

SCHALLTECHNISCHER BERICHT NR. 27257-1.006

über die Ermittlung und Beurteilung der anlagenbezogenen
Geräuschimmissionen der Windenergieanlagen
im Windpark Hohen Pritz



Impressum

Herausgeber: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie
Mecklenburg-Vorpommern (LUNG)
Goldberger Straße 12
18273 Güstrow

Tel.: 03843 / 777-0 Fax: 03843 / 777-106

E-Mail: poststelle@lung.mv-regierung.de

Auftragnehmer / Bearbeitung: KÖTTER Consulting Engineers KG
Bonifatiusstraße 400
48432 Rheine

Tel.: 05971 / 9710-0 Fax: 05971 / 9710-55

Foto Titelseite: LUNG M-V

Umfang: 58 Seiten mit 10 Tabellen und 31 Abbildungen,
37 Seiten Anlagen

Güstrow, im Mai 2010

SCHALLTECHNISCHER BERICHT NR. 27257-1.006

über die Ermittlung und Beurteilung der anlagenbezogenen Geräuschimmissionen der Windenergieanlagen im Windpark Hohen Pritz

Datum:

26.05.2010

Auftraggeber:

LUNG

Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern

Goldberger Straße 10

18273 Güstrow

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Frank Henkemeier

Dipl.-Ing. Oliver Bunk

1.) Zusammenfassung

Am 07.01.2005 wurden im Windpark Hohen Pritz die Schallemissionen der Windenergieanlage (WEA) vom Typ Südwind S-77, Serien-Nr. 70056, hinsichtlich tieffrequenter Geräusche und Infraschall untersucht. Zeitgleich wurden die Geräuschimmissionen vor und im Wohnhaus der Familie Knorr, Neue Straße 5 in Hohen Pritz untersucht.

Aufbauend auf den Messergebnissen erfolgten am 26.11.2009 weitere vertiefende Schallmessungen zur Ermittlung der Geräuschimmissionen der 14 Windenergieanlagen (WEA) im Windpark (WP) Hohen Pritz. Die Messungen erfolgten synchron an zwei Messpunkten wiederum vor und im dem Wohnhaus der Familie Knorr.

Die Ergebnisse der Emissionsmessung vom 07.01.2005 zeigen, dass bei Frequenzen im Infraschallbereich um $f < 10$ Hz die einzelnen Betriebszustände nicht voneinander zu unterscheiden sind. Zudem ist die Streuung der Schalldruckpegel hoch.

Emissionsseitig sind allerdings die unterschiedlichen Betriebszustände im tieffrequenten Bereich ($16 \text{ Hz} < f < 60 \text{ Hz}$) messtechnisch feststellbar, wohingegen am Immissionsort das Anlagengeräusch nicht vom Hintergrundgeräusch zu unterscheiden ist.

Die Ergebnisse der Immissionsmessung am Ersatzimmissionsort vom 26.11.2009 nach TA Lärm [3] zeigen, dass die WEA-Geräusche rechnerisch und gemäß dem subjektiven Höreindruck weder ton- noch impulshaltig sind.

Auch die Anhaltswerte zur Beurteilung von tieffrequenten Geräuschimmissionen nach dem Beiblatt 1 der DIN 45680 [6] im Schlafzimmer und Aufenthaltsraum im 1. OG des Wohnhauses der Familie Knorr sind eingehalten. Es liegt entsprechend der Norm kein deutlich hervortretender Einzelton vor.

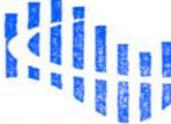
Das Dachgeschoss im Wohnhaus der Familie Knorr weist aufgrund der Konstruktion eine geringe Schalldämmung auf und wirkt bei tiefen Frequenzen als Tiefpassfilter. Daher steigt die Auffälligkeit gegenüber tieffrequenter Anregung insbesondere während der ruhigen Nachtstunden von außen.

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

Dieser Bericht enthält 58 Seiten und fünf Anlagen.

Rheine, 26.05.2010 FH / BB

KÖTTER Consulting Engineers KG



KÖTTER
CONSULTING ENGINEERS
Bonifatiusstraße 400 · 48432 Rheine
Tel. 0 59 71 - 97 10.0 · Fax 0 59 71 - 97 10.43



i. V. Dipl.-Ing. Oliver Bunk



i. V. Dipl.-Ing. Frank Henkemeier

* Die Weitergabe von Daten oder Informationen ist dem Auftraggeber gestattet. Authentisch ist dieses Dokument nur mit Originalunterschrift. Bezüglich der Urheberrechte verweisen wir auf die jeweils gültigen KCE-Beratungsbedingungen.

INHALTSVERZEICHNIS

1.)	Zusammenfassung	2
2.)	Situation und Aufgabenstellung	6
3.)	Bearbeitungsgrundlagen	7
4.)	Immissionsort und Beurteilungskriterien	9
4.1.	Bewertung der Schallimmissionen	9
4.2.	Bewertung tieffrequenter Geräusche	10
5.)	Messprotokoll der Messungen am 07.01.2005	11
6.)	Ergebnis der Emissionsmessung vom 07.01.2005	15
6.1.	Allgemeines	15
6.2.	Schalldruckpegel am Referenzmesspunkt	16
6.3.	Impulshaltigkeit	17
6.4.	Tonhaltigkeit	18
6.5.	Schalleistungspegel	22
6.6.	Tieffrequente Geräusche und Infraschall im Nahbereich	22
6.7.	Fazit der Emissionsmessung vom 07.01.2005	26
7.)	Ergebnisse der Immissionsmessung vom 07.01.2005	27
7.1.	Situation vor Ort	27
7.2.	Messaufbau	28
7.3.	Schalldruckpegel am Immissionsort	29
7.4.	Tieffrequente Geräusche und Infraschall im Gebäude	30
7.5.	Fazit der Immissionsmessung vom 07.01.2005	34

8.)	Erweiterte Aufgabenstellung	35
9.)	Messprotokoll der Messung am 26.11.2009	36
10.)	Ergebnisse der Immissionsmessung vom 26.11.2009	39
10.1.	Situation vor Ort	39
10.2.	Messaufbau	41
10.3.	Schalldruckpegel am Ersatzimmissionsort	42
10.4.	Tonhaltigkeit am Ersatzimmissionsort	45
10.5.	Impulshaltigkeit am Ersatzimmissionsort	46
10.6.	Tieffrequente Geräusche	47
10.6.1	Vorgehensweise	47
10.6.2	Allgemeines	47
10.6.3	Tieffrequenter Schall	49
10.6.4	Prüfung auf deutlich hervortretende Einzeltöne	51
10.6.5	Bewertung der tieffrequenten Geräusche	52
10.6.6	Fazit der Immissionsmessung vom 26.11.2009	53
11.)	Übersichtsmessungen vom 26.11.2009	54
12.)	Messunsicherheit	57
13.)	Anlagen	58

2.) Situation und Aufgabenstellung

Im Windpark Hohen Pritz befinden sich mehrere Windenergieanlagen des Typs Südwind S-77 mit einer Nabhöhe von 85 m.

Im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern sollen tieffrequente Geräusche und Infraschall des besagten Windparks gemessen werden. Aufschluss hierüber sollen Emissionsmessungen an der WEA Südwind S-77, Serien-Nr. 70056, geben. Darüber hinaus sollen vor und im Wohnhaus der Familie Knorr, Neue Straße 5 in 19406 Hohen Pritz synchron zu den Emissionsmessungen die Geräuschimmissionen des Windparks untersucht werden.

Es sind emissions- und immissionsseitig spezielle Infraschallmikrofone zu verwenden mit einem erweiterten Frequenzbereich ab $f = 1$ Hz.

Weiterhin soll die WEA auf Ton- und Impulshaltigkeit im Nah- und Fernbereich überprüft werden.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Form eines schalltechnischen Berichtes zu dokumentieren.

3.) Bearbeitungsgrundlagen

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

- [1] DIN EN 61400-11, Windenergieanlagen - Teil 11: Schallmessverfahren; Ausgabe März 2007
- [2] DIN EN 61400-12, Windenergieanlagen, Teil 12: Messverfahren zur Bestimmung des Leistungsverhaltens bei Windenergieanlagen; Ausgabe Juli 1999
- [3] TA Lärm, Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm), Ausgabe August 1998
- [4] DIN 45645-1, Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen, Teil 1: Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft; Ausgabe Juli 1996
- [5] DIN 45680, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft, Ausgabe März 1997
- [6] Beiblatt 1 zu DIN 45680, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft, Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen, Ausgabe März 1997
- [7] DIN 45681, Akustik - Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen; Ausgabe März 2005
- [8] DIN 45681 Berichtigung 2, August 2006: Akustik – Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen, Berichtigungen zu DIN 45681: 2005-03, mit CD
- [9] Fördergesellschaft Windenergie e. V., Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Revision 18, Stand 01.02.2008, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte
- [10] Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windenergieanlagen, Empfehlungen des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI), März 2005

- [11] Infraschalluntersuchungen an Windenergieanlagen, Vortrag beim 3. Rheiner Windenergie-Forum am 09./10. März 2005 von Dipl.-Ing. Arno Schällig, KÖTTER Consulting Engineers
- [12] Übersichtslageplan entnommen aus Google Earth®
- [13] Angaben zur Rotornenndrehzahl der Windenergieanlagen im WP Hohen Pritz, Telefonat vom 25.11.2009 mit Herrn Haevernick, Nordex Energy GmbH
- [14] Wetterdaten vom 26.11.2009 der Standorte Gülzow und Groß Niendorf, zur Verfügung gestellt durch den Auftraggeber

4.) Immissionsort und Beurteilungskriterien

4.1. Bewertung der Schallimmissionen

Nach den vorliegenden Unterlagen ist der Immissionsort (Wohnhaus Familie Knorr) in der Nachbarschaft des WP Hohen Pritz wie Mischgebiet zu berücksichtigen. Nach TA Lärm [3] sind folgende Immissionsrichtwerte heranzuziehen:

Immissionsort	Straße / Hausnummer	Gebietseinstufung	Immissionsrichtwert [dB(A)]	
			Tags	Nachts
Wohnhaus Familie Knorr	Neue Straße 5, 19406 Hohen Pritz	Mischgebiet	60	45

Tabelle 1: Immissionsort und -richtwerte in der Nachbarschaft des WP Hohen Pritz

Der Tag umfasst den Zeitraum von 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr. Als Nachtzeitraum gilt nach TA Lärm [3] die Zeit von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr. Die vorliegende messtechnische Untersuchung beschränkt sich auf den aus akustischer Sicht kritischeren Nachtzeitraum. Für den Nachtzeitraum ist die volle Stunde mit dem höchsten Beurteilungspegel maßgeblich.

Einzelne Geräuschspitzen dürfen den einzuhaltenden Immissionsrichtwert nachts um nicht mehr als 20 dB(A) überschreiten.

4.2. Bewertung tieffrequenter Geräusche

Für die Bewertung tieffrequenter Geräusche ist unabhängig von der Gebietseinstufung nach DIN 45680 [5] die Terzanalyse erforderlich, wenn

$$L_{CFeq} - L_{AFeq} > 20 \text{ dB.}$$

Nach Beiblatt 1 zu DIN 45680 [6] sind folgende Anhaltswerte zur Beurteilung heranzuziehen.

Beurteilung bei deutlich hervortretenden Einzeltönen

Beurteilungszeit	$\Delta L_1 = L_{Terz,r} - L_{HS}$ bei Terzmittenfrequenz				$\Delta L_2 = L_{TerzFmax} - L_{HS}$ bei Terzmittenfrequenz			
	8 Hz	10 - 63 Hz	80 Hz	100 Hz	8 Hz	10 - 63 Hz	80 Hz	100 Hz
Tagesstunden	5 dB	5 dB	10 dB	15 dB	15 dB	15 dB	20 dB	25 dB
Nachtstunden	0 dB	0 dB	5 dB	10 dB	10 dB	10 dB	15 dB	20 dB

Tabelle 2: Anhaltswerte bei deutlich hervortretenden Einzeltönen

Anmerkung: Die Terzen mit den Mittenfrequenzen von 8 Hz oder 100 Hz sollen nur in Sonderfällen berücksichtigt werden.

Beurteilung tieffrequenter Geräusche in sonstigen Fällen

Beurteilungszeit	L_r in dB	L_{AFmax} in dB
Tagesstunden	35	45
Nachtstunden	25	35

Tabelle 3: Anhaltswerte in sonstigen Fällen

Nach Beiblatt 1 zu DIN 45680 [6] liegen im Allgemeinen keine erheblichen Belästigungen durch tieffrequente Geräusche vor, wenn die angegebenen Anhaltswerte nicht überschritten werden.

5.) **Messprotokoll der Messungen am 07.01.2005**

Aufgabenstellung: Emissions- und Immissionsmessung tieffrequenter Geräusche und Infraschall des Windparks Hohen Pritz in 19406 Hohen Pritz.

Messpunkte (MP):

Am Emissionsort:
MP 1 im Abstand von 100 m zur Rotorebene auf einer schallharten Platte in Mitwindrichtung; MP 2 und MP 3 im Abstand von 100 m zur Rotorebene erdbündig (strömungsoptimiert) in Mitwindrichtung: freie Ausbreitungsbedingungen, Abstand zwischen MP 2, MP 1 und MP 3 jeweils 5 m

Am Immissionsort:
MP 4 am Wohnhaus der Familie Knorr, Neue Straße 5 in 19406 Hohen Pritz in einer Höhe von ca. 2 m. Entfernung ca. 600 m zum Windpark Hohen Pritz; MP 5 im Schlafzimmer und Aufenthaltsraum im 1. Obergeschosses im Wohnhaus der Familie Knorr.

Datum / Uhrzeit: 07.01.2005, ca. 12:30 Uhr bis 16:00 Uhr

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Arno Schällig (KCE)
Dipl.-Ing. Frank Henkemeier (KCE)
Dipl.-Ing. Jörn Hoffmeier (KBI)

Beobachter:

Herr Lewke (LUNG), zeitweise
Herr Bonde (Betreiber), zeitweise
Frau Knorr (Anwohnerin)

Anlagenbeschreibung:

Typ:	Südwind S 77
Serien-Nr.:	70056
Hersteller:	Südwind
Nabenhöhe:	85 m
Rotordurchmesser:	77 m
Nennleistung:	1.500 kW
Leistungsregelung:	Pitch
Baujahr:	2001

Messgeräte:

Gerät	Hersteller	Typ	Serien-Nr.	Eichung (E) bis bzw. Kalibrierung (K) in
Präzisionsschallpegelmesser	Norsonic	SA 110	13931	(E) 2004
Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik MP 1	Norsonic	1220	16539	(E) 2004
Akustisches Messsystem Real-Time-Analyser	Norsonic	840-2	18711	(E) 2004
Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik MP 2 und MP 3	Microtec Gefell	MK222	24561, 27465	Vergleichsmessung
Kalibrator	Norsonic	1251	21761	(E) 2007
DAT-Recorder MP1 bis MP3	Teac	RD 145 T	--	--
Anemometer	Thies	CLIMA 4.3303.22.040	199030	--
Stromzangen	LEM	RR 3030	F02422117912, F02482420812, F02492423512	--
Daten-Logger (8-Kanal)	IMC	Cronos-PL-3	120671	--
Windschirm am MP1	Brüel & Kjaer	UA 0237	--	--
Präzisionsschallpegelmesser	Brüel & Kjaer	2231	1506555	(E) 2005
Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik MP 4	Brüel & Kjaer	4155	1539881	(E) 2005
Environmental Analyser	Norsonic	121	28772	(E) 2005

Gerät	Hersteller	Typ	Serien-Nr.	Eichung (E) bis bzw. Kalibrierung (K) in
Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik MP 5	Microtec Gefell	MK222	28280	Vergleichsmessung
Kalibrator	Brüel & Kjaer	4231	02052711	--
DAT-Recorder MP 4	Sony	TCD-D100	541989	--
DAT-Recorder MP 5	Sony	TCD-D100	532242	--
Messwerterfassung	IOtech	WaveBook 516	--	--
Daten-Logger		Notebook mit Software DASYLab		
Anemometer	Thies	CLIMA 4.3303.22.000	1201748	--
Windschirm am MP 4	Brüel & Kjaer	UA 0237	--	--
Klimamessgerät	Thommen	HM 30	1014142	--

Witterungsbedingungen:

Temperatur (Mittelwert): ca. 10 °C

Luftdruck (Mittelwert): ca. 1.006 hPa

Windgeschwindigkeit v_{10} : Am Emissionsort:
6 - 18 m/s aus südwestlicher Richtung (Sekundenwerte, Anemometer 10 m Höhe)

Am Immissionsort:

10 - 16 m/s aus südwestlicher Richtung (Sekundenwerte, Anemometer 10 m Höhe)

Hinweis: Die Windrichtung wich bis zu ca. 50 ° von der interessierenden Richtung zum Immissionsort ab.

Witterung: 8/8 Bewölkung
kein Niederschlag

Fremdgeräusche: Minutenmittelwerte mit zeitlich begrenzten Fremdgeräuschen (Fahrzeuge, Flugzeuge, etc.) wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Besonderheit der vermessenen WEA: Witterungsbedingt durch Starkwind erfolgten die Messung der Schallemissionen und -immissionen überwiegend bei Nennleistung $P_{\text{Nenn}} = 1.500 \text{ kW}$.

Standort: Der Windpark befindet sich in 19406 Hohen Pritz.

Koordinaten des Standortes der WEA 1 Südwind S-77,
Serien-Nr.: 70056
GK RW: 4494229
GK HW: 5943424

6.) Ergebnis der Emissionsmessung vom 07.01.2005

6.1. Allgemeines

Die nachstehende Vorgehensweise entspricht weitgehend den Regelungen der DIN EN 61400-11 [1] und der FGW-Richtlinie [6].

Zur Ermittlung der Schalldruckpegel wurde das Mikrofon MP1 nach [1] auf einer schallharten Platte befestigt. Die Entfernung S von der Rotorebene setzte sich nach [1] standardmäßig zusammen aus der Nabenhöhe, dem halben Rotordurchmesser und dem Rotorabstand zur Turmmittellinie. Der Messabstand wurde fremdgeräuschbedingt in Anlehnung an [1] verkürzt. Es ergab sich eine Entfernung von $S = 100$ m.

Zusätzlich wurden die beiden Infraschallmikrofone in einem Abstand von ca. 5 m zu dem Referenzmesspunkt in Erdlöchern installiert. Diesen Messaufbau veranschaulicht die folgende Abbildung.



Abbildung 1: Mikrofon MP 3 erdbündig auf einer Ringplatte (strömungsoptimiert), Messung am 07.01.2005

Zur Ermittlung des Schalleistungspegels werden die Messwerte vom Referenzmesspunkt MP1 herangezogen. Für die Analyse tieffrequenter Geräusche und Infraschall sind die Messergebnisse der Mikrofone in den Erdlöchern MP2 und MP3 maßgeblich.

Zwei unmittelbar benachbarte Windenergieanlagen (WEA 2 und WEA 5) waren während des Messzeitraumes zeitweise abgeschaltet. Alle anderen WEA im Abstand > 500 m waren während der gesamten Messung in Betrieb.

6.2. Schalldruckpegel am Referenzmesspunkt

Während der Messung wurden die Mittelungspegel L_{Aeq} und die Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq} (Taktzeit: 5 s) aufgezeichnet.

Die folgende Abbildung 2 zeigt den Schalldruckpegel L_{Aeq} am Referenzmesspunkt in Abhängigkeit von der elektrischen Leistung (Minutenmittelwerte).

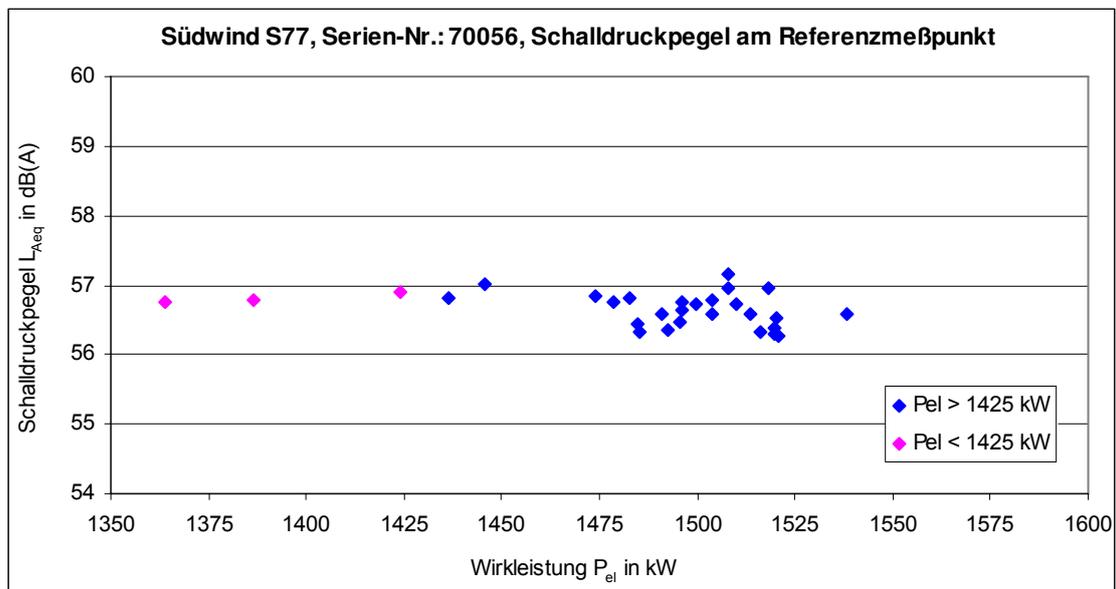


Abbildung 2: Schalldruckpegel am Referenzmesspunkt über elektrischer Leistung

Aufgrund des am Messtag vorherrschenden starken Windes befand sich die WEA überwiegend bei Nennleistung. Daher ist eine FGW-konforme Ermittlung des Schallleistungspegels nicht möglich. Die weiteren Berechnungen beziehen sich auf den Leistungsbereich $P_{el} > 1.425 \text{ kW}$.

In Tabelle 4 ist der mittlere Schalldruckpegel für den Leistungsbereich größer 1.425 kW (entspricht 95 % der Nennleistung) und dem Hintergrundgeräusch dargestellt. Zudem ist der Abstand $\Delta L_{s+n,n}$ zwischen dem WEA- und dem Hintergrundgeräusch sowie der hintergrundgeräuschkorrigierte Pegel $L_{Aeq,C}$ aufgeführt.

P_{el}	> 1.425 kW
L_{s+n}	56,6 dB(A)
L_n	49,0 dB(A)
$\Delta L_{s+n,n}$	7,6 dB
$L_{Aeq,c}$	55,7 dB(A)

Tabelle 4: Emissionsdaten der WEA Südwind S-77; Serien-Nr.: 70056

6.3. Impulshaltigkeit

Nach dem subjektiven Höreindruck während des Messzeitraums liegt keine Impulshaltigkeit vor. Die Blattdurchgangsfrequenz war nicht auffällig.

Eine rechnerische Auswertung ist nach [6] nicht erforderlich, wird aber zur Information durchgeführt.

Zur rechnerischen Bestimmung der Impulshaltigkeit K_{IN} des Anlagengeräusches wird die Differenz zwischen Mittelungspegel L_{Aeq} und Taktmaximalpegel L_{AFTeq} (Taktzeit: 5 s) gebildet. Für jede Windklasse werden Pegeldifferenzen nach [3] ermittelt. Sie werden auf eine Kommastelle gerundet angegeben.

Eine Zusammenfassung der Schalldruckpegel sowie der ermittelten Impulshaltigkeit K_{IN} emissionsseitig zeigt Tabelle 5.

P_{el}	> 1.425 kW
L_{AFeq}	58,4 dB(A)
L_{AFTeq}	60,1 dB(A)
$L_{AFTeq-LAFeq}$	1,7 dB
K_{IN}	0 dB

Anmerkung: Die WEA befand sich über den gesamten Messzeitraum überwiegend bei Nennleistung

Tabelle 5: Impulshaltigkeit im Nahbereich über alle Messwerte

Auffällige Geräusche während des Betriebes der Azimutverstellung wurden nicht festgestellt.

6.4. Tonhaltigkeit

Eine Tonhaltigkeitsanalyse für den Nahbereich der WEA erfolgt mit den während der Messung aufgezeichneten Luftschall-FFTs.

Angewendet wird das Auswerteverfahren nach [1]. Es wird der Frequenzbereich 0 - 1.600 Hz in 10s-FFT-Frequenzspektren untersucht.

Die einzelnen Spektren können der Anlage B entnommen werden.

Die rechnerische Auswertung nach [1] ergibt keinen Zuschlag für Tonhaltigkeit im Nahfeld.

Folgende Abbildung zeigt ein Kreuzspektrum, das anhand der Luftschallsignale der beiden Infraschallsensoren für verschiedene Betriebsweisen berechnet wurde (WEA an und Hintergrund). Die Infraschallsensoren befanden sich im Abstand von 10 m zueinander.

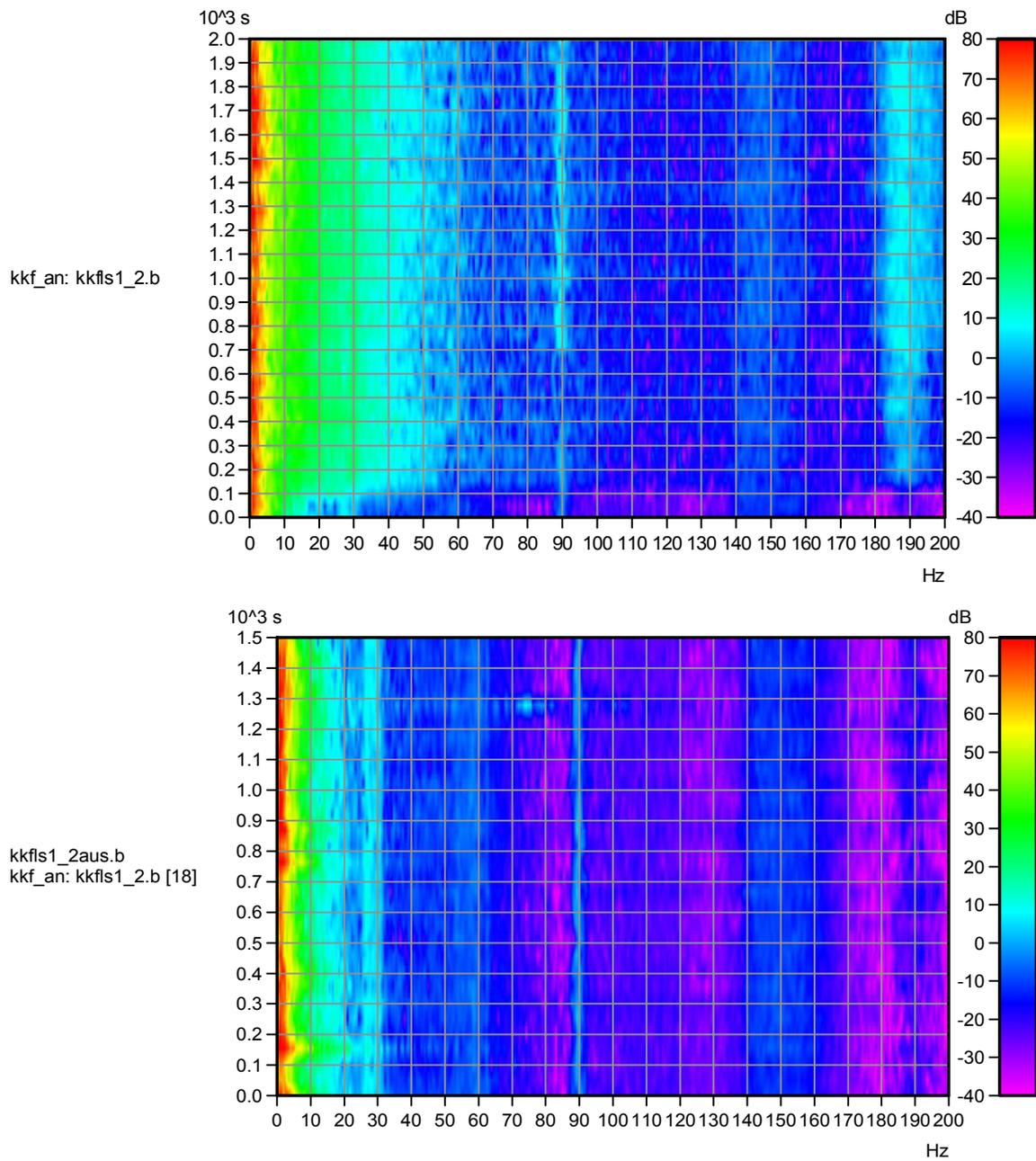


Abbildung 3: Farbspektrogramme (Kreuzleistungsdichte) WEA an (oben) und WEA aus (unten)

Der Abbildung 3 ist zu entnehmen, dass bei ein- und ausgeschalteter WEA im Spektrogramm ein schwacher Einzelton bei $f \approx 90$ Hz vorhanden war.

Akustische Auffälligkeiten im tieffrequenten Bereich ($f < 100$ Hz) treten im Frequenzbereich um $10 \text{ Hz} < f < 60 \text{ Hz}$ auf. Dieser Unterschied wird zusätzlich durch nachfolgende Abbildung 4 veranschaulicht.

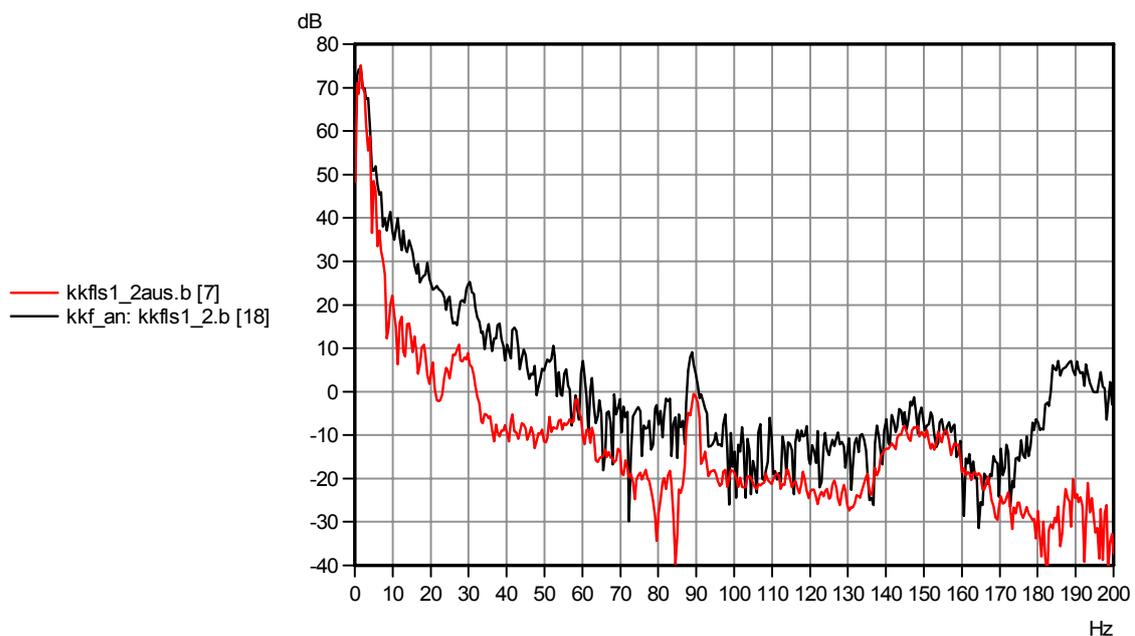


Abbildung 4: Kreuzleistungsdichtespektren WEA an (schwarze Kurve) und WEA aus (rote Kurve)

Der Abbildung 4 ist zu entnehmen, dass die Spektrallinien bei eingeschalteter und ausgeschalteter WEA im Frequenzbereich $f < 10$ Hz fast deckungsgleich verlaufen. Oberhalb $f = 60$ Hz nähern sich die Kurven wieder an.

Zudem sind in Abbildung 5 die FFT-Analysen des Schalldruckpegels für die Betriebszustände WEA an und WEA aus gegenübergestellt.

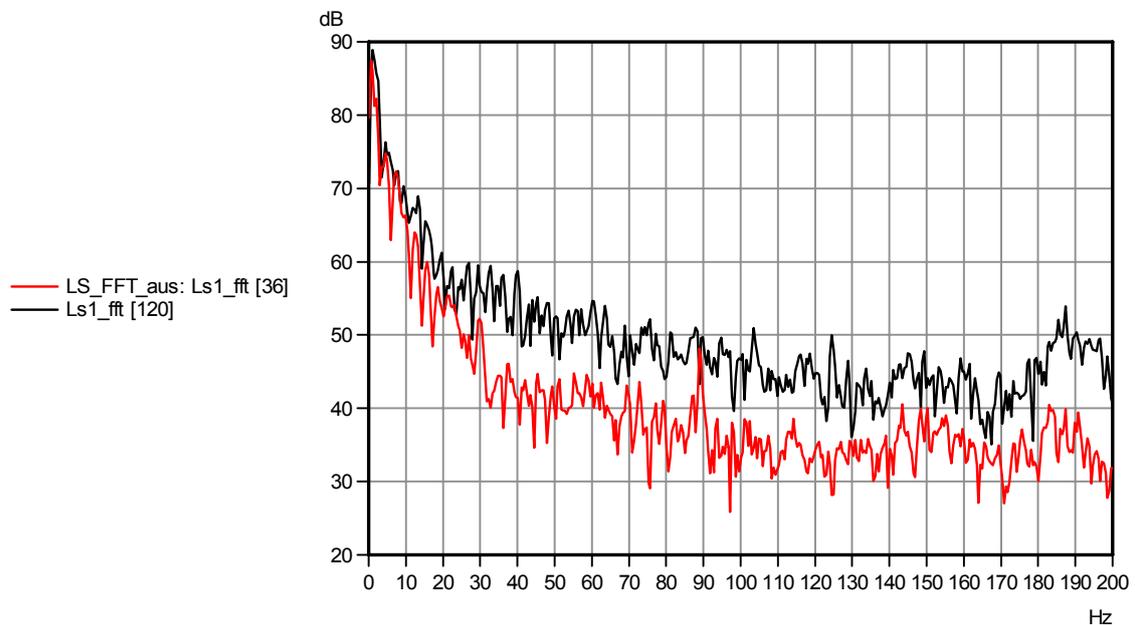


Abbildung 5: FFT-Analysen WEA an (schwarze Kurve) und WEA aus (rote Kurve)

Das Hintergrundgeräusch (schwarze Kurve) zeigt einen schwachen Einzelton bei $f = 90$ Hz (vgl. Anlage B).

Nach der subjektiven Wahrnehmung während des Messzeitraums ist die WEA im Nahfeld nicht tonhaltig. Die Blattdurchgangsfrequenz um $f = 1$ Hz ist nicht auffällig.

6.5. Schalleistungspegel

Aus dem hintergrundgeräuschkorrigierten Schalldruckpegel $L_{Aeq,c}$ am Referenzmesspunkt wird der Schalleistungspegel L_W bei Nennleistung in Anlehnung an [1] wie folgt bestimmt:

$$L_W = L_{Aeq,c} - 6 + 10 \lg \left(4\pi \cdot \frac{R_1^2}{S_0} \right)$$

$R_1 \triangleq$ Abstand zwischen Rotormittelpunkt und Mikrofon, ermittelt aus:

$$R_1 = \sqrt{S^2 + H^2} \quad \text{mit} \quad S \triangleq \text{Abstand des Mikrofons zur Rotorebene}$$

$H \triangleq$ Höhe des Rotormittelpunktes

(hier: $R_1 = 133 \text{ m}$)

$S_0 \triangleq$ Bezugsfläche ($S_0 = 1 \text{ m}^2$)

Die Konstante von 6 dB in obiger Gleichung trägt der Schalldruckpegelerhöhung auf einer schallharten Platte Rechnung. Zuschläge für Ton- und Impulshaltigkeit werden nicht vergeben.

Demnach errechnet sich eine Schalleistung der WEA von $L_W = 103,2 \text{ dB(A)}$.

6.6. Tieffrequente Geräusche und Infraschall im Nahbereich

Um einen Überblick zu bekommen, welchen Einfluß tiefe Frequenzen auf den erzeugten Schalldruckpegel haben, ist in den folgenden Abbildungen der Verlauf des linearen Schalldruckpegels (10-Sekunden-Mittelwerte) am Emissionsort für verschiedene Terzmittenfrequenzen unterhalb $f = 100 \text{ Hz}$ dargestellt. Zusätzlich ist in den Abbildungen als Vergleich der A-bewertete Schalldruckpegel aufgeführt.

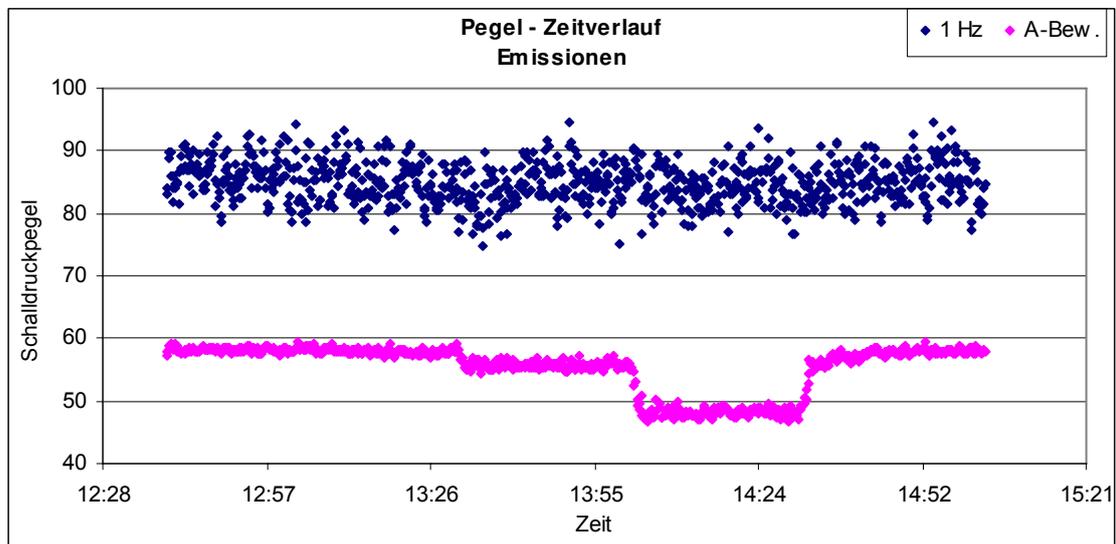


Abbildung 6: Pegelzeitverlauf am Emissionsort, Terzmittenfrequenz 1 Hz

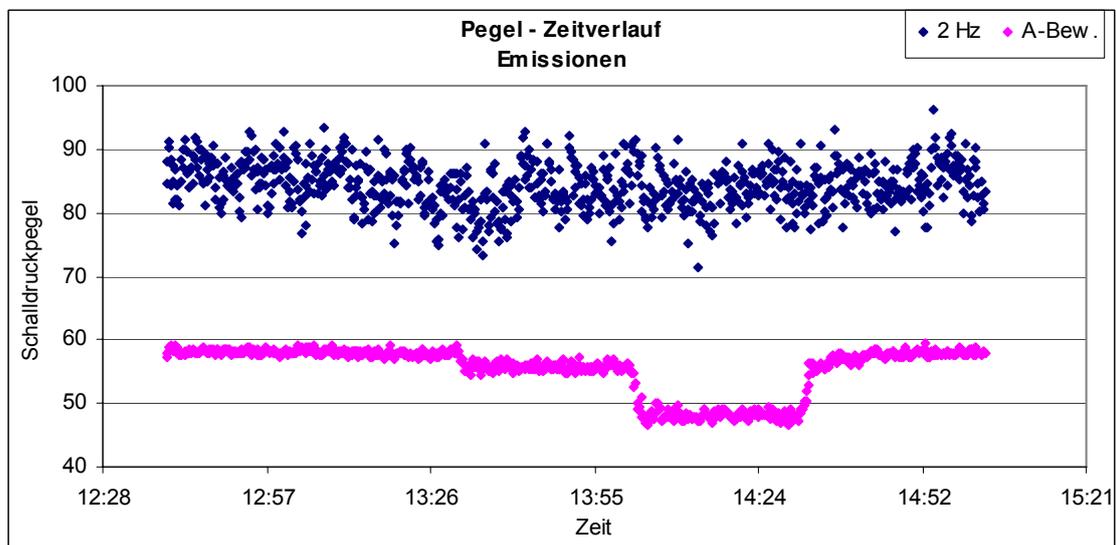


Abbildung 7: Pegelzeitverlauf am Emissionsort, Terzmittenfrequenz 2 Hz

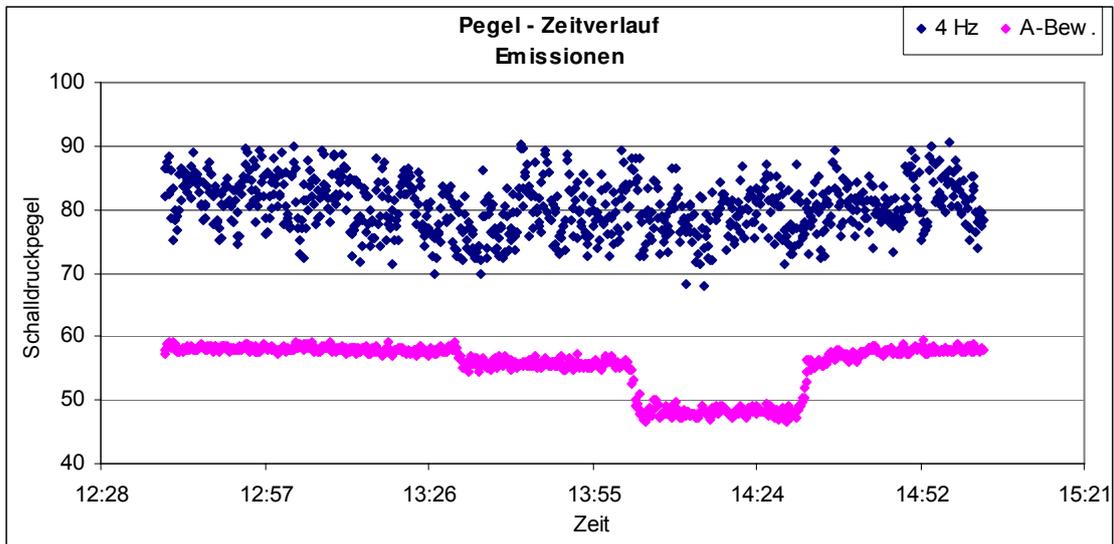


Abbildung 8: Pegelzeitverlauf am Emissionsort, Terzmittenfrequenz 4 Hz

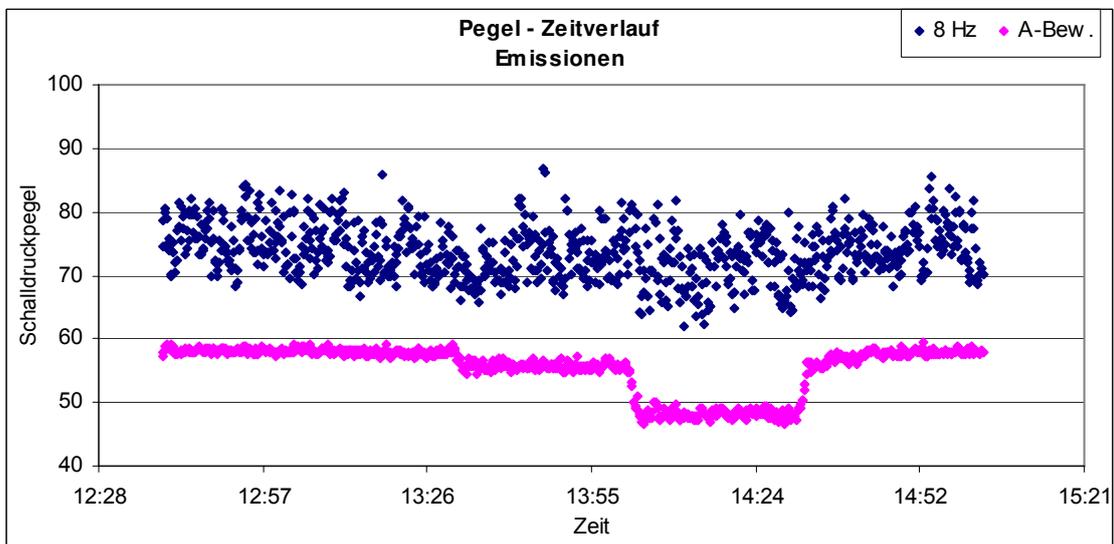


Abbildung 9: Pegelzeitverlauf am Emissionsort, Terzmittenfrequenz 8 Hz

Aus den vier vorangegangenen Abbildungen sind im Infraschallbereich die unterschiedlichen Betriebszustände nicht voneinander zu unterscheiden. Die Streuung der Schalldruckpegel ist sehr hoch und durch den Einfluss des Windes zu erklären.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen exemplarisch die Pegelzeitverläufe für die Terzmittenfrequenzen $f = 20 \text{ Hz}$ und $f = 63 \text{ Hz}$.

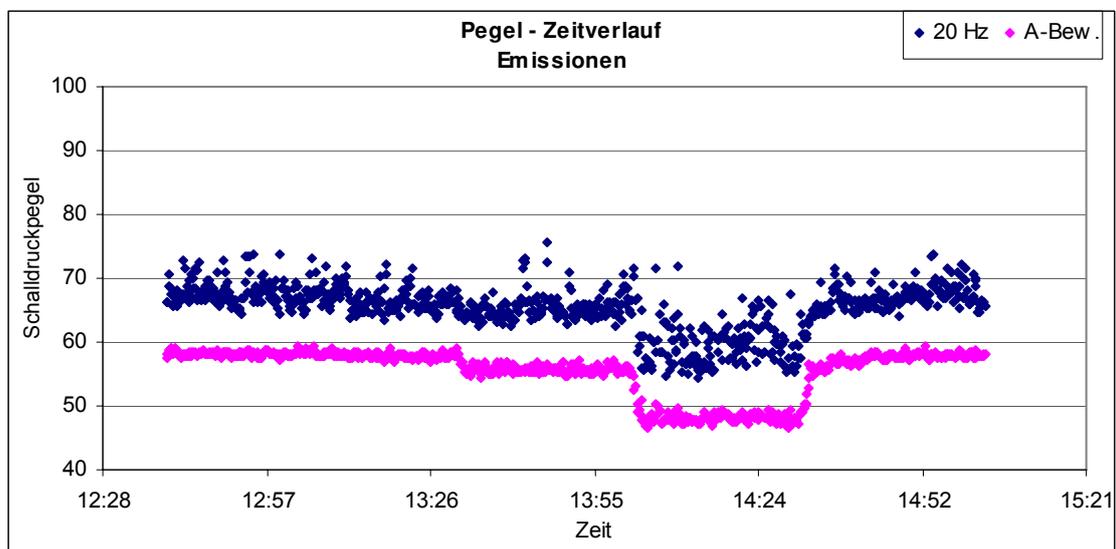


Abbildung 10: Pegelzeitverlauf am Emissionsort, Terzmittenfrequenz 20 Hz

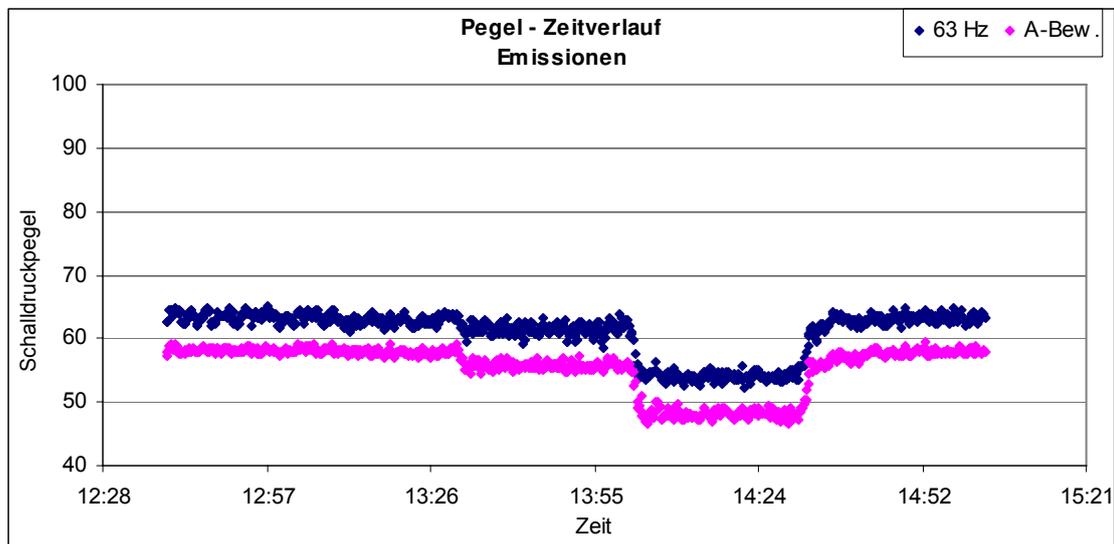


Abbildung 11: Pegelzeitverlauf am Emissionsort, Terzmittenfrequenz 63 Hz

Erst ab einer Terzmittenfrequenz von $f = 20$ Hz sind die unterschiedlichen Betriebsvarianten im Pegel-Zeitverlauf erkennbar. Die Streuung der Pegel nimmt ab.

6.7. Fazit der Emissionsmessung vom 07.01.2005

Die Schallmessungen am Emissionsort haben Folgendes ergeben:

- Im Infraschallbereich bei Frequenzen um $f < 10$ Hz sind keine Unterschiede zwischen den einzelnen untersuchten Betriebszuständen erkennbar. Die Streuung der Schalldruckpegel ist hoch.
- Im tieffrequenten Bereich $16 \text{ Hz} < f < 60 \text{ Hz}$ sind emissionsseitig zwischen ein- und ausgeschalteter WEA Pegeldifferenzen messtechnisch feststellbar.
- Der L_w der WEA S-77 beträgt $L_w = 103,2 \text{ dB(A)}$. Es wurde in Anlehnung an [9] bei Nennlastbetrieb ermittelt. Die WEA ist rechnerisch und subjektiv nicht ton- und impulshaltig.
- Es wurde ein schwacher Einzelton im Hintergrundgeräusch bei $f \approx 90 \text{ Hz}$ selektiert.

7.) Ergebnisse der Immissionsmessung vom 07.01.2005

7.1. Situation vor Ort

Das Wohngebäude der Familie Knorr befindet sich nordwestlich des WP Hohen Pritz. Gemäß der DIN 45645-1 [4] sind Immissionsmessungen in Mitwindrichtung $\pm 30^\circ$ durchzuführen. Für den hier zu beurteilenden Fall entspräche dies einer südöstlichen Windrichtung.

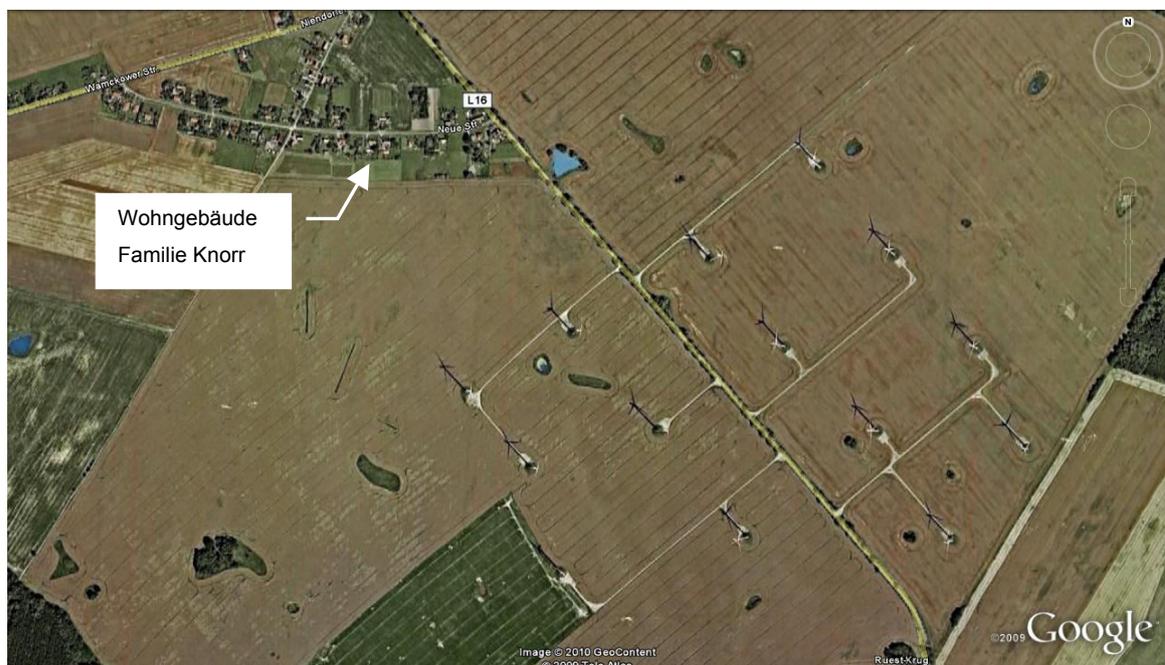


Abbildung 12: Übersichtslageplan aus [12] mit Darstellung des WP Hohen Pritz und dem Immissionsort Familie Knorr, © Google Earth

Entgegen der angekündigten Wetterprognose herrschte am Messtag (07.01.2005) allerdings Süd-West-Wind.

7.2. Messaufbau

Zur Ermittlung der Geräuschimmissionen wurde das Mikrofon möglichst nah vor dem maßgeblichen Immissionsort Wohnhaus Familie Knorr aufgebaut. Das Mikrofon befand sich auf einem Stativ in einer Höhe von 3,0 m. Neben dem Schallmesspunkt wurde die Windgeschwindigkeit mittels eines Anemometers in 10 m Höhe gemessen. Es herrschten freie Schallausbreitungsbedingungen vom Windpark zum Messpunkt. Die Messanordnung zeigt Abbildung 13.



Abbildung 13: Übersichtslageplan aus [12] mit Darstellung des Wohnhauses der Familie Knorr und Anordnung der Messstellen, © Google Earth

Zusätzlich wurden die Geräuschimmissionen nach DIN 45680 [5] im Gebäude (Schlafzimmer und Aufenthaltsraum im 1. Obergeschoss) untersucht. Eine orientierende Messung sowie eine subjektive Beurteilung ergab keinen Hinweis auf einen Aufenthaltsort mit hoher Geräuschbelastung. Das Mikrofon wurde daher in einem Abstand von $> 0,5$ m zu den Wänden auf einer Stivanordnung in 1,3 m Höhe im Bereich des Schreibtisches vor dem Dachfenster installiert.

Die Messungen erfolgten bei üblicher Raumausstattung, geschlossenen Fenstern und Türen. Um eine möglichst störungsfreie und empfindliche Messung zu erzielen, wurden während des Messzeitraumes die Heizung abgestellt und tickende Uhren aus dem Zimmer entfernt.

7.3. Schalldruckpegel am Immissionsort

In der folgenden Abbildung 14 sind die Zeitverläufe des Schalldruckpegels am Emissions- und Immissionsort dargestellt.

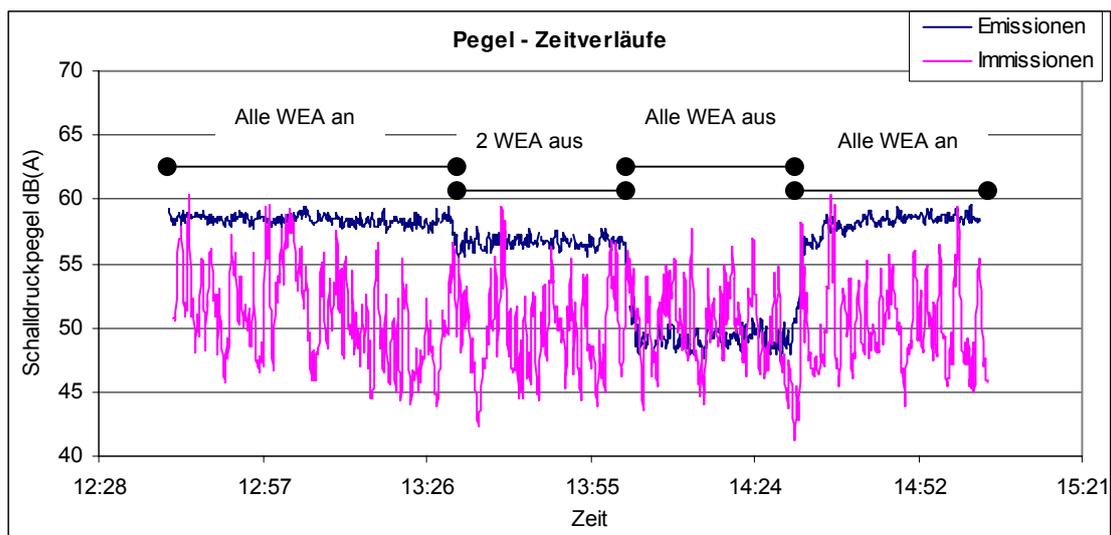


Abbildung 14: Zeitverlauf des Schalldruckpegels am Emissions- und Immissionsort im Windpark Hohen Pritz

Im Gegensatz zum Zeitverlauf des Schalldruckpegels am Emissionsort sind immissionsseitig unterschiedliche Betriebszustände nicht erkennbar. Der A-bewertete Schalldruckpegel streut um bis zu 20 dB. Am Immissionsort wird die Geräuschsituation maßgeblich durch windinduzierte Geräusche bestimmt. Der gewählte Messpunkt ist im Nachhinein zur Beurteilung der Geräuschsituation nicht geeignet und wird daher nicht weiter betrachtet.

7.4. Tieffrequente Geräusche und Infraschall im Gebäude

In den folgenden Abbildungen ist der Verlauf des Schalldruckpegels im Schlafzimmer und Aufenthaltsraum im 1. Obergeschoss im Wohnhaus der Familie Knorr für die gleichen Terzmittenfrequenzen wie in Kapitel 6.6 dargestellt.

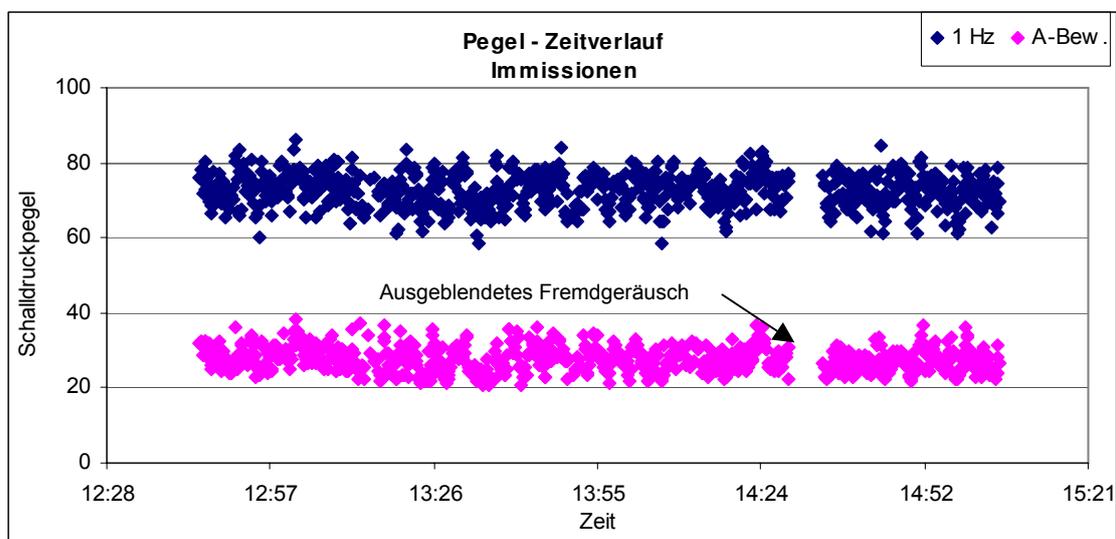


Abbildung 15: Pegelzeitverlauf am Immissionsort, Terzmittenfrequenz 1 Hz

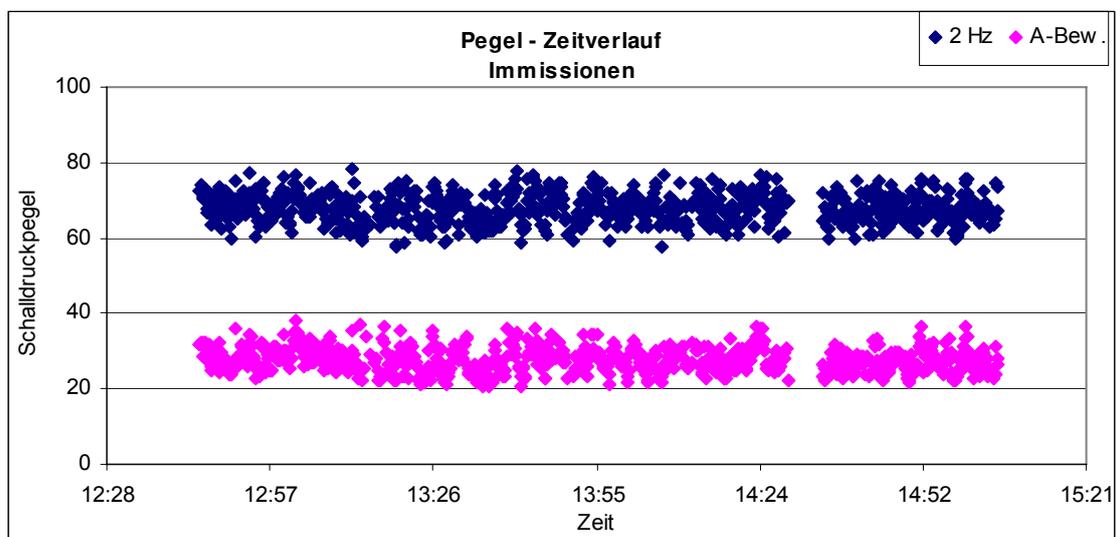


Abbildung 16: Pegelzeitverlauf am Immissionsort, Terzmittenfrequenz 2 Hz

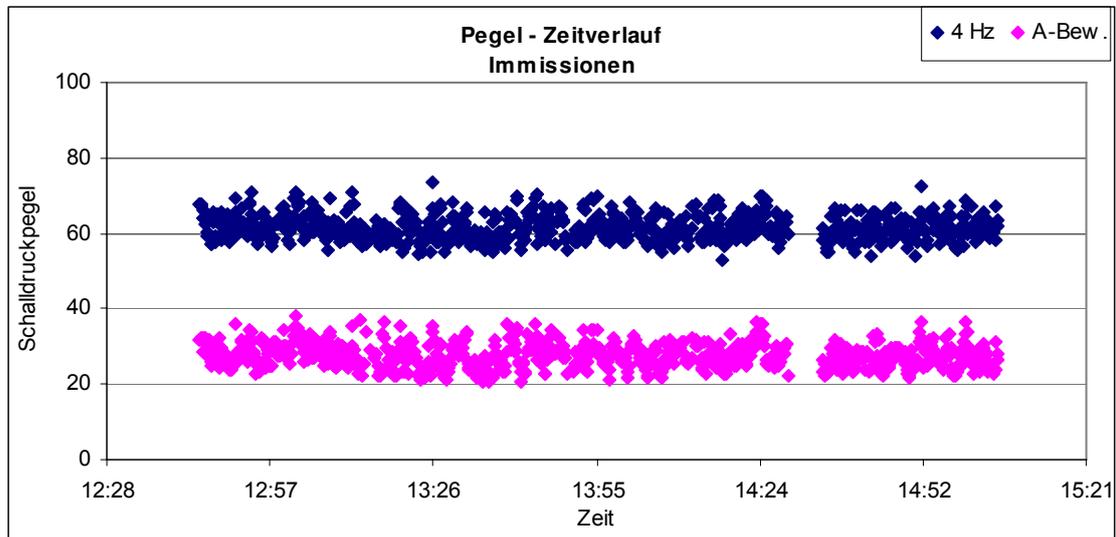


Abbildung 17: Pegelzeitverlauf am Immissionsort, Terzmittenfrequenz 4 Hz

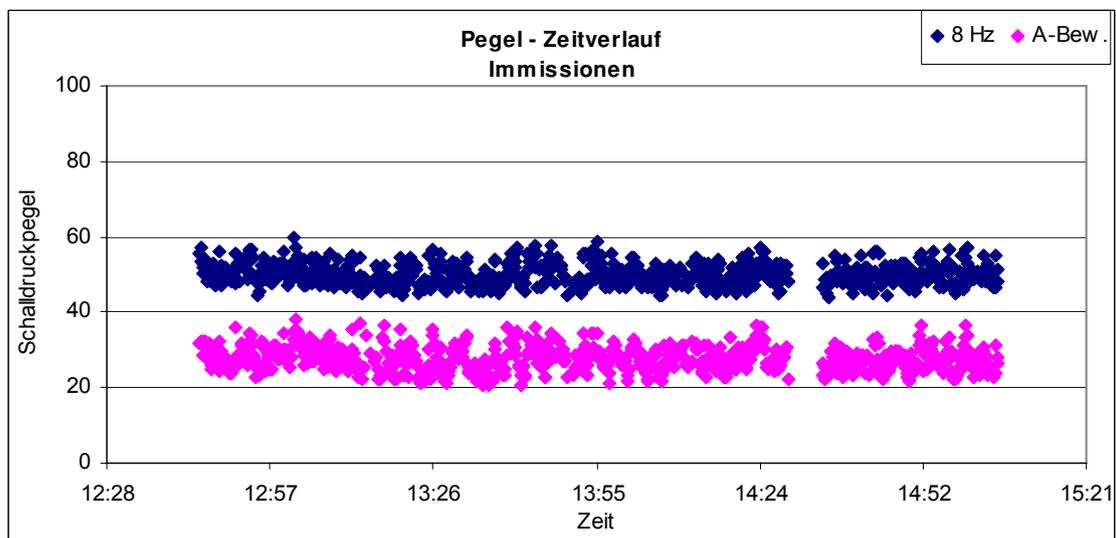


Abbildung 18: Pegelzeitverlauf am Immissionsort, Terzmittenfrequenz 8 Hz

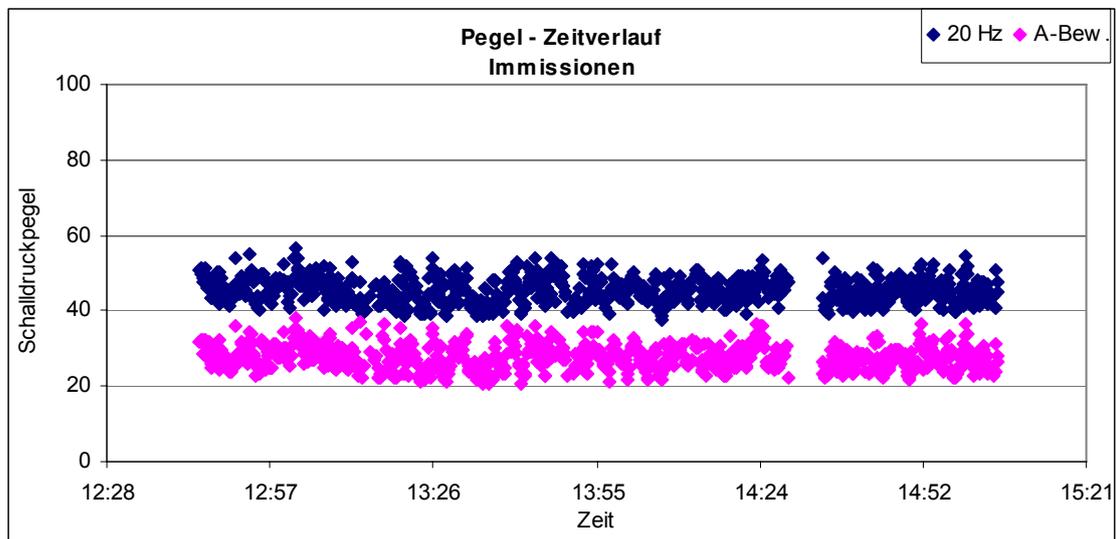


Abbildung 19: Pegelzeitverlauf am Immissionsort, Terzmittenfrequenz 20 Hz

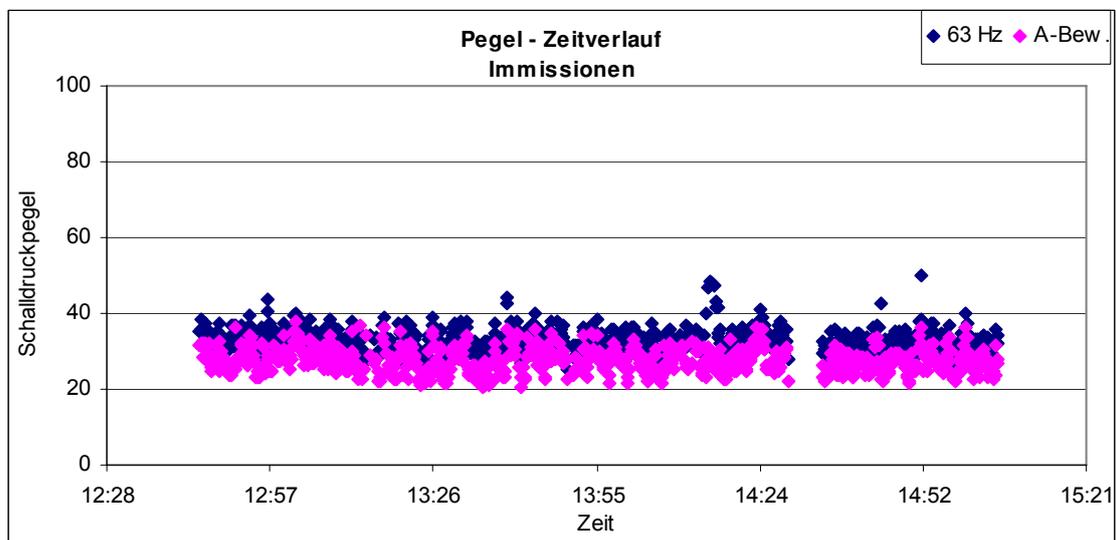


Abbildung 20: Pegelzeitverlauf am Immissionsort, Terzmittenfrequenz 63 Hz

In den aufgeführten Abbildungen sind die unterschiedlichen Betriebszustände weder in den einzelnen Terzmittenfrequenzen noch im A-bewerteten Schalldruckpegel zu erkennen.

Nach [5] sind zur Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen Terzpegel zu messen und anhand der Hörschwellenkurve zu bewerten.

In Abbildung 21 ist der Terzbeurteilungspegel L_{Terz} (alle WEA an und Hintergrund) der Hörschwellenkurve gegenübergestellt.

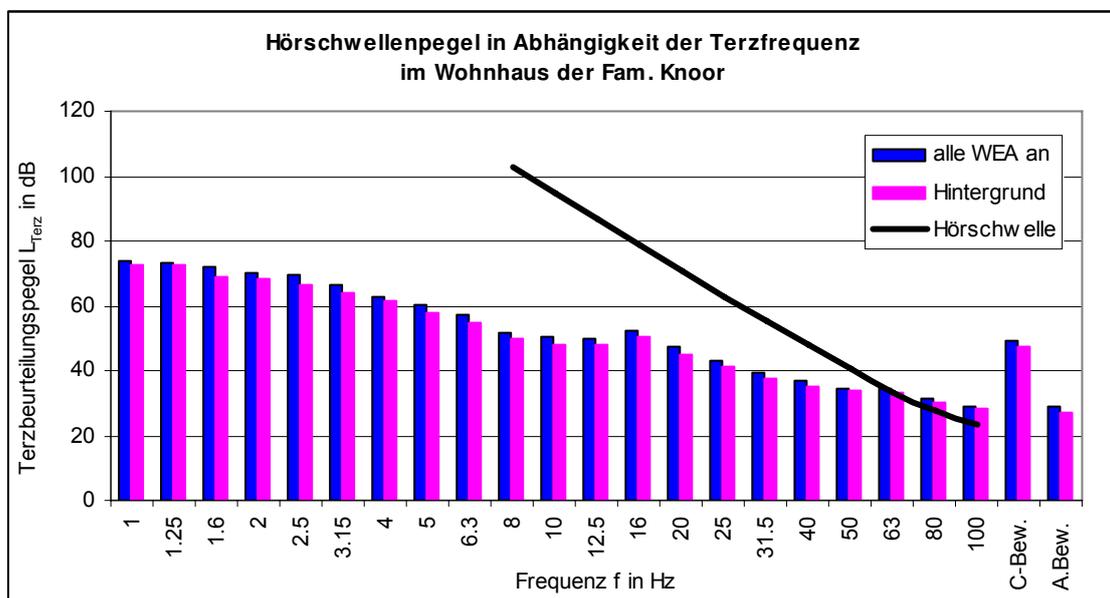


Abbildung 21: Darstellung tiefer Frequenz am Immissionsort mit der Hörschwellenkurve

Die Hörschwellenkurve wird im Infraschallbereich deutlich unterschritten. Zwischen den Betriebszuständen WEA an und Hintergrundgeräusch ist kein nennenswerter Unterschied zu erkennen.

Lediglich bei der Terzmittenfrequenz $f = 80$ Hz und $f = 100$ Hz ist eine geringe Überschreitung der Hörschwelle zu verzeichnen. Im Dachgeschoss des Hauses ist ein schwaches Brummen hörbar, das unabhängig vom Betrieb des Windparks auftrat.

Eine ergänzende Körperschallmessung im Haus hat keine relevanten Schwingungen gezeigt.

7.5. Fazit der Immissionsmessung vom 07.01.2005

Die Schallmessung am Immissionsort hat Folgendes ergeben:

- Der gewählte Immissionsort vor der Werkstatt am Wohnhaus Knorr erwies sich im Nachhinein fremdgeräuschbedingt als akustisch nicht geeignet.
- Visuell sind die einzelnen Betriebszustände im Gebäude nicht voneinander trennbar. Die Streuung der Schallpegel ist hoch.
- Die Hörschwelle wird sowohl beim WEA-Geräusch als auch beim Hintergrundgeräusch bei $f > 80$ Hz leicht überschritten.
- Infraschall im Gebäude liegt nicht vor.

8.) Erweiterte Aufgabenstellung

Auf Basis der ersten Ergebnisse der schalltechnischen Messungen vom 07.01.2005 erteilte das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern einen erweiterten Auftrag zur vertiefenden Untersuchung der Geräusche der WEA hinsichtlich der Frequenz $f \approx 90$ Hz.

Im Zuge der Untersuchung sind erneute Immissionsmessungen an einem aus akustischer Sicht geeigneten Ersatzimmissionsort vor dem Wohnhaus der Familie Knorr, Neue Straße 5, 19406 Hohen Pritz durchzuführen. Weiterhin ist eine wiederholende Schallmessung innerhalb des Gebäudes zur Ermittlung tieffrequenter Geräuschimmissionen vorgesehen. Die Beurteilung der Geräuschsituation erfolgt innerhalb des Gebäudes nach DIN 45680-1 [5] in Verbindung mit dem dazugehörigen Beiblatt 1 gemäß [6].

9.) Messprotokoll der Messung am 26.11.2009

Aufgabenstellung: Messung der anlagenbezogenen Geräuschimmissionen der Windenergieanlagen vom Typ S-77 im WP Hohen Pritz. Messung im offenen Betrieb mit der Nennleistung $P_{\text{Nenn}} = 1.500 \text{ kW}$.

Ort: Wohnhaus Familie Knorr
Neue Straße 5
19406 Hohen Pritz

Datum/Uhrzeit: 26.11.2009, 11:06 bis 13:25 Uhr

Messpersonal: Dipl.-Ing. Frank Henkemeier, KCE
Markus Niehues, KCE

Beobachter: Frau Freitag, LUNG, zeitweise
Frau Knorr, Anwohnerin

Messpunkte: a) Ersatzimmissionsort ca. 60 m südlich vor dem Gebäude
b) Messpunkt im 1. Obergeschoss im Gebäude

Messgrößen: Schalldruckpegel [dB]
Windgeschwindigkeit [m/s]

Anlagenbeschreibung
vom WP Hohen Pritz:

Typ:	14x S-77
Hersteller:	Südwind
Nabenhöhe über Grund:	85 m
Rotordurchmesser:	77 m
Nennleistung:	1.500 kW
Rotornendrehzahl:	17 U/min (nach [13])
Leistungsregelung:	Pitch

Betriebsweise:

Während des Messzeitraums waren alle 14 WEA des WP Hohen Pritz im Betrieb. Eine messtechnische Ermittlung der anlagenspezifischen Parameter der drei dem Immissionsort der Familie Knorr am nächsten gelegenen WEA wie in 2005 war nicht möglich.

Da die in 10 m Höhe gemessene mittlere Windgeschwindigkeit den Werten aus der Messung in 2005 entspricht und eine Plausibilitätsprüfung gemäß dem Zählverfahren der Rotordrehzahl mit den Vorgaben von [13] übereinstimmt, ist mit einer hohen Wahrscheinlichkeit vom Betrieb der WEA bei Nennleistung während des Messzeitraumes auszugehen.

Witterungsbedingungen:

Außentemperatur (Mittelwert):	ca. 10 °C
Innentemperatur (Mittelwert)	ca. 15 °C
Luftdruck (Mittelwert):	996 hPa
Windgeschwindigkeit v_{10} :	4,6 – 14,1 m/s (Sekundenwerte, Anemometer 10 m Höhe)
Windrichtung nach [14]:	Wetterstation Groß Niendorf: 195° bis 210° Wetterstation Gülzow: 181° bis 194° (vergl. Kapitel 10.1)
Bewölkung/Niederschlag:	6/8 Bewölkung, kein Regen

Messgeräte:

Gerät	Hersteller	Typ	Serien-Nr.	Eichung (E) bis bzw. Kalibrierung (K) in
Akustisches Messsystem, Echtzeit-Analysator	Norsonic	840-2	18711	(E) 2010
Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik	Norsonic	1220	21544	(E) 2010
Impedanzwandler	Norsonic	1201	21054	(E) 2010
Kalibrator	Norsonic	1251	21761	--
Präzisionsschallpegelmesser	Norsonic	Nor140	140 3828	(E) 2011
Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik	Norsonic	1225	107037	(E) 2011
Vorverstärker	Norsonic	1209	12747	(E) 2011
Kalibrator	Norsonic	1251	32568	(E) 2011
Messsystem (12-Kanal)	IMC	Cronos-PL3	123519	--
DAT-Recorder	Sony	TCD-D100	541989	--
Halber primärer Windschirm	Brüel & Kjaer	UA 0237	--	--
Primärer Windschirm	Norsonic	Nor1451	--	--
Sekundärer Windschirm	KCE	--	--	--
Anemometer	Thies	CLIMA 4.3303.22.040	0103356	(K) 2009
Klimamessgerät	Airflow	THB4130	07900148	--

Der Schallpegelmesser wurde vor und nach der Messung kalibriert.

Fremdgeräusche:

Messwerte mit zeitlich begrenzten Fremdgeräuschen (Geräusche aus der Werkstatt der Anwohnerin, Tiergeräusche etc.) wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Messwerte mit ständig herrschenden Fremdgeräuschen (z. B. windinduzierte Geräusche) wurden berücksichtigt.

10.) Ergebnisse der Immissionsmessung vom 26.11.2009

10.1. Situation vor Ort

Da aufgrund der seltenen Kombination aus südöstlicher Windrichtung mit hoher Windgeschwindigkeit die Immissionsmessung bislang nicht durchgeführt werden konnte, wurde vom Auftraggeber für die drei nächstgelegenen WEA eine Mitwindsituation zum Immissionsort Familie Knorr gefordert. Dies entspricht, bezogen auf die drei WEA zum Immissionsort, gemäß DIN 45645-1 [4] einer Windrichtung von ca. 105° bis 190° .

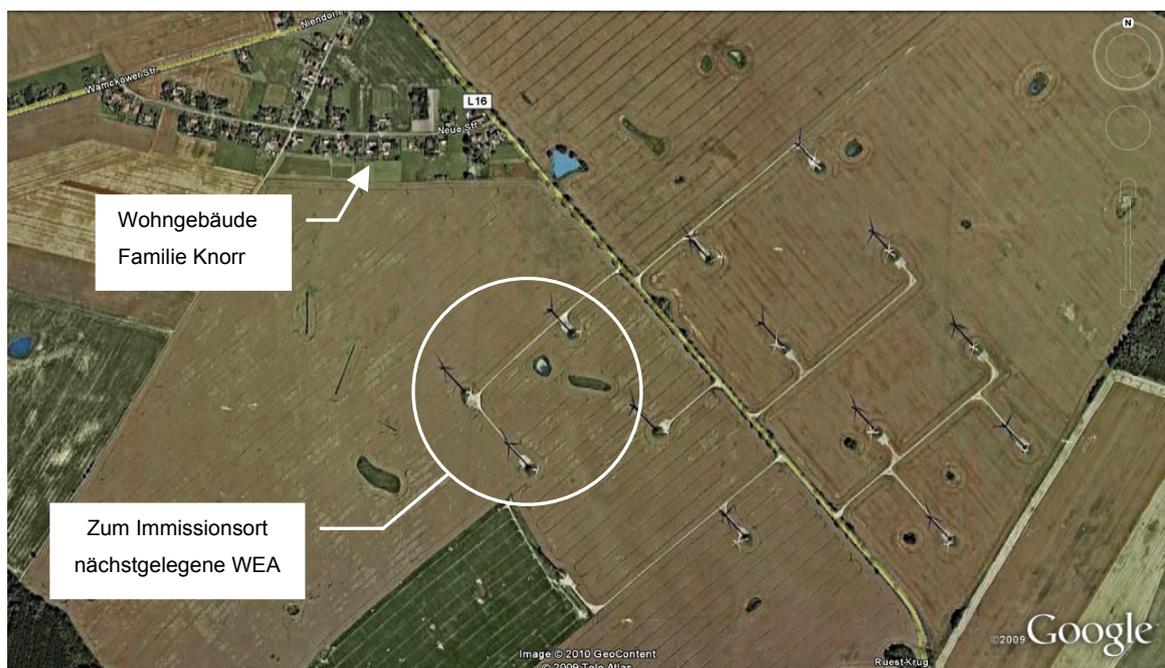


Abbildung 22: Übersichtslageplan aus [12] mit Darstellung des WP Hohen Pritz und dem Immissionsort Familie Knorr, © Google Earth

Entsprechend den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Wetterdaten [14] zweier nahe dem Windpark Hohen Pritz befindlichen Stationen herrschte zum Zeitpunkt der Messung eine Windrichtung von 181° bis 210° .

Die folgende Abbildung 23 zeigt die Ausrichtung der WEA im WP Hohen Pritz vom gewählten Ersatzimmissionsort im Außenbereich.



Abbildung 23: WP Hohen Pritz (Standort: Ersatzimmissionsort im Außenbereich)

Analog dazu zeigt die Abbildung 24 die Ausrichtung der WEA vom Standort des Schallmesspunktes im Gebäude.



Abbildung 24: WP Hohen Pritz (Standort: Messpunkt im Gebäude)

Den beiden vorangegangenen Abbildungen und den Wetterdaten aus [14] ist zu entnehmen, dass eine normgerechte Mitwindsituation der drei WEA zum Immissionsort Wohnhaus Familie Knorr während des Messzeitraums zeitweise vorlag.

10.2. Messaufbau

Zur Ermittlung der Geräuschimmissionen nach TA Lärm [3] wurde ein Mikrofon an einem Ersatzimmissionsort (fremdgeräuschbedingt) in einem Abstand von ca. 60 m südlich vom maßgeblichen Immissionsort Wohnhaus Familie Knorr aufgebaut. Das Mikrofon befand sich auf einem Stativ in einer Höhe von 3,0 m. Neben dem Schallmesspunkt in ca. 10 m Abstand wurde die Windgeschwindigkeit mittels eines Anemometers in 10 m Höhe gemessen. Es herrschten freie Schallausbreitungsbedingungen vom Windpark zum Messpunkt. Die Messanordnung zeigt Abbildung 25.



Abbildung 25: Übersichtslageplan aus [12] mit Darstellung des Wohnhauses der Familie Knorr und Anordnung der Messstellen, © Google Earth

Zusätzlich wurden die Geräuschimmissionen nach DIN 45680 [5] im Gebäude (Schlafzimmer und Aufenthaltsraum im 1. Obergeschoss) untersucht. Eine orientierende Messung sowie eine subjektive Beurteilung ergab keinen Hinweis auf einen Aufenthaltsort mit hoher Geräuschbelastung. Daher wurde das Mikrofon analog zu der ersten Messung am 07.01.2005 in einem Abstand von $> 0,5$ m zu den Wänden auf einer Stativanordnung in 1,3 m Höhe im Bereich des Schreibtisches vor dem Dachfenster an vergleichbarer Stelle installiert.

Die Messungen erfolgten bei üblicher Raumausstattung, geschlossenen Fenstern und Türen. Um eine möglichst störungsfreie und empfindliche Messung zu erzielen, wurden während des Messzeitraumes die Heizung abgestellt und tickende Uhren aus dem Zimmer entfernt.

In der Anlage C befinden sich die Zeitverläufe des Schalldruckpegels und der Windgeschwindigkeit.

10.3. Schalldruckpegel am Ersatzimmissionsort

Während der Messung wurden die Mittelungspegel L_{AFeq} und die Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq} in einer Taktzeit von 5 s aufgezeichnet. Die Terzfrequenzspektren umfassen einen Frequenzbereich von $f = 8$ Hz bis 20 kHz. Synchron zu den Schallmessungen wurde die Windgeschwindigkeit v_{10} im 1-Sekunden-Takt aufgezeichnet.

Aus den gemessenen Schalldruckpegel- und Windgeschwindigkeitswerten werden 30-Sekunden-Mittelwerte gebildet und ausgewertet.

Eine Abschaltung der WEA des WP Hohen Pritz wurde am Messtag durch den WP-Betreiber nicht genehmigt. Daher erfolgt nur die Aufnahme des Gesamtgeräusches. Eine Bestimmung des Fremdgeräuschpegels entfällt somit.

Die folgende Abbildung 26 zeigt den fremdgeräuschkorrigierten Schalldruckpegel L_{AFeq} über der gemessenen Windgeschwindigkeit v_{10} .

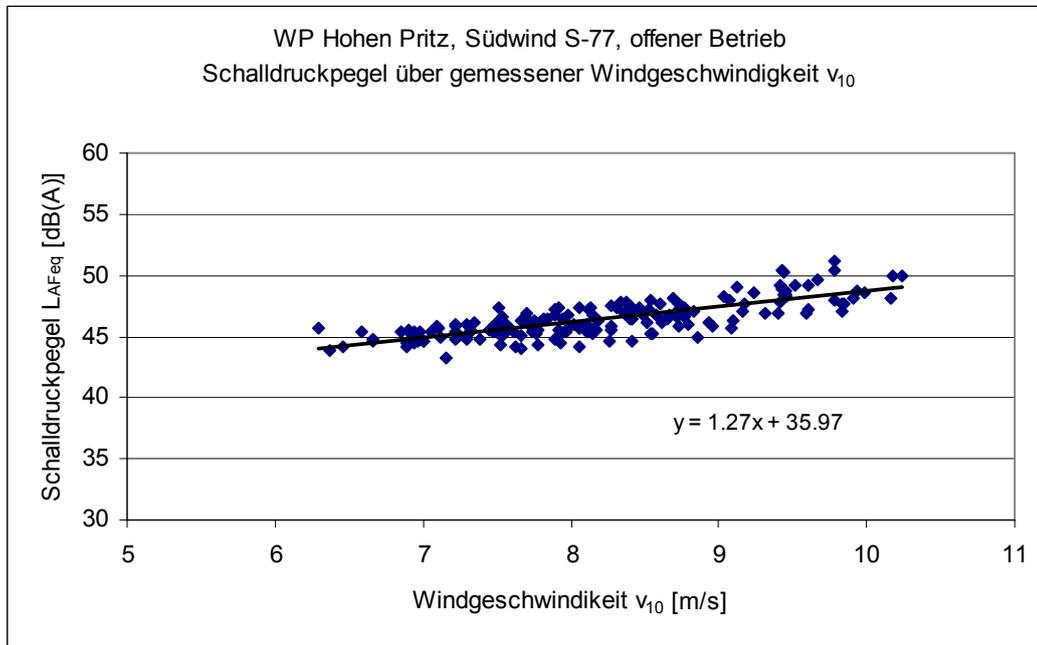


Abbildung 26: Schalldruckpegel am Ersatzimmissionsort über Windgeschwindigkeit am Wohnhaus der Familie Knorr während Betrieb der WEA (30 sec-Mittelwerte)

Der Abbildung 26 ist zu entnehmen, dass der Schalldruckpegel mit zunehmender Windgeschwindigkeit in erster Näherung linear ansteigt. Die Streuung der Pegelwerte ist für Immissionsmessungen relativ gering. Gemäß dem subjektiven Höreindruck waren die WEA-Geräusche am Ersatzimmissionsort schwach wahrnehmbar. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit wurden windinduzierte Umgebungsgeräusche stärker empfunden.

Daher ist in der Abbildung 27 das Terzspektrum des Schalldruckpegels für die Windgeschwindigkeit $v_{10} = 6$ m/s dargestellt.

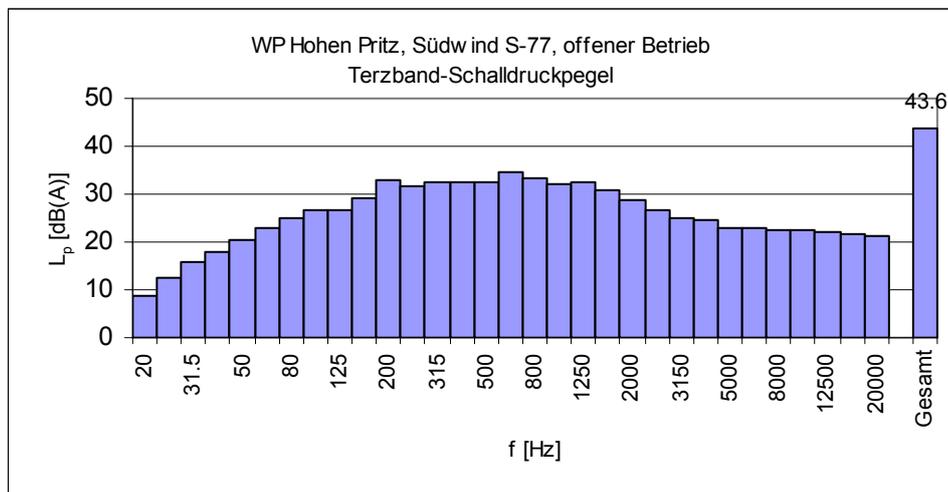


Abbildung 27: Terzspektrum des Schalldruckpegels am Ersatzimmissionsort am Wohnhaus Familie Knorr während Betriebs der WEA bei $v_{10} = 6 \text{ m/s}$

Das Terzspektrum zeigt (siehe auch Anlage D1 für alle Windklassen) keine besondere akustische Auffälligkeit.

In nachfolgender Tabelle 6 sind die Mittelungspegel L_{AFeq} aus der Regression in Abbildung 26 der Windgeschwindigkeit v_{10} zugeordnet. Eine überschlägige Schallausbreitungsrechnung ergibt, dass am Wohnhaus der Familie Knorr um $\Delta L_{Abstand} = 0,6 \text{ dB}$ niedrigere Pegel als am gewählten Ersatzmesspunkt (Entfernung ca. 60 m) zu erwarten sind.

v_{10} [m/s]	6 ¹⁾	7	8	9	10
Anzahl Werte WEA an	3	36	70	45	17
L_{s+n} [dB(A)]	43,6	44,9	46,2	47,4	48,7
L_n [dB(A)]	--	--	--	--	--
$L_{Aeq,c}$ [dB(A)]	≤ 43,6	≤ 44,9	≤ 46,2	≤ 47,4	≤ 48,7
$\Delta L_{Abstand}$ [dB]	- 0,6				
$L_{Aeq,c,korr}$ [dB(A)]	≤ 43,0	≤ 44,3	≤ 45,6	≤ 46,8	≤ 48,1

1) niedrigste gemessene Windgeschwindigkeit mit $v_{10} = 6,3 \text{ m/s}$

Tabelle 6: Immissionsdaten aus der linearen Regression für den WEA-Betrieb

Da aufgrund einer nicht genehmigten Windparkabschaltung kein Hintergrundgeräusch gemessen werden konnte, war eine Fremdgeräuschkorrektur nicht möglich. Vergleichbare Immissionsmessungen belegen, dass der Einfluss windinduzierter Geräusche mit zunehmender Windgeschwindigkeit zunimmt. Ersatzweise kann angenommen werden, dass der Anteil des Fremdgeräusches gleich dem Anteil des Anlagengeräusches ist. Somit wäre eine Korrektur von 3 dB zulässig. Daher wird der IRW im Nachtzeitraum von $IRW = 45 \text{ dB(A)}$ über dem gesamten Windgeschwindigkeitsbereich mit hoher Wahrscheinlichkeit eingehalten.

10.4. Tonhaltigkeit am Ersatzimmissionsort

Gemäß dem subjektiven Höreindruck waren die WEA-Geräusche im Bereich des Wohnhauses der Familie Knorr nicht tonhaltig.

Zusätzlich erfolgte eine rechnerische Beurteilung der Tonhaltigkeit in Anlehnung an [7]. Entgegen dem Auswertalgorithmus wurde der untere Frequenzbereich von $f = 90 \text{ Hz}$ auf $f = 80 \text{ Hz}$ erweitert.

Die Tonhaltigkeitsanalyse erfolgte mit den während der Messung erzeugten FFT-Frequenzspektren mit einer Frequenzauflösung von $\Delta f = 2 \text{ Hz}$ unter Anwendung eines Hanning-Fensters.

Für jedes Windgeschwindigkeits-BIN von $v_{10} = 6 \text{ m/s}$ bis 10 m/s wurden Schmalbandfrequenzspektren von drei Sekunden Länge erzeugt. Die Ergebnisse der Berechnung nach [7] stellt Tabelle 7 dar.

$v_{10} \text{ [m/s]}$	6 ¹⁾	7	8	9	10
$f_T \text{ [Hz]}$	--	--	--	--	--
$K_T / \text{rechnerisch [dB]}$	0	0	0	0	0
$K_T / \text{subjektiv [dB]}$	0	0	0	0	0

1) niedrigste gemessene Windgeschwindigkeit mit $v_{10} = 6,3 \text{ m/s}$

Tabelle 7: Tonhaltigkeit am Ersatzimmissionsort

Die rechnerische Auswertung ergibt für alle Windgeschwindigkeiten ein $K_T = 0$ dB und stimmt mit der subjektiven Beurteilung überein. Es wurde in keinem der rechnerisch untersuchten Frequenzspektren eine Tonhaltigkeit im Bereich $f = 90$ Hz selektiert. Allerdings wurde bei einer geringen Anzahl von Spektren im Bereich $f \approx 190$ Hz ein Ton ausgewiesen, welcher jedoch rechnerisch nicht zu einem Tonzuschlag führt.

Die einzelnen Berechnungsergebnisse je Windgeschwindigkeits-BIN sind der Anlage D2 zu entnehmen.

10.5. Impulshaltigkeit am Ersatzimmissionsort

Nach dem subjektiven Höreindruck lag keine Impulshaltigkeit der WEA-Geräusche vor. Die Blattdurchgangsfrequenz war nicht auffällig. Informativ erfolgt zusätzlich eine rechnerische Auswertung.

Die Impulshaltigkeit am Ersatzimmissionsort wird nach [4] ausgewertet. Zur Bestimmung der Impulshaltigkeit K_I ist die Differenz zwischen Taktmaximalpegel L_{AFTeq} (Taktzeit: 5 s) und Mittelungspegel L_{AFeq} zu bilden. Die für jede Windklasse ermittelten Pegeldifferenzen werden angegeben. Die Ergebnisse zur Impulshaltigkeit sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

v_{10} [m/s]	6	7	8	9	10
K_I [dB]	0	0	0	0	0

Tabelle 8: Impulshaltigkeit am Ersatzimmissionsort

Die Pegeldifferenzen während WEA-Betrieb werden von Modulationen der WEA-Geräusche (drehzahlabhängige aerodynamische Geräusche) und von windinduzierten Geräuschen (Windböen) verursacht. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit nimmt der Einfluss der windinduzierten Geräusche zu.

10.6. Tieffrequente Geräusche

10.6.1 Vorgehensweise

Die Auswertung erfolgt nach den Vorgaben der „DIN 45680, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft“ [5], angepasst an die speziellen Bedingungen bei Windenergieanlagen, wie im Folgenden erläutert wird.

Die Messung erfolgt im Schlafzimmer und Aufenthaltsraum im 1. Obergeschoss des Wohnhauses der Familie Knorr. Während der Messung wurden die Mittelungspegel L_{AFeq} , L_{CFeq} und die Maximal-Mittelungspegel L_{AFmax} , L_{CFmax} (jeweils Taktzeit: 5 s) aufgezeichnet. Die Terzfrequenzspektren umfassen einen Frequenzbereich von $f = 8$ Hz bis 20 kHz. Synchron wurde die Immissionsmessung am Ersatzimmissionsort und die Messung der Windgeschwindigkeit v_{10} durchgeführt.

Aus den Messwerten wurden jeweils Mittelwerte von 10 Sekunden gebildet und ausgewertet.

10.6.2 Allgemeines

Um zu prüfen, ob das zu beurteilende Geräusch tieffrequent im Sinne der Norm ist, wird die Differenz der über die Messdauer ermittelten Werte von L_{Ceq} und L_{Aeq} bzw. L_{CFmax} und L_{AFmax} gebildet. Ist eine der Differenzen größer als 20 dB, so ist eine Terzanalyse durchzuführen.

Prüfung auf deutlich hervortretende Einzeltöne

Zur Prüfung, ob das untersuchte tieffrequente Geräusch einen deutlich hervortretenden Einzelton enthält, werden die Werte von $L_{Terz,eq}$ in benachbarten Terzen miteinander verglichen.

Das Geräusch enthält einen deutlich hervortretenden Einzelton, wenn die Differenz zwischen $L_{\text{Terz,eq}}$ in einer Terz und den entsprechenden Pegeln in den beiden Nachbarterzen größer als 5 dB ist.

Enthält das Geräusch einen deutlich hervortretenden Einzelton, so sind die folgenden Differenzen zu bilden:

$$\Delta L_1 = L_{\text{Terz,r}} - L_{\text{HS}}$$

$$\Delta L_2 = L_{\text{TerzFmax}} - L_{\text{HS}}$$

mit

$L_{\text{Terz,r}}$ bzw. L_{TerzFmax} $\hat{=}$ der Terzbandpegel des hervortretenden Einzeltones

L_{HS} $\hat{=}$ der zugehörige Hörschwellenpegel nach DIN 45680

Für die Beurteilung ist der jeweils größere Wert von ΔL_1 und ΔL_2 maßgeblich.

Die Werte von ΔL_1 und ΔL_2 sind mit den Anhaltswerten nach Tabelle 2 zu vergleichen.

Bewertung der tieffrequenten Geräusche

Die für die Terzbänder von 10 Hz bis 80 Hz ermittelten Werte von $L_{\text{Terz,r}}$ und L_{TerzFmax} werden mit den Werten L_{HS} verglichen.

Enthält das zu beurteilende Geräusch keinen deutlich hervortretenden Einzelton, so sind die A-bewerteten Beurteilungspegel $L_{\text{Terz,r}}$ im Bereich von 10 Hz bis 80 Hz energetisch zu addieren. Dabei bleiben Terzen, in denen der Terz-Beurteilungspegel kleiner als der zugehörige Wert von L_{HS} ist, unberücksichtigt.

L_r ist mit dem Anhaltswerten nach Tabelle 3, Spalte 1, zu vergleichen.

10.6.3 Tieffrequenter Schall

Die Auswertung erstreckt sich über den Windgeschwindigkeitsbereich von $v_{10} = 6$ m/s bis 11 m/s und wird je Windklasse separat durchgeführt. Die Zuordnung der im Schlafzimmer und Aufenthaltsraum im 1. Obergeschoss des Wohngebäudes der Familie Knorr gemessenen Schalldruckpegel L_{AFeq} und L_{CFeq} erfolgt in einem ersten Schritt zur gemessenen Windgeschwindigkeit v_{10} .

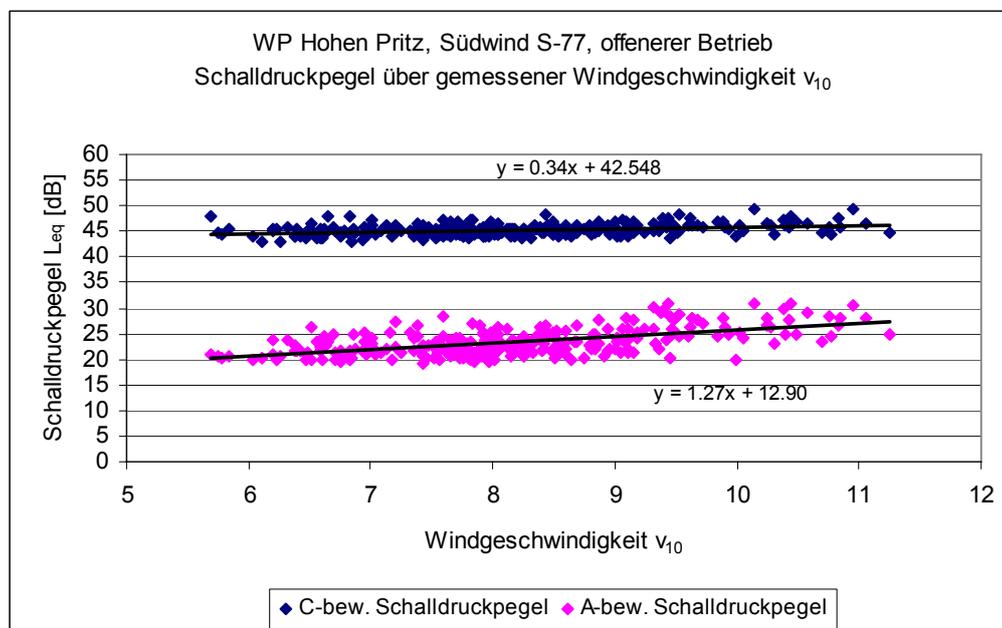


Abbildung 28: Schalldruckpegel über gemessener Windgeschwindigkeit im Schlafzimmer der Familie Knorr

In Abbildung 28 ist ersichtlich, dass mit zunehmender Windgeschwindigkeit der A-bewertete Schalldruck L_{AFeq} ansteigt. Der C-bewertete Schalldruckpegel L_{CFeq} bleibt unabhängig von der Windgeschwindigkeit annähernd konstant. Gemäß dem subjektiven Höreindruck sind mit zunehmender Windgeschwindigkeit die windinduzierten Umgebungsgereusche im Wohngebäude pegelbestimmend. Bei geringer Windgeschwindigkeit wird subjektiv ein schwaches Maschinengeräusch wahrgenommen.

Die folgende Abbildung 29 zeigt die Pegeldifferenz $L_{CFeq} - L_{AFeq}$ über der gemessenen Windgeschwindigkeit v_{10} .

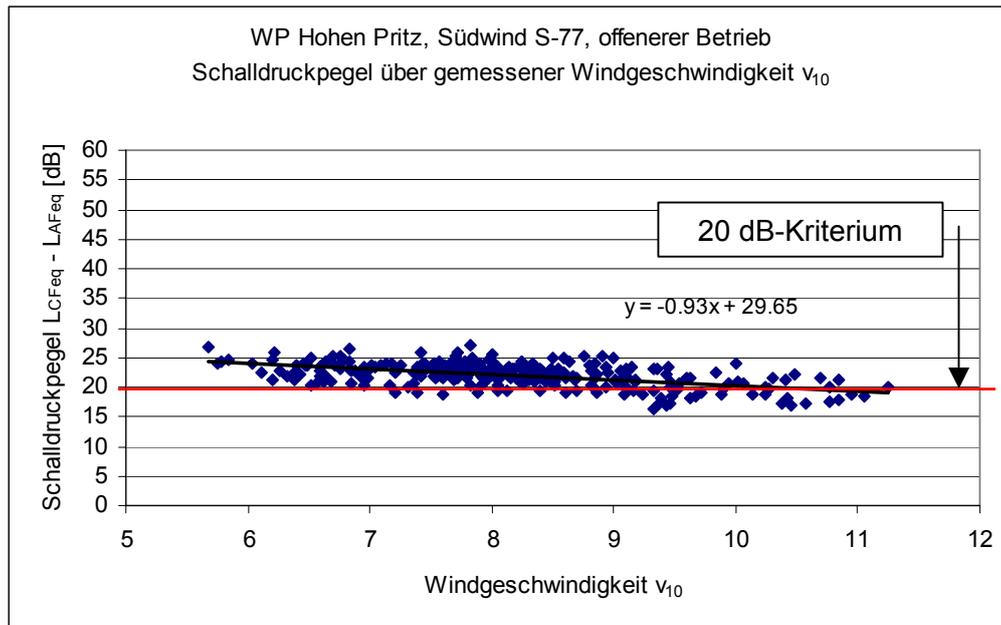


Abbildung 29: Pegeldifferenz $L_{CFeq} - L_{AFeq}$ über gemessener Windgeschwindigkeit im Schlafzimmer

Die folgende Tabelle 9 fasst die Ergebnisse der beiden Abbildungen zusammen.

v_{10} [m/s]	6	7	8	9	10	11
Anzahl Werte	18	54	105	60	25	9
L_{CFeq} [dB(C)]	44,6	44,9	45,2	45,6	45,9	46,2
L_{AFeq} [dB(A)]	20,5	21,8	23,1	24,3	25,6	26,9
$L_{CFeq} - L_{AFeq}$ [dB]	24,0	23,1	22,2	21,2	20,3	19,4

Tabelle 9: Immissionsdaten aus einer linearen Regression für den WEA-Betrieb

Die Geräusche im Schlafzimmer und Aufenthaltsraum im 1. Obergeschoss des Wohnhauses der Familie Knorr sind während des Betriebes des WP Hohen Pritz im Sinne der DIN 45680 [5] als tieffrequent anzusehen. Die Differenz zwischen den Schalldruckpegeln L_{CFeq} und L_{AFeq} ist bis zu einer Windgeschwindigkeit $v_{10} = 10 \text{ m/s} > 20 \text{ dB}$, so dass das Kriterium für weitere Analysen erfüllt ist.

Eine Impulshaltigkeit der WEA-Geräusche lag nach der subjektiven Wahrnehmung im Schlafzimmer nicht vor.

10.6.4 Prüfung auf deutlich hervortretende Einzeltöne

Da die Differenz zwischen L_{Ceq} und $L_{Aeq} > 20 \text{ dB}$ beträgt, ist als nächstes zu prüfen, ob deutlich hervortretende Einzeltöne vorhanden sind.

Ein Einzelton liegt nach DIN 45680 [5], Abschnitt 5.2.2, vor, wenn die Differenz zwischen $L_{Terz,eq}$ bzw. $L_{TerzFmax}$ in einer Terz und den entsprechenden Pegeln in den beiden Nachbarterzen größer als 5 dB ist.

In Abbildung 30 sind die im Schlafzimmer und Aufenthaltsraum im 1. Obergeschoss im Wohnhaus der Familie Knorr bei geschlossenen Fenstern und Türen ermittelten Terzbeurteilungspegel $L_{Terz,r}$ sowie die Terz-Maximalpegel $L_{TerzFmax}$ exemplarisch für die Windgeschwindigkeit $v_{10} = 6 \text{ m/s}$ angegeben. Da sich die Tonfrequenz $f = 90 \text{ Hz}$ im Übergangsbereich der Terzmittenfrequenzen $f = 80 \text{ Hz}$ und $f = 100 \text{ Hz}$ befindet, wird die Mittenfrequenz $f = 100 \text{ Hz}$ in die Auswertung mit einbezogen. Zusätzlich ist die Hörschwellenkurve angegeben.

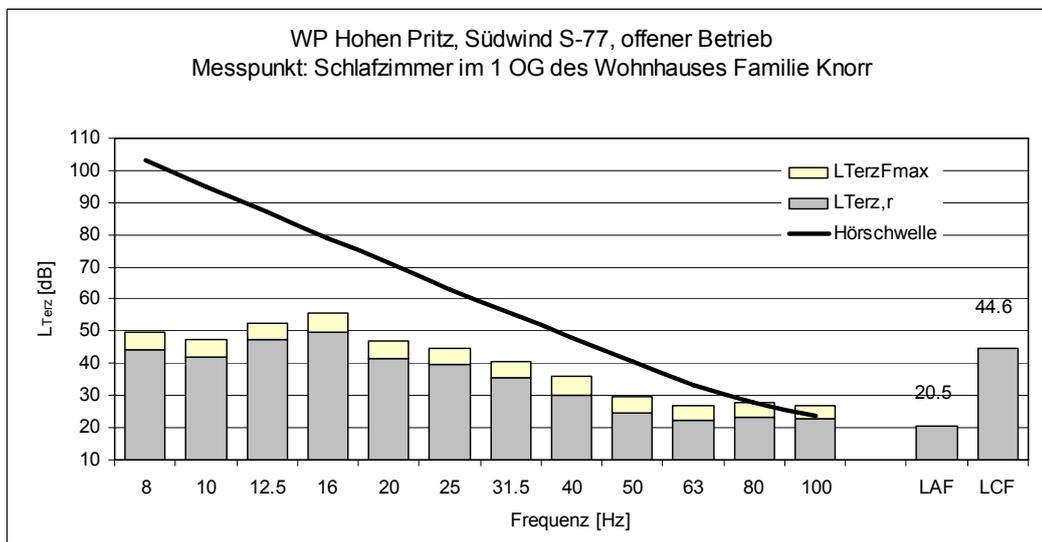


Abbildung 30: Terzspektrum des Schalldruckpegels im Schlafzimmer und Aufenthaltsraum des Wohnhauses der Familie Knorr während des Betriebs der WEA bei $v_s = 6 \text{ m/s}$

Die einzelnen Terzspektren des Schalldruckpegels unterschiedlicher Windgeschwindigkeiten sind in der Anlage E dargestellt.

Der Abbildung 30 ist zu entnehmen, dass rechnerisch nach [5] die anlagenbezogenen Geräuschimmissionen keinen deutlich hervortretenden Einzelton enthalten. Gemäß dem subjektiven Höreindruck sind die Anlagengeräusche im Gebäude nicht tonhaltig.

10.6.5 Bewertung der tieffrequenten Geräusche

Da das untersuchte Geräusch in allen Windgeschwindigkeitsklassen keinen deutlich hervortretender Einzelton enthält, sind die A-bewerteten Terzen $L_{\text{Terz},r}$ und $L_{\text{Terz},F\text{max}}$ jeweils im Bereich von 8 Hz bis 100 Hz energetisch zu addieren und mit den Anhaltswerten des Beiblattes 1 zu DIN 45680 [6] zu vergleichen. Terzen, in denen der Pegel kleiner als der zugehörige Wert von L_{HS} ist, sind nicht zu berücksichtigen. Die Ergebnisse sind, auf ganze dB gerundet, in Tabelle 10 zusammengefasst.

v ₁₀ [m/s]	Beurteilungspegel [dB]		Anhaltswert nachts [dB]		Überschreitung [dB]	
	L _r	L _{AFmax}	L _r	L _{AFmax}	L _r	L _{AFmax}
6	-- ¹⁾	8	25	35	keine	keine
7	5	11			keine	keine
8	5	11			keine	keine
9	6	12			keine	keine
10	8	15			keine	keine
11	8	15			keine	keine

1) Alle Terzbänder unterhalb der Hörschwelle

Tabelle 10: Beurteilungspegel und Anhaltswerte für tieffrequente Geräusche in sonstigen Fällen

Die Tabelle 10 zeigt, dass die Anhaltswerte nach Beiblatt 1 zu DIN 45680 [6] für tieffrequente Geräusche ohne hervortretende Einzeltöne deutlich unterschritten werden.

10.6.6 Fazit der Immissionsmessung vom 26.11.2009

Die Schallmessungen am Immissionsort haben Folgendes ergeben:

- Der Immissionsrichtwert im Nachtzeitraum nach TA-Lärm [3] ist am Immissionsort Knorr mit einer hohen Wahrscheinlichkeit eingehalten.
- Die WEA-Geräusche sind weder rechnerisch noch subjektiv ton- oder impulshaltig.
- Am Messpunkt im Schlafzimmer und Aufenthaltsraum im 1. Obergeschoss im Wohnhaus der Familie Knorr wurden keine Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 45680 [5] festgestellt.

11.) Übersichtsmessungen vom 26.11.2009

Aufgrund der von den Anwohnern, der Familie Knorr, als störend empfundenen WEA-Geräusche erfolgten zur Selektierung eines möglichen Lärmemittlens zusätzlich über die festgelegte Aufgabenstellung hinaus weitere orientierende Schallmessungen im Nahbereich jeder WEA im Windpark Hohen Pritz. Hierzu wurde vor jeder WEA (Abstand ca. 30 m, Mikrophonhöhe h ca. 1,6 m) in Mitwindrichtung ein Messpunkt gewählt, an dem die Geräuschsituation der jeweiligen WEA messtechnisch und subjektiv erfasst wurde.

Aufgrund der am Messtag vorherrschenden Witterungsbedingungen ist bei jeder WEA in etwa vom oberen Teillastbereich bis Nennleistung auszugehen. Eine zeitgleiche Leistungserfassung erfolgte nicht, da kein Zutritt zu den WEA gegeben war.

Die folgende Abbildung 31 zeigt die Ergebnisse der FFT-Analysen des Schalldruckpegels für den Frequenzbereich $0 \text{ Hz} < f < 1.000 \text{ Hz}$. Die jeweilige Seriennummer der entsprechenden WEA ist den Spektren zu entnehmen.

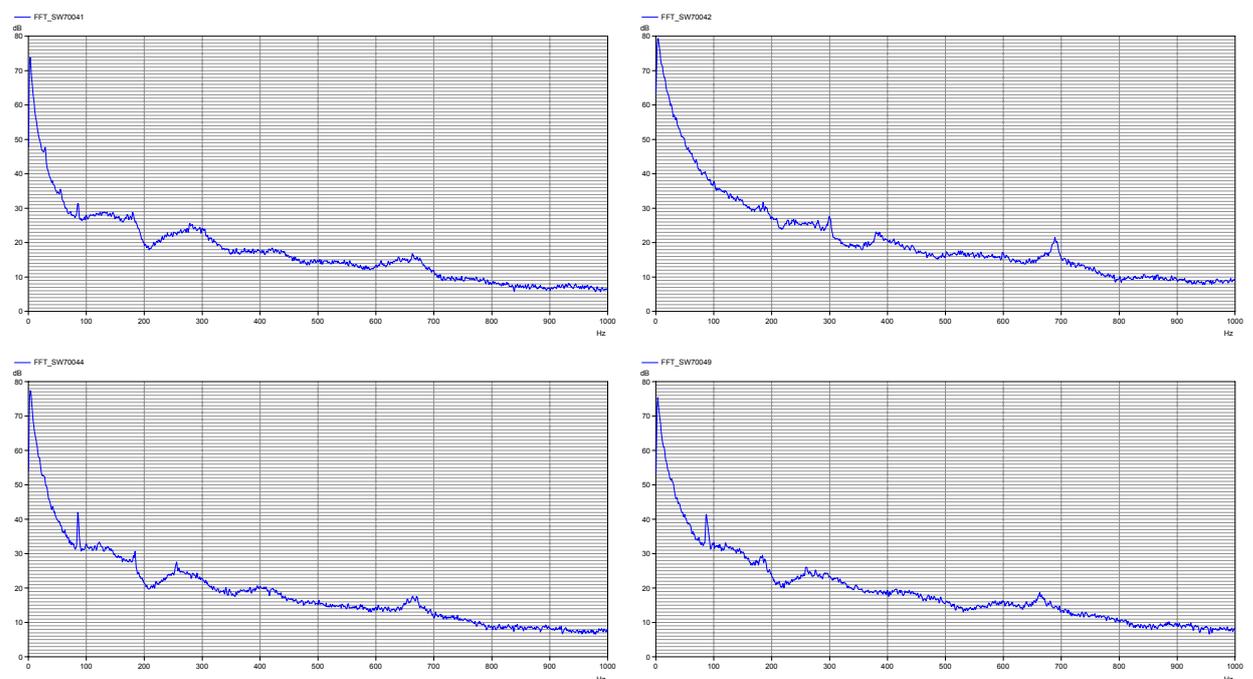


Abbildung 31: Teil 1 von 3, FFT-Analysen des linearen Schalldruckpegels im Nahbereich jeder WEA des Windparks Hohen Pritz

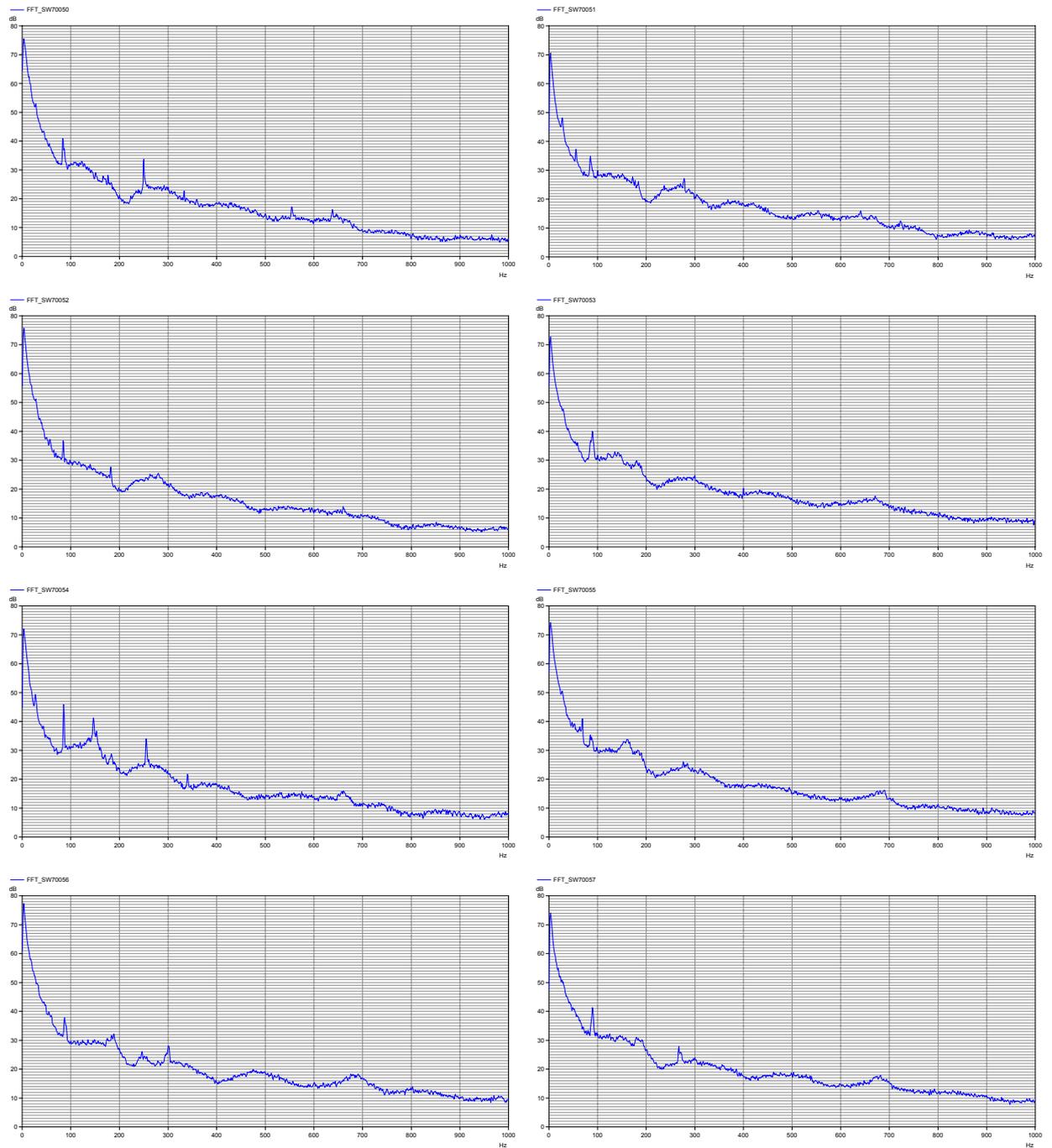


Abbildung 31: Teil 2 von 3, FFT-Analysen des linearen Schalldruckpegels im Nahbereich jeder WEA des Windparks Hohen Pritz

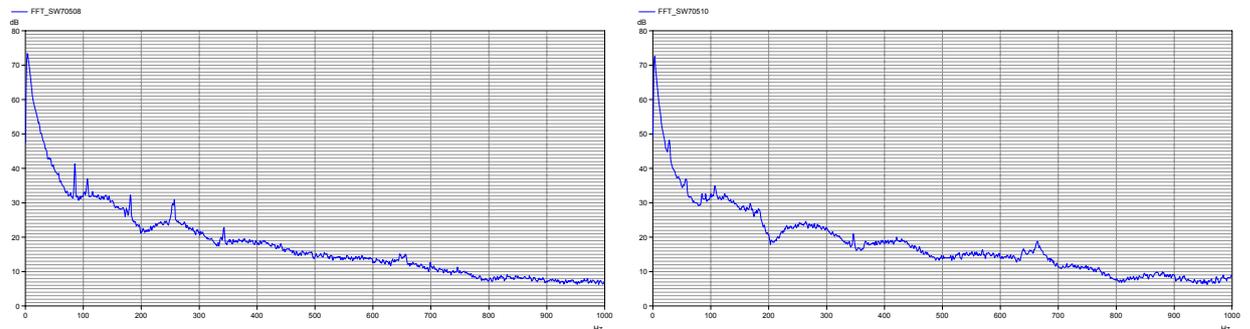


Abbildung 31: Teil 3 von 3, FFT-Analysen des linearen Schalldruckpegels im Nahbereich jeder WEA des Windparks Hohen Pritz

Anhand der FFT-Analysen konnte kein Verursacher der bemängelten Tonfrequenzen bei $f = 90$ Hz selektiert werden. Vielmehr weisen fast alle WEA akustisch vergleichbare Merkmale auf. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von bislang durchgeführten Emissionsmessungen an diesem Anlagentyp.

Gemäß dem subjektiven Höreindruck wurden die Geräuschimmissionen der WEA mit der Seriennummer SW70054 (südlichste WEA, vgl. Abbildung 22) am auffälligsten hinsichtlich tieffrequenter Geräusche eingeschätzt. Es wurde ein Brummen wahrgenommen, das im Vergleich zu den Geräuschimmissionen der übrigen WEA als auffällig charakterisiert wird.

12.) Messunsicherheit

Die Messunsicherheit hängt im Wesentlichen von den Witterungs- und Bodeneinflüssen und den Messgerätetoleranzen ab. Die Streuung der gemessenen Schallpegelwerte, die ein Maß für zufällige Einflüsse darstellt, kommt nicht nur durch die obigen Punkte zustande, sondern durch das Messprinzip: Am Schallmesspunkt wird unter realen Bedingungen ein zeitlich veränderlicher Schalldruckpegel gemessen, der von vielen einzelnen Schallquellen (z. B. 14 WEA des Typs S-77, windinduzierte Geräusche, Verkehrsgeräusche, Geräusche im Raum) und Ausbreitungswegen abhängt. Die Einflussgrößen sind voneinander völlig oder teilweise unabhängig.

Aufgrund der langen Wellenlängen ($\lambda = 3,8 \text{ m}$) bei $f = 90 \text{ Hz}$ sind ortsabhängig größere Streuungen des Schalldruckpegels im Raum zu erwarten.

Die Gesamtmessunsicherheit wird auf $\pm 2 \text{ dB}$ abgeschätzt.

13.) Anlagen

Anlage A: Fotos

Anlage B: Spektren zur Tonhaltigkeit, Messung 07.01.2005

Anlage C: Diagramme der Zeitverläufe, Messung 26.11.2009

Anlage D: Immissionsmessung nach TA Lärm, Messung 26.11.2009

Anlage D1: Terzspektrum des Schalldruckpegels

Anlage D2: Ergebnisse der Tonhaltigkeit

Anlage E: Ergebnisse der Immissionsmessung nach DIN 45680, Messung 26.11.2009

Anlage A: Fotos



Abbildung 32: Mikrofon am MP1 auf einer schallharten Platte, Messung 07.01.2005



Abbildung 33: Mikrofon MP3 erdbündig auf einer Ringplatte (strömungsoptimiert),
Messung am 07.01.2005

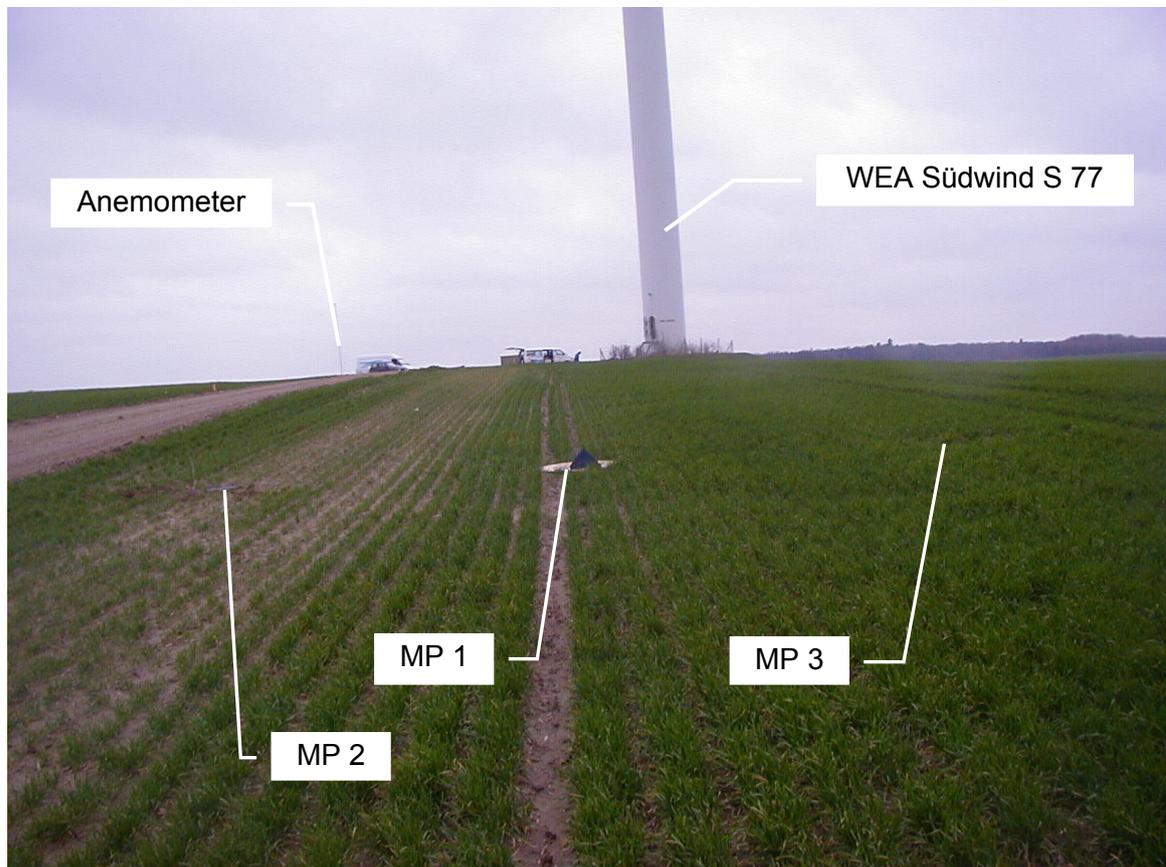


Abbildung 34: Übersicht des Messaufbaus im WP Hohen Pritz, Messung am 07.01.2005



Abbildung 35: Mikrofon am MP 4 in ca. 2,0 m Höhe, Messung am 07.01.2005



Abbildung 36: Mikrofon am MP5 in Wohnhaus der Familie Knorr, Messung am 07.01.2005



Abbildung 37: Windpark Hohen Pritz vom Immissionsort der Familie Knorr, Messung am 07.01.2005



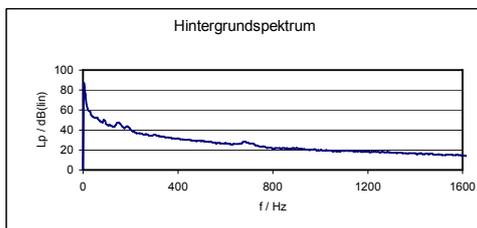
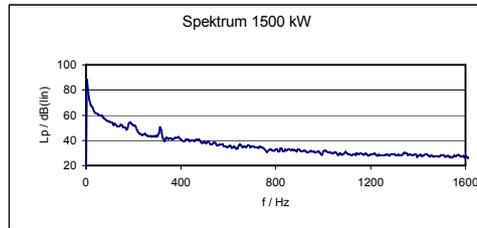
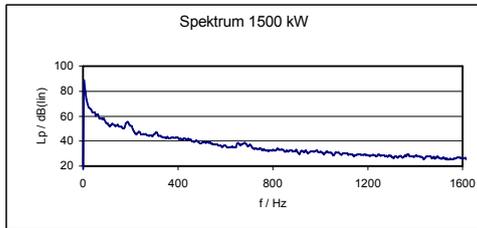
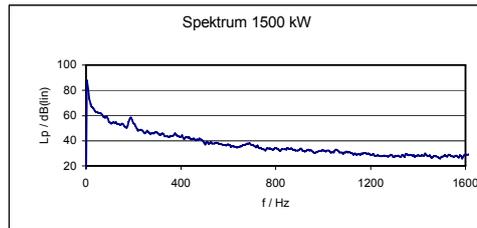
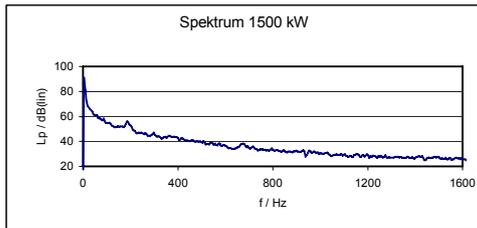
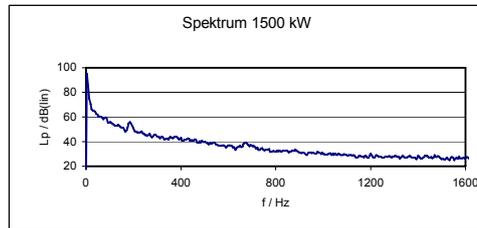
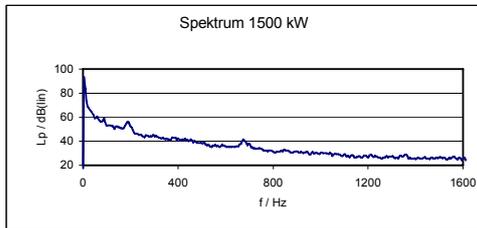
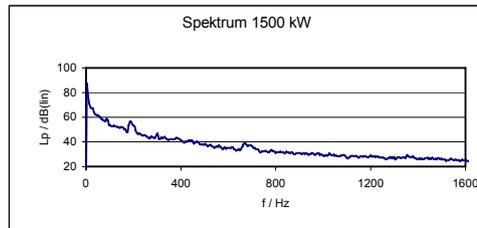
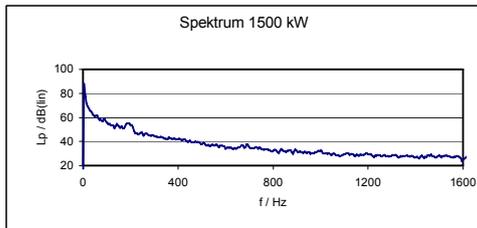
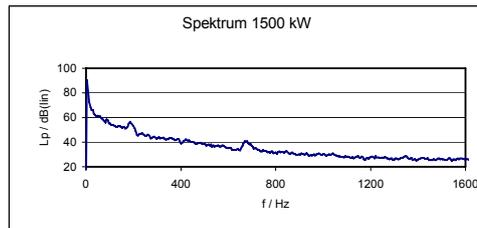
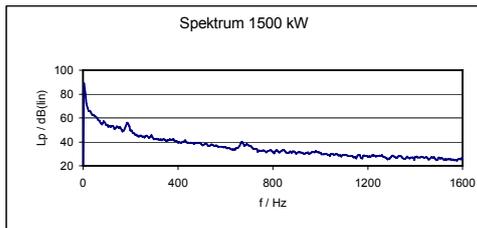
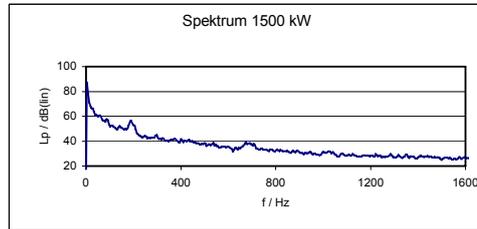
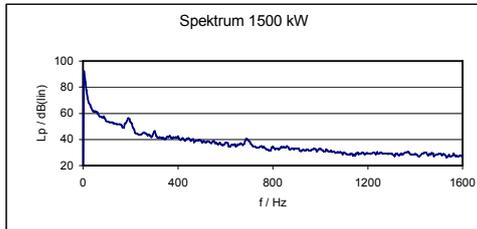
Abbildung 38: Stativanordnung mit Mikrofon, Anemometer im Vordergrund, Messung am 26.11.2009

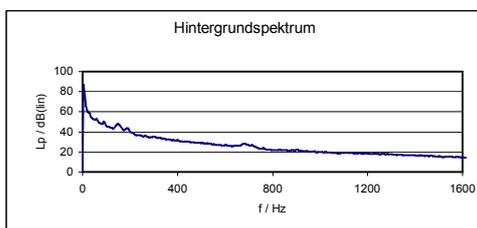
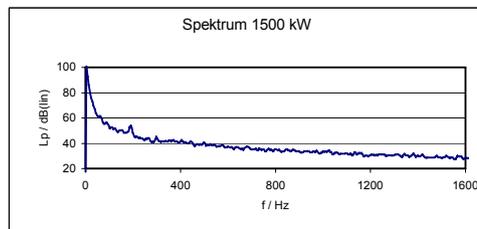
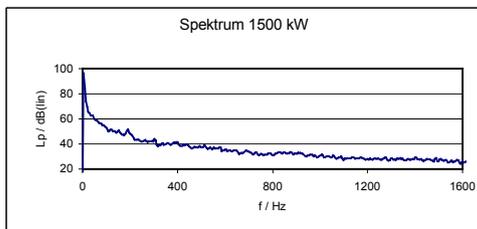
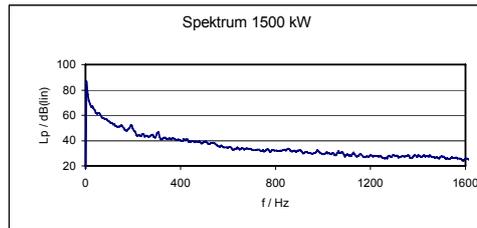
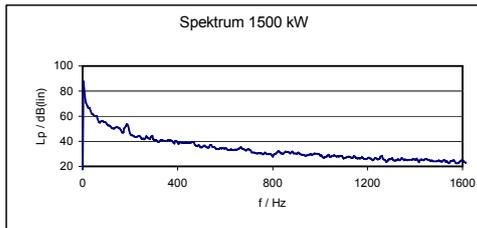
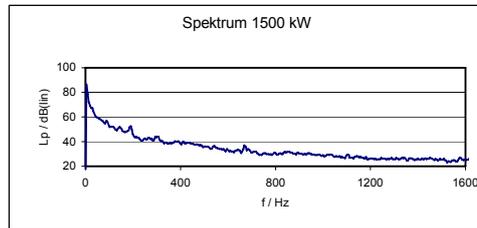
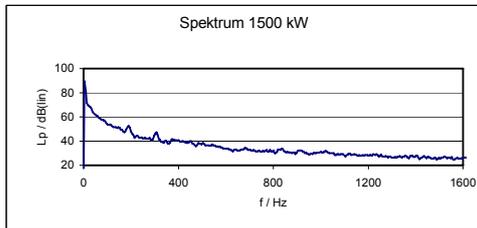
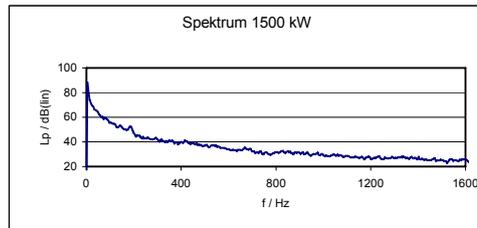
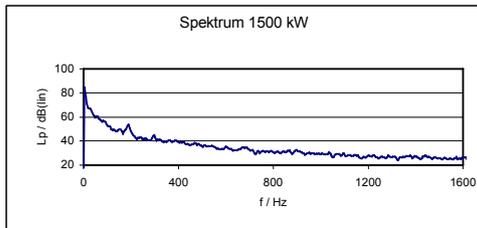
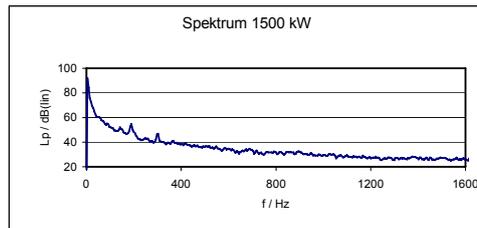
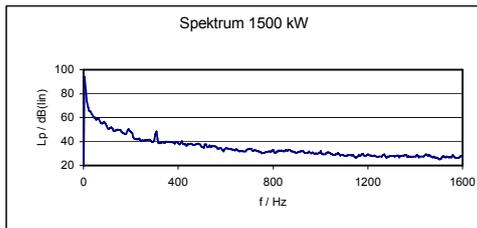
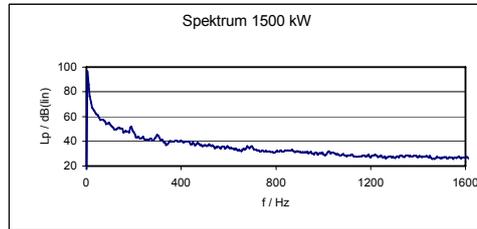
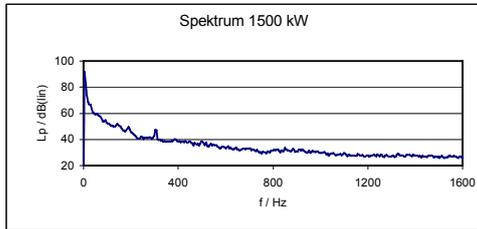


Abbildung 39: Mikrofon im Wohnhaus der Familie Knorr, Messung am 26.11.2009

Anlage B: Spektren zur Tonhaltigkeit, Messung 07.01.2005

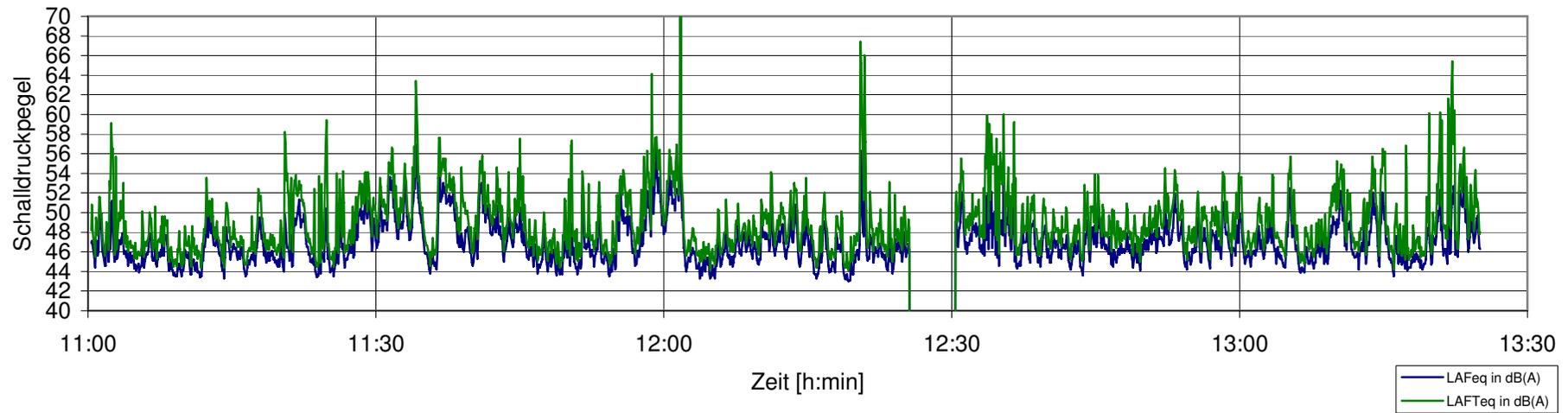
alle WEA in Betrieb



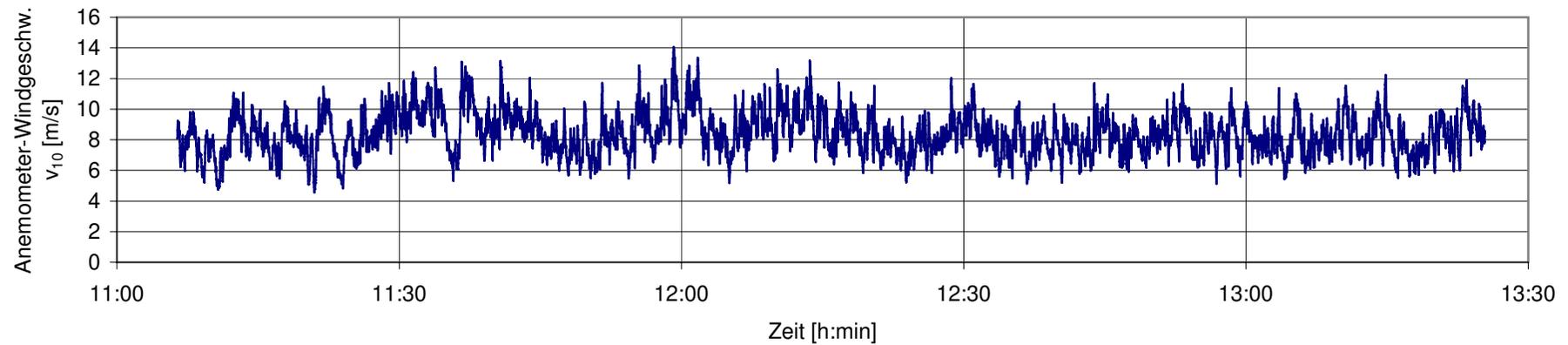
2 WEA abgeschaltet


Anlage C: Diagramme der Zeitverläufe, Messung 26.11.2009

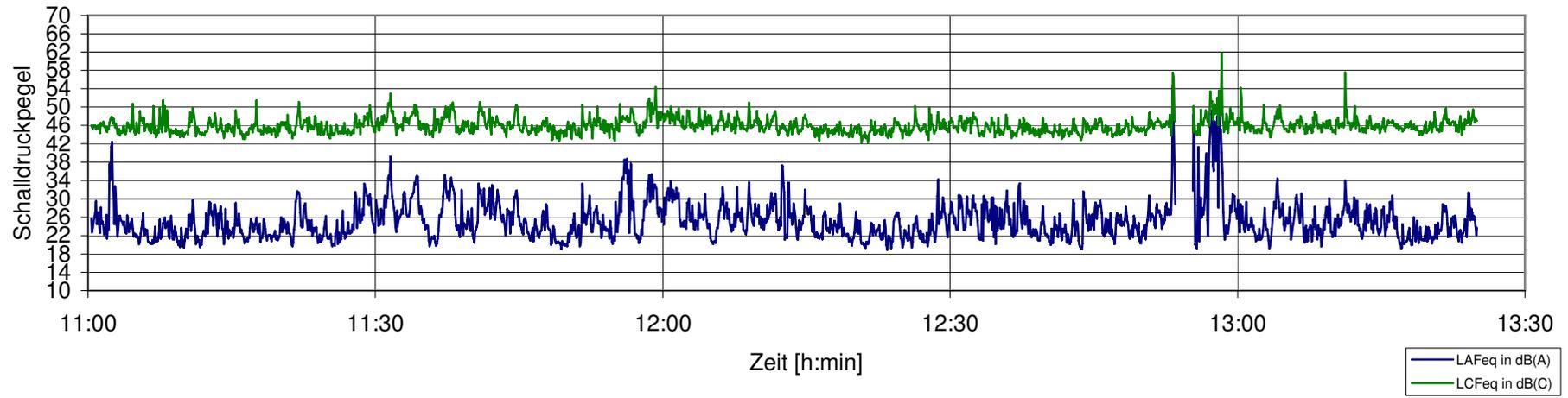
Immissionsmesspunkt vor dem Wohnhaus der Familie Knor:
Schalldruckpegel ohne Fremdgeräuschkorrektur über der Zeit



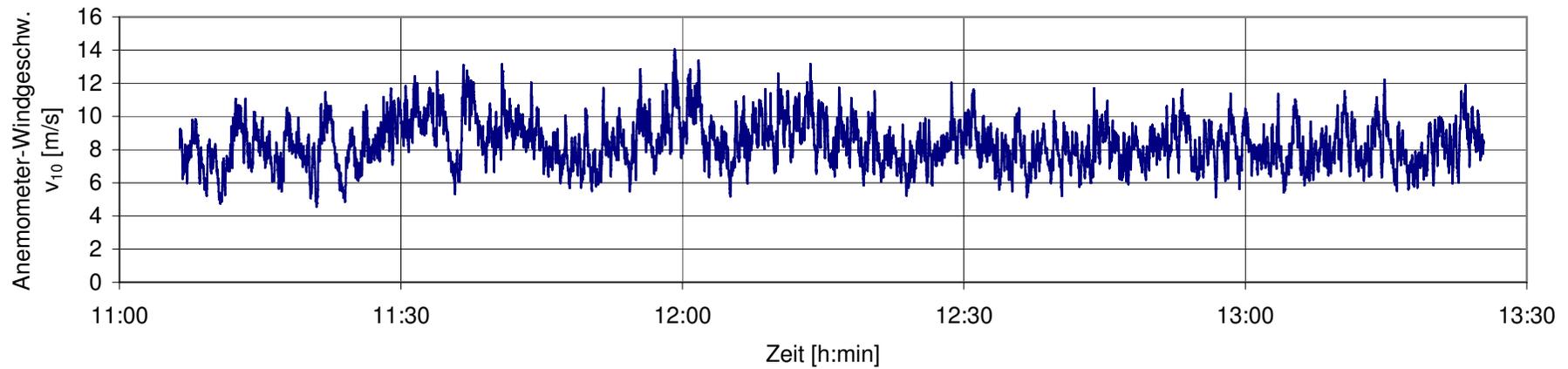
Windmesspunkt dem Ersatzimmissionsort in 10 m Höhe:
Anemometer-Windgeschwindigkeit über der Zeit (Sekundenmittelwerte)



Immissionsmesspunkt im Wohnhaus der Familie Knor:
Schalldruckpegel ohne Fremdgeräuschkorrektur über der Zeit



Windmesspunkt dem Ersatzimmissionsort in 10 m Höhe:
Anemometer-Windgeschwindigkeit über der Zeit (Sekundenmittelwerte)



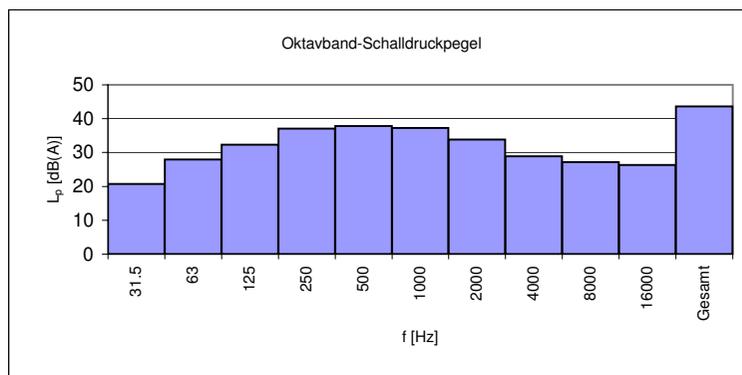
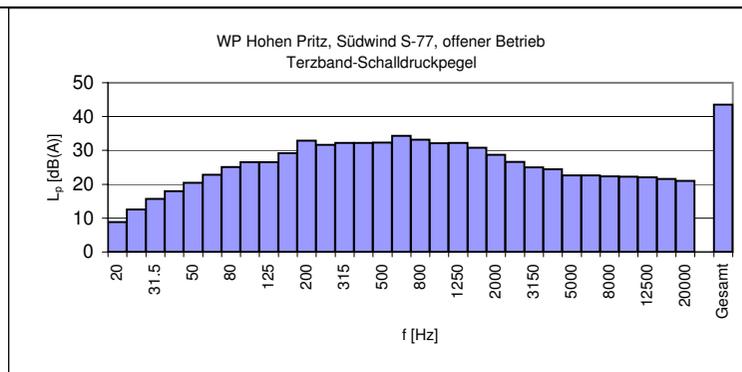
Anlage D: Immissionsmessung nach TA Lärm, Messung 26.11.2009

Anlage D1: Terzspektrum des Schalldruckpegels

Schallimmissionsmessung am Immissionsort Familie Knoor, Neue Straße 5, Hohen Pritz

Terzband-Schalldruckpegel für $v_{10} = 6 \text{ m/s}$

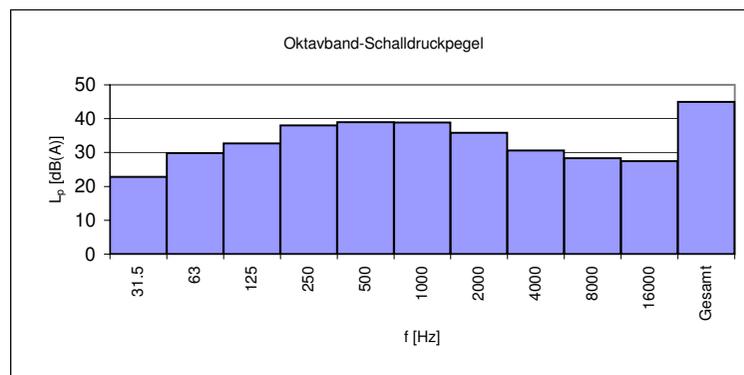
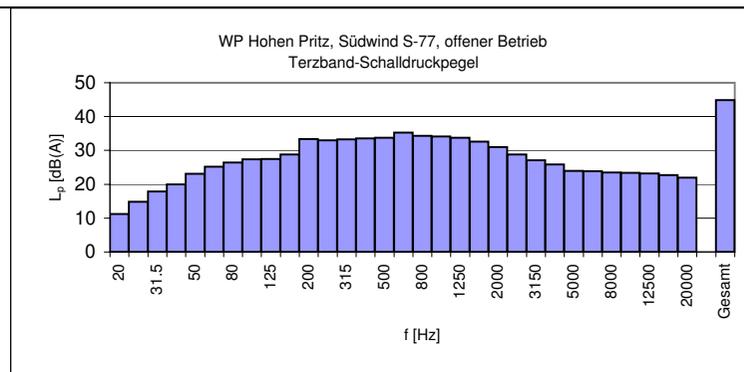
f [Hz]	$L_{p, \text{Terz}}$ [dB(A)]	$L_{p, \text{Okt}}$ [dB(A)]
20	8.9	
25	12.6	
31.5	15.7	20.7
40	18.0	
50	20.4	
63	22.8	27.9
80	25.1	
100	26.5	
125	26.5	32.4
160	29.2	
200	32.9	
250	31.7	37.1
315	32.2	
400	32.2	
500	32.3	37.9
630	34.3	
800	33.1	
1000	32.1	37.3
1250	32.2	
1600	30.8	
2000	28.7	33.8
2500	26.6	
3150	25.0	
4000	24.5	28.9
5000	22.6	
6300	22.6	
8000	22.4	27.2
10000	22.2	
12500	22.1	
16000	21.6	26.3
20000	21.0	
Gesamt	43.6	



Schallimmissionsmessung am Immissionsort Familie Knoor, Neue Straße 5, Hohen Pritz

Terzband-Schalldruckpegel für $v_{10} = 7 \text{ m/s}$

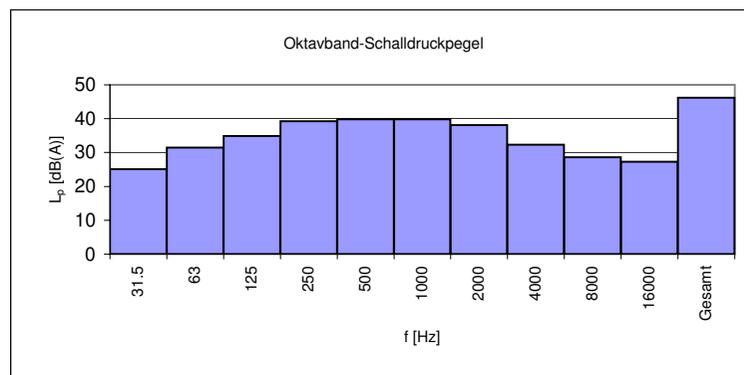
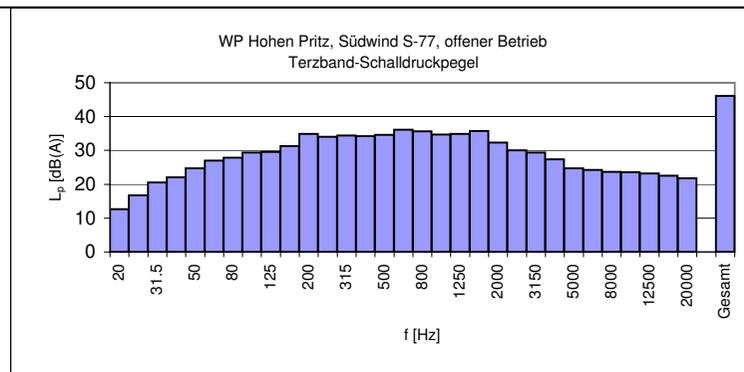
f [Hz]	$L_{p, \text{Terz}}$ [dB(A)]	$L_{p, \text{Okt}}$ [dB(A)]
20	11.2	
25	14.8	
31.5	17.9	22.8
40	19.9	
50	23.1	
63	25.1	29.8
80	26.4	
100	27.3	
125	27.5	32.7
160	28.8	
200	33.3	
250	33.0	38.0
315	33.3	
400	33.5	
500	33.7	39.0
630	35.3	
800	34.3	
1000	34.1	38.8
1250	33.8	
1600	32.6	
2000	31.0	35.8
2500	28.8	
3150	27.1	
4000	25.8	30.6
5000	23.9	
6300	23.8	
8000	23.5	28.3
10000	23.4	
12500	23.2	
16000	22.7	27.4
20000	22.0	
Gesamt	44.9	



Schallimmissionsmessung am Immissionsort Familie Knoor, Neue Straße 5, Hohen Pritz

Terzband-Schalldruckpegel für $v_{10} = 8 \text{ m/s}$

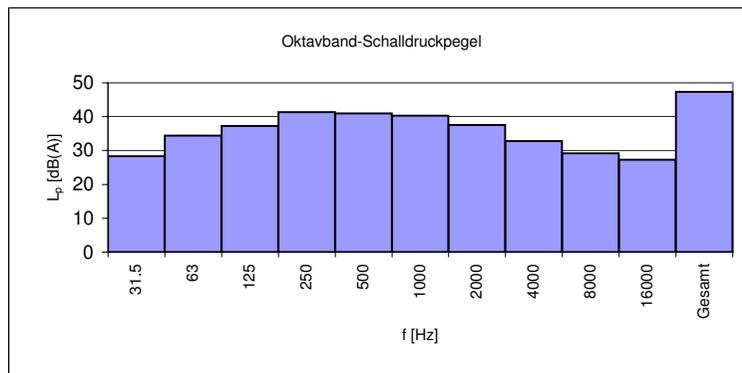
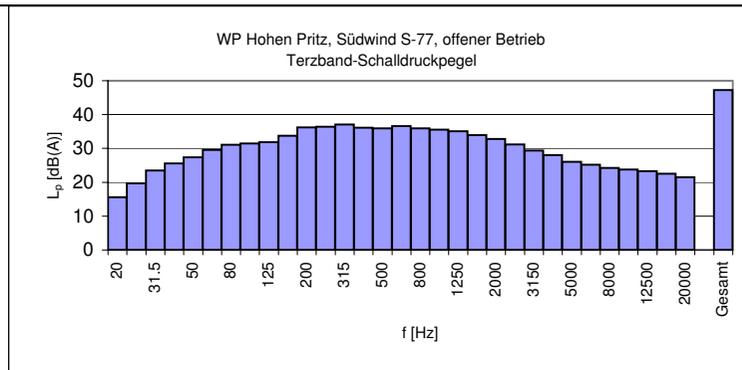
f [Hz]	$L_{p, \text{Terz}}$ [dB(A)]	$L_{p, \text{Okt}}$ [dB(A)]
20	12.6	
25	16.8	
31.5	20.5	25.1
40	22.1	
50	24.7	
63	27.0	31.5
80	27.9	
100	29.4	
125	29.5	34.9
160	31.3	
200	34.9	
250	34.0	39.2
315	34.4	
400	34.2	
500	34.6	39.8
630	36.1	
800	35.6	
1000	34.7	39.9
1250	34.8	
1600	35.7	
2000	32.4	38.1
2500	30.0	
3150	29.4	
4000	27.4	32.3
5000	24.7	
6300	24.3	
8000	23.7	28.6
10000	23.5	
12500	23.2	
16000	22.6	27.3
20000	21.8	
Gesamt	46.2	



Schallimmissionsmessung am Immissionsort Familie Knoor, Neue Straße 5, Hohen Pritz

Terzband-Schalldruckpegel für $v_{10} = 9 \text{ m/s}$

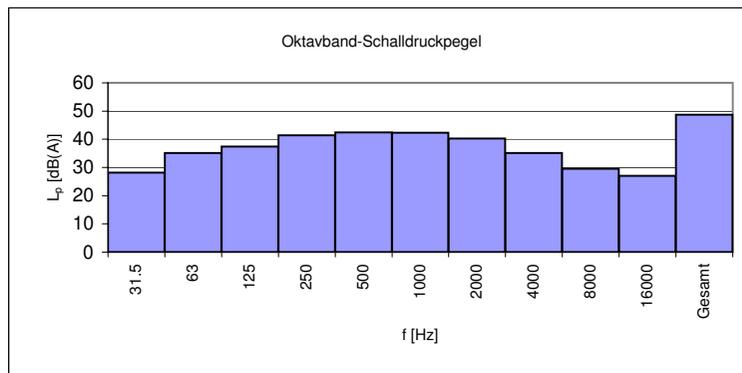
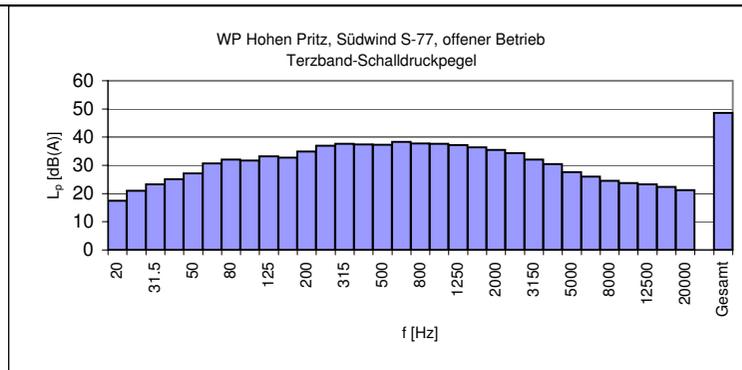
f [Hz]	$L_{p, \text{Terz}}$ [dB(A)]	$L_{p, \text{Okt}}$ [dB(A)]
20	15.6	
25	19.6	
31.5	23.5	28.3
40	25.6	
50	27.4	
63	29.6	34.4
80	31.1	
100	31.5	
125	31.9	37.3
160	33.8	
200	36.2	
250	36.4	41.4
315	37.1	
400	36.1	
500	36.0	41.0
630	36.6	
800	36.0	
1000	35.6	40.3
1250	35.0	
1600	33.9	
2000	32.7	37.5
2500	31.1	
3150	29.4	
4000	28.1	32.8
5000	26.0	
6300	25.2	
8000	24.3	29.2
10000	23.7	
12500	23.3	
16000	22.6	27.3
20000	21.5	
Gesamt	47.4	



Schallimmissionsmessung am Immissionsort Familie Knoor, Neue Straße 5, Hohen Pritz

Terzband-Schalldruckpegel für $v_{10} = 10 \text{ m/s}$

f [Hz]	$L_{p, \text{Terz}}$ [dB(A)]	$L_{p, \text{Okt}}$ [dB(A)]
20	17.4	
25	21.0	
31.5	23.3	28.2
40	25.1	
50	27.1	
63	30.7	35.2
80	32.0	
100	31.7	
125	33.2	37.4
160	32.7	
200	34.9	
250	37.0	41.4
315	37.6	
400	37.4	
500	37.3	42.5
630	38.3	
800	37.8	
1000	37.6	42.3
1250	37.2	
1600	36.4	
2000	35.4	40.2
2500	34.3	
3150	32.1	
4000	30.4	35.2
5000	27.6	
6300	26.0	
8000	24.5	29.6
10000	23.8	
12500	23.2	
16000	22.3	27.1
20000	21.2	
Gesamt	48.7	



Anlage D2: Ergebnisse der Tonhaltigkeit

Tonhaltigkeitsbestimmung nach DIN 45681

Immissionsort: Wohnhaus Familie Knorr Proj.-Nr.: 27257-1.003

Schallquelle(n): WP Hohen Pritz

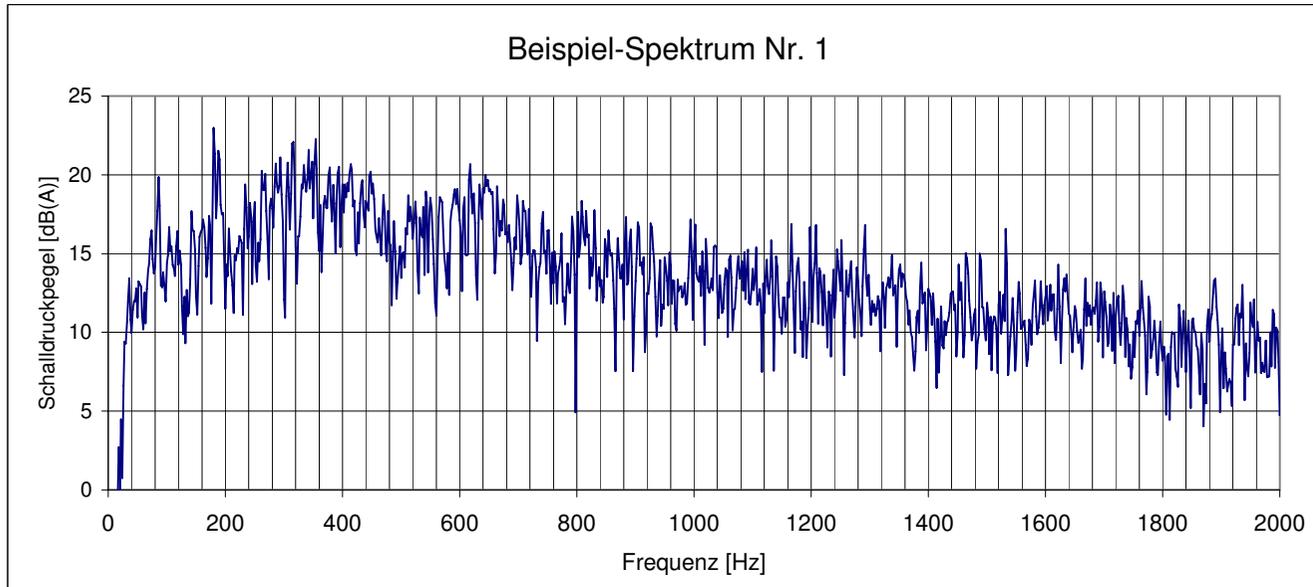
$v_{10} = 6 \text{ m/s}$

Linienabstand: 2 Hz

Untersuchungsbereich: 80 bis 4574 Hz

Mittleres Delta_L: -10 dB

Resultierender Tonzuschlag: 0 dB



Einzelergebnisse:

Frequenz	delta_L	Kennung FG	FgAnfang	FgEnde	Ls	LT	LG	av	Unsicherheit
FFT-01 bis FFT-24		keine Töne gefunden							

Tonhaltigkeitsbestimmung nach DIN 45681

Immissionsort: Wohnhaus Familie Knorr Proj.-Nr.: 27257-1.003

Schallquelle(n): WP Hohen Pritz

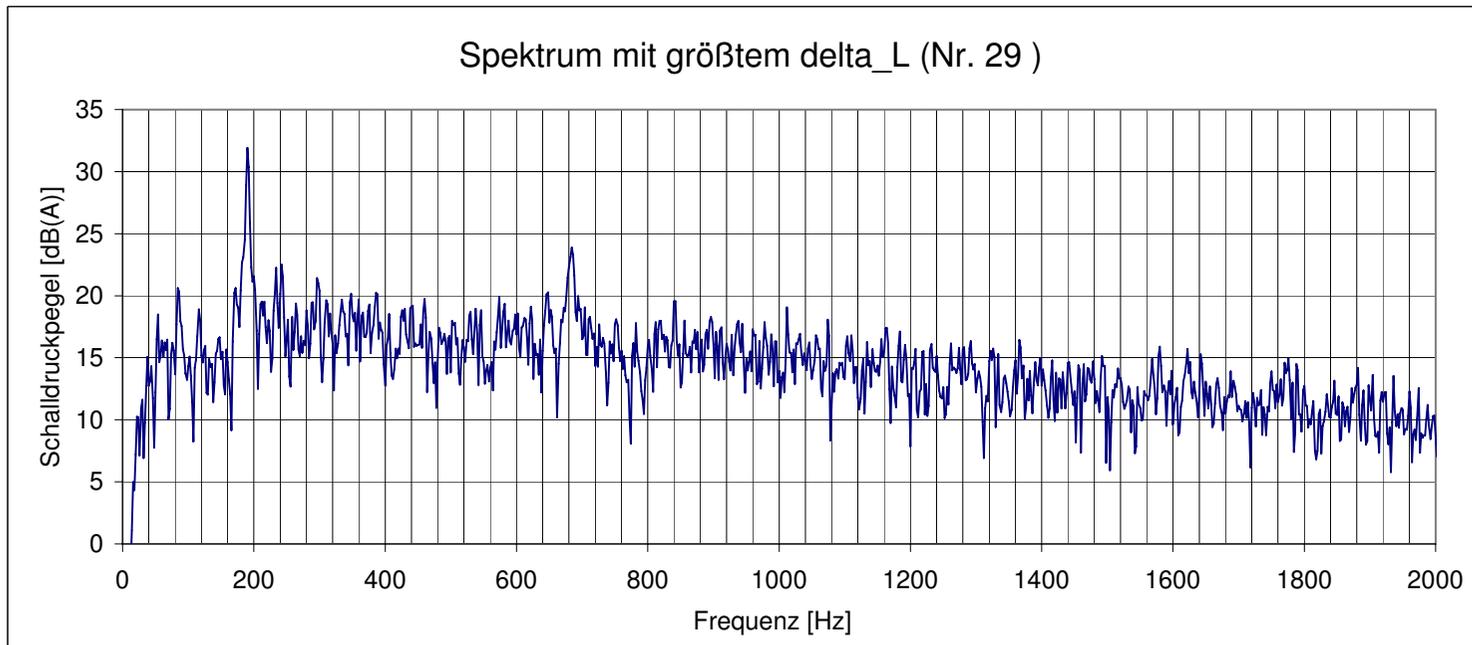
$v_{10} = 7 \text{ m/s}$

Linienabstand: 2 Hz

Untersuchungsbereich: 80 bis 4574 Hz

Mittleres Delta_L: -6.56 dB

Resultierender Tonzuschlag: 0 dB



Einzelergebnisse:

	Frequenz	delta_L	Kennung FG	FgAnfang	FgEnde	Ls	LT	LG	av	Unsicherheit
1: FFT-01			keine Töne gefunden							
2: FFT-02			keine Töne gefunden							
3: FFT-03			keine Töne gefunden							
4: FFT-04			keine Töne gefunden							
5: FFT-05			keine Töne gefunden							
6: FFT-06			keine Töne gefunden							
7: FFT-07			keine Töne gefunden							
8: FFT-08			keine Töne gefunden							
9: FFT-09			keine Töne gefunden							
10: FFT-10			keine Töne gefunden							
11: FFT-11			keine Töne gefunden							
12: FFT-12	188 188	0.83 0.83		144	246	-4.34	11.55	12.76	-2.04	2.01 2.01
13: FFT-13			keine Töne gefunden							
14: FFT-14			keine Töne gefunden							
15: FFT-15			keine Töne gefunden							
16: FFT-16			keine Töne gefunden							
17: FFT-17	122 122	0.29 0.29		82	182	-6.76	8.55	10.27	-2.01	3.48 3.48
18: FFT-18			keine Töne gefunden							
19: FFT-19			keine Töne gefunden							
20: FFT-20			keine Töne gefunden							
21: FFT-21	194	1.24								2.17

Einzelergebnisse:

	Frequenz	delta_L	Kennung FG	FgAnfang	FgEnde	Ls	LT	LG	av	Unsicherheit
	194	1.24		150	252	-7.52	8.79	9.59	-2.04	2.17
22: FFT-22			keine Töne gefunden							
23: FFT-23			keine Töne gefunden							
24: FFT-24			keine Töne gefunden							
25: FFT-25			keine Töne gefunden							
26: FFT-26			keine Töne gefunden							
27: FFT-27			keine Töne gefunden							
28: FFT-28	194	0.23								2.28
	194	0.23		150	252	-3.48	11.81	13.62	-2.04	2.28
29: FFT-29	190	2.61								2.59
	190	2.61		146	248	-3.11	14.56	13.99	-2.04	2.59
30: FFT-30			keine Töne gefunden							
31: FFT-31			keine Töne gefunden							
32: FFT-32			keine Töne gefunden							
33: FFT-33	184	0.03								2.09
	184	0.03		140	242	-3.87	11.22	13.22	-2.03	2.09
34: FFT-34			keine Töne gefunden							
35: FFT-35			keine Töne gefunden							
36: FFT-36			keine Töne gefunden							
37: FFT-37			keine Töne gefunden							
38: FFT-38			keine Töne gefunden							
39: FFT-39			keine Töne gefunden							
40: FFT-40			keine Töne gefunden							

Einzelergebnisse:

	Frequenz	delta_L	Kennung FG	FgAnfang	FgEnde	Ls	LT	LG	av	Unsicherheit
41:	FFT-41		keine Töne gefunden							
42:	FFT-42		keine Töne gefunden							
43:	FFT-43		keine Töne gefunden							
44:	FFT-44		keine Töne gefunden							
45:	FFT-45		keine Töne gefunden							
46:	FFT-46		keine Töne gefunden							
47:	FFT-47		keine Töne gefunden							
48:	FFT-48		keine Töne gefunden							
49:	FFT-49		keine Töne gefunden							
50:	FFT-50		keine Töne gefunden							
51:	FFT-51		keine Töne gefunden							
52:	FFT-52		keine Töne gefunden							
53:	FFT-53		keine Töne gefunden							
54:	FFT-54		keine Töne gefunden							
55:	FFT-55		keine Töne gefunden							
56:	FFT-56		keine Töne gefunden							
57:	FFT-57		keine Töne gefunden							

Tonhaltigkeitsbestimmung nach DIN 45681

Immissionsort: Wohnhaus Familie Knorr Proj.-Nr.: 27257-1.003

Schallquelle(n): WP Hohen Pritz

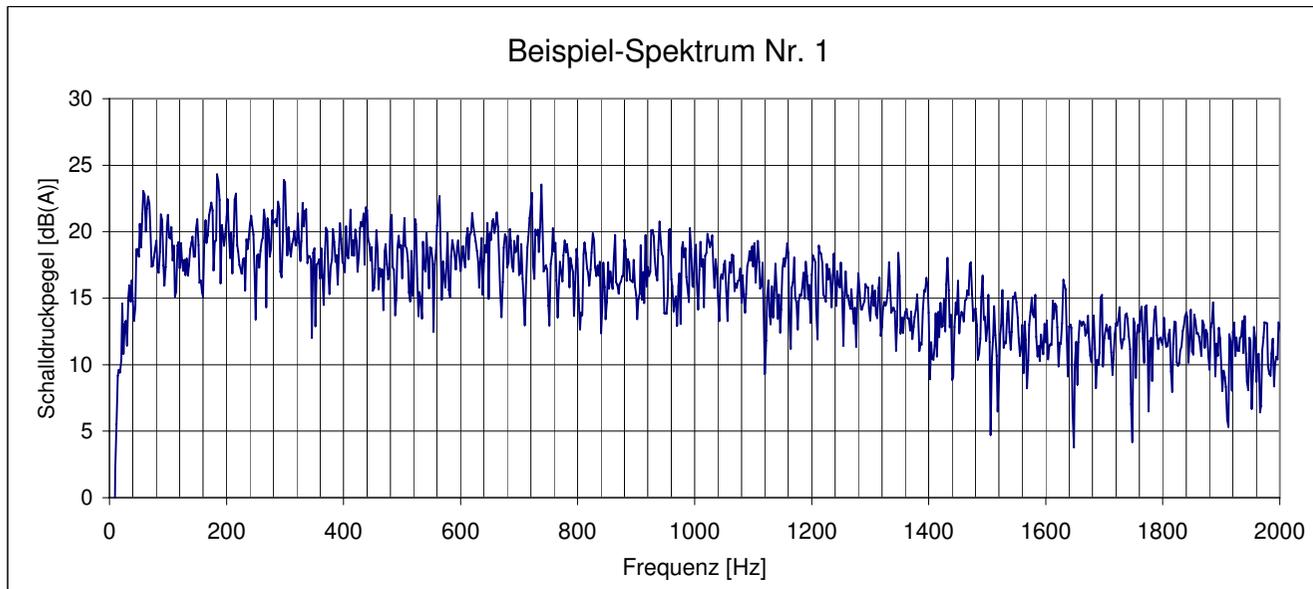
$v_{10} = 8 \text{ m/s}$

Linienabstand: 2 Hz

Untersuchungsbereich: 80 bis 4574 Hz

Mittleres Delta_L: -10 dB

Resultierender Tonzuschlag: 0 dB



Einzelergebnisse:

Frequenz	delta_L	Kennung FG	FgAnfang	FgEnde	Ls	LT	LG	av	Unsicherheit
FFT-01 bis FFT-57		keine Töne gefunden							

Tonhaltigkeitsbestimmung nach DIN 45681

Immissionsort: Wohnhaus Familie Knorr Proj.-Nr.: 27257-1.003

Schallquelle(n): WP Hohen Pritz

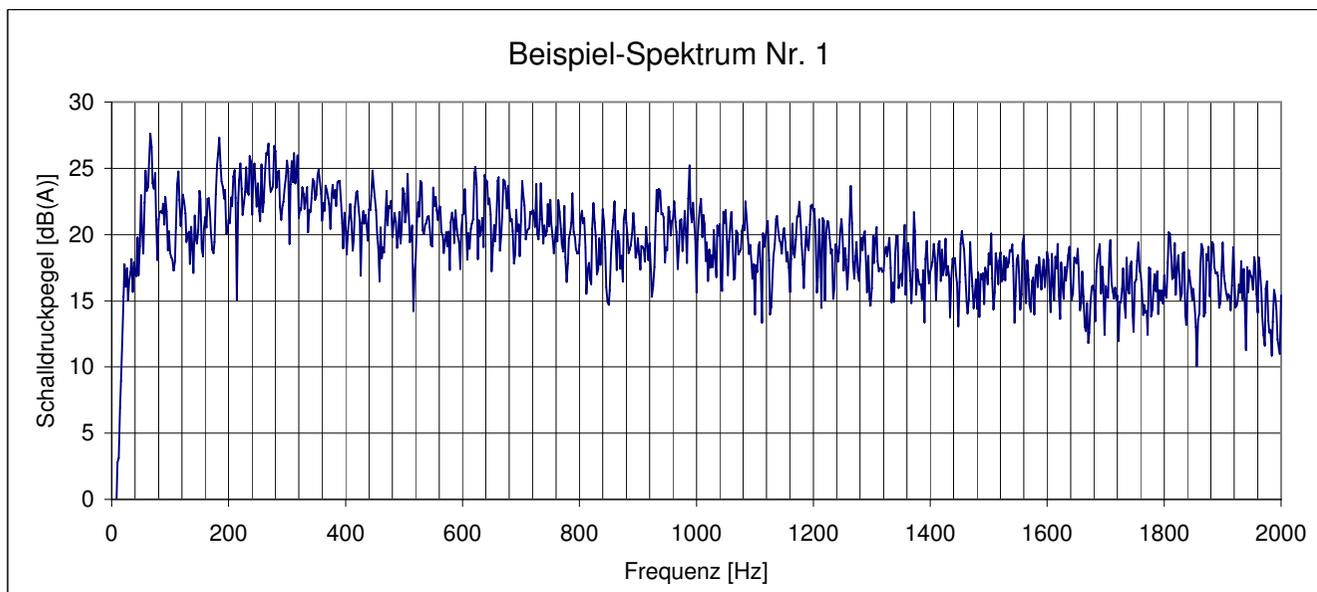
$v_{10} = 9 \text{ m/s}$

Linienabstand: 2 Hz

Untersuchungsbereich: 80 bis 4574 Hz

Mittleres Delta_L: -10 dB

Resultierender Tonzuschlag: 0 dB



Einzelergebnisse:

Frequenz	delta_L	Kennung FG	FgAnfang	FgEnde	Ls	LT	LG	av	Unsicherheit
FFT-01 bis FFT-53		keine Töne gefunden							

Tonhaltigkeitsbestimmung nach DIN 45681

Immissionsort: Wohnhaus Familie Knorr Proj.-Nr.: 27257-1.003

Schallquelle(n): WP Hohen Pritz

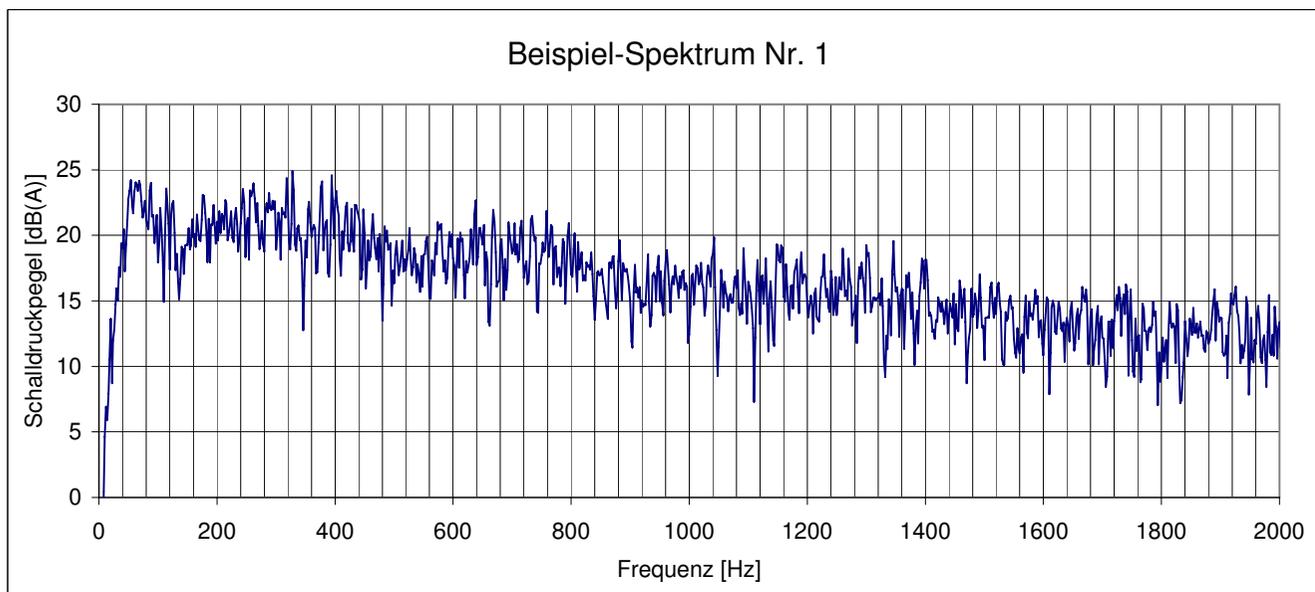
$v_{10} = 10 \text{ m/s}$

Linienabstand: 2 Hz

Untersuchungsbereich: 80 bis 4574 Hz

Mittleres Delta_L: -10 dB

Resultierender Tonzuschlag: 0 dB



Einzelergebnisse:

Frequenz	delta_L	Kennung FG	FgAnfang	FgEnde	Ls	LT	LG	av	Unsicherheit
FFT-01 bis FFT-50		keine Töne gefunden							

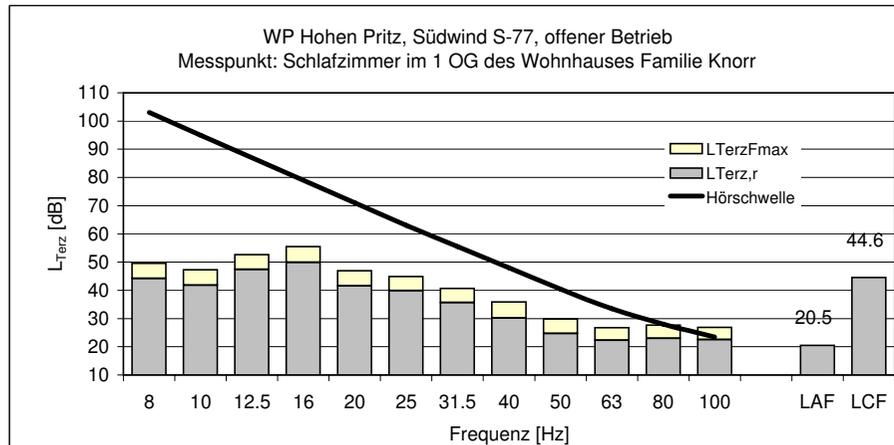
Anlage E: Ergebnisse der Immissionsmessung nach DIN 45680, Messung
26.11.2009

WP Hohen Pritz, Südwind S-77, offener Betrieb

Messpunkt: Schlafzimmer im 1 OG des Wohnhauses Familie Knorr
 $v_{10} = 6 \text{ m/s}$

Terzmittenfrequenz f [Hz]	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
Hörschwellenpegel L_{HS} [dB]	103	95.0	87.0	79.0	71.0	63.0	55.5	48.0	40.5	33.5	28.0	23.5
K_{AI} [dB]	-77.6	-70.4	-63.4	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1
Terz-Beurteilungspegel $L_{Terz,r}$ [dB]	44.3	41.8	47.4	49.9	41.5	39.9	35.7	30.1	24.7	22.3	23.1	22.6
möglicher Einzelton		Nein										
$L_{Terz,r} - L_{HS}$ [dB]	-58.7	-53.2	-39.6	-29.1	-29.5	-23.1	-19.8	-17.9	-15.8	-11.2	-4.9	-0.9
Überschreitung des Hörschwellenpegels	Nein											
$L_{Terz,r} + K_{AI}$ [dB(A)]	-33.3	-28.6	-16.0	-6.8	-9.0	-4.8	-3.7	-4.5	-5.5	-3.9	0.6	3.5
Terz-Maximalpegel $L_{TerzFmax}$ [dB]	49.5	47.3	52.6	55.5	46.9	44.9	40.6	35.9	29.8	26.8	27.7	26.8
möglicher Einzelton		Nein										
$L_{TerzFmax} - L_{HS}$ [dB]	-53.5	-47.7	-34.4	-23.5	-24.1	-18.1	-14.9	-12.1	-10.7	-6.7	-0.3	3.3
Überschreitung des Hörschwellenpegels	Nein	Ja										
$L_{TerzFmax} + K_{AI}$ [dB(A)]	-28.0	-23.1	-10.8	-1.2	-3.6	0.2	1.2	1.3	-0.4	0.6	5.2	7.7

Äquivalenter Dauerschallpegel L_{Aeq} [dB(A)]	20.5
Äquivalenter Dauerschallpegel L_{Ceq} [dB(C)]	44.6
$L_{Ceq} - L_{Aeq}$ [dB]	24.1
tieffrequenter Schall	Ja
Überschreitung des Anhaltswertes bei deutlich hervortretenden Einzeltönen	Nein
Beurteilungspegel L_r [dB(A)]	-
Überschreitung des Anhaltswertes im Nachtzeitraum in sonstigen Fällen	Nein
Beurteilungspegel L_{AFmax} [dB(A)]	8
Überschreitung des Anhaltswertes im Nachtzeitraum in sonstigen Fällen	Nein
Bemerkung	

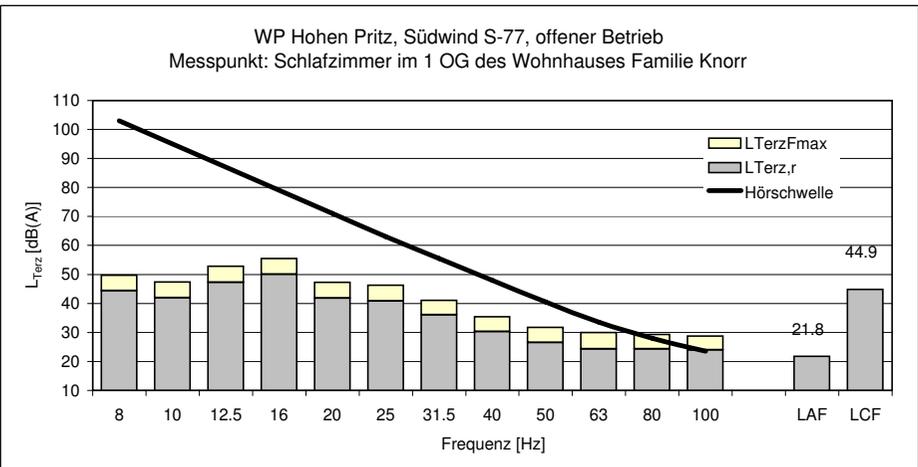


WP Hohen Pritz, Südwind S-77, offener Betrieb

Messpunkt: Schlafzimmer im 1 OG des Wohnhauses Familie Knorr
 $v_{10} = 7 \text{ m/s}$

Terzmittenfrequenz f [Hz]	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
Hörschwellenpegel L_{HS} [dB]	103	95.0	87.0	79.0	71.0	63.0	55.5	48.0	40.5	33.5	28.0	23.5
K_{AI} [dB]	-77.6	-70.4	-63.4	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1
Terz-Beurteilungspegel $L_{Terz,r}$ [dB]	44.4	42.0	47.3	50.0	41.8	40.9	36.1	30.3	26.6	24.3	24.3	24.0
möglicher Einzelton		Nein										
$L_{Terz,r} - L_{HS}$ [dB]	-58.6	-53.0	-39.7	-29.0	-29.2	-22.1	-19.4	-17.7	-13.9	-9.2	-3.7	0.5
Überschreitung des Hörschwellenpegels	Nein	Ja										
$L_{Terz,r} + K_{AI}$ [dB(A)]	-33.1	-28.4	-16.1	-6.7	-8.7	-3.8	-3.3	-4.3	-3.6	-1.9	1.8	4.9
Terz-Maximalpegel $L_{TerzFmax}$ [dB]	49.8	47.4	52.8	55.5	47.3	46.3	41.1	35.4	31.8	29.9	29.3	28.8
möglicher Einzelton		Nein										
$L_{TerzFmax} - L_{HS}$ [dB]	-53.2	-47.6	-34.2	-23.5	-23.7	-16.7	-14.4	-12.6	-8.7	-3.6	1.3	5.3
Überschreitung des Hörschwellenpegels	Nein	Ja	Ja									
$L_{TerzFmax} + K_{AI}$ [dB(A)]	-27.8	-23.0	-10.6	-1.2	-3.2	1.6	1.7	0.8	1.6	3.7	6.8	9.7

Äquivalenter Dauerschallpegel L_{Aeq} [dB(A)]	21.8
Äquivalenter Dauerschallpegel L_{Ceq} [dB(C)]	44.9
$L_{Ceq} - L_{Aeq}$ [dB]	23.1
tieffrequenter Schall	Ja
Überschreitung des Anhaltswertes bei deutlich hervortretenden Einzelönen	Nein
Beurteilungspegel L_r [dB(A)]	5
Überschreitung des Anhaltswertes im Nachtzeitraum in sonstigen Fällen	Nein
Beurteilungspegel L_{AFmax} [dB(A)]	11
Überschreitung des Anhaltswertes im Nachtzeitraum in sonstigen Fällen	Nein
Bemerkung	

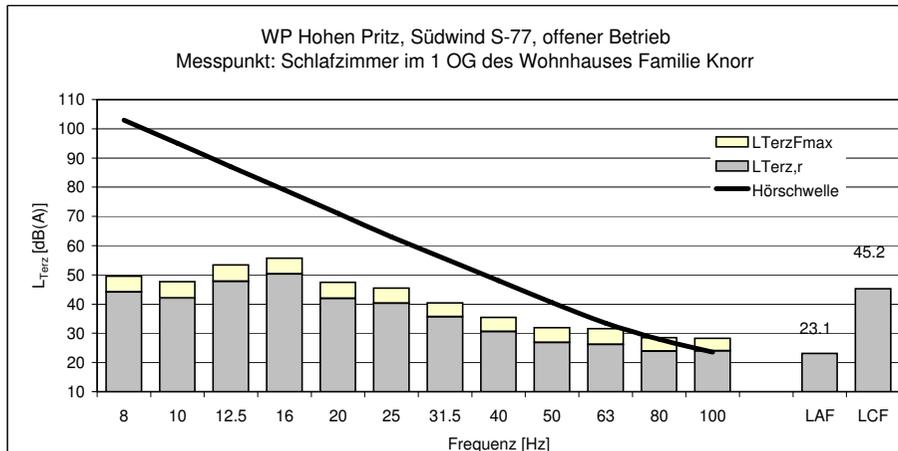


WP Hohen Pritz, Südwind S-77, offener Betrieb

Messpunkt: Schlafzimmer im 1 OG des Wohnhauses Familie Knorr
 $v_{10} = 8 \text{ m/s}$

Terzmittenfrequenz f [Hz]	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
Hörschwellenpegel L_{HS} [dB]	103	95.0	87.0	79.0	71.0	63.0	55.5	48.0	40.5	33.5	28.0	23.5
K_{AI} [dB]	-77.6	-70.4	-63.4	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1
Terz-Beurteilungspegel $L_{Terz,r}$ [dB]	44.1	42.0	47.8	50.3	42.0	40.3	35.7	30.6	26.9	26.2	23.8	24.0
möglicher Einzelton		Nein										
$L_{Terz,r} - L_{HS}$ [dB]	-58.9	-53.0	-39.2	-28.7	-29.0	-22.7	-19.8	-17.4	-13.6	-7.3	-4.2	0.5
Überschreitung des Hörschwellenpegels	Nein	Ja										
$L_{Terz,r} + K_{AI}$ [dB(A)]	-33.5	-28.4	-15.6	-6.4	-8.5	-4.4	-3.7	-4.0	-3.3	0.0	1.3	4.9
Terz-Maximalpegel $L_{TerzFmax}$ [dB]	49.6	47.7	53.4	55.7	47.4	45.5	40.4	35.4	31.9	31.6	28.5	28.3
möglicher Einzelton		Nein										
$L_{TerzFmax} - L_{HS}$ [dB]	-53.4	-47.3	-33.6	-23.3	-23.6	-17.5	-15.1	-12.6	-8.6	-1.9	0.5	4.8
Überschreitung des Hörschwellenpegels	Nein	Ja	Ja									
$L_{TerzFmax} + K_{AI}$ [dB(A)]	-28.0	-22.7	-10.0	-1.0	-3.1	0.8	1.0	0.8	1.7	5.4	6.0	9.2

Äquivalenter Dauerschallpegel L_{Aeq} [dB(A)]	23.1
Äquivalenter Dauerschallpegel L_{Ceq} [dB(C)]	45.2
$L_{Ceq} - L_{Aeq}$ [dB]	22.1
tieffrequenter Schall	Ja
Überschreitung des Anhaltswertes bei deutlich hervortretenden Einzelönen	Nein
Beurteilungspegel L_r [dB(A)]	5
Überschreitung des Anhaltswertes im Nachtzeitraum in sonstigen Fällen	Nein
Beurteilungspegel L_{AFmax} [dB(A)]	11
Überschreitung des Anhaltswertes im Nachtzeitraum in sonstigen Fällen	Nein
Bemerkung	

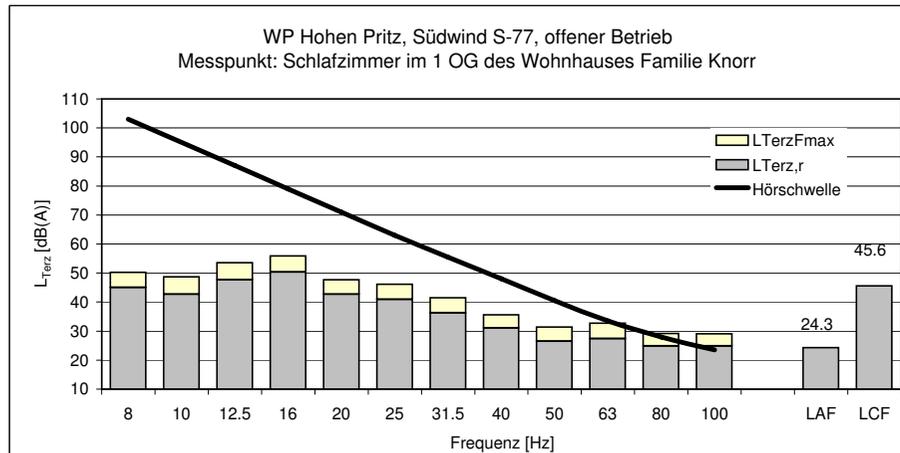


WP Hohen Pritz, Südwind S-77, offener Betrieb

Messpunkt: Schlafzimmer im 1 OG des Wohnhauses Familie Knorr
 $v_{10} = 9 \text{ m/s}$

Terzmittenfrequenz f [Hz]	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
Hörschwellenpegel L_{HS} [dB]	103	95.0	87.0	79.0	71.0	63.0	55.5	48.0	40.5	33.5	28.0	23.5
K_{AI} [dB]	-77.6	-70.4	-63.4	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1
Terz-Beurteilungspegel $L_{Terz,r}$ [dB]	45.0	42.7	47.7	50.4	42.7	41.0	36.3	31.1	26.6	27.4	24.8	24.8
möglicher Einzelton		Nein										
$L_{Terz,r} - L_{HS}$ [dB]	-58.0	-52.3	-39.3	-28.6	-28.3	-22.0	-19.2	-16.9	-13.9	-6.1	-3.2	1.3
Überschreitung des Hörschwellenpegels	Nein	Ja										
$L_{Terz,r} + K_{AI}$ [dB(A)]	-32.6	-27.7	-15.7	-6.3	-7.8	-3.7	-3.1	-3.5	-3.6	1.2	2.3	5.7
Terz-Maximalpegel $L_{TerzFmax}$ [dB]	50.2	48.7	53.5	55.9	47.7	46.2	41.5	35.6	31.4	32.7	29.2	29.1
möglicher Einzelton		Nein										
$L_{TerzFmax} - L_{HS}$ [dB]	-52.8	-46.3	-33.5	-23.1	-23.3	-16.8	-14.0	-12.4	-9.1	-0.8	1.2	5.6
Überschreitung des Hörschwellenpegels	Nein	Ja	Ja									
$L_{TerzFmax} + K_{AI}$ [dB(A)]	-27.4	-21.7	-9.9	-0.8	-2.8	1.5	2.1	1.0	1.2	6.5	6.7	10.0

Äquivalenter Dauerschallpegel L_{Aeq} [dB(A)]	24.3
Äquivalenter Dauerschallpegel L_{Ceq} [dB(C)]	45.6
$L_{Ceq} - L_{Aeq}$ [dB]	21.3
tieffrequenter Schall	Ja
Überschreitung des Anhaltswertes bei deutlich hervortretenden Einzelönen	Nein
Beurteilungspegel L_r [dB(A)]	6
Überschreitung des Anhaltswertes im Nachtzeitraum in sonstigen Fällen	Nein
Beurteilungspegel L_{AFmax} [dB(A)]	12
Überschreitung des Anhaltswertes im Nachtzeitraum in sonstigen Fällen	Nein
Bemerkung	



WP Hohen Pritz, Südwind S-77, offener Betrieb

Messpunkt: Schlafzimmer im 1 OG des Wohnhauses Familie Knorr
 $v_{10} = 10 \text{ m/s}$

Terzmittenfrequenz f [Hz]	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
Hörschwellenpegel L_{HS} [dB]	103	95.0	87.0	79.0	71.0	63.0	55.5	48.0	40.5	33.5	28.0	23.5
K_{AI} [dB]	-77.6	-70.4	-63.4	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1
Terz-Beurteilungspegel $L_{Terz,r}$ [dB]	46.4	44.1	47.7	51.1	44.0	41.2	36.9	31.9	29.4	28.9	26.3	26.6
möglicher Einzelton		Nein										
$L_{Terz,r} - L_{HS}$ [dB]	-56.6	-50.9	-39.3	-27.9	-27.0	-21.8	-18.6	-16.1	-11.1	-4.6	-1.7	3.1
Überschreitung des Hörschwellenpegels	Nein	Ja										
$L_{Terz,r} + K_{AI}$ [dB(A)]	-31.1	-26.3	-15.7	-5.6	-6.5	-3.5	-2.5	-2.7	-0.8	2.7	3.8	7.5
Terz-Maximalpegel $L_{TerzFmax}$ [dB]	51.7	49.8	53.3	56.1	49.7	47.1	41.7	37.1	34.6	35.4	31.1	31.0
möglicher Einzelton		Nein										
$L_{TerzFmax} - L_{HS}$ [dB]	-51.3	-45.2	-33.7	-22.9	-21.3	-15.9	-13.8	-10.9	-5.9	1.9	3.1	7.5
Überschreitung des Hörschwellenpegels	Nein	Ja	Ja	Ja								
$L_{TerzFmax} + K_{AI}$ [dB(A)]	-25.8	-20.6	-10.1	-0.6	-0.8	2.4	2.3	2.5	4.4	9.2	8.6	11.9

Äquivalenter Dauerschallpegel L_{Aeq} [dB(A)]	25.6
Äquivalenter Dauerschallpegel L_{Ceq} [dB(C)]	45.9
$L_{Ceq} - L_{Aeq}$ [dB]	20.3
tieffrequenter Schall	Ja
Überschreitung des Anhaltswertes bei deutlich hervortretenden Einzeltonen	Nein
Beurteilungspegel L_r [dB(A)]	8
Überschreitung des Anhaltswertes im Nachtzeitraum in sonstigen Fällen	Nein
Beurteilungspegel L_{AFmax} [dB(A)]	15
Überschreitung des Anhaltswertes im Nachtzeitraum in sonstigen Fällen	Nein
Bemerkung	

