INENSUS

Protokoll zur Messung des Schallleistungspegels einer Kleinwindenergieanlage

Auftraggeber	**BRAUN Windturbinen GmbH** **Südstraße 19** **57583 Nauroth**
Genaue Bezeichnung der Windenergieanlage (WEA)	**Antaris 6.5**
Nennleistung	6500 W bei 11 m/s
Nabenhöhe H	24,8 m
Rotordurchmesser D	5,1 m
Nenndrehzahl	300 min^{-1}
Abschaltwindgeschwindigkeit	keine
Messungen und Bericht	Dipl.-Ing. Holger Peters
Eingesetztes Schallpegelmessgerät	RION NL-32
Genauigkeit nach	Klasse 1 gemäß IEC 60804
Seriennummer	00682736
vor Ort kalibriert nach IEC 60942 mit	RION NC-74 Akustik Kalibrator Klasse 1
Eingesetztes Anemometer	Windgeber First Class
Hersteller	ADOLF THIES GmbH & Co. KG
Bestellnummer	4.3350.10.000
Seriennummer	04100774
Aufzeichnung der Windgeschwindigkeit mit Datenlogger	Campbell Scientific CR850
Datum der Messungen erster Termin [1]	29. November 2012
Datum der Messungen zweiter Termin [2]	29. Januar 2012

Umgebungstemperatur [1][1)]	4	°C
Umgebungstemperatur [2][1)]	7	°C
Luftdruck [1][1)]	1001	hPa
Luftdruck [2][1)]	999	hPa
Relative Feuchte [1][1)]	81	%
Relative Feuchte [2][1)]	84	%
Abstand Mikrofones von Mastmitte [1]	28,00	m (± 0,1 m)
Abstand Mikrofones von Mastmitte [2]	27,94	m (± 0,1 m)
Intervall für Messung	10	s
Ort der Messungen	Dorfstr. 85, Barlt bei St. Michaelisdonn	

1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Messungen wurden nach DIN EN 61400-11:2009[2] (Windenergieanlagen – Teil 11: Schallmessverfahren) durchgeführt. Der Standort der WEA ist ein landwirtschaftlicher Betrieb, dessen Umgebung nur sehr dünn besiedelt ist und der Rauhigkeitsklasse 1 entspricht. Es gibt nur vereinzelt laubfreie Bäume.

Hörbare Töne wurden durch eine Schmalbandanalyse nicht festgestellt.

1.1 Schalldruckpegel in Abhängigkeit der Entfernung

v [m/s]	L_WA [dB]	Schallpegel [dB]																		
11	94,3	55	54	53	52	52	51	50	49	48	48	47	46	46	45	45	44	44	43	43
10	94,5	55	54	53	53	52	51	50	49	49	48	47	47	46	46	45	45	44	44	43
9	93,9	54	54	53	52	51	50	49	49	48	47	47	46	46	45	44	44	44	43	43
8	90,3	51	50	49	48	47	47	46	45	44	44	43	42	42	41	41	40	40	39	39
7	87,5	48	47	46	46	45	44	43	42	42	41	40	40	39	39	38	38	37	37	36
6	82,5	43	42	41	41	40	39	38	37	37	36	35	35	34	34	33	33	32	32	31
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
		Horizontaler Abstand von Rotornabe [m]																		

Abbildung 1: Schallleistungspegel L_WA in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit und bei verlustfreier und ungestörter Ausbreitung in den kugelförmigen Raum über $\Delta L = 20 \cdot \lg(x) + 11\,dB$ *berechneter Schalldruckpegel [dB] in Abhängigkeit der Entfernung vom Mast bei 24,8 m Nabenhöhe. Die Windgeschwindigkeiten sind auf Nabenhöhe angegeben.*

Die in der TA Lärm vom 26. August 1998 nachts (22.00 bis 6.00 Uhr) festgelegten Pegel betragen:

in Kern-, Dorf- und Mischgebieten	45	dB(A)
in allgem. Wohn- und Kleinsiedlungsgebieten	40	dB(A)
in reinen Wohngebieten, Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten	35	dB(A)

Goslar, den 21.02.2013 :(Dipl.-Ing. Holger Peters)

Es folgen 11 Seiten Bericht

[1)] Entnommen aus Wetterbericht von http://www.windfinder.com für den 6,7 km Luftlinie entfernten Flugplatz von St. Michaelisdonn auf gleicher Höhe über NN.

[2] Entwurf, endgültige Fassung liegt noch nicht auf Deutsch vor

2 Aufbau und Standort

Es wurde an 2 Tagen gemessen. Temperatur und Luftdruck waren ähnlich, nicht jedoch die Windrichtung und der damit Pegel des Umgebungsgeräusches. Am 29.11.2012 [1] kam der Wind aus nördlicher Richtung bei niedrigen Windgeschwindigkeiten und einem sehr niedrigen Umgebungsgeräusch, am 29.01.2013 [2] aus west-süd-westlicher Richtung bei höheren Windgeschwindigkeiten und einem höheren Umgebungsgeräusch.

Die WEA steht auf einem landwirtschaftlichen Betrieb 12,6 km nördlich der Elbmündung und in westlicher Richtung 13 km von der Küste entfernt. 3,4 km ost-nord-östlich ist ein kleiner Wald, 0,7 km nord-ost-nördlich beginnt die kleine Ortschaft Barlt. In einem Umkreis von 3 km nur sehr dünne Besiedelung der landwirtschaftlichen genutzten Flächen mit vereinzelten laubfreien Bäumen entlang der Straßen. Bei vorbeifahrenden Fahrzeugen wurden keine Messwerte aufgezeichnet. Auch in einem Abstand bis 9 km liegen keine größeren Ortschaften; die weitere Umgebung entspricht damit der Rauhigkeitsklasse 1.

Die nächste große Windenergieanlage steht in 0,4 km Entfernung in west-süd-westlicher Richtung und ist damit auch die Quelle für das deutlich erhöhte Umgebungsgeräusch an dem zweiten Messtermin.

Der Boden war am zweiten Termin teilweise noch gefroren, es gab etwas Niederschlag vor den Messungen, der Boden war sehr feucht.

Die Windgeschwindigkeit wurde an beiden Tagen an derselben Stelle gemessen, da der Mast aufgrund des gefrorenen Bodens am 2. Termin nicht versetzt werden konnte.

Abbildung 2: Blick über das Mikrofon zur Anlage, vorne rechts hinter dem Bäumen der grüne Schuppen, der von seiner anderen Seite auf der Abbildung rechts zu sehen ist. [1]

Abbildung 3: Blick über das Mikrofon zur Anlage mit dem Windmessmast links. Der größere Baum links verdeckt auf der Abbildung links den Windmessmast, der in 16,1 m Abstand zur WEA steht. [2]

Abbildung 4: Datenlogger und Schallpegelmessgerät

Das Mikrofon muss nach IEC 61400-11 auf einer schallharten Platte im Abstand $R_0 = H + \frac{D}{2}$ liegen. Daraus berechnet sich der Referenzabstand zu R_0 = 27,35 m. Eine Toleranz von ±20 % ist zulässig. Der genaue Abstand wurde mit Laserlängenmessgerät Fluke 416D auf [1] 28,00 und [2] 27,94 m (±0,1 m) bestimmt.

3 Übersicht der Messdaten

Die in 10 m Höhe gemessene Windgeschwindigkeit wird zunächst auf Standard-Wetterbedingungen umgerechnet, dann mit der geschätzten Rauhigkeitslänge auf Nabenhöhe extrapoliert. Da der Mast ca. 0,2 m tiefer steht als die Anlage wird mit 9,8 m Höhe für die Messung gerechnet.

Die effektive Rauhigkeitslänge wird für die ersten Messreihe zu z_0 = 0,5 m und für die zweite Messreihe zu z_0 = 0,15 m geschätzt. Am ersten Messtermin liegt eine

Baumreihe in Windrichtung; beim zweiten Termin wird die direkte Anströmung kaum gestört, da in dieser Richtung keine Bäume sind.

Damit liegen Messwerte auf Nabenhöhe von 3,2 bis 9,2 m/s aus der ersten Messreihe und von 7,6 bis 14,0 m/s aus der zweiten Messreihe für den kombinierten Pegel vor.

Die Schallpegelmessung wurde vor Ort kalibriert.

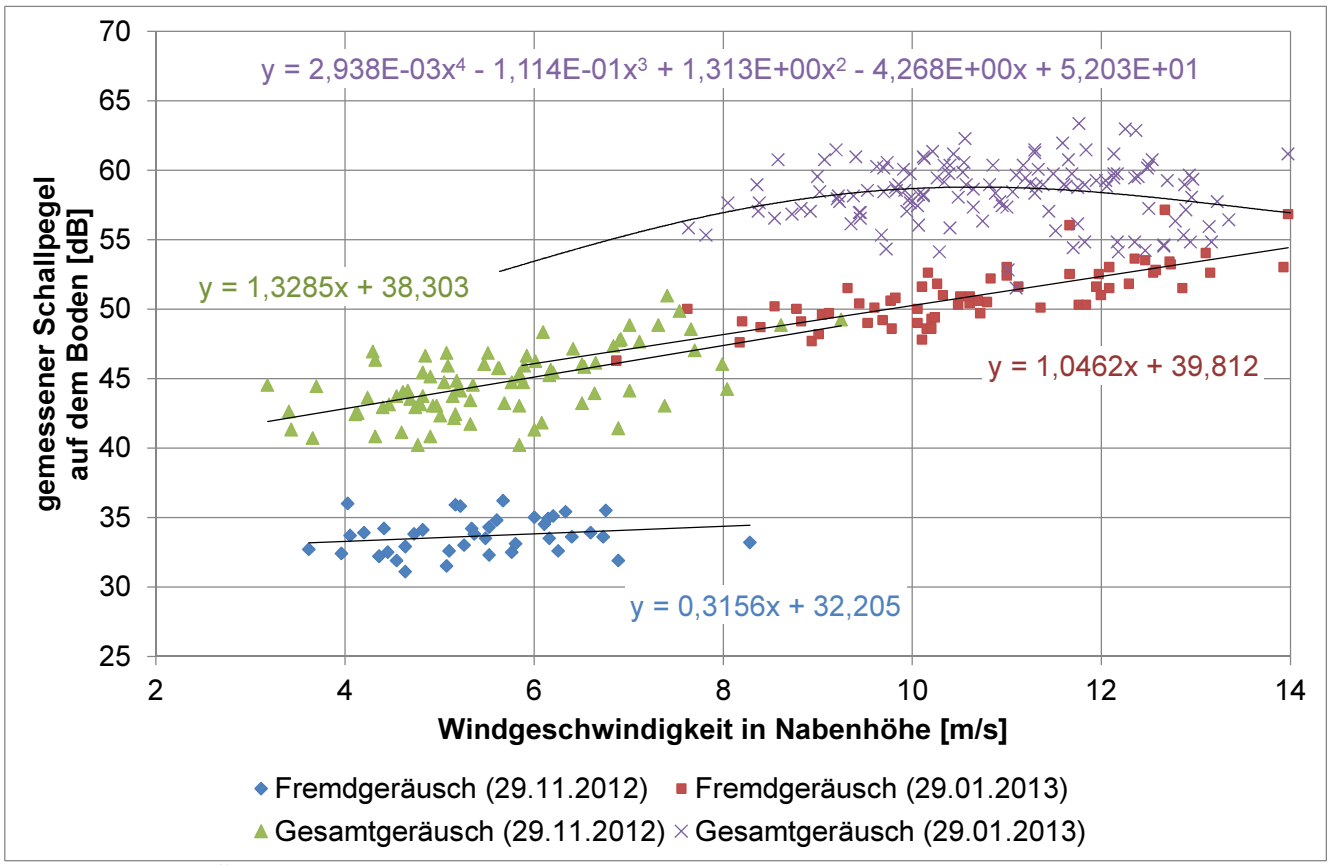

Abbildung 5: Übersicht der Messdaten, bereits auf Standard-Wetterbedingungen und Nabenhöhe umgerechnet. Das Betriebsgeräusch der Windenergieanlage unterscheidet sich jeweils deutlich von dem Umgebungsgeräusch. Beide Messreihen haben einen stark abweichenden Pegel für das Umgebungsgeräusch, damit auch einen abweichenden Pegel für das kombinierte Geräusch. Bei hohen Windgeschwindigkeiten gut zuerkennen der abnehmende Pegel durch das nach-oben-klappen des Rotors. Für diese Messreihe wurde daher ein Polynom 4. Ordnung verwendet. Die anderen Messreihen sind weitestgehend linear.

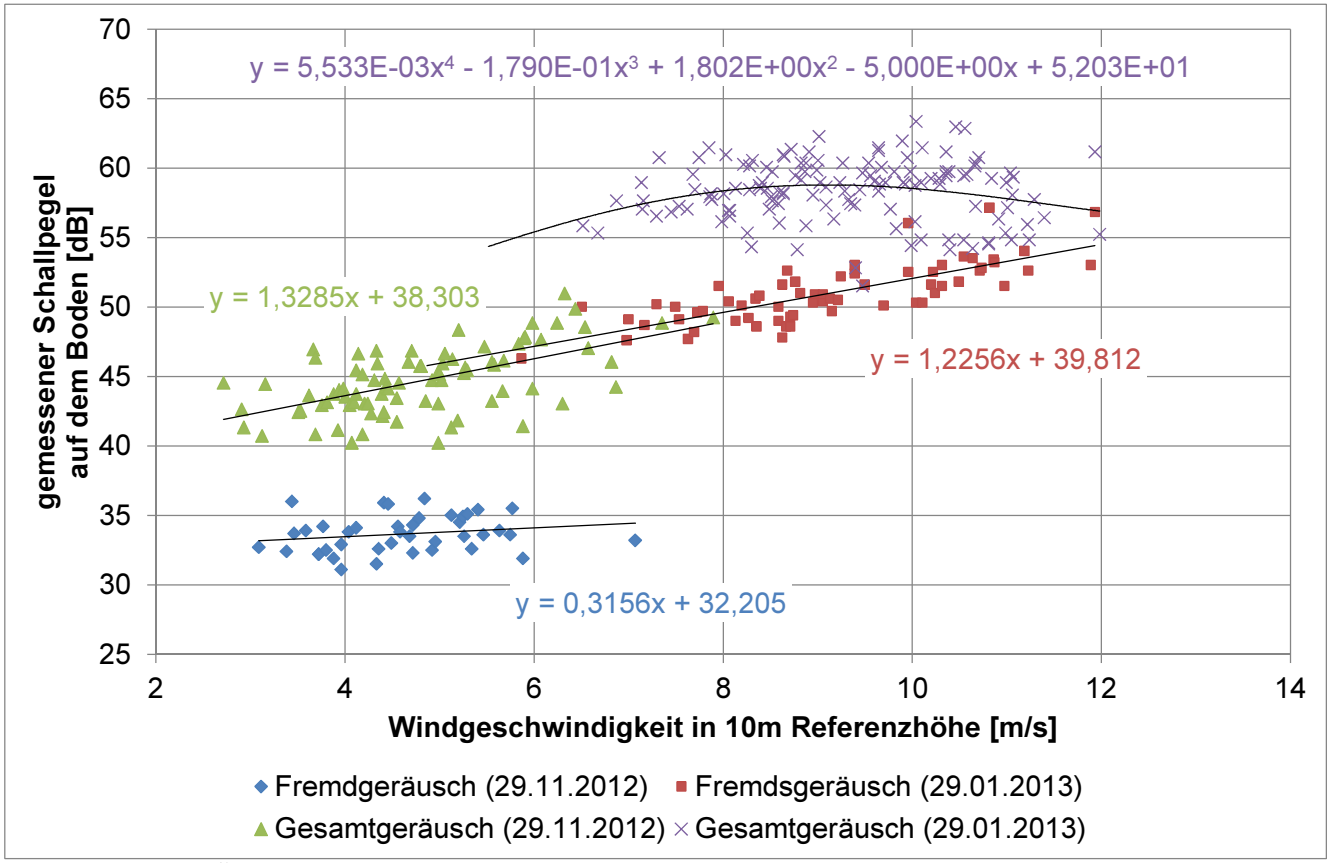

Abbildung 6: Übersicht der Messdaten wie Abbildung 5, jedoch mit den auf 10 m Referenzhöhe angegebenen Werten.

Die Datenbasis besteht aus insgesamt 324 über 10 Sekunden gemittelten Messwertpaaren für Windgeschwindigkeit und Schallpegel zwischen 2,7 und 12,0 m/s auf 10 m Referenzhöhe, bzw. 3,2 bis 14,0 m in Nabenhöhe.

Die mittlere Turbulenzintensität lag im Mittel an beiden Tagen bei 11 %.

Es wurden 51 Spektren mit 400 Linien bis 5 kHz aufgenommen.

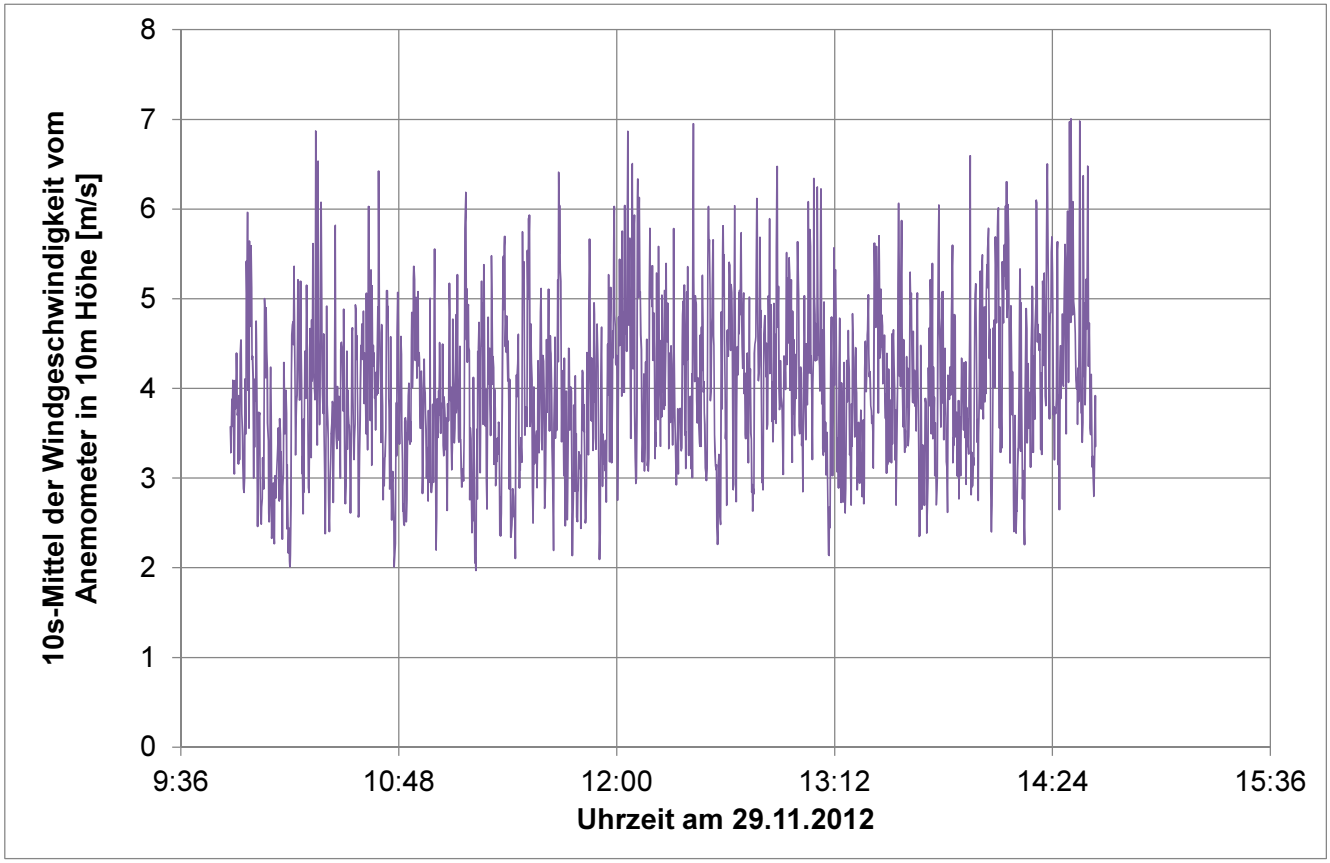

Abbildung 7: In 10 m Höhe gemessene Windgeschwindigkeit als Mittelwert über 10 Sekunden [1].

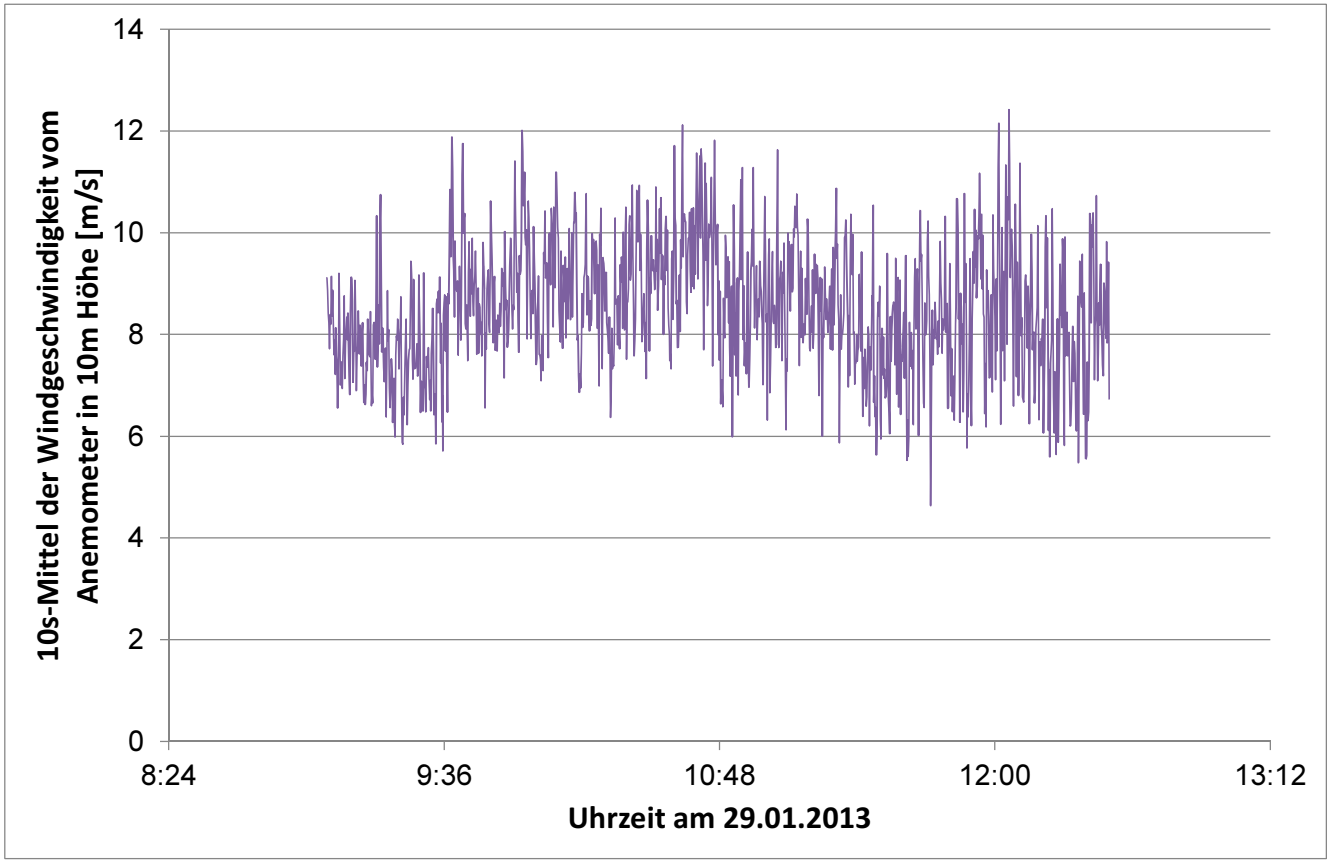

Abbildung 8: In 10 m Höhe gemessene Windgeschwindigkeit als Mittelwert über 10 Sekunden [2].

4 Auswertung

Die Auswertung erfolgt weitestgehend nach der IEC 61400-11 in der 3. Edition, vorliegend als Entwurf vom Januar 2009 in deutscher Sprache. Die deutsche Übersetzung der endgültigen Fassung ist zum Zeitpunkt der Auswertung noch nicht im Beuth Verlag erschienen.

Für die weiteren Auswertungen werden die in Abbildung 5 dargestellten Gleichungen der Kurven verwendet und die Pegel für die ganzzahligen Windgeschwindigkeiten 6, 7, 8, 9, 10 und 11 m/s berechnet. Der Pegel des Gesamtgeräusches liegt jeweils mindestens 3 dB über dem Fremdgeräusch und wird entsprechend korrigiert.

Nach Korrektur des Fremdgeräusches werden die Messwerte der beiden Tage zusammengeführt. Im Überschneidungsbereich der beiden Messreihen zeigen die Ergebnisse geringfügige Abweichungen, daher wird der Pegel für 7 m/s aus beiden Messreihen arithmetisch gemittelt, bei 8 m/s wird der Pegel aus der 2. Messreihe doppelt gewichtet.

Tabelle 1: Immissionsrelevanter Schallleistungspegel L_{WA} angegeben für Windgeschwindigkeiten auf 10 m Referenzhöhe zusammen mit dem Gesamtpegel $L_{V,T}$, dem Pegel des Fremdgeräusches $L_{V,B}$, der Differenz und dem korrigierten Pegel $L_{V,c}$. Bei 11 m/s nimmt der Pegel ab, da der Rotor nach oben aus dem Wind schwenkt.

V_{10} [m/s]	$L_{V,T}$ [dB]	$L_{V,B}$ [dB]	Differenz [dB]	$L_{V,c}$ [dB]	L_{WA} [dB]
6	46,3	34,1	12,2	46,0	82,5
7	51,5	40,8	10,7	51,0	87,5
8	54,3	43,7	10,6	53,8	90,3
9	58,0	49,2	8,8	57,4	93,9
10	58,6	50,3	8,4	57,9	94,5
11	58,7	51,3	7,4	57,8	94,3

Tabelle 2: Vgl. Tabelle 1 mit den Windgeschwindigkeiten auf 24,8 m Nabenhöhe.

V_H [m/s]	$L_{V,T}$ [dB]	$L_{V,B}$ [dB]	Differenz [dB]	$L_{V,c}$ [dB]	L_{WA} [dB]
6	46,3	34,1	12,2	46,0	82,5
7	52,4	41,4	11,0	52,0	88,5
8	55,2	44,7	10,6	54,8	91,3
9	58,8	50,8	8,0	58,0	94,6
10	58,6	52,1	6,5	57,5	94,0
11	57,8	53,3	4,5	55,9	92,5

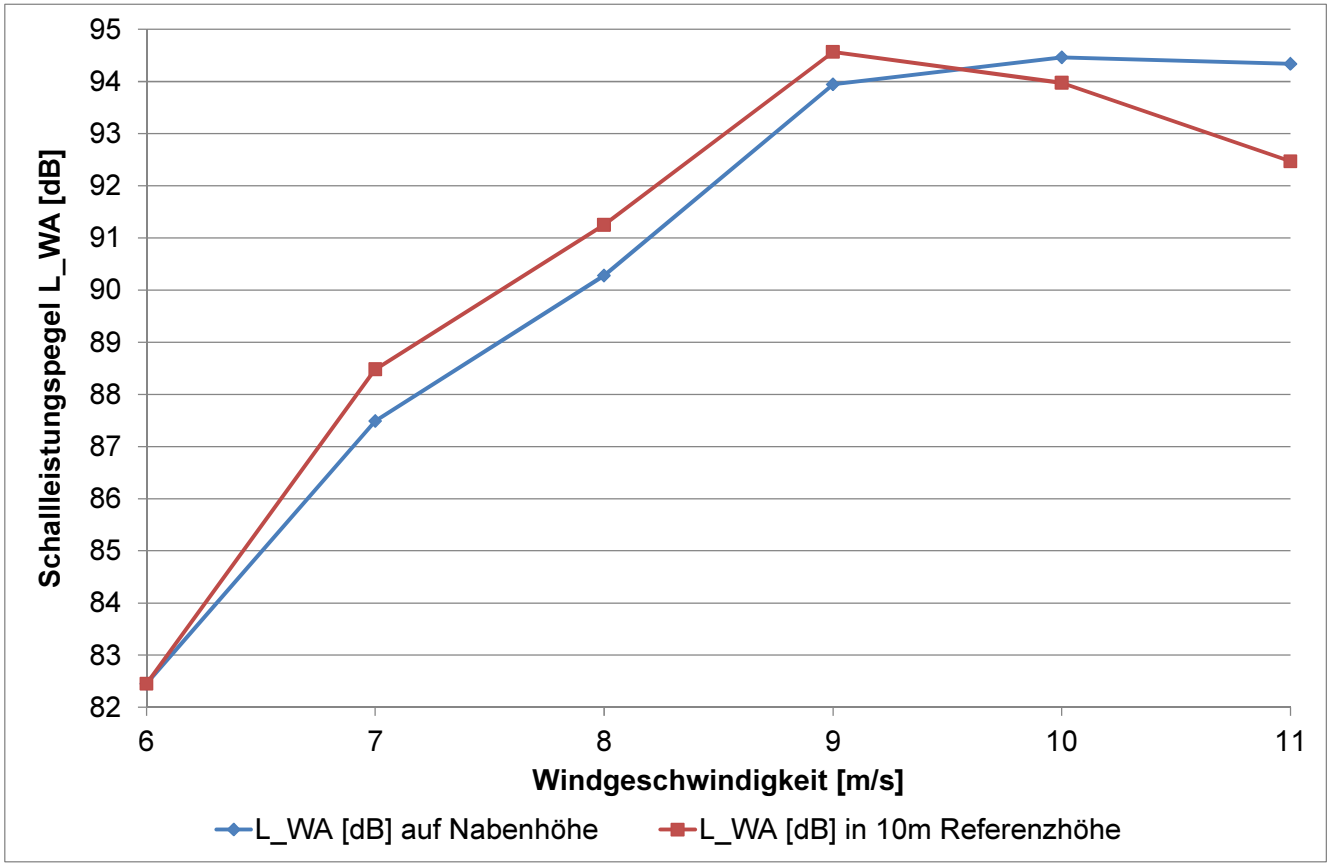

Abbildung 9: Schallleistungspegel für Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe und in 10 m Referenzhöhe. Bei hohen Windgeschwindigkeiten klappt der Rotor nach oben und reduziert dadurch erheblich den Pegel. Bei der Kurve auf 10 m Referenzhöhe ist in Nabenhöhe die Windgeschwindigkeit bereits hoch genug, so dass hier die Pegelabnahme gut zu sehen ist.

5 Spektrale Messungen

Von 12,5 Hz bis 5 kHz wurden am 2. Termin insgesamt 51 Spektren mit 400 Linien unter Anwendung des Hanningfensters aufgenommen. 34 Spektren für das Gesamtgeräusch von 6,0 bis 10,9 m/s und 17 Spektren für das Fremdgeräusch zwischen 5,6 und 9,6 m/s liegen vor.

5.1 Übersicht der Spektren

Nachstehend eine Auswahl von Spektren im Bereich von 8 m/s.

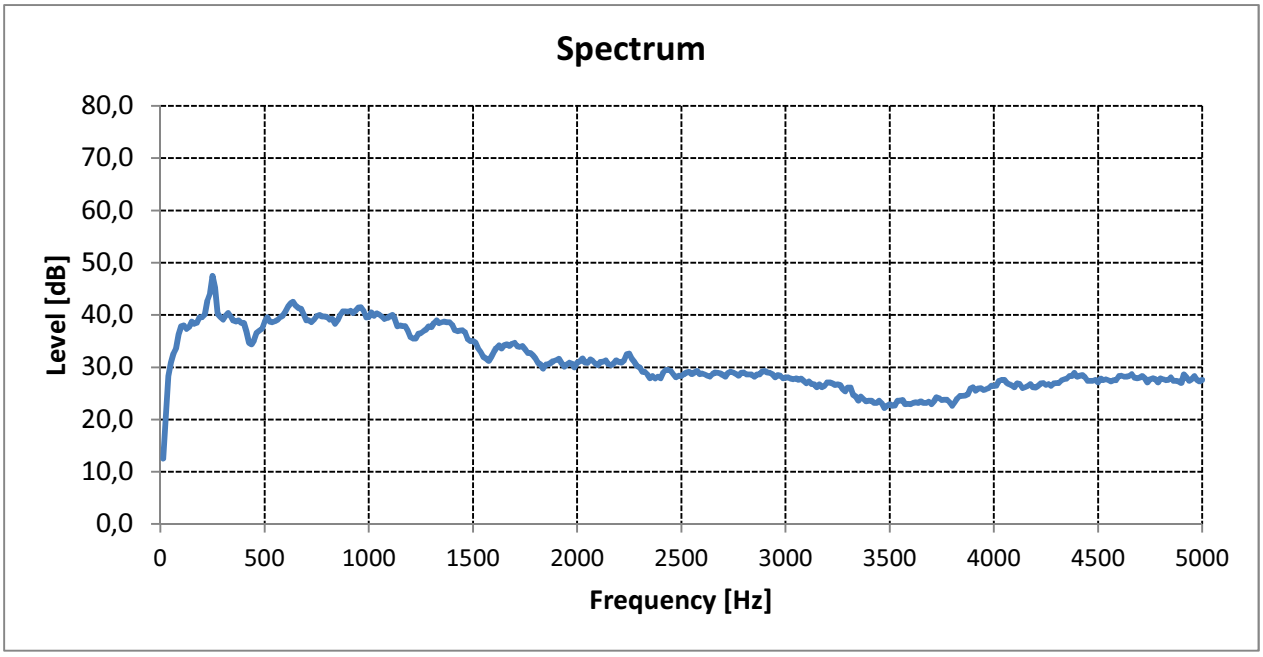

Abbildung 10: Gesamtgeräusch bei 8,01 m/s

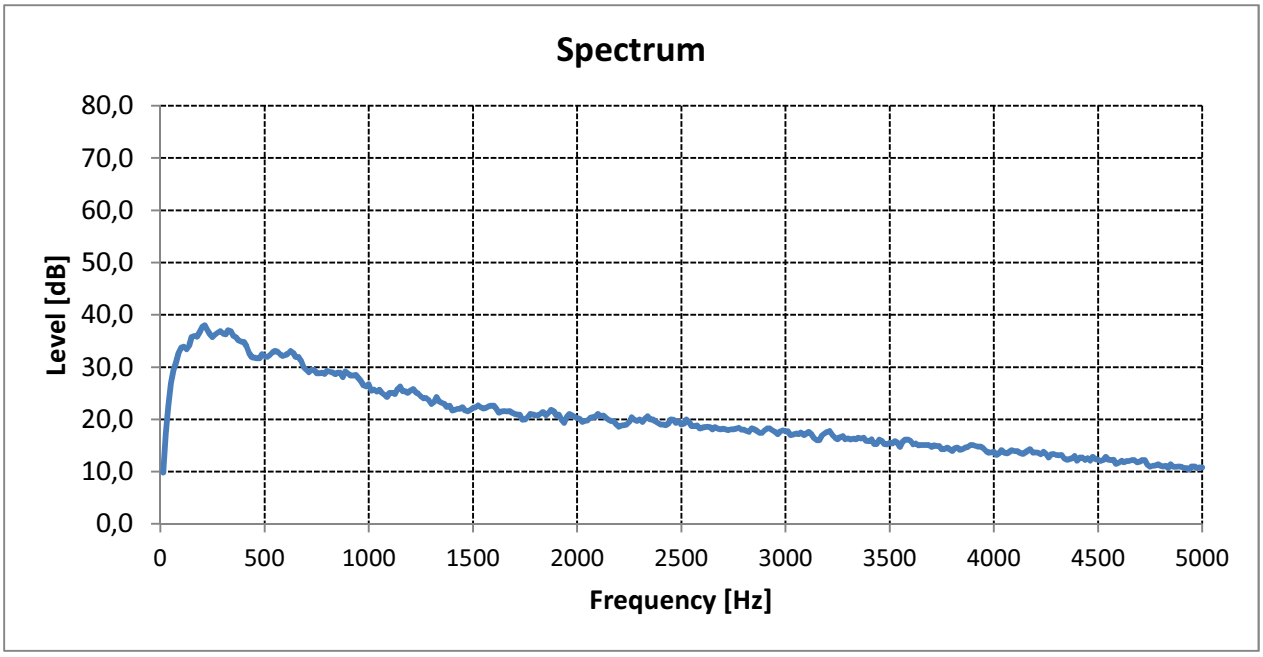

Abbildung 11: Fremdgeräusch bei 8,01 m/s

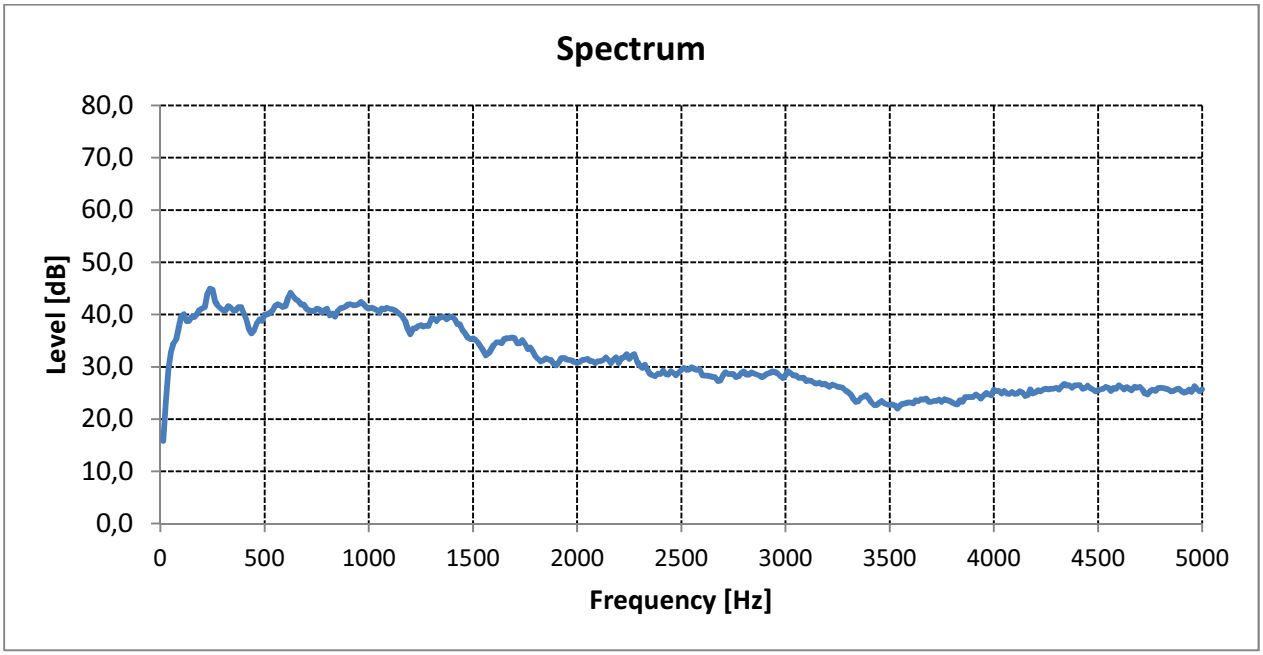

Abbildung 12: Gesamtgeräusch bei 8,05 m/s

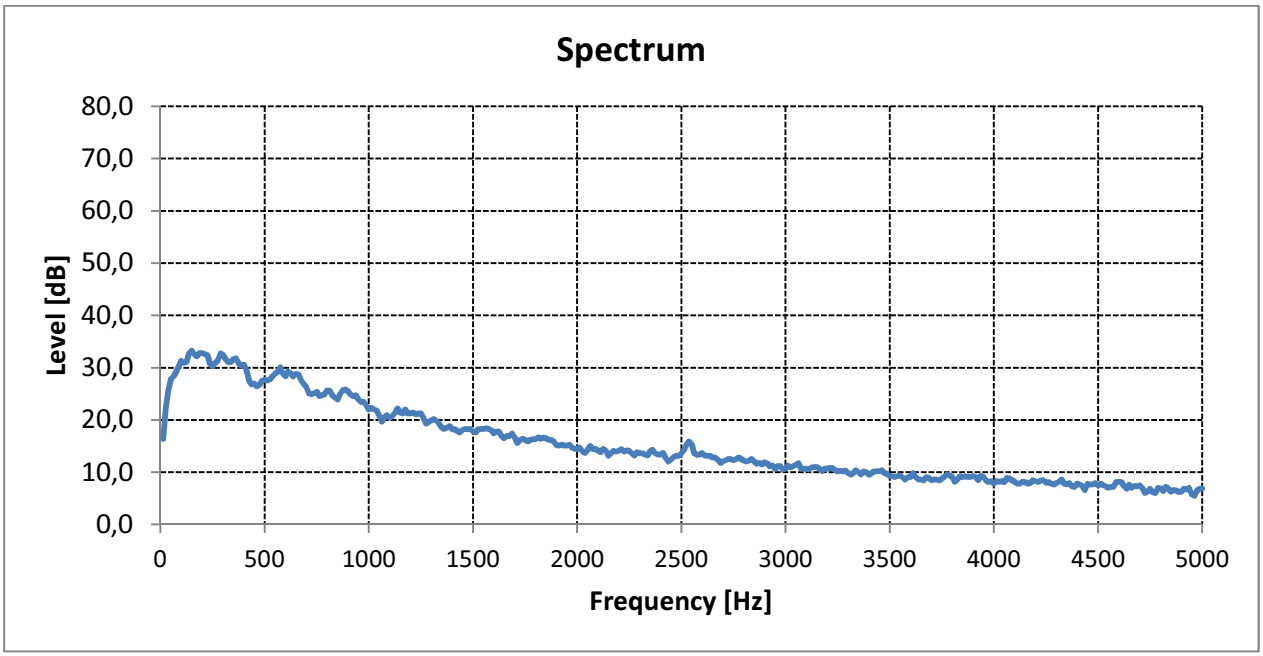

Abbildung 13: Fremdgeräusch bei 8,06 m/s

5.2 Auswertung

Bei 8 m/s (± 0,25 m/s) gemessener Windgeschwindigkeit werden 4 Spektren für das Gesamtgeräusch und 6 Spektren für das Umgebungsgeräusch gemittelt.

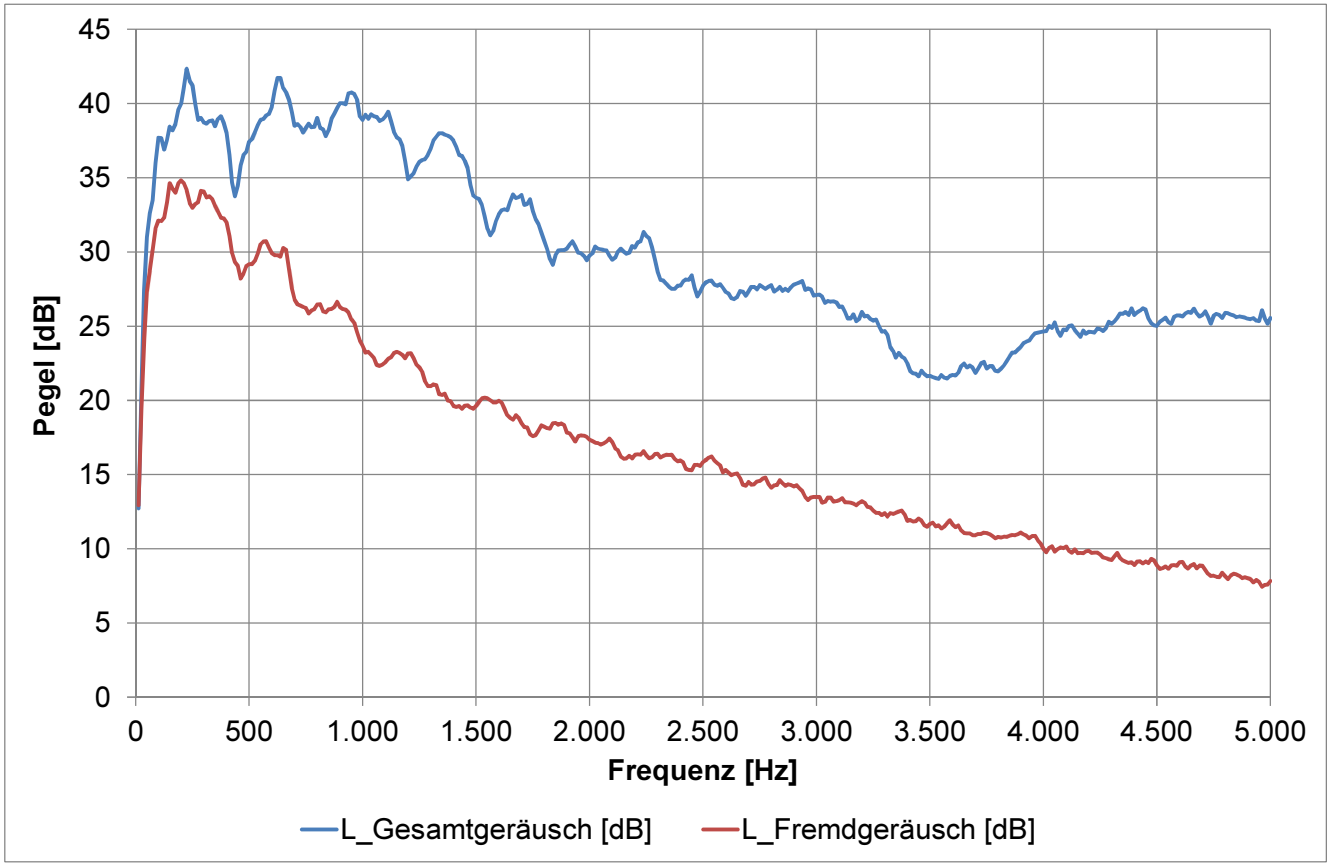

Abbildung 14: Gemittelte Spektren um 8 m/s gemessener Windgeschwindigkeit.

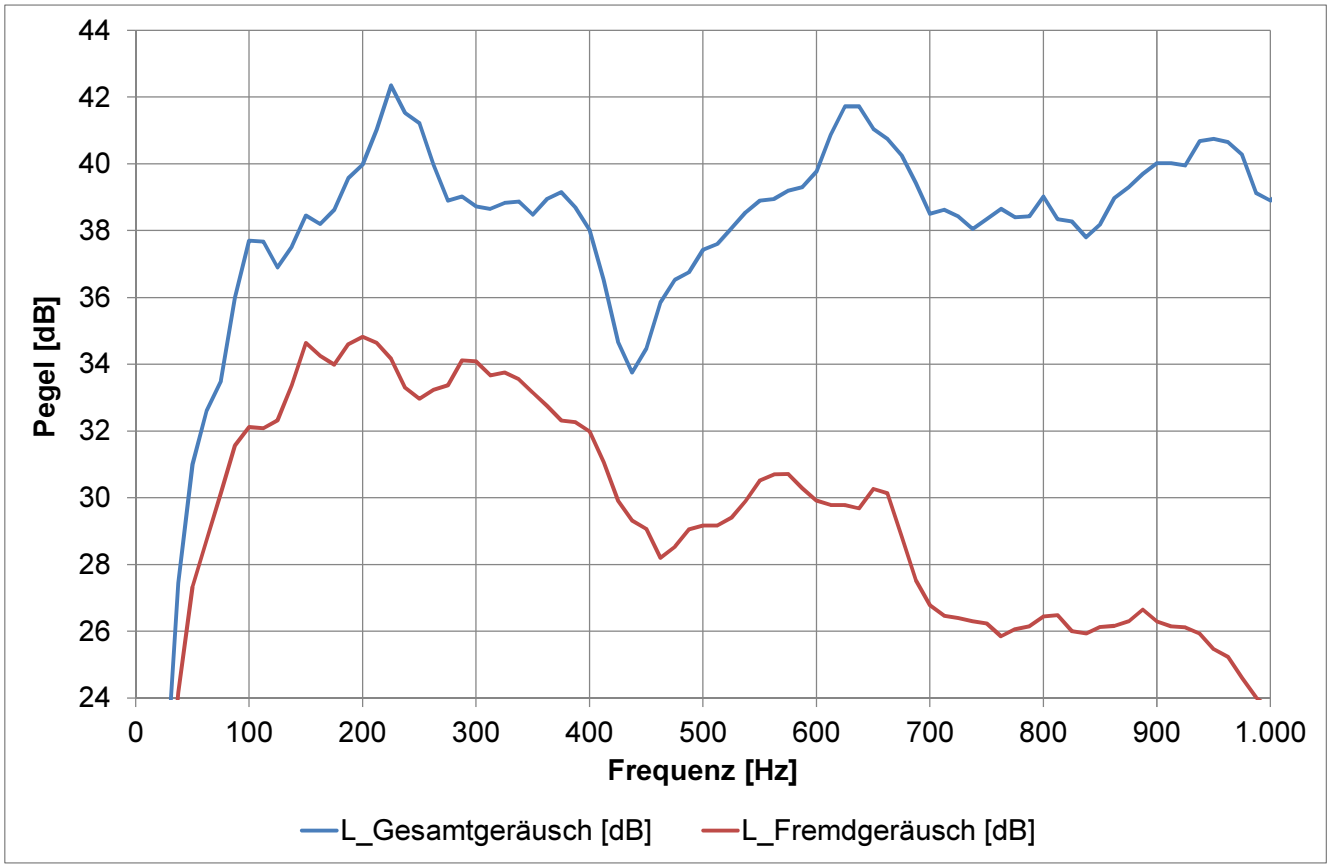

Abbildung 15: Vergrößerte Darstellung des unteren Frequenzbereiches. Es sind zwar 2 Spitzen bei 225 und 625 Hz zu erkennen, diese liegen jedoch nur 3 dB über den benachbarten Pegeln, erfüllen damit nicht den Kriterien für einen deutlich hörbaren Ton.

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Aus den an 2 Tagen gewonnen Messwerten an einem sehr gut für diese Messung geeigneten Standort wurde der Schallleistungspegel der Kleinwindenergieanlage Antaris 6.5 vom Hersteller BRAUN Windturbinen bestimmt. Die Ergebnisse konnten mit einer Messung aus Dänemark im Jahr 2011 vergleichen werden. Der in der aktuellen Messung ermittelte Pegel liegt etwas unterhalb des Pegels der Messung aus Dänemark und ist auf die niedrigere Nenndrehzahl zurückzuführen. Die Anlage in Dänemark hat mit 400 min^{-1} eine deutlich höhere Nenndrehzahl.

Hörbare Töne konnten nicht identifiziert werden.

7 Verwendete Literatur

DIN IEC 61400-11:2008 Entwurf Januar 2009 (Windenergieanlagen – Teil 11: Schallmessverfahren) in der deutschen Fassung.

Erich Hau: Windkraftanlagen. Springer Verlag. 2008

Dieter Maute: Technische Akustik und Lärmschutz. Carl Hanser Verlag. München. 2006

Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm (vom 26. August 1998)