10 $ms^{-1}$	--	--	(1)
	8,2 $ms^{-1}$	1.520 kW	97,2 dB(A)	
Tonzuschlag für den Nahbereich $K_{TN}$	6 $ms^{-1}$	980 kW	0 dB	
	7 $ms^{-1}$	1.311 kW	0 dB	
	8 $ms^{-1}$	1.495 kW	0 dB	(3)
	9 $ms^{-1}$	1.600 kW	0 dB	(2)
	10 $ms^{-1}$	--	--	(1)
	8,2 $ms^{-1}$	1.520 kW	0 dB	
Impulszuschlag für den Nahbereich $K_{IN}$	6 $ms^{-1}$	980 kW	0 dB	
	7 $ms^{-1}$	1.311 kW	0 dB	
	8 $ms^{-1}$	1.495 kW	0 dB	(3)
	9 $ms^{-1}$	1.600 kW	0 dB	(2)
	10 $ms^{-1}$	--	--	(1)
	8,2 $ms^{-1}$	1.520 kW	0 dB	

Terz-Schallleistungspegel für  $v_s = 8 \text{ ms}^{-1}$  in dB(A) entsprechend dem maximalen Schallleistungspegel

Frequenz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
$L_{WA,P}$	72,4*	75,9*	78,1*	81,3*	83,8*	82,1*	82,1*	84,9*	86,1	85,2	85,3*	86,4
Frequenz	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000	6.300	8.000	10.000
$L_{WA,P}$	86,0	87,6	87,2	86,0	84,0	81,0*	79,5**	78,7**	77,8**	76,5**	75,0**	72,7**

Oktav-Schallleistungspegel für  $v_s = 8 \text{ ms}^{-1}$  in dB(A) entsprechend dem maximalen Schallleistungspegel

Frequenz	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
$L_{WA,P}$	80,8*	87,3*	89,4*	90,4	91,8	88,9	83,5**	79,7**

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht gilt nur in Verbindung mit der Herstellerbescheinigung vom 09.02.2015.

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

- Bemerkungen:
- (1) Die normierte Windgeschwindigkeit von  $v_s = 8,2 \text{ ms}^{-1}$  entspricht 95 % der Nennleistung.
  - (2) Witterungsbedingt keine Daten für WEA-Betrieb vorhanden
  - (3) Höchste gemessene normierte Windgeschwindigkeit  $v_s = 8,9 \text{ m/s}$
  - (4) Weniger als 18 Werte entsprechend 3 min Messzeit bei WEA-Betrieb, abweichend von [1]. Ergebnisse sind Anhaltswerte
- \* 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: 09.03.2015

Bismarckstraße 41-43 · 48462 Rheina  
 Tel. 039 71-97 10-0 Fax 039 71-97 10-43

i. V. Dipl.-Ing. Oliver Bunk

i. A. Matthias Humpohl, B. Sc.

4.) **Ergebniszusammenfassung für die berechnete Nabenhöhe 59 m**

Auszug aus dem Prüfbericht												
Stammblatt "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)												
Nachtrag zum Auszug aus dem Prüfbericht 212237-02.06 zur Schallemission einer Windenergieanlage vom Typ E-82 E2 mit TES												
Allgemeine Angaben		Technische Daten (Herstellerangaben)										
Anlagenhersteller	Enercon GmbH	Nennleistung (reduziert):	1.600 kW									
Seriennummer:	825643	Rotordurchmesser:	82 m									
WEA-Standort (ca.):	48624 Schöppingen	Nabenhöhe über Grund:	59 m ***									
Standortkoordinaten:	R: 2.585.537 H: 5.775.752	Turmbauart:	Konisches									
		Leistungsregelung:	Pitch									
Ergänzende Daten zum Rotor (Herstellerangaben)		Ergänzende Daten zu Getriebe und Generator (Herstellerangaben)										
Rotorblatthersteller	ENERCON	Getriebehersteller	entfällt									
Typenbezeichnung Blatt:	E-82-2	Typenbezeichnung Getriebe:	entfällt									
Blatteinstellwinkel:	variabel	Generatorhersteller	ENERCON									
Rotorblattanzahl:	3	Typenbezeichnung Generator:	E-82 E2									
Rotordrehzahlbereich:	6 – 16,1 U/min	Generatormennzahl:	16,1 U/min									
Leistungskurve: SIAS-001-ct_E82_E2_1.6MWred_Vers.3.1ger-ger												
	Referenzpunkt		Schallemissions-Parameter	Bemerkungen								
	Normierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	Elektrische Wirkleistung										
Schalleistungs-Pegel $L_{WAP}$	6 $ms^{-1}$	832 kW	94,7 dB(A)*									
	7 $ms^{-1}$	1.157 kW	96,0 dB(A)									
	8 $ms^{-1}$	1.419 kW	97,0 dB(A)									
	9 $ms^{-1}$	1.534 kW	97,1 dB(A)									
	10 $ms^{-1}$	1.600 kW	96,8 dB(A)	(2, 3)								
	8,8 $ms^{-1}$	1.520 kW	97,2 dB(A)	(1)								
Tonzuschlag für den Nahbereich $K_{TN}$	6 $ms^{-1}$	832 kW	0 dB									
	7 $ms^{-1}$	1.157 kW	0 dB									
	8 $ms^{-1}$	1.419 kW	0 dB									
	9 $ms^{-1}$	1.534 kW	0 dB									
	10 $ms^{-1}$	1.600 kW	0 dB	(2)								
	8,8 $ms^{-1}$	1.520 kW	0 dB	(1)								
Impulszuschlag für den Nahbereich $K_{IN}$	6 $ms^{-1}$	832 kW	0 dB									
	7 $ms^{-1}$	1.157 kW	0 dB									
	8 $ms^{-1}$	1.419 kW	0 dB									
	9 $ms^{-1}$	1.534 kW	0 dB									
	10 $ms^{-1}$	1.600 kW	0 dB	(2)								
	8,8 $ms^{-1}$	1.520 kW	0 dB	(1)								
<b>Terz-Schalleistungspegel</b> für $v_s = 8,8 ms^{-1}$ in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
$L_{WAP}$	72,4*	76,0*	78,1*	81,3	84,1	81,7*	81,9	85,0	86,1	85,2	85,4	86,5
Frequenz	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000	6.300	8.000	10.000
$L_{WAP}$	86,1	87,6	87,2	86,1	84,1	81,3	79,4**	78,7**	77,7**	76,2**	74,7**	72,4**
<b>Oktav-Schalleistungspegel</b> für $v_s = 8,8 ms^{-1}$ in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000				
$L_{WAP}$	80,8*	87,2*	89,4	90,5	91,8	89,0	83,4**	79,5**				

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht gilt nur in Verbindung mit der Herstellerbescheinigung vom 09.02.2015.

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

- Bemerkungen:
- (1) Die normierte Windgeschwindigkeit von  $v_s = 8,8 ms^{-1}$  entspricht 95 % der Nennleistung.
  - (2) Höchste gemessene normierte Windgeschwindigkeit  $v_s = 9,5 m/s$
  - (3) Weniger als 18 Werte entsprechend 3 min Messzeit bei WEA-Betrieb, abweichend von [1]. Ergebnisse sind Anhaltswerte
  - \* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 6 dB, Pegelkorrektur um 1,3 dB
  - \*\* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 3 dB, keine Pegelkorrektur
  - \*\*\* Umrechnung von 98,4 m Nabenhöhe auf 59 m

Gemessen durch: KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG

Datum: 09.03.2015

i. V. Dipl.-Ing. Oliver Bunk

J. A. Matthias Humpohl, B. Sc.

5.) Ergebniszusammenfassung für die berechnete Nabenhöhe 69 m

<b>Auszug aus dem Prüfbericht</b> <b>Stammblatt "Geräusche", entsprechend den "Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen,</b> <b>Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte"</b> Rev. 18 vom 01. Februar 2008 (Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie e.V. Stresemannplatz 4, D-24103 Kiel)												
Nachtrag zum Auszug aus dem Prüfbericht 212237-02.06 zur Schallemission einer Windenergieanlage vom Typ E-82 E2 mit TES												
Allgemeine Angaben		Technische Daten (Herstellerangaben)										
Anlagenhersteller	Enercon GmbH	Nennleistung (reduziert):	1.600 kW									
Seriennummer:	825643	Rotordurchmesser:	82 m									
WEA-Standort (ca.):	48624 Schöppingen	Nabenhöhe über Grund:	69 m ***									
Standortkoordinaten:	R: 2.585.537	Turmbauart:	Konisches									
	H: 5.775.752	Leistungsregelung:	Pitch									
Ergänzende Daten zum Rotor (Herstellerangaben)		Ergänzende Daten zu Getriebe und Generator (Herstellerangaben)										
Rotorblatthersteller	ENERCON	Getriebehersteller	entfällt									
Typenbezeichnung Blatt:	E-82-2	Typenbezeichnung Getriebe:	entfällt									
Blatteinstellwinkel:	variabel	Generatorhersteller	ENERCON									
Rotorblattanzahl:	3	Typenbezeichnung Generator:	E-82 E2									
Rotordrehzahlbereich:	6 – 16,1 U/min	Generatormendrehzahl:	16,1 U/min									
Leistungskurve: SIAS-001-ct_E82_E2_1.6MWred_Vers.3.1ger-ger												
	Referenzpunkt		Schallemissions-Parameter	Bemerkungen								
	Normierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	Elektrische Wirkleistung										
Schalleistungs-Pegel $L_{WAP}$	6 $ms^{-1}$	880 kW	94,8 dB(A)*									
	7 $ms^{-1}$	1.206 kW	96,2 dB(A)									
	8 $ms^{-1}$	1.465 kW	97,1 dB(A)									
	9 $ms^{-1}$	1.560 kW	97,0 dB(A)	(3, 4)								
	10 $ms^{-1}$	--	--	(2)								
	8,6 $ms^{-1}$	1.520 kW	97,2 dB(A)	(1)								
Tonzuschlag für den Nahbereich $K_{TN}$	6 $ms^{-1}$	880 kW	0 dB									
	7 $ms^{-1}$	1.206 kW	0 dB									
	8 $ms^{-1}$	1.465 kW	0 dB									
	9 $ms^{-1}$	1.560 kW	0 dB	(3)								
	10 $ms^{-1}$	--	--	(2)								
	8,6 $ms^{-1}$	1.520 kW	0 dB	(1)								
Impulszuschlag für den Nahbereich $K_{IN}$	6 $ms^{-1}$	880 kW	0 dB									
	7 $ms^{-1}$	1.206 kW	0 dB									
	8 $ms^{-1}$	1.465 kW	0 dB									
	9 $ms^{-1}$	1.560 kW	0 dB	(3)								
	10 $ms^{-1}$	--	--	(2)								
	8,6 $ms^{-1}$	1.520 kW	0 dB	(1)								
<b>Terz-Schalleistungspegel</b> für $v_s = 8,6 ms^{-1}$ in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
$L_{WAP}$	72,4*	76,0*	78,1*	81,3	84,1	81,7*	81,9	85,0	86,1	85,2	85,4	86,5
Frequenz	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000	6.300	8.000	10.000
$L_{WAP}$	86,1	87,6	87,2	86,1	84,1	81,3	79,4**	78,7**	77,7**	76,2**	74,7**	72,4**
<b>Oktaf-Schalleistungspegel</b> für $v_s = 8,6 ms^{-1}$ in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000				
$L_{WAP}$	80,8*	87,2*	89,4	90,5	91,8	89,0	83,4**	79,5**				

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht gilt nur in Verbindung mit der Herstellerbescheinigung vom 09.02.2015.

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

- Bemerkungen:
- (1) Die normierte Windgeschwindigkeit von  $v_s = 8,6 ms^{-1}$  entspricht 95 % der Nennleistung.
  - (2) Witterungsbedingt keine Daten für WEA-Betrieb vorhanden
  - (3) Höchste gemessene normierte Windgeschwindigkeit  $v_s = 9,3 m/s$
  - (4) Weniger als 18 Werte entsprechend 3 min Messzeit bei WEA-Betrieb, abweichend von [1]. Ergebnisse sind Anhaltswerte
- \* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 6 dB, Pegelkorrektur um 1,3 dB  
 \*\* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 3 dB, keine Pegelkorrektur  
 \*\*\* Umrechnung von 98,4 m Nabenhöhe auf 69 m

Gemessen durch: KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG

Datum: 09.03.2015  
 Tel.: 39 71-97 12 11 Fax: 39 71-97 10 43

i. V. Dipl.-Ing. Oliver Bunk

L. A. Matthias Humpohl, B. Sc.

6.) Ergebniszusammenfassung für die berechnete Nabenhöhe 78 m

Auszug aus dem Prüfbericht												
Stamtblatt "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)												
Nachtrag zum Auszug aus dem Prüfbericht 212237-02.06 zur Schallemission einer Windenergieanlage vom Typ E-82 E2 mit TES												
Allgemeine Angaben		Technische Daten (Herstellerangaben)										
Anlagenhersteller	Enercon GmbH	Nennleistung (reduziert):	1.600 kW									
Seriennummer:	825643	Rotordurchmesser:	82 m									
WEA-Standort (ca.):	48624 Schöppingen	Nabenhöhe über Grund:	78 m ***									
Standortkoordinaten:	R: 2.585.537	Turmbauart:	Konisches									
	H: 5.775.752	Leistungsregelung:	Pitch									
Ergänzende Daten zum Rotor (Herstellerangaben)		Ergänzende Daten zu Getriebe und Generator (Herstellerangaben)										
Rotorblatthersteller	ENERCON	Getriebehersteller	entfällt									
Typenbezeichnung Blatt:	E-82-2	Typenbezeichnung Getriebe:	entfällt									
Blatteinstellwinkel:	variabel	Generatorhersteller	ENERCON									
Rotorblattanzahl:	3	Typenbezeichnung Generator:	E-82 E2									
Rotordrehzahlbereich:	6 – 16,1 U/min	Generatormendrehzahl:	16,1 U/min									
Leistungskurve: SIAS-001-ct_E82_E2_1.6MWred_Vers.3 1ger-ger												
	Referenzpunkt		Schallemissions-Parameter	Bemerkungen								
	Normierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	Elektrische Wirkleistung										
Schallleistungs-Pegel L <sub>WA,P</sub>	6 ms <sup>-1</sup>	916 kW	95,0 dB(A)*									
	7 ms <sup>-1</sup>	1.244 kW	96,4 dB(A)									
	8 ms <sup>-1</sup>	1.465 kW	97,2 dB(A)									
	9 ms <sup>-1</sup>	1.560 kW	96,9 dB(A)	(3, 4)								
	10 ms <sup>-1</sup>	--	--	(2)								
	8,5 ms <sup>-1</sup>	1.520 kW	97,2 dB(A)	(1)								
Tonzuschlag für den Nahbereich K <sub>TN</sub>	6 ms <sup>-1</sup>	916 kW	0 dB									
	7 ms <sup>-1</sup>	1.244 kW	0 dB									
	8 ms <sup>-1</sup>	1.465 kW	0 dB									
	9 ms <sup>-1</sup>	1.560 kW	0 dB	(3)								
	10 ms <sup>-1</sup>	--	--	(2)								
	8,5 ms <sup>-1</sup>	1.520 kW	0 dB	(1)								
Impulszuschlag für den Nahbereich K <sub>IN</sub>	6 ms <sup>-1</sup>	916 kW	0 dB									
	7 ms <sup>-1</sup>	1.244 kW	0 dB									
	8 ms <sup>-1</sup>	1.465 kW	0 dB									
	9 ms <sup>-1</sup>	1.560 kW	0 dB	(3)								
	10 ms <sup>-1</sup>	--	--	(2)								
	8,5 ms <sup>-1</sup>	1.520 kW	0 dB	(1)								
<b>Terz-Schalleistungspegel</b> für v <sub>s</sub> = 8 ms <sup>-1</sup> in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
L <sub>WA,P</sub>	72,4*	75,9*	78,1*	81,3*	83,8*	82,1*	82,1*	84,9*	86,1	85,2	85,3*	86,4
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 <sub>WA,P</sub>	86,0	87,6	87,2	86,0	84,0	81,0*	79,5**	78,7**	77,8**	76,5**	75,0**	72,7**
<b>Okta-Schalleistungspegel</b> für v <sub>s</sub> = 8 ms <sup>-1</sup> in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000				
L <sub>WA,P</sub>	80,8*	87,3*	89,4*	90,4	91,8	88,9	83,5**	79,7**				

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht gilt nur in Verbindung mit der Herstellerbescheinigung vom 09.02.2015.

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

- Bemerkungen:
- (1) Die normierte Windgeschwindigkeit von v<sub>s</sub> = 8,5 ms<sup>-1</sup> entspricht 95 % der Nennleistung.
  - (2) Witterungsbedingt keine Daten für WEA-Betrieb vorhanden
  - (3) Höchste gemessene normierte Windgeschwindigkeit v<sub>s</sub> = 9,2 m/s
  - (4) Weniger als 18 Werte entsprechend 3 min Messzeit bei WEA-Betrieb, abweichend von [1]. Ergebnisse sind Anhaltswerte
  - \* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 6 dB, Pegelkorrektur um 1,3 dB
  - \*\* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 3 dB, keine Pegelkorrektur
  - \*\*\* Umrechnung von 98,4 m Nabenhöhe auf 78 m

Gemessen durch: KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG

Datum: 09.03.2015

i. V. Dipl.-Ing. Oliver Bunk

i. A. Matthias Humpohl, B. Sc.

7.) Ergebniszusammenfassung für die berechnete Nabenhöhe 85 m

Auszug aus dem Prüfbericht												
Stammblatt "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)												
Nachtrag zum Auszug aus dem Prüfbericht 212237-02.06 zur Schallemission einer Windenergieanlage vom Typ E-82 E2 mit TES												
Allgemeine Angaben		Technische Daten (Herstellerangaben)										
Anlagenhersteller	Enercon GmbH	Nennleistung (reduziert):	1.600 kW									
Seriennummer:	825643	Rotordurchmesser:	82 m									
WEA-Standort (ca.):	48624 Schöppingen	Nabenhöhe über Grund:	85 m ***									
Standortkoordinaten:	R: 2.585.537	Turmbauart:	Konisches									
	H: 5.775.752	Leistungsregelung:	Pitch									
Ergänzende Daten zum Rotor (Herstellerangaben)		Ergänzende Daten zu Getriebe und Generator (Herstellerangaben)										
Rotorblatthersteller	ENERCON	Getriebehersteller	entfällt									
Typenbezeichnung Blatt:	E-82-2	Typenbezeichnung Getriebe:	entfällt									
Blatteinstellwinkel:	variabel	Generatorhersteller	ENERCON									
Rotorblattanzahl:	3	Typenbezeichnung Generator:	E-82 E2									
Rotordrehzahlbereich:	6 – 16,1 U/min	Generatormendrehzahl:	16,1 U/min									
Leistungskurve: SIAS-001-ct_E82_E2_1.6MWred_Vers.3.1ger-ger												
	Referenzpunkt		Schallemissions-Parameter	Bemerkungen								
	Normierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	Elektrische Wirkleistung										
Schalleistungs-Pegel $L_{WA,P}$	6 $ms^{-1}$	940 kW	95,1 dB(A)*									
	7 $ms^{-1}$	1.270 kW	96,5 dB(A)									
	8 $ms^{-1}$	1.465 kW	97,2 dB(A)									
	9 $ms^{-1}$	1.560 kW	96,8 dB(A)	(3, 4)								
	10 $ms^{-1}$	--	--	(2)								
	8,4 $ms^{-1}$	1.520 kW	97,2 dB(A)	(1)								
Tonzuschlag für den Nahbereich $K_{TN}$	6 $ms^{-1}$	940 kW	0 dB									
	7 $ms^{-1}$	1.270 kW	0 dB									
	8 $ms^{-1}$	1.465 kW	0 dB									
	9 $ms^{-1}$	1.560 kW	0 dB	(3)								
	10 $ms^{-1}$	--	--	(2)								
	8,4 $ms^{-1}$	1.520 kW	0 dB	(1)								
Impulszuschlag für den Nahbereich $K_{IN}$	6 $ms^{-1}$	940 kW	0 dB									
	7 $ms^{-1}$	1.270 kW	0 dB									
	8 $ms^{-1}$	1.465 kW	0 dB									
	9 $ms^{-1}$	1.560 kW	0 dB	(3)								
	10 $ms^{-1}$	--	--	(2)								
	8,4 $ms^{-1}$	1.520 kW	0 dB	(1)								
<b>Terz-Schalleistungspegel</b> für $v_s = 8 ms^{-1}$ in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
$L_{WA,P}$	72,4*	75,9*	78,1*	81,3*	83,8*	82,1*	82,1*	84,9*	86,1	85,2	85,3*	86,4
Frequenz	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000	6.300	8.000	10.000
$L_{WA,P}$	86,0	87,6	87,2	86,0	84,0	81,0*	79,5**	78,7**	77,8**	76,5**	75,0**	72,7**
<b>Oktav-Schalleistungspegel</b> für $v_s = 8 ms^{-1}$ in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000				
$L_{WA,P}$	80,8*	87,3*	89,4*	90,4	91,8	88,9	83,5**	79,7**				

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht gilt nur in Verbindung mit der Herstellerbescheinigung vom 09.02.2015.

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

- Bemerkungen:
- (1) Die normierte Windgeschwindigkeit von  $v_s = 8 ms^{-1}$  entspricht 95 % der Nennleistung.
  - (2) Witterungsbedingt keine Daten für WEA-Betrieb vorhanden
  - (3) Höchste gemessene normierte Windgeschwindigkeit  $v_s = 9,1 m/s$
  - (4) Weniger als 18 Werte entsprechend 3 min Messzeit bei WEA-Betrieb, abweichend von [1]. Ergebnisse sind Anhaltswerte
    - \* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 6 dB, Pegelkorrektur um 1,3 dB
    - \*\* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 3 dB, keine Pegelkorrektur
    - \*\*\* Umrechnung von 98,4 m Nabenhöhe auf 85 m

Gemessen durch: KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG

Datum: 09.03.2015  
Tel: 0 43 03 1 - 87 10 0, Fax: 0 43 03 1 - 97 10 43

i. V. Dipl.-Ing. Oliver Bunk

i. A. Matthias Humpohl, B. Sc.

8.) Ergebniszusammenfassung für die berechnete Nabenhöhe 108,4 m

Allgemeine Angaben		Technische Daten (Herstellerangaben)										
Anlagenhersteller	Enercon GmbH	Nennleistung (reduziert):	1.600 kW									
Seriennummer:	825643	Rotordurchmesser:	82 m									
WEA-Standort (ca.):	48624 Schöppingen	Nabenhöhe über Grund:	108,4 m ***									
Standortkoordinaten:	R: 2.585.537 H: 5.775.752	Turmbauart:	Konisches									
		Leistungsregelung:	Pitch									
Ergänzende Daten zum Rotor (Herstellerangaben)		Ergänzende Daten zu Getriebe und Generator (Herstellerangaben)										
Rotorblatthersteller	ENERCON	Getriebehersteller	entfällt									
Typenbezeichnung Blatt:	E-82-2	Typenbezeichnung Getriebe:	entfällt									
Blatteinstellwinkel:	variabel	Generatorhersteller	ENERCON									
Rotorblattanzahl:	3	Typenbezeichnung Generator:	E-82 E2									
Rotordrehzahlbereich:	6 – 16,1 U/min	Generatormendrehzahl:	16,1 U/min									
Leistungskurve: SIAS-001-ct_E82_E2_1.6MWred_Vers.3.1ger-ger												
	Referenzpunkt		Schallemissions-Parameter	Bemerkungen								
	Normierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	Elektrische Wirkleistung										
Schalleistungs-Pegel L <sub>WA,P</sub>	6 ms <sup>-1</sup>	1.006 kW	95,3 dB(A)*									
	7 ms <sup>-1</sup>	1.336 kW	96,7 dB(A)									
	8 ms <sup>-1</sup>	1.506 kW	97,2 dB(A)									
	9 ms <sup>-1</sup>	1.600 kW	96,8 dB(A)	(3, 4)								
	10 ms <sup>-1</sup>	--	--	(2)								
	8,1 ms <sup>-1</sup>	1.520 kW	97,2 dB(A)	(1)								
Tonzuschlag für den Nahbereich K <sub>TN</sub>	6 ms <sup>-1</sup>	1.006 kW	0 dB									
	7 ms <sup>-1</sup>	1.336 kW	0 dB									
	8 ms <sup>-1</sup>	1.506 kW	0 dB									
	9 ms <sup>-1</sup>	1.600 kW	0 dB	(3)								
	10 ms <sup>-1</sup>	--	--	(2)								
	8,1 ms <sup>-1</sup>	1.520 kW	0 dB	(1)								
Impulszuschlag für den Nahbereich K <sub>IN</sub>	6 ms <sup>-1</sup>	1.006 kW	0 dB									
	7 ms <sup>-1</sup>	1.336 kW	0 dB									
	8 ms <sup>-1</sup>	1.506 kW	0 dB									
	9 ms <sup>-1</sup>	1.600 kW	0 dB	(3)								
	10 ms <sup>-1</sup>	--	--	(2)								
	8,1 ms <sup>-1</sup>	1.520 kW	0 dB	(1)								
Terz-Schalleistungspegel für v <sub>s</sub> = 8 ms <sup>-1</sup> in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
L <sub>WA,P</sub>	72,4*	75,9*	78,1*	81,3*	83,8*	82,1*	82,1*	84,9*	86,1	85,2	85,3*	86,4
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 <sub>WA,P</sub>	86,0	87,6	87,2	86,0	84,0	81,0*	79,5**	78,7**	77,8**	76,5**	75,0**	72,7**
Oktav-Schalleistungspegel für v <sub>s</sub> = 8 ms <sup>-1</sup> in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000				
L <sub>WA,P</sub>	80,8*	87,3*	89,4*	90,4	91,8	88,9	83,5**	79,7**				

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht gilt nur in Verbindung mit der Herstellerbescheinigung vom 09.02.2015.

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

- Bemerkungen: (1) Die normierte Windgeschwindigkeit von v<sub>s</sub> = 8,1 ms<sup>-1</sup> entspricht 95 % der Nennleistung.  
 (2) Witterungsbedingt keine Daten für WEA-Betrieb vorhanden  
 (3) Höchste gemessene normierte Windgeschwindigkeit v<sub>s</sub> = 8,8 m/s  
 (4) Weniger als 18 Werte entsprechend 3 min Messzeit bei WEA-Betrieb, abweichend von [1]. Ergebnisse sind Anhaltswerte

\* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 6 dB, Pegelkorrektur um 1,3 dB

\*\* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 3 dB, keine Pegelkorrektur

\*\*\* Umrechnung von 98,4 m Nabenhöhe auf 108,4 m

Gemessen durch: KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG

Datum: 09.03.2015

i. V. Dipl.-Ing. Oliver Bunk

A. Matthias Humpohl, B. Sc.

9.) Ergebniszusammenfassung für die berechnete Nabhöhe 138,4 m

<b>Auszug aus dem Prüfbericht</b> <b>Stammblatt "Geräusche", entsprechend den "Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen,</b> <b>Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte"</b> Rev. 18 vom 01. Februar 2008 (Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie e.V. Stresemannplatz 4, D-24103 Kiel)												
Nachtrag zum Auszug aus dem Prüfbericht 212237-02.06 zur Schallemission einer Windenergieanlage vom Typ E-82 E2 mit TES												
Allgemeine Angaben		Technische Daten (Herstellerangaben)										
Anlagenhersteller:	Enercon GmbH	Nennleistung (reduziert):	1.600 kW									
Seriennummer:	825643	Rotordurchmesser:	82 m									
WEA-Standort (ca.):	48624 Schöppingen	Nabenhöhe über Grund:	138,4 m ***									
Standortkoordinaten:	R: 2.585.537 H: 5.775.752	Turmbauart:	Konisches									
		Leistungsregelung:	Pitch									
Ergänzende Daten zum Rotor (Herstellerangaben)		Ergänzende Daten zu Getriebe und Generator (Herstellerangaben)										
Rotorblatthersteller:	ENERCON	Getriebehersteller:	entfällt									
Typenbezeichnung Blatt:	E-82-2	Typenbezeichnung Getriebe:	entfällt									
Blatteinstellwinkel:	variabel	Generatorhersteller:	ENERCON									
Rotorblattanzahl:	3	Typenbezeichnung Generator:	E-82 E2									
Rotordrehzahlbereich:	6 – 16,1 U/min	Generatormendrehzahl:	16,1 U/min									
Leistungskurve: SIAS-001-ct_E82_E2_1.6MWred_Vers.3.1ger-ger												
	Referenzpunkt		Schallemissions-Parameter	Bemerkungen								
	Normierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	Elektrische Wirkleistung										
Schalleistungs-Pegel $L_{WA,P}$	6 $ms^{-1}$	1.071 kW	95,6 dB(A)*									
	7 $ms^{-1}$	1.390 kW	96,9 dB(A)									
	8 $ms^{-1}$	1.537 kW	97,1 dB(A)									
	9 $ms^{-1}$	1.600 kW	96,8 dB(A)	(3, 4)								
	10 $ms^{-1}$	–	–	(2)								
	7,9 $ms^{-1}$	1.520 kW	97,2 dB(A)	(1)								
Tonzuschlag für den Nahbereich $K_{TN}$	6 $ms^{-1}$	1.071 kW	0 dB									
	7 $ms^{-1}$	1.390 kW	0 dB									
	8 $ms^{-1}$	1.537 kW	0 dB									
	9 $ms^{-1}$	1.600 kW	0 dB	(3)								
	10 $ms^{-1}$	–	–	(2)								
	7,9 $ms^{-1}$	1.520 kW	0 dB	(1)								
Impulszuschlag für den Nahbereich $K_{IN}$	6 $ms^{-1}$	1.071 kW	0 dB									
	7 $ms^{-1}$	1.390 kW	0 dB									
	8 $ms^{-1}$	1.537 kW	0 dB									
	9 $ms^{-1}$	1.600 kW	0 dB	(3)								
	10 $ms^{-1}$	–	–	(2)								
	7,9 $ms^{-1}$	1.520 kW	0 dB	(1)								
<b>Terz-Schalleistungspegel</b> für $v_s = 7,9 ms^{-1}$ in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
$L_{WA,P}$	72,4*	76,0*	78,1*	81,3	84,1	81,7*	81,9	85,0	86,1	85,2	85,4	86,5
Frequenz	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000	6.300	8.000	10.000
$L_{WA,P}$	86,1	87,6	87,2	86,1	84,1	81,3	79,4**	78,7**	77,7**	76,2**	74,7**	72,4**
<b>Okta-Schalleistungspegel</b> für $v_s = 7,9 ms^{-1}$ in dB(A) entsprechend dem maximalen Schalleistungspegel												
Frequenz	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000				
$L_{WA,P}$	80,8*	87,2*	89,4	90,5	91,8	89,0	83,4**	79,5**				

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht gilt nur in Verbindung mit der Herstellerbescheinigung vom 09.02.2015.

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

- Bemerkungen:
- (1) Die normierte Windgeschwindigkeit von  $v_s = 7,9 ms^{-1}$  entspricht 95 % der Nennleistung.
  - (2) Witterungsbedingt keine Daten für WEA-Betrieb vorhanden
  - (3) Höchste gemessene normierte Windgeschwindigkeit  $v_s = 8,5 m/s$
  - (4) Weniger als 18 Werte entsprechend 3 min Messzeit bei WEA-Betrieb, abweichend von [1]. Ergebnisse sind Anhaltswerte
- \* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 6 dB, Pegelkorrektur um 1,3 dB  
 \*\* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 3 dB, keine Pegelkorrektur  
 \*\*\* Umrechnung von 98,4 m Nabenhöhe auf 138,4 m

Gemessen durch: KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG

Datum: 09.03.2015

i. V. Dipl.-Ing. Oliver Bunk

I. A. Matthias Humpohl, B. Sc.

## 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:

Schallberechnungs-Modell  
ISO 9613-2 Allgemein

Windgeschwindigkeit  
Lautester Wert bis 95% Nennleistung

Nur bestimmte Oktavbänder

Nur bestimmte Oktavbänder

Bodeneffekt (Agr)      Bodenfaktor  
Standardverfahren      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  
1: WEA-Geräusch vs. Schallrichtwert (DK, DE, SE, NL etc.)

Schalleistungspegel in der Berechnung  
Schallwerte sind Lwa-Werte (Mittlere Schalleistungspegel: Standard)

Einzelton (Anmerkung: Nur verwendet wenn mindestens eine WEA Einzelton hat)  
Einzelton- und Impulszuschläge werden zu Schallwerten addiert

Aufpunkthöhe ü. Gr., wenn im Immissionsort-Objekt kein abweichender Wert  
5.0 m       Aufpunkthöhe in Immissionsort-Objekt hat Vorrang vor dieser Angabe

verlangte Unter- (negativ) oder zulässige Überschreitung (positiv) des Schallrichtwerts.  
0.0 dB(A)       Luftdämpfung

#### 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,

## 300 • 4.1. UMWELT DECIBEL - Schallberechnung

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 liegt und
- der Schall kein reiner Ton ist

Beide Methoden werden in Artikel 7.4 genauer beleuchtet.

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

### 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 Berichtsdruck 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).

Schallberechnungs-Modell  
 Sp. 5142 Umgebungsgeräusche

...  
 ...  
 ...

Meteorologischer Koeffizient C<sub>0</sub>  
 0.0 dB, Empfohlenes Maximum: 2 dB

...  
 ...

...

Aufpunkthöhe ü. Gr., wenn im Immissionsort-Objekt kein abweichender Wert  
 5.0 m  ...

verlangte Unter- (negativ) oder zulässige Überschreitung (positiv) des Schallrichtwerts.  
 0.0 dB(A)  Details anzeigen  Luftdämpfung

**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<sub>0</sub>:** 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<sub>WA</sub>-Werte, d.h. mittlere A-gewichtete Schalldruckpegel.

**Einzelöne:** 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).

Schallberechnungs-Modell

...  
 ...

...

Bodenfaktor  
 [0-1] 0: Harter Boden, 1: Poröser Boden

Meteorologischer Koeffizient C<sub>0</sub>  
 dB. Empfohlenes Maximum: 2 dB

verlangte Unter- (negativ) oder zulässige Überschreitung (positiv) des Schallrichtwerts.  
 dB(A)  Details anzeigen

**Windgeschwindigkeit:** Der Schalleistungspegel 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 C<sub>0</sub>:** 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,  $D_\Omega$  (Berechnung nach dem alternativen Verfahren)

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

$D_\Omega$  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

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

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

Dieser Wert für  $\alpha_{500}$  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  $L_{AFT}$  bei den Mittenfrequenzen jeder einzelnen Schallquelle berechnet sich aus:

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

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:

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

$A_{div}$  : 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  $A_{bar} = 0$ .

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

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

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

mit:

$\alpha_f$  : Absorptionskoeffizient der Luft für jedes Oktavband

Der Absorptionskoeffizient  $\alpha_f$  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
$\alpha_f$ , [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:

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

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	$A_N$ or $A_{11}$ dB	$A_m$ dB
63	- 1,5	- $3q^{21}$
125	- 1,5 - $G \times a'(h)$	- $3q(1 - G_m)$
250	- 1,5 - $G \times b'(h)$	
500	- 1,5 - $G \times c'(h)$	
1 000	- 1,5 + $G \times d'(h)$	
2 000	- 1,5(1 - G)	
4 000	- 1,5(1 - G)	
8 000	- 1,5(1 - G)	
NOTES		
$a'(h) = 1,5 + 3,0 \times e^{-0,12(h-5)^2} (1 - e^{-d_p/150}) + 5,7 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-2,5 \times 10^{-6} \times h_p^2})$		
$b'(h) = 1,5 + 8,6 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-d_p/150})$		
$c'(h) = 1,5 - 14,0 \times e^{-0,46h^2} (1 - e^{-d_p/150})$		
$d'(h) = 1,5 + 5,0 \times e^{-0,9h^2} (1 - e^{-d_p/150})$		
<p>1) For calculating <math>A_{N_s}</math>, take <math>G = G_s</math> and <math>h = h_s</math>. For calculating <math>A_{N_r}</math>, take <math>G = G_r</math> and <math>h = h_r</math>. See 7.3.1 for values of <math>G</math> for various ground surfaces.</p> <p>2) <math>q = 0</math> when <math>d_p \leq 30(h_s + h_r)</math></p> $q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p} \quad \text{when } d_p > 30(h_s + h_r)$ <p>where <math>d_p</math> is the source-to-receiver distance, in metres, projected onto the ground planes.</p>		

### 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:

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

$L_{AT}$ : 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

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

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

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

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

$d_p$ : 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.