

SCHALLTECHNISCHER BERICHT NR. 28277-1.004

über die Ermittlung der Schallemissionen einer Windenergieanlage des Typs
ENERCON E-70 E4 im Windpark Ahaus in 48683 Ahaus-Wüllen

Auftraggeber:

ENERCON GmbH

Dreekamp 5

26605 Aurich

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Patrick Waning

Dipl.-Ing. Arno Schällig

Datum:

14.03.2005

1.) Zusammenfassung

Am 07.10.2004 und 07.01.2005 wurden in Ahaus-Wüllen die Schallemissionen der Windenergieanlage (WEA) des Typs ENERCON E-70 E4 ermittelt. Die Untersuchung erfolgte im Windgeschwindigkeitsbereich von $v_s = 5 \text{ m/s}$ bis $v_s = 8,9 \text{ m/s}$ (entsprechend 95 % der Nennleistung) im "Betrieb I" mit der Nennleistung von $P_{\text{Nenn}} = 2.000 \text{ kW}$.

Für die normierte Windgeschwindigkeit $v_s = 8,9 \text{ m/s}$ wurde eine Schalleistung von $L_W = 101,9 \text{ dB(A)}$ bestimmt.

In den untersuchten Windgeschwindigkeitsbereichen lag subjektiv und rechnerisch keine Tonhaltigkeit vor. Subjektiv wurden im oberen Leistungsbereich der WEA kurzzeitig schwache tonale Geräusche sowie das Pfeifen der Rotorblätter der WEA wahrgenommen, welche aber zu keinem Zuschlag von Tonhaltigkeit führen. Eine Impulshaltigkeit wurde nicht festgestellt. Weitere immissionsrelevante, akustische Auffälligkeiten (Azimutverstellung, Lüftergeräusche usw.) lagen zum Zeitpunkt der Messungen nicht vor.

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

Dieser Bericht enthält 21 Seiten und 5 Anlagen.

Rheine, 14.03.2005 PW / BB

KÖTTER Consulting Engineers

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'P. Waning'.

i. V. Dipl.-Ing. Patrick Waning

The logo for KÖTTER CONSULTING ENGINEERS, featuring a stylized graphic of vertical bars to the left of the company name.

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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Arno Schällig'.

i. V. Dipl.-Ing. Arno Schällig

* 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	4
3.)	Bearbeitungsgrundlagen	5
4.)	Meßprotokoll	6
5.)	Ergebnis der Luftschallmessung	10
5.1.	Schalldruckpegel am Referenzmeßpunkt	10
5.2.	Tonhaltigkeit	15
5.3.	Impulshaltigkeit	16
5.4.	Schalleistungspegel	17
6.)	Meßunsicherheit	19
7.)	Anlage	21

2.) Situation und Aufgabenstellung

Im Windpark Ahaus in 48683 Ahaus-Wüllen befinden sich u. a. die Windenergieanlage des Typs ENERCON E-70 E4 mit einem Rotordurchmesser von 71 m und einer Nabenhöhe von 114 m.

Im Auftrag der Firma ENERCON GmbH sollen der Schalleistungspegel für die Windenergieanlage (WEA) des Windparks im "Betrieb I" mit der (Auslegungs-) Nennleistung $P_{\text{Nenn}} = 2.000 \text{ kW}$ FGW-konform sowie der Schalleistungspegel für normierte Windgeschwindigkeiten $< 6 \text{ m/s}$ ermittelt werden.

Weiterhin soll die WEA auf Tonhaltigkeit im Nahbereich überprüft werden.

Die Ergebnisse sind in Form eines schalltechnischen Berichtes zu dokumentieren.

Hinweis:

Für die nachstehende Auswertung wurden die Meßergebnisse von zwei verschiedenen Meßtagen verwendet. An den jeweiligen Meßtagen wurden die folgenden elektrischen Leistungen erreicht:

07.10.2004	ca. 200 kW – ca. 900 kW
07.01.2005	ca. 1.200 kW – ca. 2.100 kW

3.) Bearbeitungsgrundlagen

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

- [1] DIN EN 61400-11 Windenergieanlagen, Teil 11: Schallmeßverfahren
Ausg. November 2003
- [2] DIN EN 61400-12 Windenergieanlagen, Teil 12: Meßverfahren zur Bestim-
Ausg. Juli 1999 mung des Leistungsverhaltens bei Windenergieanlagen
- [3] DIN 45645-1 Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen,
Ausg. Juli 1996 Teil 1: Geräuschemissionen in der Nachbarschaft
- [4] DIN 45681 Akustik - Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen
Entwurf Nov. 2002 und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung
von Geräuschemissionen
- [5] Fördergesellschaft Windenergie e. V.:
Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Revision 15, Stand 01.01.2004,
Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte
- [6] Berechnete Leistungskennlinie der WEA des Typs ENERCON E-70 E4 vom
Januar 2004, Herstellerbescheinigung vom 21.10.2004 zu spezifischen Daten der
vermessenen Anlage des Typs ENERCON E-70 E4 sowie Scatterplots der
Rotordrehzahl der Meßtage, zur Verfügung gestellt von der ENERCON GmbH
- [7] Akustische Ringversuche des LUA Essen, Herr Dipl.-Ing. D. Piorr, zur Geräusch-
emissionsmessung an Windenergieanlagen, Nov. 2000
(KÖTTER Consulting Engineers (KCE) war Teilnehmer der Ringversuche)
- [8] Schallimmissionsschutz im Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen,
Empfehlungen des Arbeitskreises „Geräusche von Windenergieanlagen“,
Entwurf Oktober 1999
- [9] Protokoll des Treffens des Arbeitskreises „Geräusche von Windenergieanlagen“ am
10.11.2004 in Aurich

4.) Meßprotokoll

<u>Aufgabenstellung:</u>	Messung der anlagenbezogenen Geräuschemissionen der Windenergieanlage des Typs ENERCON E-70 E4, im WP Ahaus in 48683 Ahaus-Wüllen. Messung bei "Betrieb I" mit der Nennleistung $P_{\text{Nenn}} = 2.000 \text{ kW}$.	
<u>Meßpunkte:</u>	Referenzmeßpunkt in 153,8 m Abstand zur Rotorebene auf einer schallharten Platte in Mitwindrichtung, freie Ausbreitungsbedingungen. Umgebung: Ackerboden ohne hohen Bewuchs.	
<u>Datum/Uhrzeit:</u>	07.10.2004, von ca. 12:30 Uhr bis ca. 18:30 Uhr 07.01.2005, von ca. 09:30 Uhr bis ca. 14:00 Uhr	
<u>Bearbeiter:</u>	Dipl.-Ing. Patrick Waning (KÖTTER Consulting Engineers) R. Sithamparanathan (KÖTTER Consulting Engineers)	
<u>Anlagenbeschreibung:</u>	Typ:	ENERCON E-70 E4
	Serien-Nr.:	701858
	Hersteller:	ENERCON GmbH
	Nabenhöhe:	114 m
	Rotordurchmesser:	71 m
	Nennleistung:	2.000 kW
	Leistungsregelung:	Pitch
	Drehzahlbereich des Rotors:	6 - 20 U/min
	Generator:	Hersteller: ENERCON GmbH Serien-Nr.: keine Angaben
	Rotorblätter:	Hersteller: ENERCON Typ: 70-4 Serien-Nr.: keine Angaben
	Weitere spezifische Daten der WEA sind der Herstellerbescheinigung zu entnehmen (siehe Anlage D).	

<u>Meßgeräte:</u>	Schallpegelmesser am Referenzpunkt:	Präzisionsschallpegelmesser Typ SA 110 Serien-Nr.: 13930 Kondensatormikrophon mit Kugelcharakteristik, Typ 1220, Serien-Nr.: 26886 Alle Fabrikate Norsonic, geeicht bis 2006 Kalibrator, Typ 4231 Fabrikat: Brüel & Kjaer, Serien-Nr: 1730642
	Frequenzanalysator:	Akustisches Meßsystem Real-Time-Analyser, Typ 840-2, Serien-Nr.: 18711 Fabrikat Norsonic, geeicht bis 2007
	DAT-Recorder für Referenzpunkt:	Sony Typ TCD-D100, Serien-Nr.: 541989
	Anemometer:	Typ CLIMA 4.3303.22.040 Serien-Nr.: 199030, Fabrikat: Thies
	Klimameßgerät:	Typ: HM 30, Serien-Nr.: 1014143 Fabrikat Thommen
	Erfassung der elektrischen Leistung:	Schnittstelle der ENERCON GmbH mit Gleichspannungssignal
	Erfassung der Rotordrehzahl:	Es wurde seitens des Herstellers keine Datenschnittstelle für die Meßwerterfassung zur Verfügung gestellt. Während der Messung wurden die Anzeigewerte des WEA-Displays stichprobenartig auf Plausibilität geprüft. Die Bereitstellung der Rotordrehzahldaten erfolgte anschließend als Scatterplot vom Hersteller.

<u>Meßgeräte:</u>	Erfassung des	
	Blatteinstellwinkels:	Entfällt gemäß [9]
	Daten-Logger:	Meßdatenerfassungssystem Cronos-PL-3, Fabrikat IMC, Serien-Nr.: 120671 (8-Kanal)
	Windschirm:	primärer Windschirm, Typ UA 0237 und Sekundärwindschirm (bespannt mit Nylon- gewebe, Einfluß auf den Frequenzgang im Laborversuch überprüft)
	Platte:	bündig zum Erdreich vermittelt
	10 m-Mast: (Anemometer)	Luvseitig, 140 m Abstand von der vermesse- nen WEA (Aufgrund der Bedingungen vor Ort wurde der Abstand verringert)

Witterungsbedingungen:

Temperatur (Mittelwert):	07.10.2004: 18 °C 07.01.2005: 15 °C (Bodenwert für Luftdichtekorrektur)
Luftdruck (Mittelwert):	07.10.2004: 1.008 hPa 07.01.2005: 1.016 hPa (Bodenwert für Luftdichtekorrektur)
Windgeschwindigkeit v_{10} :	07.10.2004: 2 - 8 m/s; SW-Wind (ca. 230°) 07.01.2005: 3 - 13 m/s; SW-Wind (ca. 230°) (10-sec-Mittelwerte, Anemometer 10 m Höhe)
Witterung:	07.10.2004: 1/8 Bewölkung, trocken, sonnig 07.01.2005: 8/8 Bewölkung, trocken

Fremdgeräusche: Minutenmittelwerte mit zeitlich begrenzten Fremdgeräuschen (Fahrzeuge, Flugzeuge, etc.) wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Minuten mit ständig vorherrschenden Fremdgeräuschen (z. B. windinduzierte Geräusche durch Bewuchs) wurden berücksichtigt.

Standort: Die Windenergieanlage befindet sich in 48683 Ahaus-Wüllen. In der näheren Umgebung befinden sich weitere WEA. Die nächstgelegenen WEA des Typs ENERCON E-40/5.40 und E-40/6.44 standen im Meßzeitraum still. Die übrigen WEA im Abstand von > 500 m waren in Betrieb.

Koordinaten des Standortes:

GK RW: 25.67.856

GK HW: 57.68.850

5.) Ergebnis der Luftschallmessung

5.1. Schalldruckpegel am Referenzmeßpunkt

Die nachstehende Vorgehensweise entspricht den Regelungen der DIN EN 61400-11 [1] und der FGW-Richtlinie [5].

Zur Ermittlung der Schalldruckpegel wurde das Mikrophon 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. Es ergab sich eine Entfernung von $S = 153,8$ m.

Die unmittelbar benachbarten Windenergieanlagen waren während des gesamten Meßzeitraumes abgeschaltet. Weitere WEA im Abstand > 500 m waren in Betrieb.

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

Nach [5] sollen die Schalldruckpegel maximal bis zu einer normierten Windgeschwindigkeit von $v_s = 10$ m/s in 10 m Höhe bzw. bis zu der Windgeschwindigkeit, bei der 95 % der Nennleistung (hier $P_{el,95\%} = 1.948$ kW) erreicht werden, berücksichtigt werden. Der niedrigere von beiden Werten ist maßgebend. Die Schalldruckpegel werden in diesem Bericht bis zu der Windgeschwindigkeit $v_s = 8,9$ m/s entsprechend 95 % der Nennleistung für die Bestimmung des Schalleistungspegels berücksichtigt. Die über diese Marke hinaus gemessenen Schalldruckpegel werden gemäß [5] dargestellt. Sie gehen nicht in die Bestimmung des Schalleistungspegels ein.

Die normierte Windgeschwindigkeit v_s in 10 m Höhe wird nach [5] bei Anlagenbetrieb aus der elektrischen Wirkleistung bestimmt.

Anmerkung:

Da in diesem Fall in der berechneten Leistungskennlinie [6] höhere Werte als die Auslegungsnennleistung vorliegen, wird bis 95% des Maximalwertes in der Leistungskurve, also bis $P_{el,95\%} = 1.948$ kW, ausgewertet.

Mit Hilfe der bereitgestellten Leistungskurve werden aus den aufgezeichneten Daten der elektrischen Wirkleistung die Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe ermittelt. Diese Werte werden bezüglich der Luftdichte nach [1] korrigiert und unter Annahme eines logarithmischen Windprofils mit einer Rauigkeitslänge von $z_0 = 0,05$ m wie folgt auf eine Referenzhöhe von 10 m umgerechnet:

$$v_s = v_H \cdot \frac{\ln\left(\frac{10}{z_{0ref}}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_{0ref}}\right)}$$

- v_s \triangleq normierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe
 v_H \triangleq Windgeschwindigkeit in Höhe des Rotormittelpunktes
 z_{0ref} \triangleq Referenzrauigkeitslänge von 0,05 m
 H \triangleq Höhe des Rotormittelpunktes (hier: $H = 114$ m)

Zur Ermittlung der normierten Windgeschwindigkeit ohne Anlagenbetrieb (Fremdgeräuschmessung) werden die mit dem Anemometer in 10 m Höhe gemessenen Werte herangezogen und über den Korrekturfaktor κ korrigiert. Bei der untersuchten WEA ergeben sich für die jeweiligen Meßtage die Werte:

Messung vom 07.10.2004: $\kappa_1 = v_{s,1} / v_{10,1} = 1,66$

Messung vom 07.01.2005: $\kappa_2 = v_{s,2} / v_{10,2} = 1,19$

- v_s \triangleq mittlere normierte Windgeschwindigkeit
 v_{10} \triangleq mittlere, mit dem Anemometer in 10 m Höhe gemessene Windgeschwindigkeit

Beide Mittelwerte (v_s , v_{10}) gehen jeweils aus den gleichen Meßzeiträumen hervor.

Der Unterschied zwischen v_s und v_{10} kann z. B. durch Abweichung der angenommenen von der tatsächlichen Bodenrauigkeit, unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen beider Meßtage (Inversionswetterlage) sowie durch den Einfluß des nahgelegenen Waldes bedingt sein.

Die folgende Abbildung 1 zeigt den Schalldruckpegel L_{Aeq} am Referenzmeßpunkt in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit v_s der beiden Meßtage.

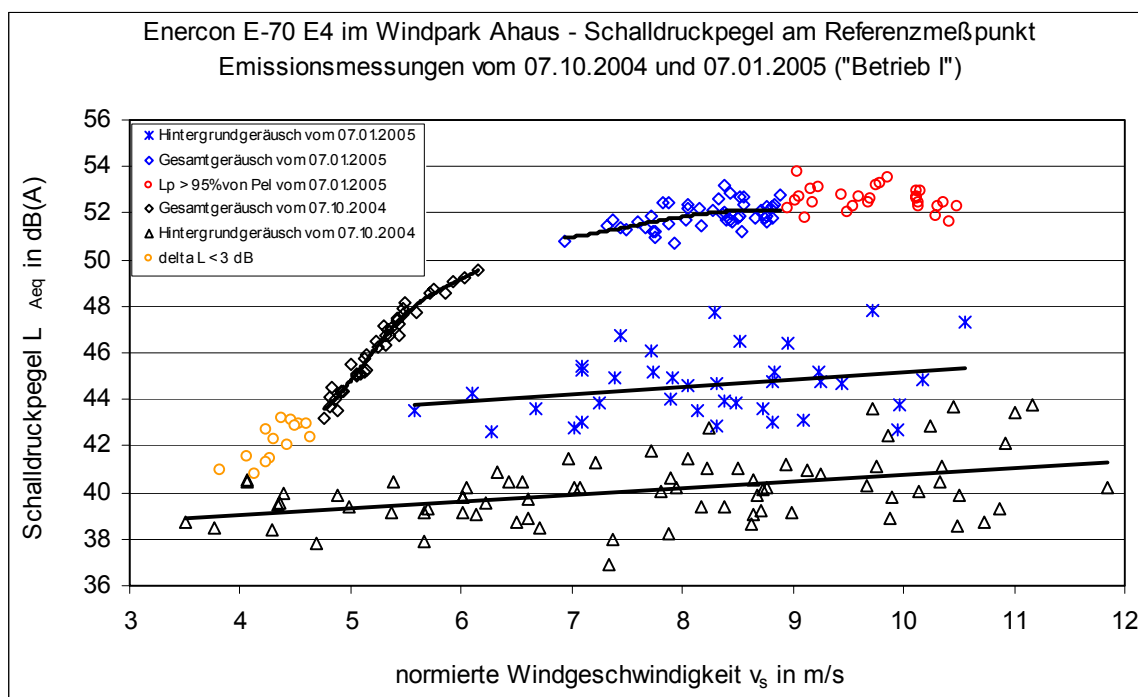


Abbildung 1: Schalldruckpegel am Referenzmeßpunkt über normierter Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe für WEA-Betrieb und Fremdgeräusch

Die folgende Tabelle zeigt die ermittelten Regressionen:

		Messung vom 07.10.2004:	Messung vom 07.01.2005:
WEA an	x^4	3,42479660106619	0,1074656909695
	x^3	- 75,6085577362	- 3,596096493917
	x^2	622,34123146	44,6515202997
	x	- 2259,05813	- 243,3213491
	k	3092,137	541,741198
WEA aus	x^4	0,28808087	0,325481241
	k	37,893	41,941

Tabelle 1: Ermittelte Regressionen

Entsprechend dem hier vermessenen Anlagentyp einer Pitchanlage wird für die Pegel mit Anlagenbetrieb eine polynomische Regression 4. Ordnung gewählt. Die Regression erfolgt für normierte Windgeschwindigkeiten von $v_s = 5 \text{ m/s}$ bis $v_s = 8,9 \text{ m/s}$ (bei 95 % der Nennleistung). Die Pegel für Anlagenleistungen über 95 % der Nennleistung sind über der mit dem Anemometer gemessenen und mit dem κ -Faktor korrigierten Windgeschwindigkeit zusätzlich dargestellt, aber nicht in die Regression mit einbezogen. Minutenmittelwerte mit relevanten Fremdgeräuschanteilen werden nicht verwendet. Aufgrund des geringen Störgeräuschabstandes wurden die Schalldruckpegel des Gesamtgeräusches bei den Windgeschwindigkeiten $v_s < 4,5 \text{ m/s}$ nicht in der Regression berücksichtigt.

In Abbildung 2 ist der Schalldruckpegel L_{Aeq} am Referenzmeßpunkt in Abhängigkeit von der elektrischen Leistung der WEA dargestellt.

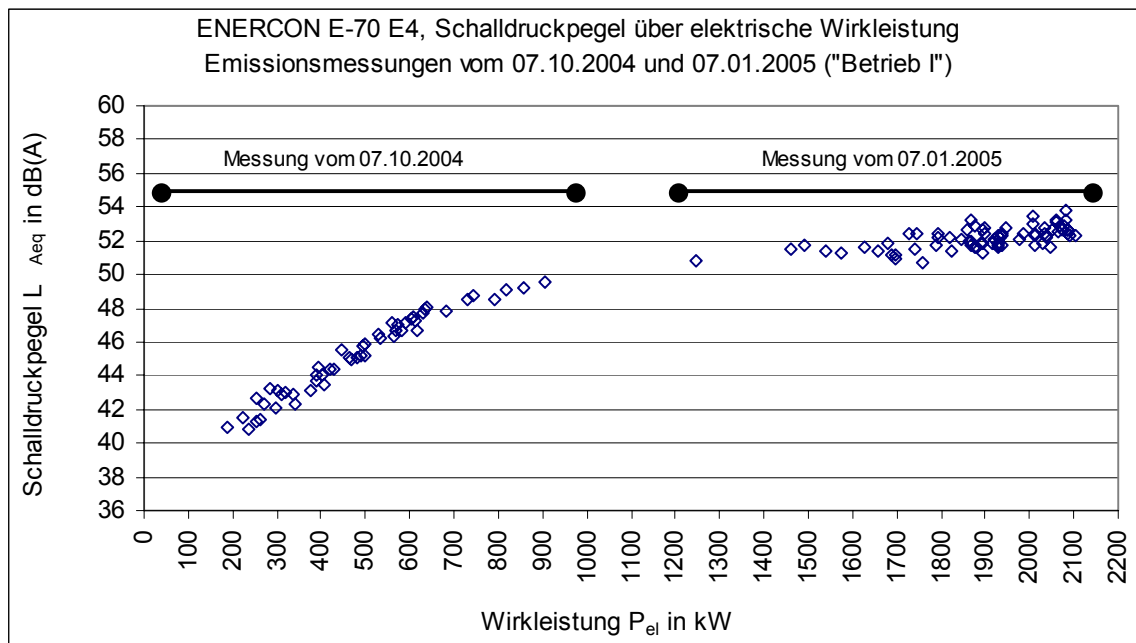


Abbildung 2: Schalldruckpegel am Referenzmeßpunkt über elektrischer Leistung

In Tabelle 2 sind die aus der Regression 4. Ordnung bei WEA-Betrieb und aus der linearen Regression bei den Fremdgeräuschen ermittelten und gerundeten Schalldruckpegel aufgelistet. Zudem sind die Abstände ΔL_{Aeq} zwischen WEA- und Fremdgeräusch sowie die fremdgeräuschkorrigierten Pegel $L_{Aeq,C}$ aufgeführt.

v_s / m/s	5 ^{2) 3)}	6 ³⁾	7 ⁴⁾	8 ⁴⁾	8,9 ^{1) 4)}
$L_{Aeq, Betrieb}$ / dB(A)	44,8	49,2	51,0	51,8	52,2
$L_{Aeq, Fremd}$ / dB(A)	39,3	39,6	44,2	44,5	44,8
ΔL_{Aeq} / dB	5,5	9,5	6,8	7,3	7,3
$L_{Aeq,C}$ / dB(A)	43,5 *	48,6	50,0	51,0	51,3

1) Entspricht 95 % der Nennleistung, hier $P_{95\%} = 1.948$ kW

2) Gemäß [1] werden von $L_{Aeq, Betrieb}$ 1,3 dB subtrahiert und einem mit * gekennzeichnet

3) Messung vom 07.10.2004

4) Messung vom 07.01.2005

Tabelle 2: Emissionsdaten der WEA vom Typ ENERCON E-70 E4 aus der Regression 4. Ordnung (WEA-Betrieb) und der Regression 1. Ordnung (Fremdgeräusch)

Die elektrische Leistung von 95 % der Nennleistung wird mit der zugehörigen Leistungskurve bei der Referenzwindgeschwindigkeit von $v_s = 8,9$ m/s erzeugt.

In der Anlage B befinden sich die Zeitverläufe des Schalldruckpegels, der elektrischen Leistung und der Anemometer-Windgeschwindigkeit. Scatter-Plots der Minutenmittelwerte der Rotordrehzahl über der elektrischen Leistung (zur Verfügung gestellt durch den WEA-Hersteller) befinden sich in der Anlage D.

Die Turbulenzintensität wird aus drei Intervallen der Messung der Windgeschwindigkeit von je 10 Minuten von beiden Meßtagen ermittelt. Sie beträgt an beiden Meßtagen durchschnittlich 16 %.

5.2. Tonhaltigkeit

Eine Tonhaltigkeitsanalyse für das Nahfeld der WEA erfolgt mit den während der Messung aufgezeichneten DAT-Aufnahmen. Mit dem Frequenzanalysator RTA 840/2 werden FFT-Frequenzspektren des WEA- und des Fremdgeräusches erzeugt. Angewendet wird das Auswerteverfahren nach [1]. Es wird der Frequenzbereich 0 - 1.563 Hz in 10s-FFT-Frequenzspektren untersucht. Zusätzlich werden Breitband-FFT-Frequenzspektren im Bereich 0 - 12.500 Hz betrachtet. Die einzelnen Spektren des Frequenzbereichs 0 - 1.563 Hz sowie detaillierte Berechnungsergebnisse können der Anlage C entnommen werden.

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Tonhaltigkeitsanalyse zusammengefaßt. Angegeben werden dort die Frequenzen, bei denen sich im Falle von Tonhaltigkeit Werte $\Delta L_{a,k} \geq -3,0$ dB ergeben. Die in der letzten Zeile stehenden K_{TN} -Werte sind für den Tonzuschlag der WEA maßgeblich.

v_s / m/s	5	6	7	8	8,9 ¹⁾
f_T / Hz	—	—	—	—	≈ 142
$\Delta L_{a,k}$ / dB	—	—	—	—	- 1,3
K_{TN} / dB	0	0	0	0	0

1) Entspricht 95 % der Nennleistung, hier $P_{95\%} = 1.948$ kW

Tabelle 3: Tonhaltigkeit im Nahfeld

Die rechnerische Auswertung nach [1] ergibt keinen Zuschlag für Tonhaltigkeit im Nahfeld. Unter 100 Hz sind keine signifikanten Einzeltöne vorhanden. Subjektiv wurden am Referenzmeßpunkt im oberen Leistungsbereich kurzzeitig schwache tonale Geräusche sowie das Pfeifen der Rotorblätter der WEA wahrgenommen, welche aber zu keinem Zuschlag von Tonhaltigkeit führen.

Eine im Nahbereich ermittelte Tonhaltigkeit ist nicht unmittelbar auf den Fernbereich übertragbar.

5.3. Impulshaltigkeit

Nach dem subjektiven Höreindruck am Referenzmeßpunkt lag während des Meßzeitraums keine Impulshaltigkeit vor. Die Blattdurchgangsfrequenz war nicht auffällig. Eine rechnerische Auswertung ist nach [5] nicht erforderlich, wird aber zur Information durchgeführt.

Zur rechnerischen Bestimmung der Impulshaltigkeit K_{IN} des Anlagengeräusches im Nahbereich wird die Differenz zwischen Mittelungspegel L_{Aeq} und Taktmaximalpegel L_{AFTeq} (Taktzeit: 5 s) gebildet. Für jede Windklasse (bis maximal 95 % Nennleistung) werden Pegeldifferenzen nach [3] ermittelt. Sie werden auf eine Kommastelle gerundet angegeben und ggf. gemäß [5] als Impulszuschläge K_{IN} vergeben.

Ausführliche Ergebnisse zur Impulshaltigkeit sind in Anlage B dargestellt. Eine Zusammenfassung zeigt Tabelle 4.

v_s / m/s (Anzahl je Bin)	5 (7)	6 (33)	7 (5)	8 (26)	8,9 ¹⁾ (10)
$L_{AFTeq} - L_{AFeq}$	1,9	2,1	2,3	2,4	2,4
K_{IN} / dB	0	0	0	0	0

1) Entspricht 95 % der Nennleistung, hier $P_{95\%} = 1.948$ kW

Tabelle 4: Impulshaltigkeit im Nahbereich

Auffällige Geräusche während des Betriebes der Azimutverstellung wurden nicht festgestellt.

Eine im Nahbereich ermittelte Impulshaltigkeit ist nicht unmittelbar auf den Fernbereich übertragbar.

5.4. Schalleistungspegel

Aus dem fremdgeräuschkorrigierten Schalldruckpegel $L_{Aeq,c}$ am Referenzmeßpunkt wird der immissionsrelevante Schalleistungspegel L_W nach [1] wie folgt bestimmt:

$$L_W = L_{Aeq,c} - 6 + 10 \lg \left(4\pi \cdot \frac{R_1^2}{S_0} \right) \quad (\text{mit der Bezugsfläche } S_0 = 1 \text{ m}^2)$$

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

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

$$H \triangleq \text{Höhe des Rotormittelpunktes (hier: } R_1 = 191,5 \text{ m)}$$

Die Konstante von 6 dB in obiger Gleichung trägt der Schalldruckpegelerhöhung auf einer schallharten Platte Rechnung.

In Tabelle 5 sind zusammenfassend nicht akustische Parameter sowie gerundete Schalldruckpegel, Impuls- und Tonzuschläge sowie gerundete Schalleistungspegel für die vorliegenden normierten Windgeschwindigkeiten v_s angegeben:

v_s / m/s	5 ^{2) 3)}	6 ³⁾	7 ⁴⁾	8 ⁴⁾	8,9 ^{1) 4)}
P_{el} / kW	445	845	1275	1780	1948
$L_{Aeq, \text{Betrieb}}$ / dB(A)	44,8	49,2	51,0	51,8	52,2
$L_{Aeq, \text{Fremd}}$ / dB(A)	39,3	39,6	44,2	44,5	44,8
ΔL_{Aeq} / dB	5,5	9,5	6,8	7,3	7,3
$L_{Aeq,C}$ / dB(A)	43,5 *	48,6	50,0	51,0	51,3
K_{IN} / dB	0	0	0	0	0
K_{TN} / dB	0	0	0	0	0
L_{WA} / dB(A)	94,1 *	99,3	100,6	101,6	101,9

1) Entspricht 95 % der Nennleistung, hier $P_{95\%} = 1.948 \text{ kW}$

2) Gemäß [1] werden von $L_{Aeq, \text{Betrieb}}$ 1,3 dB subtrahiert und mit einem * gekennzeichnet

3) Messung vom 07.10.2004

4) Messung vom 07.01.2005

Tabelle 5: Nicht akustische und akustische Parameter der Windenergieanlage
ENERCON E-70 E4 am Standort 48683 Ahaus-Wüllen

Alle Auswerteergebnisse beziehen sich auf die vermessene Anlage unter Zugrundelegung der in Anlage D angegebenen berechneten Leistungskurve.

Subjektiv wurden kurzzeitig schwache tonale Geräusche sowie das Pfeifen der Rotorblätter der WEA wahrgenommen, welche aber zu keinem Zuschlag von Tonhaltigkeit führen.

Weitere immissionsrelevante, akustische Auffälligkeiten (Azimutverstellung, Lüftergeräusche usw.) lagen zum Zeitpunkt der Messungen nicht vor.

6.) Meßunsicherheit

Die Meßgenauigkeit wird neben der Genauigkeit der verwendeten Meßgeräte von den Witterungs- und Ausbreitungsbedingungen sowie der angegebenen Leistungskurve bestimmt.

Die Meßunsicherheit wird auf der Grundlage der Meßgerädetoleranzen, Witterungseinflüsse sowie der Erkenntnisse des LUA aus [7] auf $\pm 0,5$ dB abgeschätzt.

Zum Vergleich wird die Meßunsicherheit in Anlehnung an [1] ermittelt. Diese berücksichtigt nicht die besonderen Erkenntnisse aus dem Ringversuch [7], sondern beruht auf allgemeineren Annahmen.

Die Gesamt-Meßunsicherheit ergibt sich gemäß:

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + \dots + U_{B9}^2}$$

aus den einzelnen Meßunsicherheiten. Sie entspricht der Meßunsicherheit für die Ermittlung des Schalleistungspegels.

Aus den gemessenen Minutenmittelwerten und der Regressionsanalyse für den Schalleistungspegel (4. Ordnung) wird ein statistischer Fehler U_A für den Schalleistungspegel über den gesamten gemessenen Windgeschwindigkeitsbereich errechnet.

Die weiteren Meßunsicherheiten werden mit den in der folgenden Tabelle angegebenen Werten abgeschätzt:

Fehlerquellen	Bezeichnung	Meßunsicherheit in dB	Meßunsicherheit in dB
		Messung vom 07.10.2004	Messung vom 07.01.2005
statistischer Fehler für L_W	U_A	+/- 0,5	+/- 0,3
Akustischer Kalibrator	U_{B1}	+/- 0,2	+/- 0,2
Schallpegelmesser	U_{B2}	+/- 0,2	+/- 0,2
Schallharte Platte	U_{B3}	+/- 0,3	+/- 0,3
Meßabstand	U_{B4}	+/- 0,1	+/- 0,1
Luftimpedanz	U_{B5}	+/- 0,1	+/- 0,1
Turbulenz	U_{B6}	+/- 0,4	+/- 0,4
Windgeschwindigkeit	U_{B7}	+/- 0,2	+/- 0,2
Richtung	U_{B8}	+/- 0,3	+/- 0,3
Fremdgeräusche	U_{B9}	+/- 0,5	+/- 0,5
Gesamt-Meßunsicherheit	U_C	+/- 1,0	+/- 0,9

Tabelle 6: Geschätzte Meßunsicherheiten U_B

Für die normierten Windgeschwindigkeiten $v_s = 5$ m/s und 6 m/s wurde eine Gesamt-Meßunsicherheit von $U_C = +/- 1,0$ dB und für $v_s = 7$ m/s bis 8,9 m/s eine Gesamt-Meßunsicherheit von $U_C = +/- 0,9$ dB berechnet.

7.) Anlage

Anlage A: Fotos und Lageplan

Anlage B: Zusammenfassung der Meßergebnisse

Anlage C: Spektren zur Tonhaltigkeitsanalyse

Anlage D: Leistungskennlinie, Scatter-Plotts der Rotordrehzahl und Herstellerbescheinigung zur ENERCON E-70 E4 am Standort Ahaus-Wüllen

Anlage E: Auszug aus dem Prüfbericht

Anlage A: Fotos und Lageplan



Bild 1: Mikrofon am Referenzmeßpunkt zur ENERCON E-70 E4 hin
(Standort Ahaus-Wüllen) Foto vom 07.01.2005



Bild 2:

Mikrofon am Referenzmeßpunkt (Standort Ahaus-Wüllen)
Foto vom 07.01.2005



Bild 3: ENERCON E-70 E4 vom Anemometer aus (Standort Ahaus-Wüllen)
Foto vom 07.10.2004

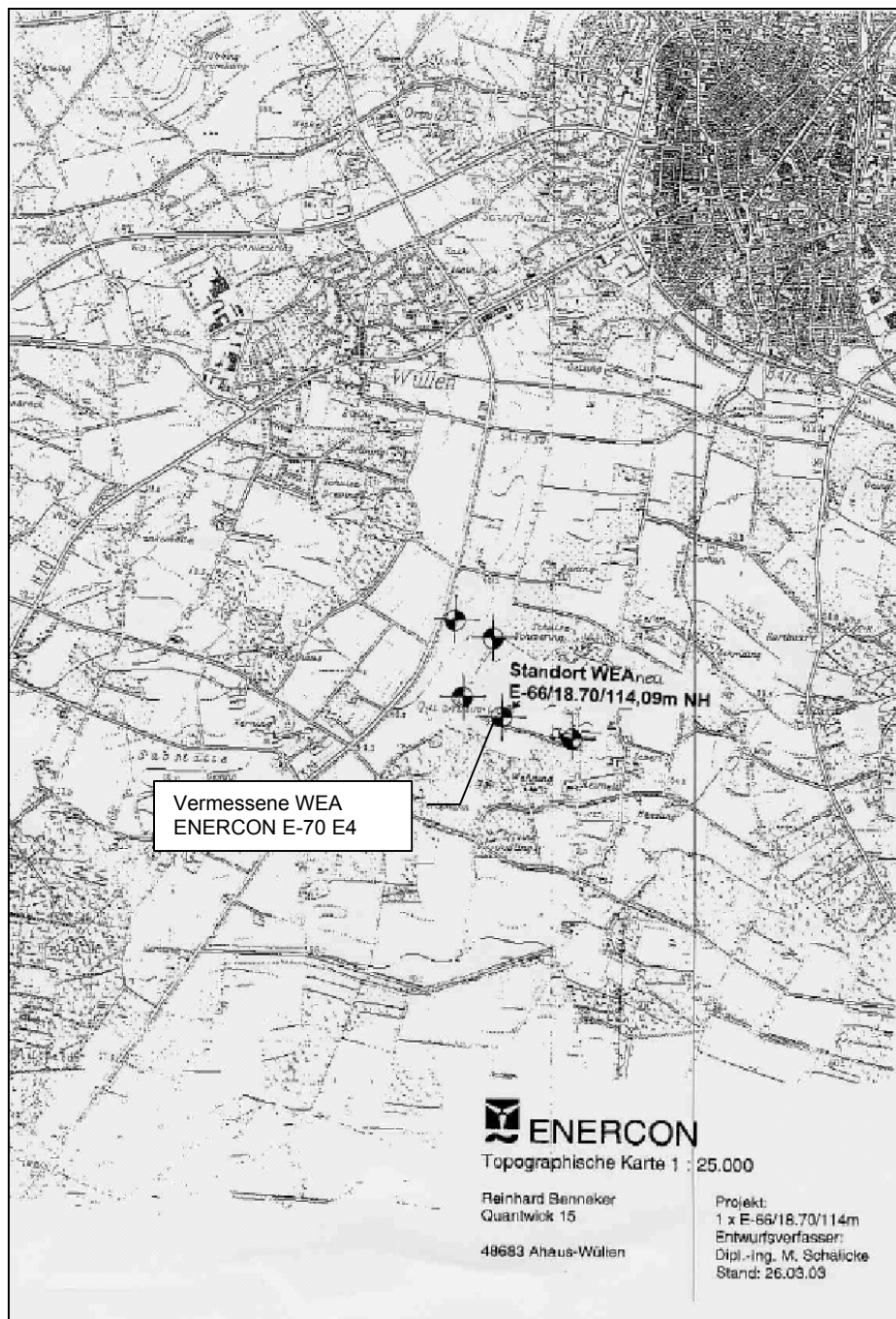


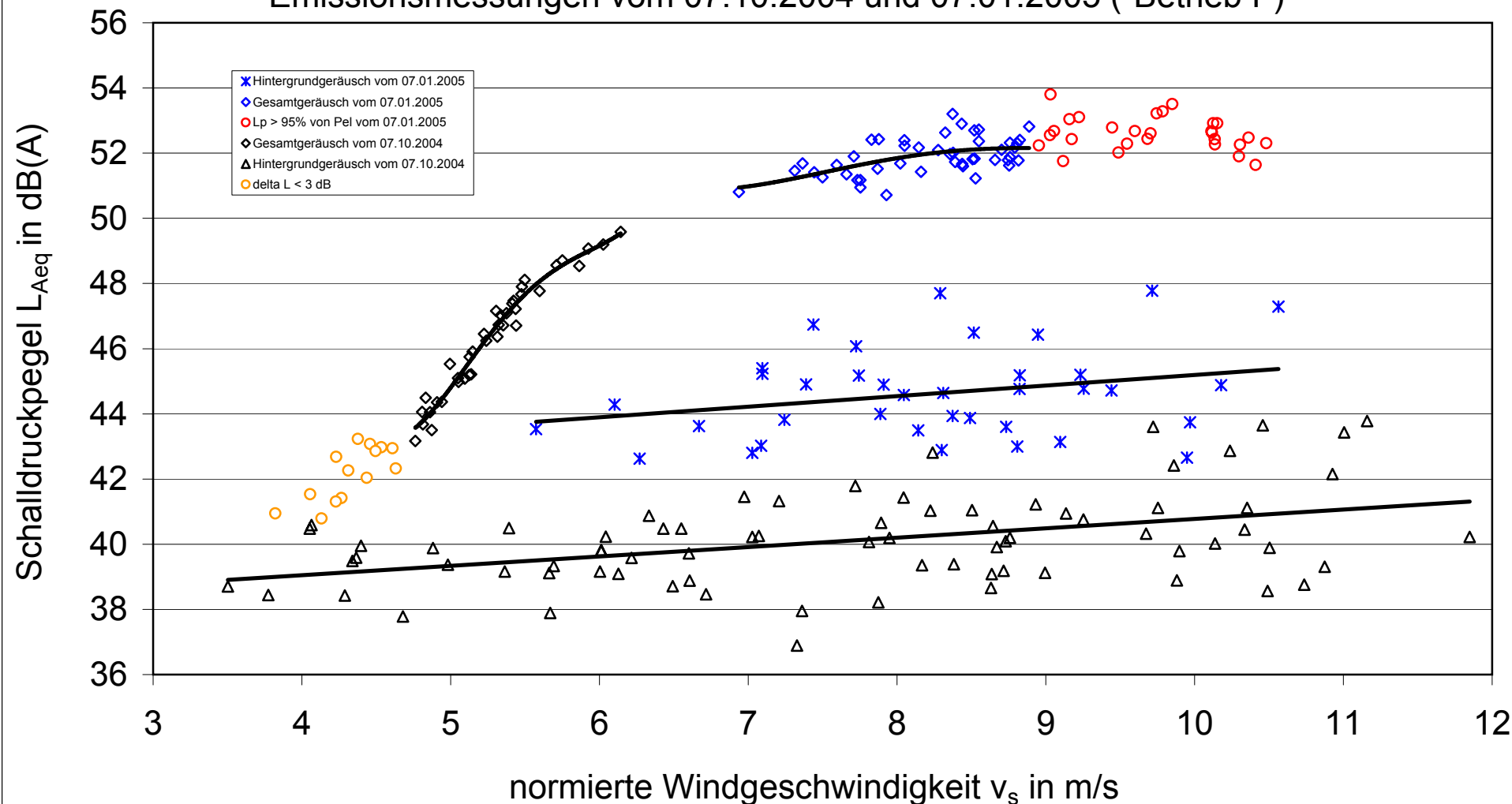
Bild 4: Lageplan (1) mit Standort der Windenergieanlagen in Ahaus-Wüllen (unmaßstäblich)

Lageplan (2) mit Standort der Windenergieanlagen in Ahaus-Wüllen
(unmaßstäblich)

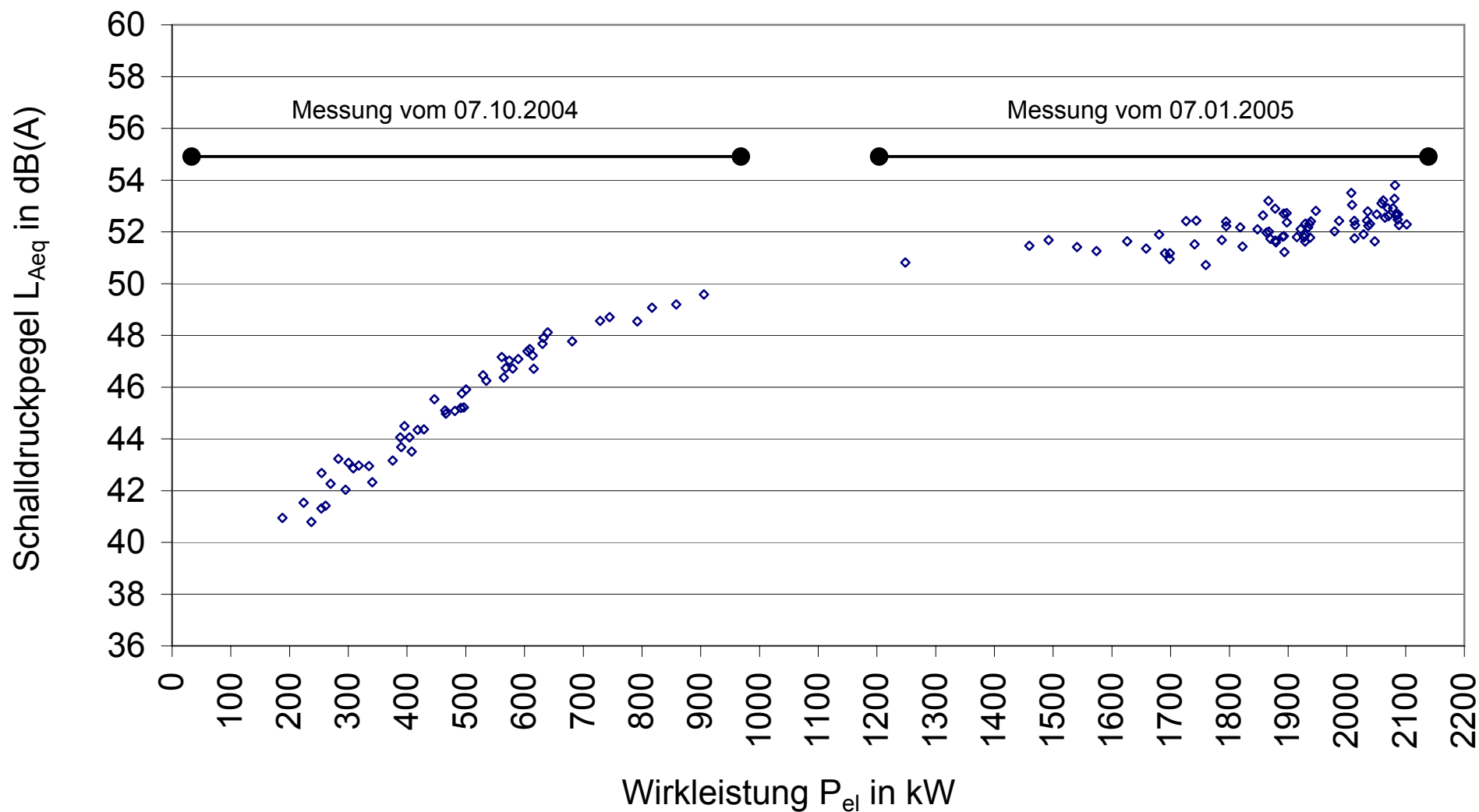
Anlage B: Zusammenfassung der Meßergebnisse

Enercon E-70 E4 im Windpark Ahaus - Schalldruckpegel am Referenzmeßpunkt

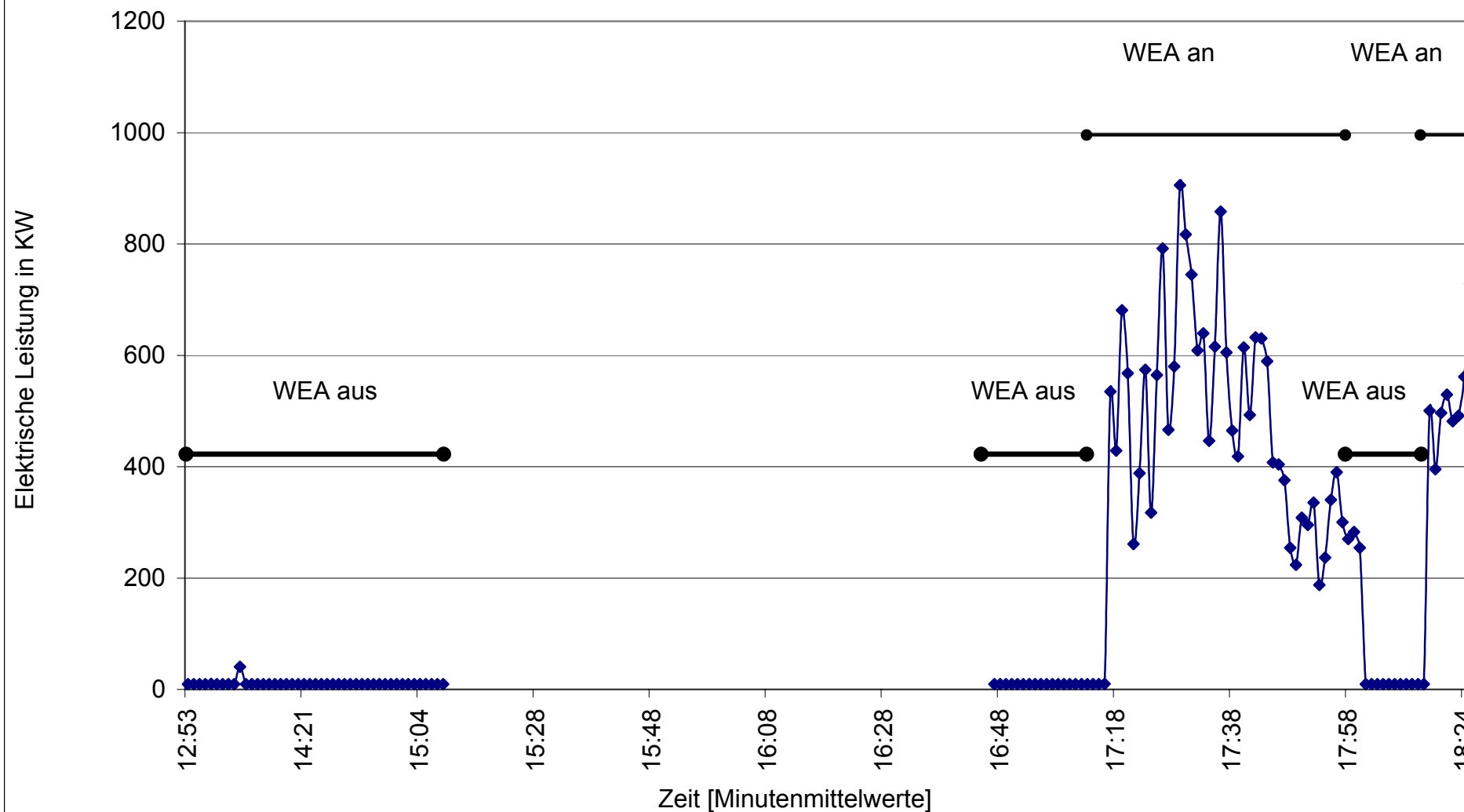
Emissionsmessungen vom 07.10.2004 und 07.01.2005 ("Betrieb I")



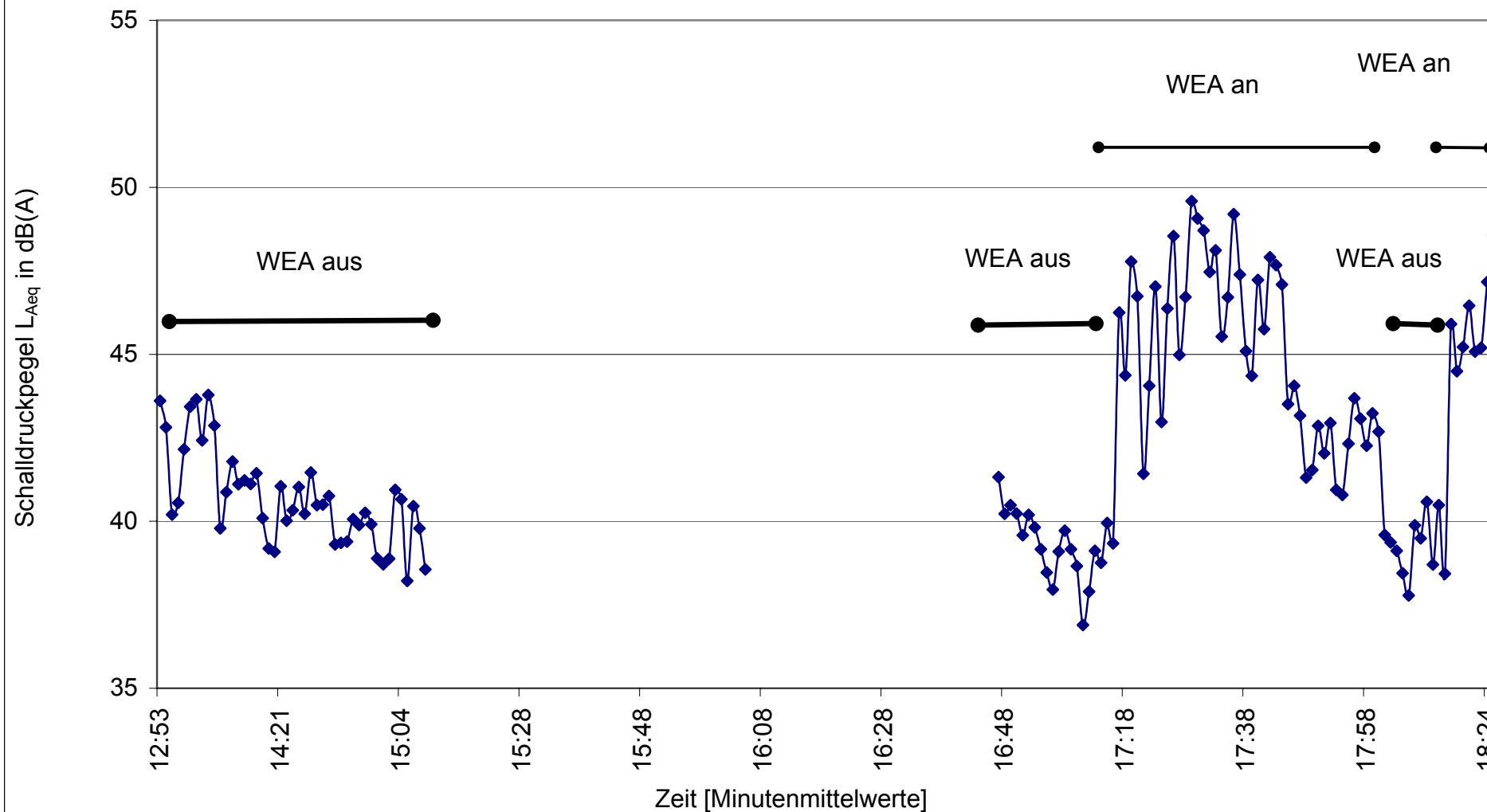
ENERCON E-70 E4, Schalldruckpegel über elektrische Wirkleistung Emissionsmessungen vom 07.10.2004 und 07.01.2005 ("Betrieb I")



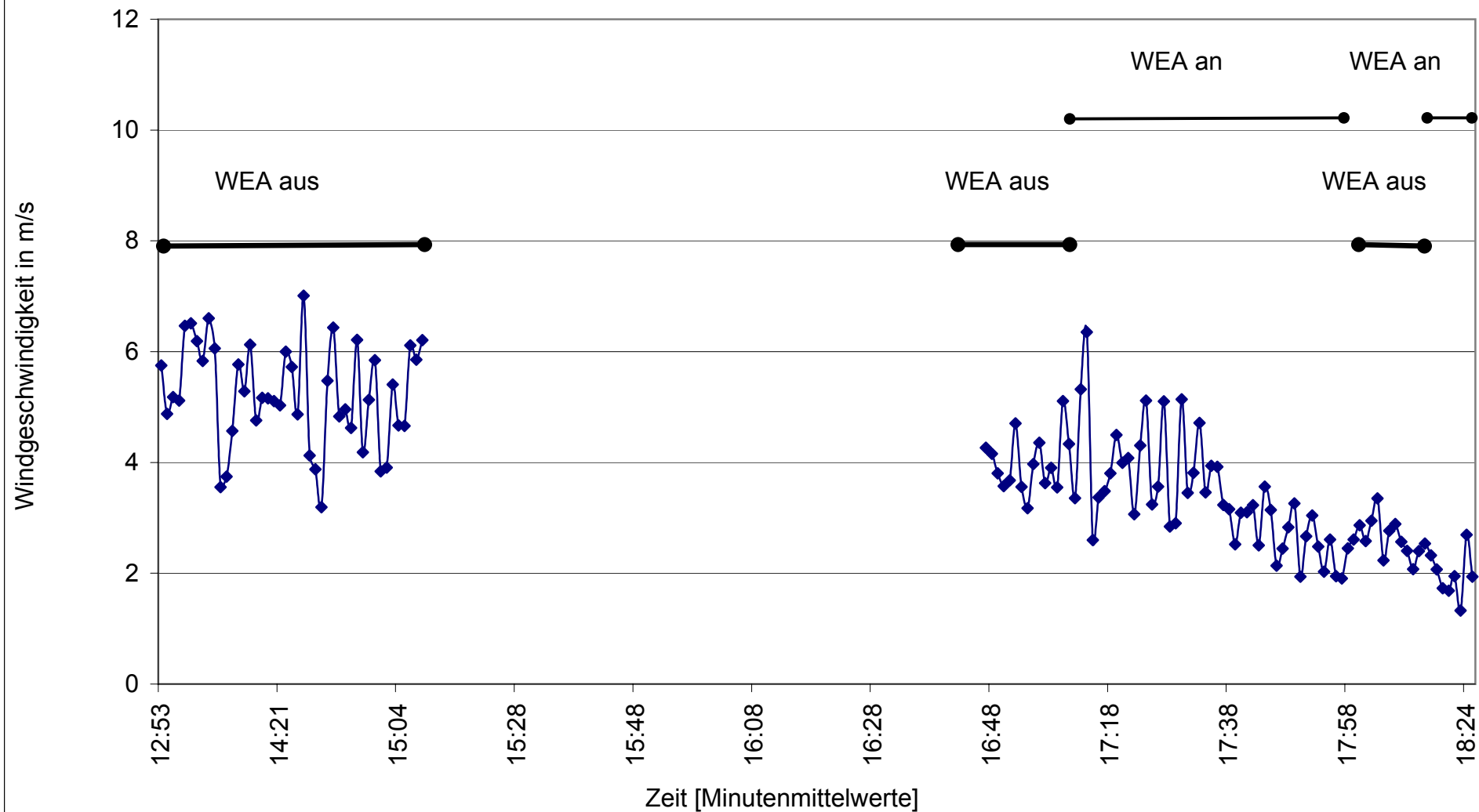
Elektrische Leistung der Windenergieanlage Messung vom 07.10.2004 ("Betrieb I")



Pegel-Zeitverlauf am Referenzmeßpunkt mit Fremdgeräuschkorrektur Messung vom 07.10.2004 ("Betrieb I")

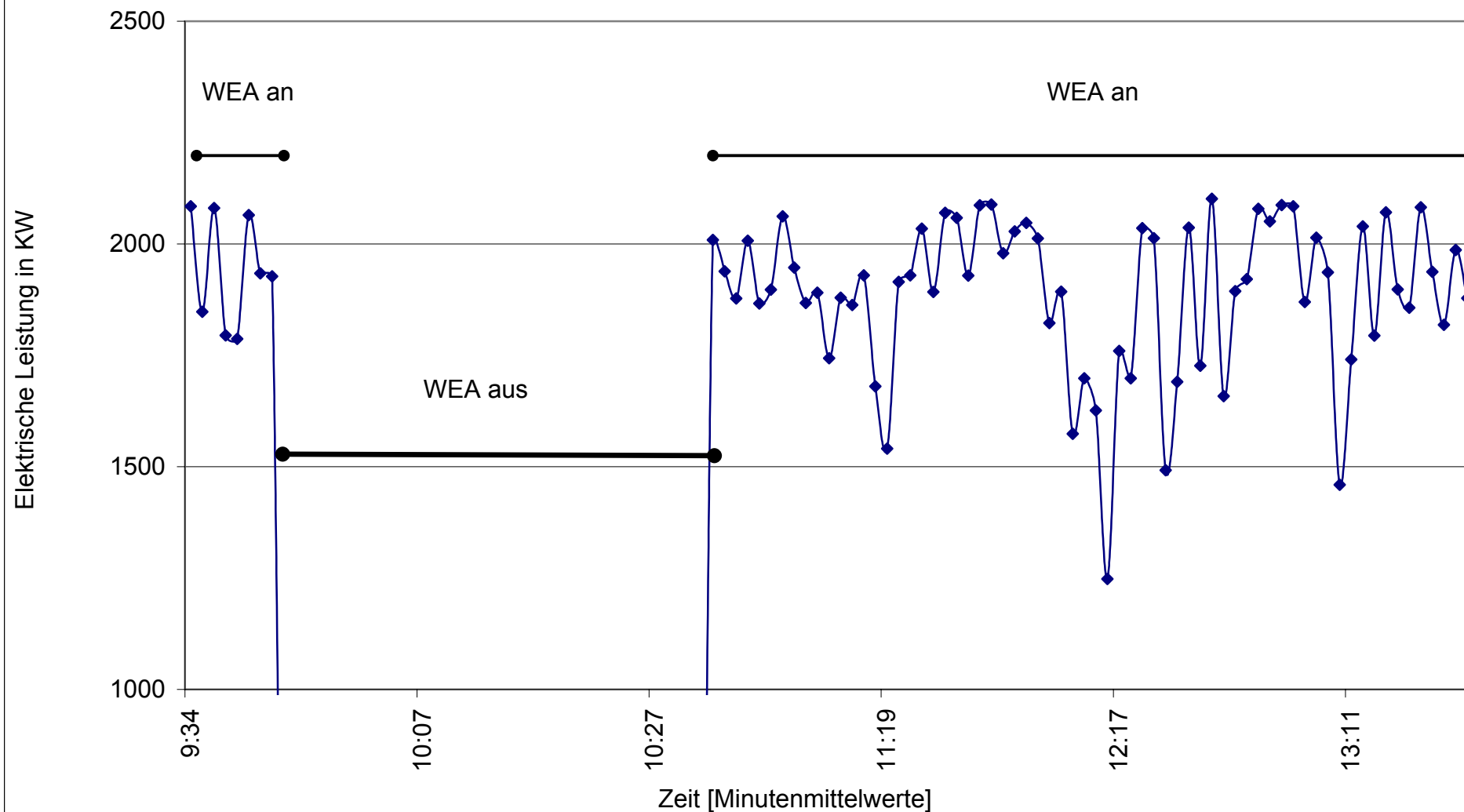


Zeitverlauf der Anemometer-Windgeschwindigkeit Messung vom 07.10.2004 ("Betrieb I")

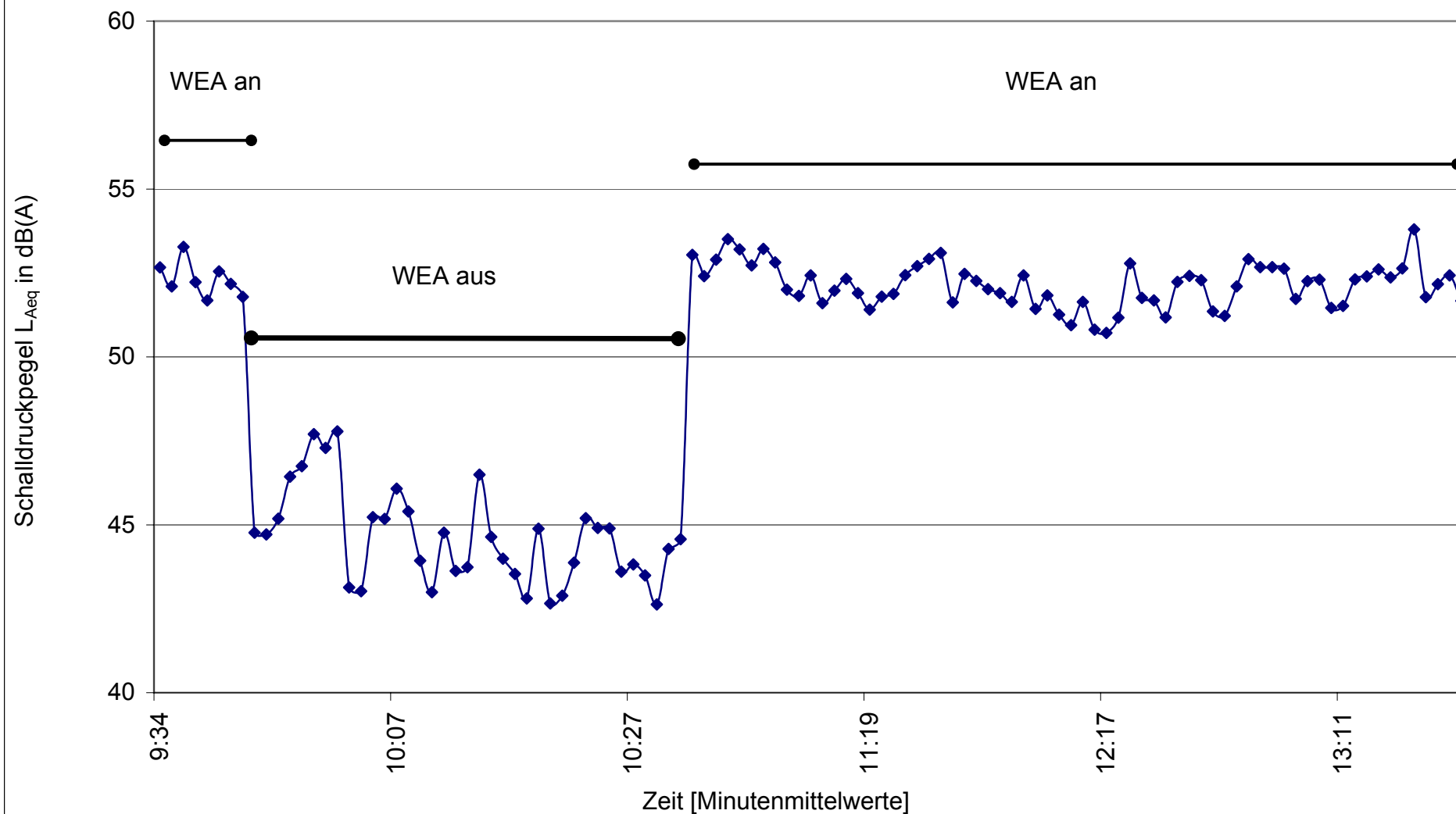


Elektrische Leistung der Windenergieanlage

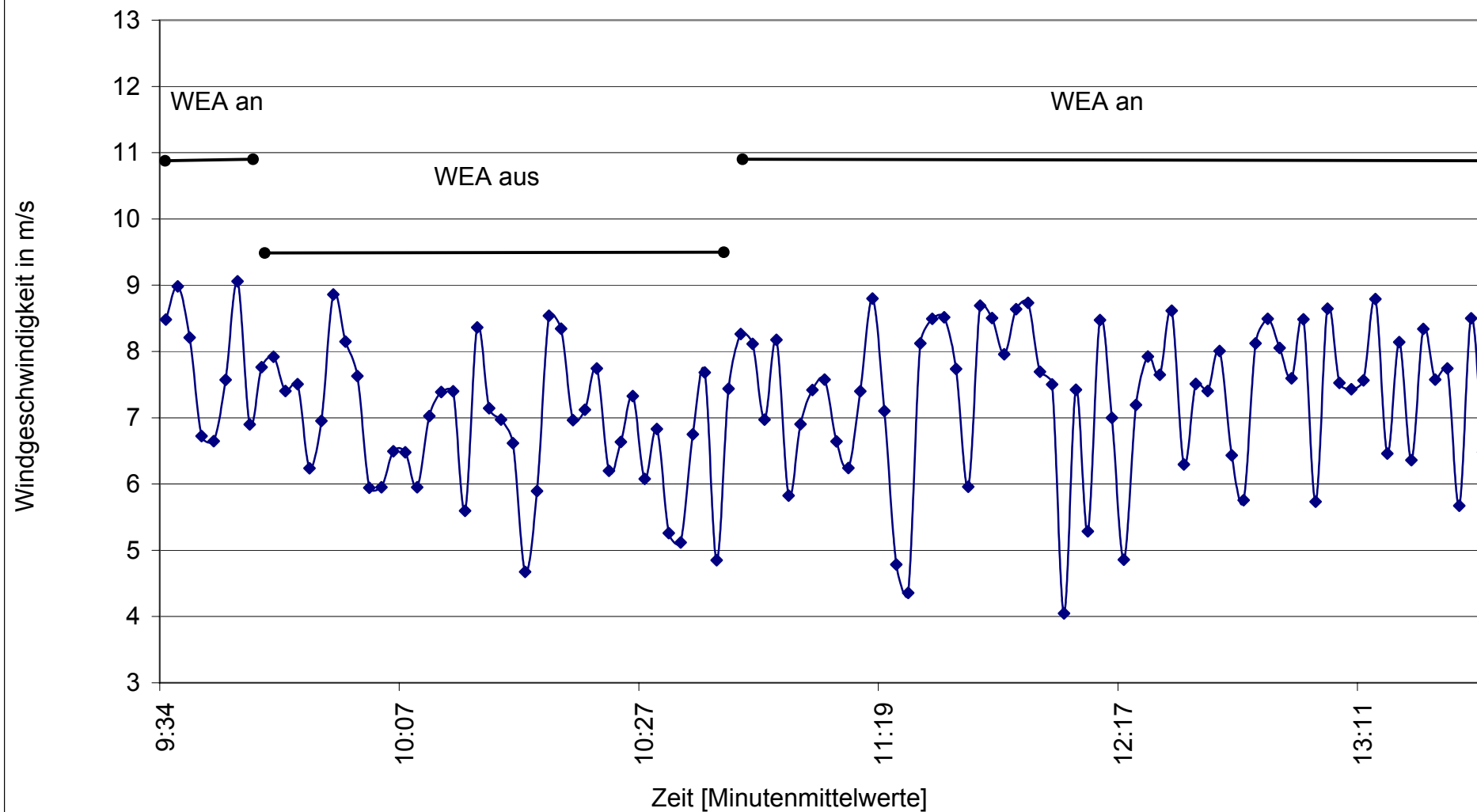
Messung vom 07.01.2005 ("Betrieb I")



Pegel-Zeitverlauf am Referenzmeßpunkt mit Fremdgeräuschkorrektur Messung vom 07.01.2005 ("Betrieb I")



Zeitverlauf der Anemometer-Windgeschwindigkeit Messung vom 07.01.2005 ("Betrieb I")



Berechnete Leistungskennlinie ENERCON E-70 E4

ENERCON E-70 E4

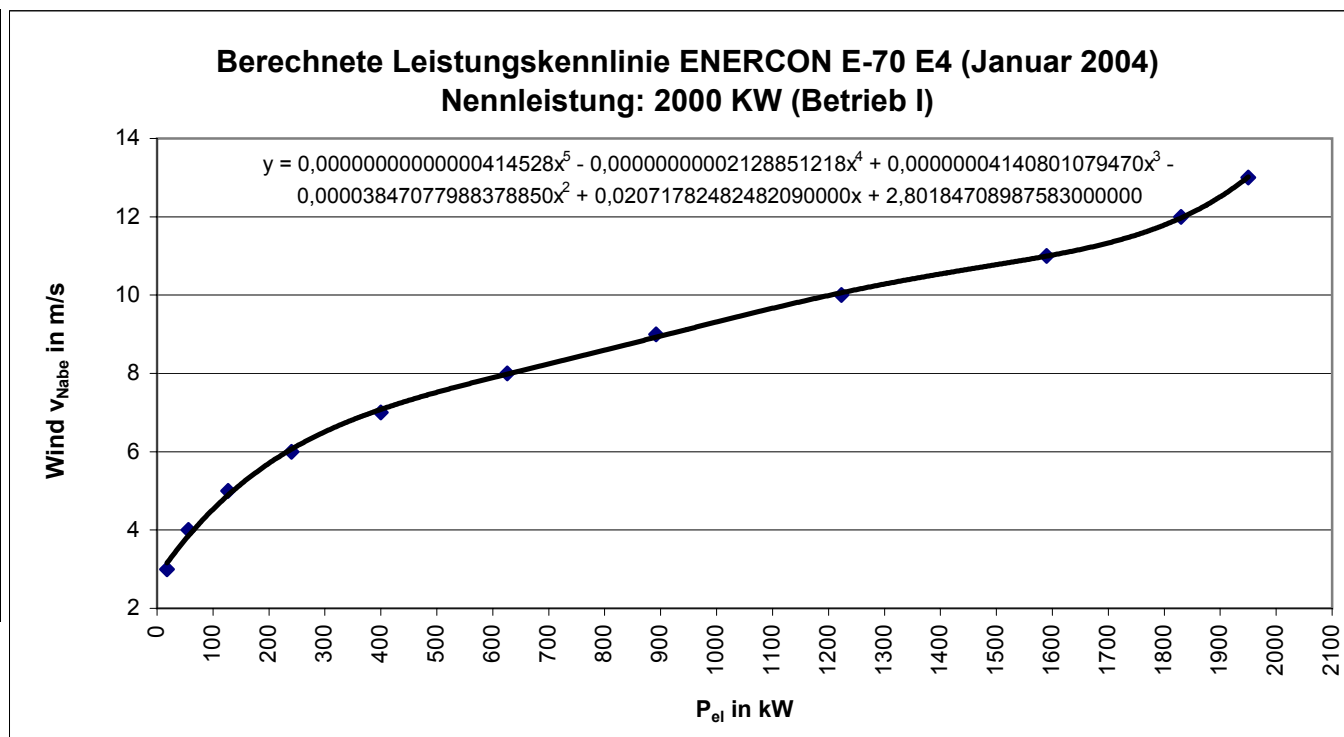
Stand: Januar 2004

2000 kW

Rotordurchmesser: 71 m

95% = 1948 kW

m/s	kW
3	18
4	56
5	127
6	240
7	400
8	626
9	892
10	1223
11	1590
12	1830
13	1950
c	2,80184708987583000000
x	0,02071782482482090000
x ²	-0,00003847077988378850
x ³	0,00000004140801079470
x ⁴	-0,00000000002128851218
x ⁵	0,00000000000000414528



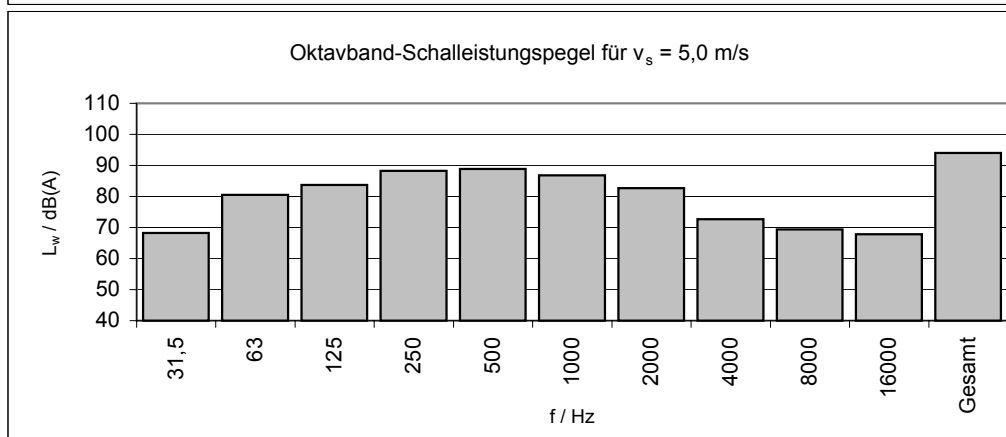
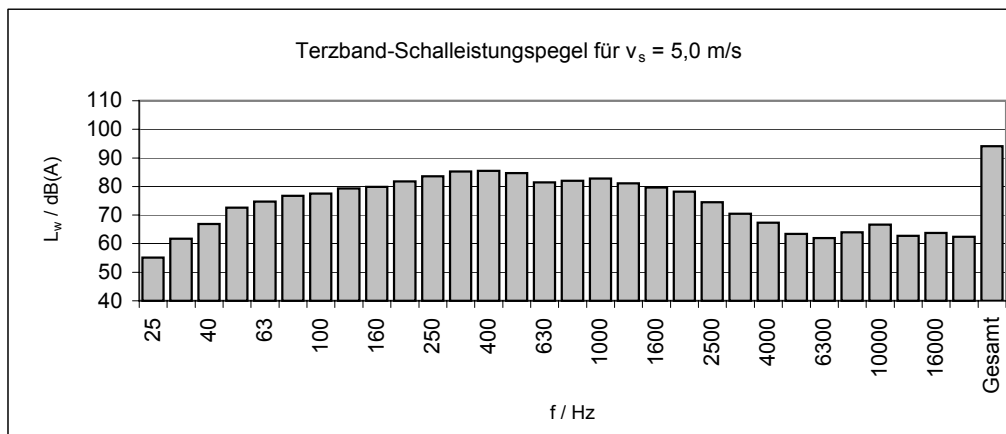
Anmerkung:

Da in diesem Fall in der berechneten Leistungskennlinie höhere Werte als die Auslegungsnennleistung mit $P_{el} = 2000$ kW vorliegen, wird bis 95% des Maximalwertes in der Leistungskurve, also bis $P_{el,95\%} = 1.948$ kW, ausgewertet.

Schallemissionsmessung ENERCON E-70 E4

Terzband-Schalleistungspegel für $v_s = 5,0$ m/s

f / Hz	$L_{W, \text{Terz}}$ / dB(A)	$L_{W, \text{Okt}}$ / dB(A)
25	55,1**	
31,5	61,8**	68,2**
40	66,9**	
50	72,6**	
63	74,8**	80,5**
80	76,8*	
100	77,6*	
125	79,4	83,8
160	79,9	
200	81,8*	
250	83,6*	88,2*
315	85,2	
400	85,5	
500	84,7	88,9
630	81,4*	
800	82,0**	
1000	82,8**	86,8**
1250	81,1**	
1600	79,6**	
2000	78,2**	82,7**
2500	74,5**	
3150	70,5**	
4000	67,3**	72,7**
5000	63,5**	
6300	62,0**	
8000	64,0**	69,4**
10000	66,6**	
12500	62,7*	
16000	63,8*	67,8*
20000	62,4*	
Gesamt	94,1	



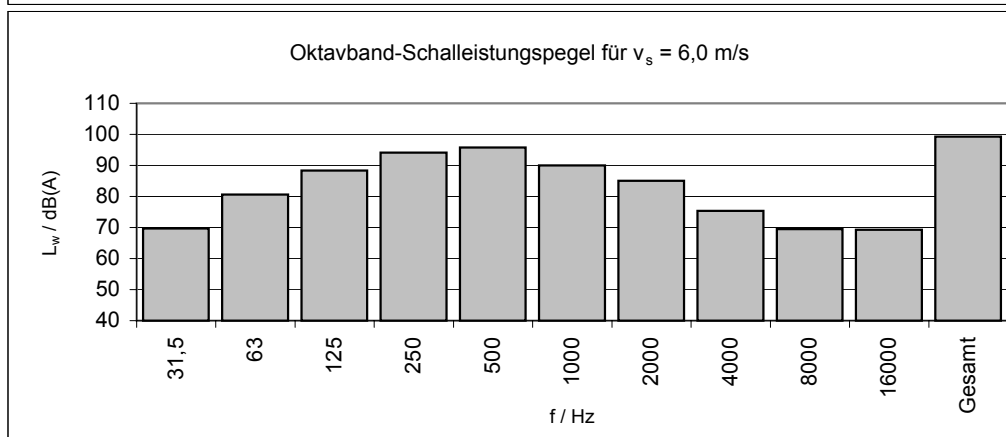
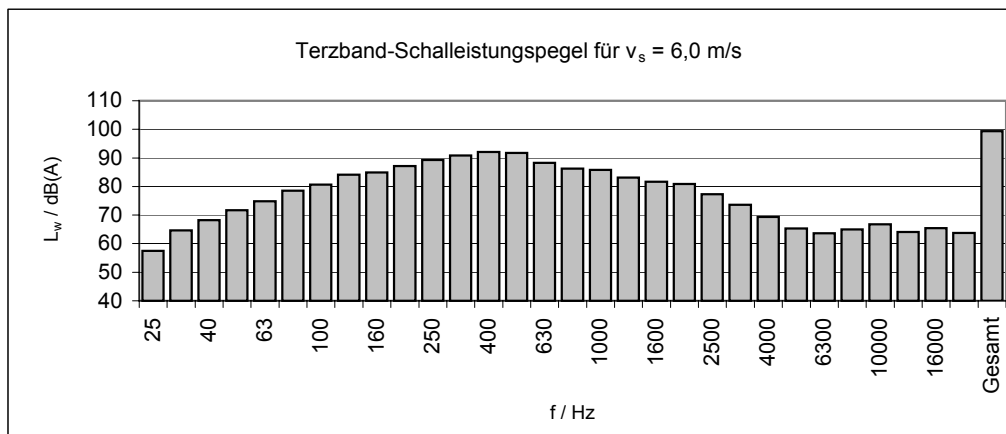
Erläuterungen:

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

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

Schallemissionsmessung ENERCON E-70 E4
Terzband-Schalleistungspegel für $v_s = 6,0$ m/s

f / Hz	$L_{W, \text{Terz}}$ / dB(A)	$L_{W, \text{Okt}}$ / dB(A)
25	57,5	
31,5	64,6**	69,7*
40	68,2*	
50	71,7*	
63	74,8*	80,6*
80	78,5	
100	80,7	
125	84,1	88,3
160	84,9	
200	87,1	
250	89,3	94,1
315	90,8	
400	92,1	
500	91,7	95,8
630	88,2	
800	86,3	
1000	85,8	90,0
1250	83,1*	
1600	81,6	
2000	80,9	85,1
2500	77,2	
3150	73,6	
4000	69,4*	75,4
5000	65,3*	
6300	63,7**	
8000	65,0**	69,5*
10000	66,8*	
12500	64,1*	
16000	65,4	69,3*
20000	63,8*	
Gesamt	99,3	



Erläuterungen:

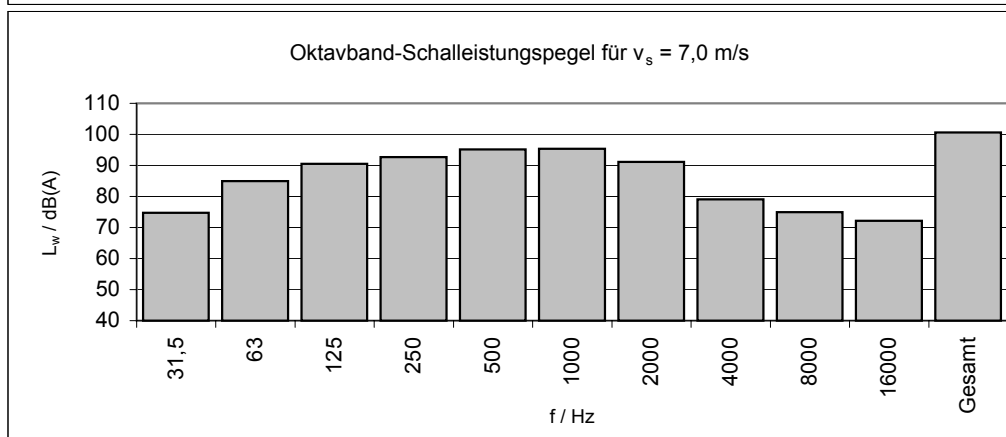
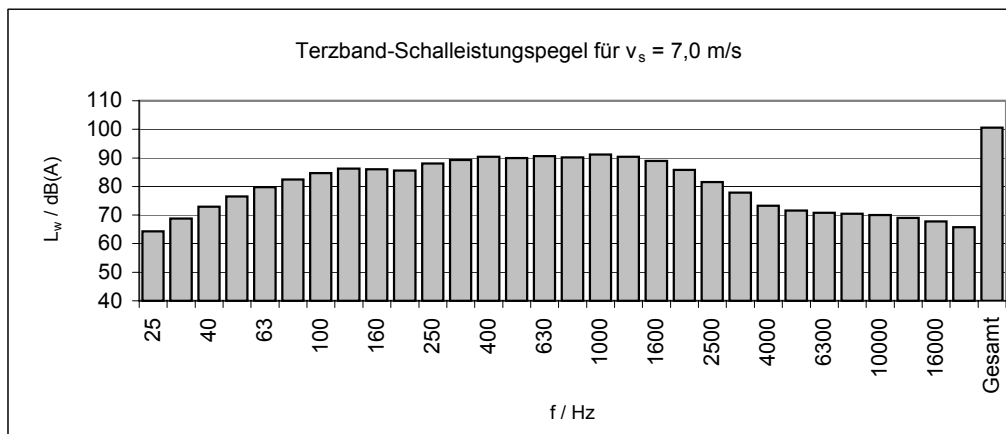
* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 6 dB, Pegelkorrektur um 1,3 dB

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

Schallemissionsmessung ENERCON E-70 E4

Terzband-Schalleistungspegel für $v_s = 7,0$ m/s

f / Hz	$L_{W, \text{Terz}}$ / dB(A)	$L_{W, \text{Okt}}$ / dB(A)
25	64,3	
31,5	68,8	74,8
40	73,0	
50	76,5	
63	79,8	85,0
80	82,4	
100	84,7	
125	86,3	90,5
160	86,1	
200	85,6	
250	88,1	92,7
315	89,3	
400	90,4	
500	89,9	95,1
630	90,7	
800	90,1	
1000	91,2	95,4
1250	90,4	
1600	89,0	
2000	85,8	91,1
2500	81,5*	
3150	77,8*	
4000	73,2**	79,4*
5000	71,6**	
6300	70,8**	
8000	70,5**	75,2**
10000	70,0**	
12500	69,0**	
16000	67,8**	72,5**
20000	65,8**	
Gesamt	100,6	



Erläuterungen:

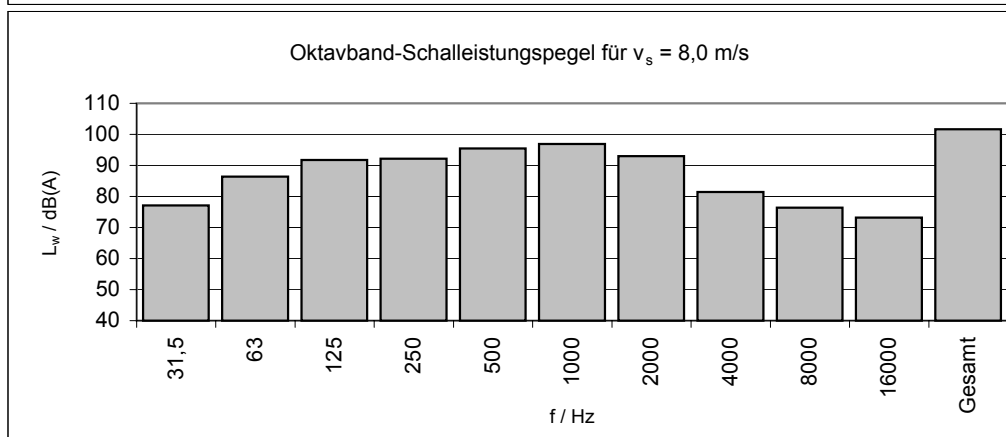
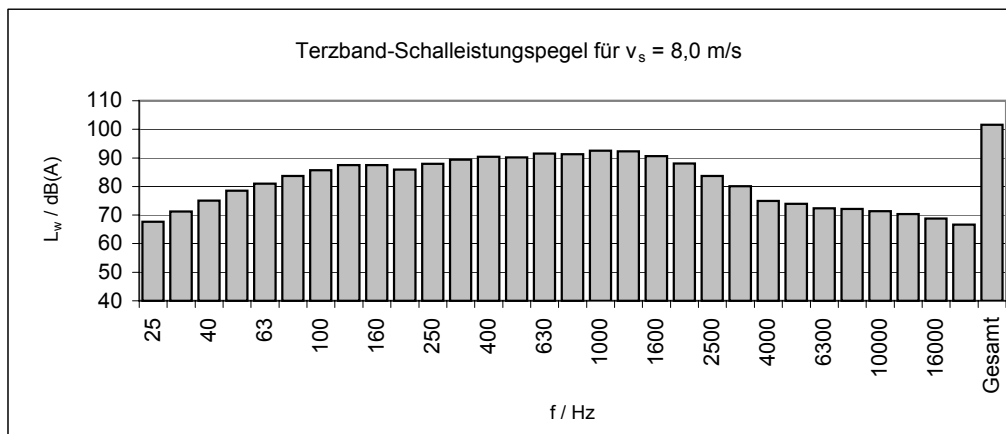
* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 6 dB, Pegelkorrektur um 1,3 dB

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

Schallemissionsmessung ENERCON E-70 E4

Terzband-Schalleistungspegel für $v_s = 8,0$ m/s

f / Hz	$L_{W, \text{Terz}}$ / dB(A)	$L_{W, \text{Okt}}$ / dB(A)
25	67,7	
31,5	71,3	77,1
40	75,1	
50	78,5	
63	81,0	86,4
80	83,7	
100	85,7	
125	87,5	91,7
160	87,5	
200	85,9*	
250	88,0*	92,6*
315	89,3	
400	90,4	
500	90,2	95,5
630	91,5	
800	91,3	
1000	92,6	96,9
1250	92,3	
1600	90,6	
2000	88,0	93,0
2500	83,6	
3150	80,1*	
4000	75,0*	81,8*
5000	74,0**	
6300	72,4**	
8000	72,2**	76,8**
10000	71,4**	
12500	70,3**	
16000	68,8**	73,6**
20000	66,7**	
Gesamt	101,6	



Erläuterungen:

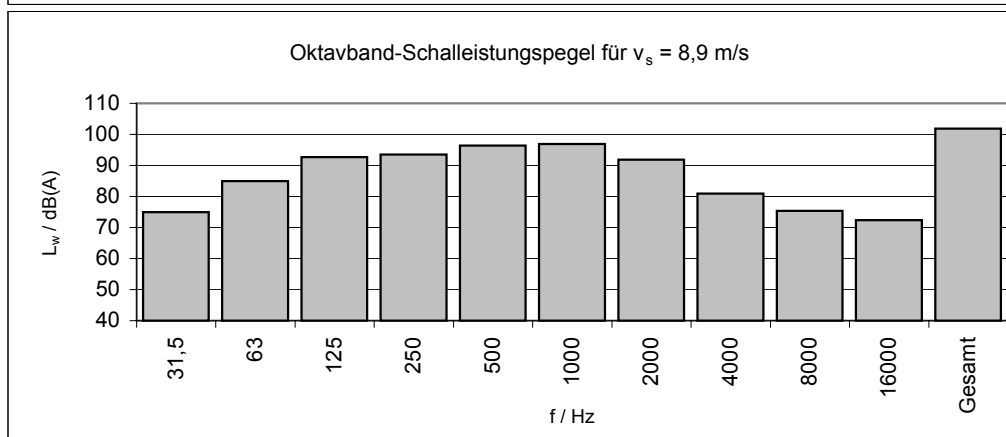
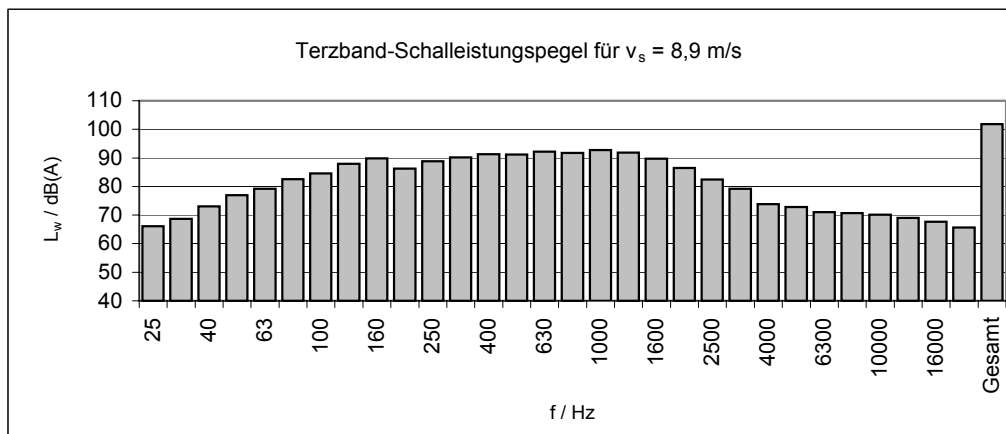
* Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 6 dB, Pegelkorrektur um 1,3 dB

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

Schallemissionsmessung ENERCON E-70 E4

Terzband-Schalleistungspegel für $v_s = 8,9$ m/s entsprechend 95% der Nennleistung:

f / Hz	$L_{W, \text{Terz}}$ / dB(A)	$L_{W, \text{Okt}}$ / dB(A)
25	66,0	
31,5	68,7	75,0
40	73,0	
50	76,9	
63	79,2	84,9
80	82,5	
100	84,6	
125	87,9	92,7
160	89,8	
200	86,3*	
250	88,9	93,5
315	90,1	
400	91,3	
500	91,2	96,3
630	92,2	
800	91,7	
1000	92,7	96,9
1250	91,8	
1600	89,7	
2000	86,5	91,9
2500	82,5*	
3150	79,3*	
4000	73,8*	80,9*
5000	72,8**	
6300	71,0**	
8000	70,7**	75,4**
10000	70,1**	
12500	69,1**	
16000	67,7**	72,4**
20000	65,7**	
Gesamt	101,9	



Erläuterungen:

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

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

Verwendete Minutenmittelwerte für die Auswertung der Ton- und Impulshaltigkeit

28277-1
ENERCON E-70 E4
Messung vom 07.10.2004

Gesamtgeräusch

Zeit	L _A Feq	L _A FTeq	normierte Windgeschwindigkeit	Auswertung der Impulshaltigkeit				
17:29:00	49,6	51,7	6,1	Mittelwert je bin	L _A Feq	L _A FTeq	L _A FTeq-L _A Feq	K _{IN}
17:36:00	49,2	51,2	6,0	v _{p 10} /m/s	dB(A)	dB(A)	dB	dB
17:30:00	49,1	51,4	5,9	5,7	47,9	50,1	2,1	0
17:26:00	48,5	50,5	5,9					
17:31:00	48,7	51,2	5,7					
18:25:00	48,6	50,2	5,7					
17:19:00	47,8	49,9	5,6					
17:33:00	48,1	50,3	5,5	Mittelwert je bin	L _A Feq	L _A FTeq	L _A FTeq-L _A Feq	K _{IN}
17:42:00	47,9	50,3	5,5	v _{p 10} /m/s	dB(A)	dB(A)	dB	dB
17:43:00	47,7	49,6	5,5	5,0	45,3	47,2	1,9	0
17:35:00	46,7	48,9	5,4					
17:40:00	47,2	49,4	5,4					
17:32:00	47,5	49,6	5,4					
17:37:00	47,4	49,5	5,4					
17:44:00	47,1	49,4	5,4					
17:28:00	46,7	48,7	5,4					
17:23:00	47,0	49,3	5,3					
17:20:00	46,7	49,0	5,3					
17:25:00	46,4	48,3	5,3					
18:24:00	47,2	49,1	5,3					
17:17:00	46,2	48,1	5,2					
18:21:00	46,5	48,3	5,2					
18:18:00	45,9	47,7	5,1					
18:20:00	45,2	46,9	5,1					
17:41:00	45,8	47,7	5,1					
18:23:00	45,2	46,9	5,1					
18:22:00	45,1	46,8	5,1					
17:27:00	45,0	47,0	5,1					
17:38:00	45,1	46,9	5,0					
17:34:00	45,5	47,2	5,0					
17:18:00	44,4	46,1	4,9					
17:39:00	44,4	45,8	4,9					
17:45:00	43,5	45,8	4,9					
17:46:00	44,1	45,5	4,9					
18:19:00	44,5	46,2	4,8					
17:56:00	43,7	45,2	4,8					
17:22:00	44,1	45,9	4,8					
17:47:00	43,2	44,8	4,8					
17:55:00	42,3	43,7	4,6					
17:52:00	42,9	44,7	4,6					

Hintergrundgeräusch

Zeit	L _A Feq	L _A FTeq	normierte Windgeschwindigkeit	Auswertung der Impulshaltigkeit				
				Mittelwert je bin	L _A Feq	L _A FTeq	L _A FTeq-L _A Feq	K _{IN}
14:24:00	41,0	42,8	6,5	Mittelwert je bin v _{p 10} /m/s 6,1	L _A Feq	L _A FTeq	L _A FTeq-L _A Feq	K _{IN}
14:46:00	39,4	41,0	6,5		dB(A)	dB(A)	dB	dB
14:10:00	41,4	43,1	6,4		40,2	41,9	1,7	0
16:57:00	40,2	41,8	6,3					
15:04:00	40,7	42,4	6,3					
15:05:00	38,2	40,3	6,3					
14:48:00	40,1	42,0	6,2					
14:05:00	41,8	43,7	6,1					
17:01:00	38,0	39,7	5,9					
17:06:00	36,9	38,8	5,8					
16:47:00	41,3	42,7	5,7					
14:53:00	40,3	42,3	5,6					
16:48:00	40,2	41,8	5,6					
14:28:00	41,5	43,4	5,5	Mittelwert je bin v _{p 10} /m/s 5,1	L _A Feq	L _A FTeq	L _A FTeq-L _A Feq	K _{IN}
17:00:00	38,5	40,3	5,3		dB(A)	dB(A)	dB	dB
14:59:00	38,9	40,4	5,3		39,8	41,7	1,8	0
17:03:00	39,7	41,7	5,2					
14:29:00	40,5	42,4	5,2					
14:58:00	38,7	40,1	5,2					
16:54:00	40,5	42,2	5,1					
14:04:00	40,9	42,5	5,0					
16:56:00	39,6	41,3	4,9					
17:02:00	39,1	41,2	4,9					
16:55:00	40,2	42,2	4,8					
16:58:00	39,8	41,8	4,8					
14:03:00	39,8	41,6	4,8					
17:04:00	39,2	41,1	4,8					

Verwendete Minutenmittelwerte für die Auswertung der Ton- und Impulshaltigkeit

28277-1

ENERCON E-70 E4

Messung vom 07.01.2005

Gesamtgeräusch

Zeit	L _{AFeq}	L _{AFTeq}	normierte Windgeschwindigkeit	Auswertung der Impulshaltigkeit				
10:58:00	52,8	55,6	8,9	Mittelwert je bin	L _{AFeq}	L _{AFTeq}	L _{AFTeq} -L _{AFeq}	K _{IN}
10:42:00	52,4	54,7	8,8	v _s /m/s	dB(A)	dB(A)	dB	dB
13:24:00	51,8	54,2	8,8	8,7	52,3	54,7	2,4	0
13:09:00	52,3	54,8	8,8					
11:16:00	52,3	54,8	8,8					
11:21:00	51,9	54,2	8,8					
09:49:00	51,8	54,2	8,7					
12:35:00	52,1	54,4	8,7					
13:19:00	52,4	54,8	8,6					
10:52:00	52,7	54,9	8,6					
12:33:00	51,2	53,6	8,5	Mittelwert je bin	L _{AFeq}	L _{AFTeq}	L _{AFTeq} -L _{AFeq}	K _{IN}
12:07:00	51,8	54,3	8,5	v _s /m/s	dB(A)	dB(A)	dB	dB
11:28:00	52,7	55,0	8,5	8,1	51,9	54,3	2,4	0
11:07:00	51,8	54,4	8,5					
13:30:00	51,7	54,3	8,4					
10:47:00	52,9	55,4	8,4					
12:57:00	51,7	53,9	8,4					
11:04:00	52,0	54,2	8,4					
11:11:00	52,0	54,5	8,4					
13:21:00	52,6	55,1	8,3					
09:37:00	52,1	54,3	8,3					
12:05:00	51,4	53,8	8,2					
13:25:00	52,2	54,8	8,1					
09:39:00	52,2	54,6	8,1					
13:13:00	52,4	54,6	8,0					
09:41:00	51,7	54,3	8,0					
12:17:00	50,7	53,0	7,9					
11:08:00	52,4	54,9	7,9					
13:11:00	51,5	53,8	7,9					
12:28:00	52,4	55,4	7,8					
12:18:00	51,2	53,4	7,8					
12:14:00	50,9	53,5	7,8					
12:25:00	51,2	53,8	7,7					
11:18:00	51,9	54,2	7,7					
12:32:00	51,4	53,5	7,7					
12:15:00	51,6	54,3	7,6					
12:13:00	51,3	53,6	7,5	Mittelwert je bin	L _{AFeq}	L _{AFTeq}	L _{AFTeq} -L _{AFeq}	K _{IN}
11:19:00	51,4	53,9	7,4	v _s /m/s	dB(A)	dB(A)	dB	dB
12:23:00	51,7	54,5	7,4	7,3	51,3	53,6	2,3	0
13:10:00	51,5	53,3	7,3					
12:16:00	50,8	52,9	6,9					

Hintergrundgeräusch

Zeit	L _{AFeq}	L _{AFTeq}	normierte Windgeschwindigkeit	Auswertung der Impulshaltigkeit				
10:25:00	44,9	47,0	8,9	Mittelwert je bin	L _{AFeq}	L _{AFTeq}	L _{AFTeq} -L _{AFeq}	K _{IN}
10:16:00	44,0	45,5	8,9	v _s /m/s	dB(A)	dB(A)	dB	dB
10:06:00	45,2	46,5	8,7	8,8	45,1	46,8	1,7	0
10:07:00	46,1	47,9	8,7					
09:58:00	46,7	48,4	8,4					
10:24:00	44,9	47,8	8,3					
10:27:00	43,8	45,3	8,2					
10:08:00	45,4	47,9	8,0					
10:05:00	45,2	47,2	8,0					
10:04:00	43,0	44,5	8,0					
10:18:00	42,8	44,1	7,9					
10:12:00	43,6	46,5	7,5	Mittelwert je bin	L _{AFeq}	L _{AFTeq}	L _{AFTeq} -L _{AFeq}	K _{IN}
10:29:00	42,6	44,2	7,1	v _s /m/s	dB(A)	dB(A)	dB	dB
10:30:00	44,3	46,2	6,9	6,9	43,6	45,6	2,1	0
10:17:00	43,5	45,3	6,3					

Anlage C: Spektren zur Tonhaltigkeitsanalyse

Tonhaltigkeitsbestimmung nach IEC 61400-11

$v_s = 4 \text{ m/s}$

Es wurden keine Tonfrequenzen detektiert.

Spektrum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittelwert
f_T / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta f_C / \text{Hz}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f_1 / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f_2 / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L_{pt} / dB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{\text{hinter}} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg} - L_{\text{hinter}} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg,korr} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L_{pn} / dB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta L_{\text{tn}} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

L_a / dB -
 $\Delta L_{a,k} / \text{dB}$ -
 K_{TN} / dB 0

$v_s = 5 \text{ m/s}$

Es wurden keine Tonfrequenzen detektiert.

Spektrum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittelwert
f_T / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta f_C / \text{Hz}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f_1 / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f_2 / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L_{pt} / dB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{\text{hinter}} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg} - L_{\text{hinter}} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg,korr} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L_{pn} / dB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta L_{\text{tn}} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

L_a / dB -
 $\Delta L_{a,k} / \text{dB}$ -
 K_{TN} / dB 0

$v_s = 6 \text{ m/s}$

Es wurden keine Tonfrequenzen detektiert.

Spektrum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittelwert
f_T / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta f_C / \text{Hz}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f_1 / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f_2 / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L_{pt} / dB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{\text{hinter}} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg} - L_{\text{hinter}} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg,korr} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L_{pn} / dB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta L_{\text{tn}} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

L_a / dB -
 $\Delta L_{a,k} / \text{dB}$ -
 K_{TN} / dB 0

Tonhaltigkeitsbestimmung nach IEC 61400-11

$v_s = 7 \text{ m/s}$

Spektrum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittelwert
f_T / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta f_C / \text{Hz}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f_1 / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f_2 / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L_{pt} / dB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L_{hinter} / dB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg} - L_{hinter} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg,korr} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L_{pn} / dB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta L_{tn} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

L_a / dB -
 $\Delta L_{a,k} / \text{dB}$ -
 K_{TN} / dB 0

$v_s = 8 \text{ m/s}$

Es wurden keine Tonfrequenzen detektiert.

Spektrum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittelwert
f_T / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta f_C / \text{Hz}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f_1 / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f_2 / Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L_{pt} / dB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L_{hinter} / dB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg} - L_{hinter} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$L_{pn,avg,korr} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L_{pn} / dB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta L_{tn} / \text{dB}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

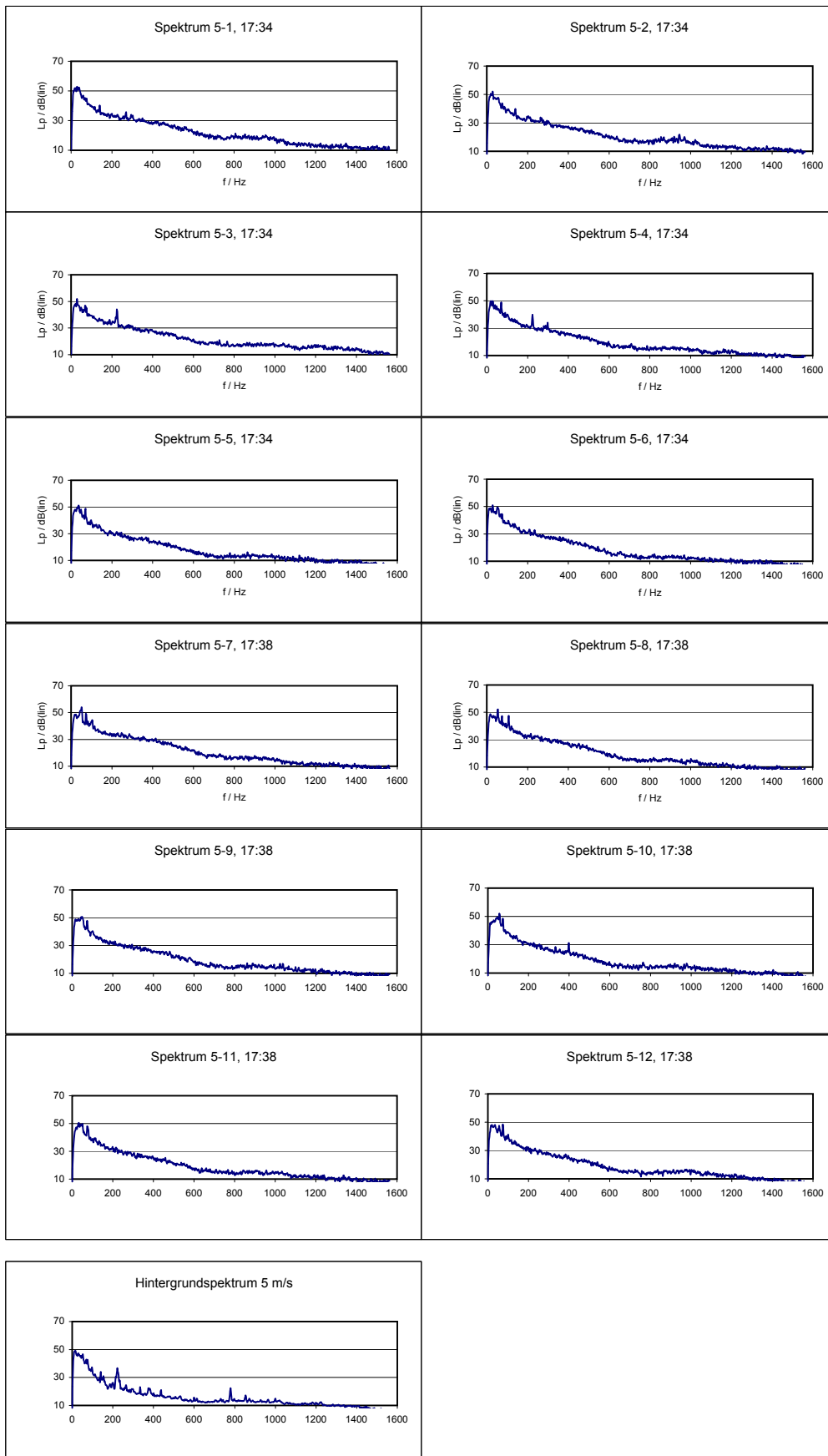
L_a / dB -
 $\Delta L_{a,k} / \text{dB}$ -
 K_{TN} / dB 0

$v_s = 8,9 \text{ m/s}$

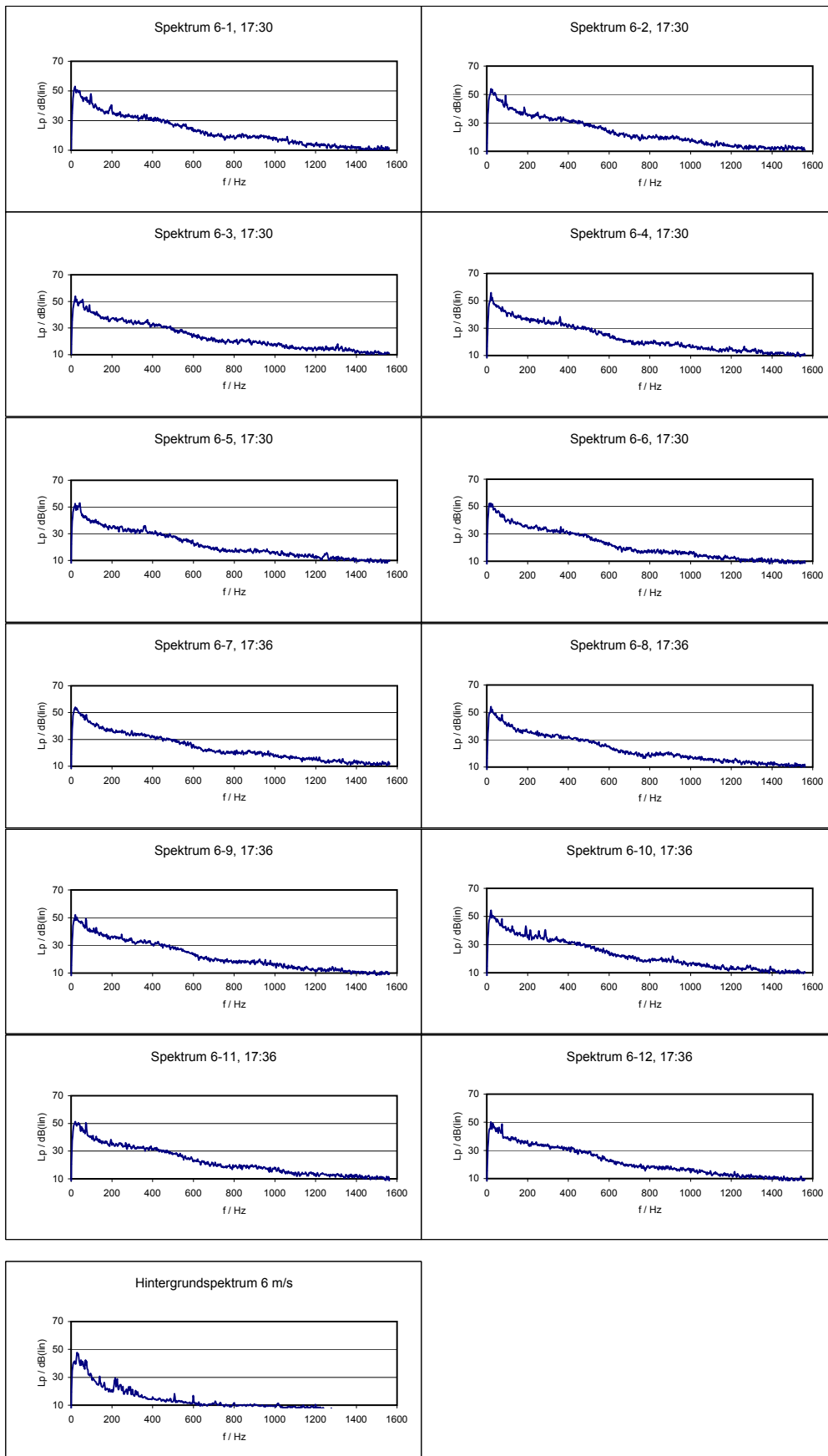
Spektrum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mittelwert
f_T / Hz	140,6	144,5	144,5	140,6	140,6	140,6	142,6	140,6	142,6	140,6	140,6	140,6	141,6
$\Delta f_C / \text{Hz}$	101,4	101,5	101,5	101,4	101,4	101,4	101,5	101,4	101,5	101,4	101,4	101,4	101,4
f_1 / Hz	-	93,8	93,8	-	-	-	91,8	89,9	91,8	-	-	-	90,9
f_2 / Hz	-	195,3	195,3	-	-	-	193,3	191,3	193,3	-	-	-	192,3
L_{pt} / dB	-	39,9	33,8	-	-	-	39,7	45,3	42,3	-	-	-	-
$L_{pn,avg} / \text{dB}$	-	27,2	26,9	-	-	-	26,9	26,9	26,9	-	-	-	-
L_{hinter} / dB	-	20,3	20,3	-	-	-	20,3	20,3	20,3	-	-	-	-
$L_{pn,avg} - L_{hinter} / \text{dB}$	-	6,8	6,6	-	-	-	6,6	6,6	6,6	-	-	-	-
$L_{pn,avg,korr} / \text{dB}$	-	26,2	25,9	-	-	-	25,8	25,8	25,8	-	-	-	-
L_{pn} / dB	-	41,5	41,3	-	-	-	41,2	41,2	41,2	-	-	-	-
$\Delta L_{tn} / \text{dB}$	-15,4	-1,7	-7,4	-15,4	-15,4	-15,4	-1,5	4,1	1,1	-15,4	-15,4	-15,4	-3,3

L_a / dB -2,0
 $\Delta L_{a,k} / \text{dB}$ -1,3
 K_{TN} / dB 0

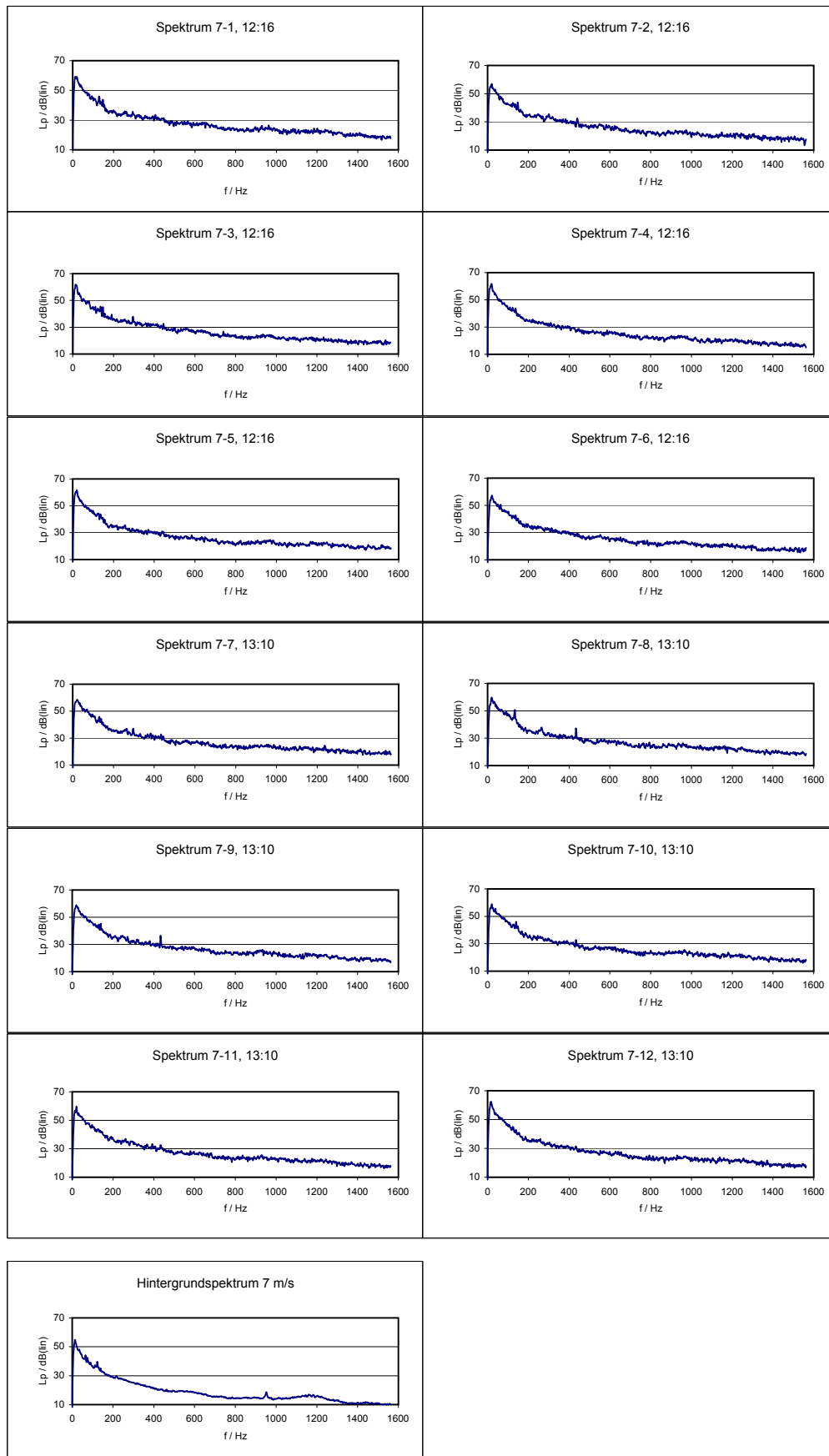
Enercon E-70 E4
Spektren, $v_s = 5$ m/s



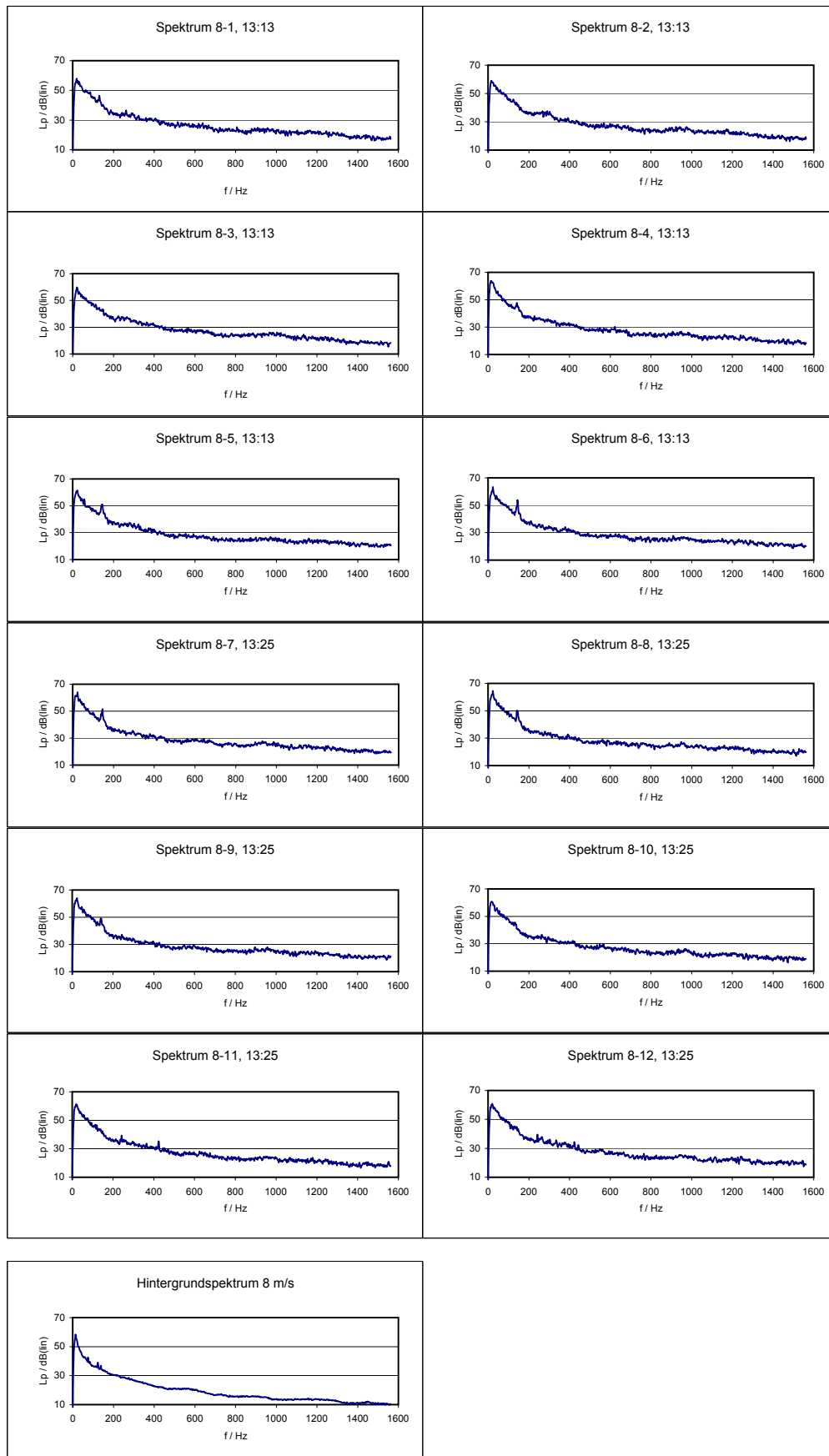
Enercon E-70 E4
Spektren, $v_s = 6$ m/s



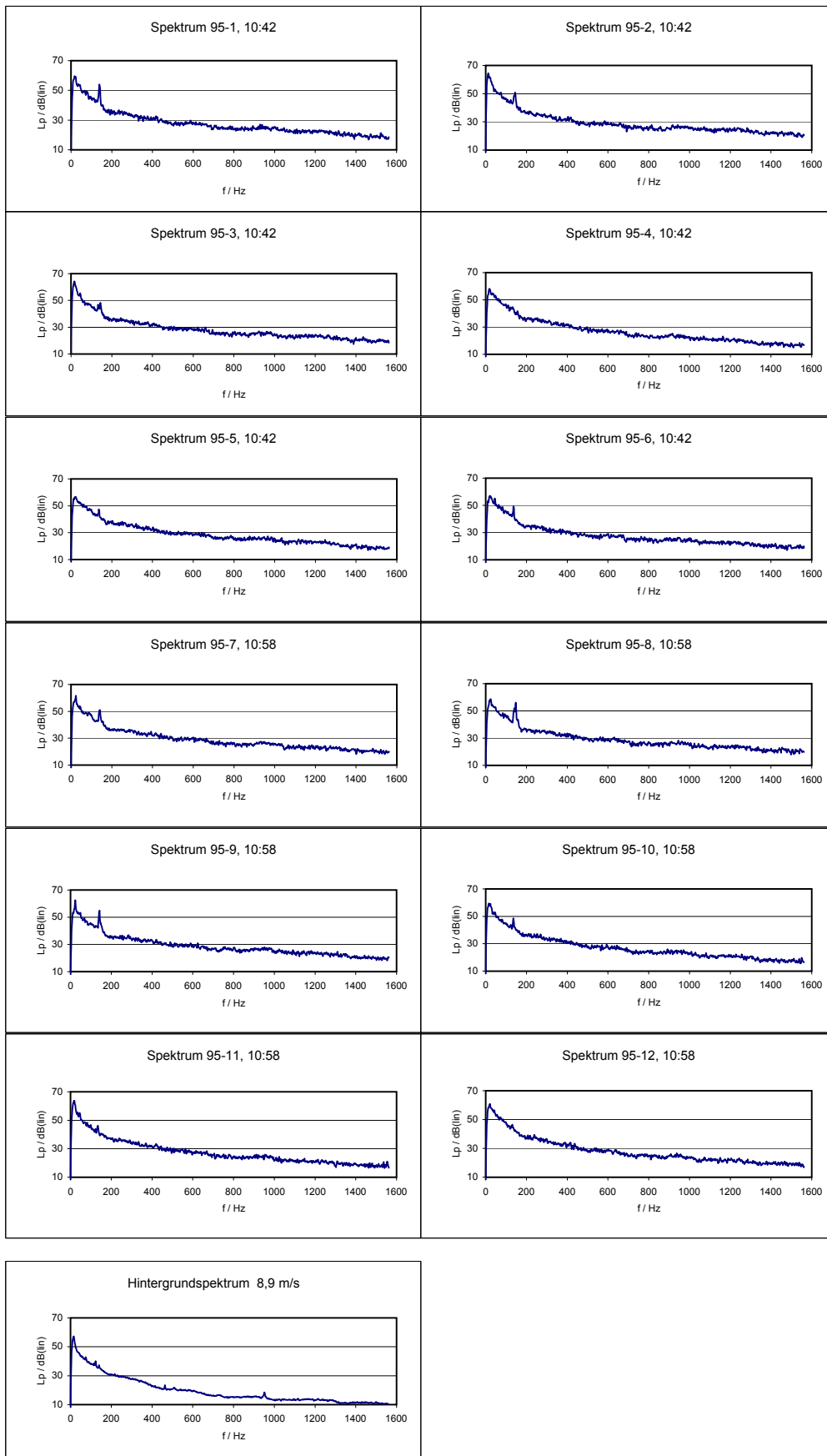
Enercon E-70 E4
Spektren, $v_s = 7$ m/s



Enercon E-70 E4
Spektren, $v_s = 8$ m/s

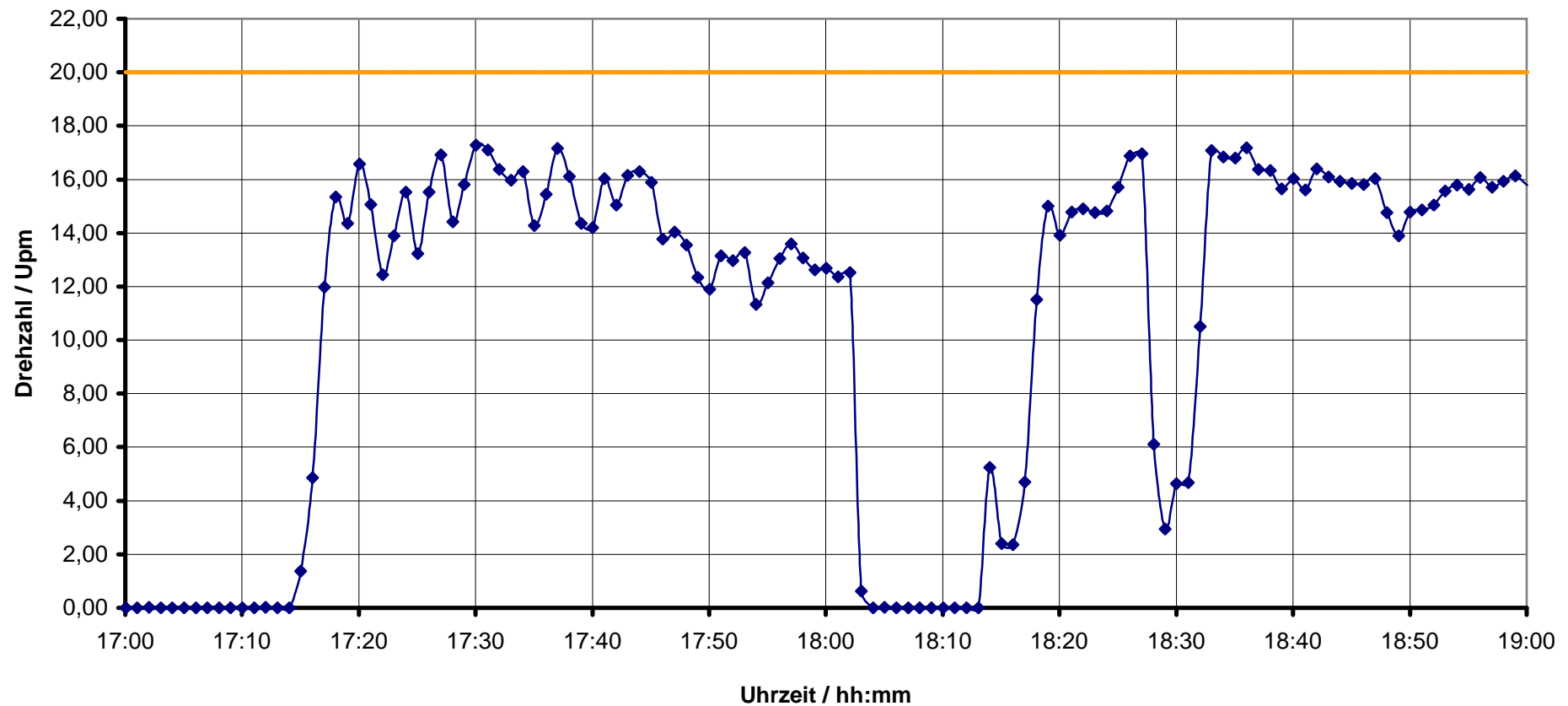


Enercon E-70 E4
Spektren, $v_s = 8,9$ m/s

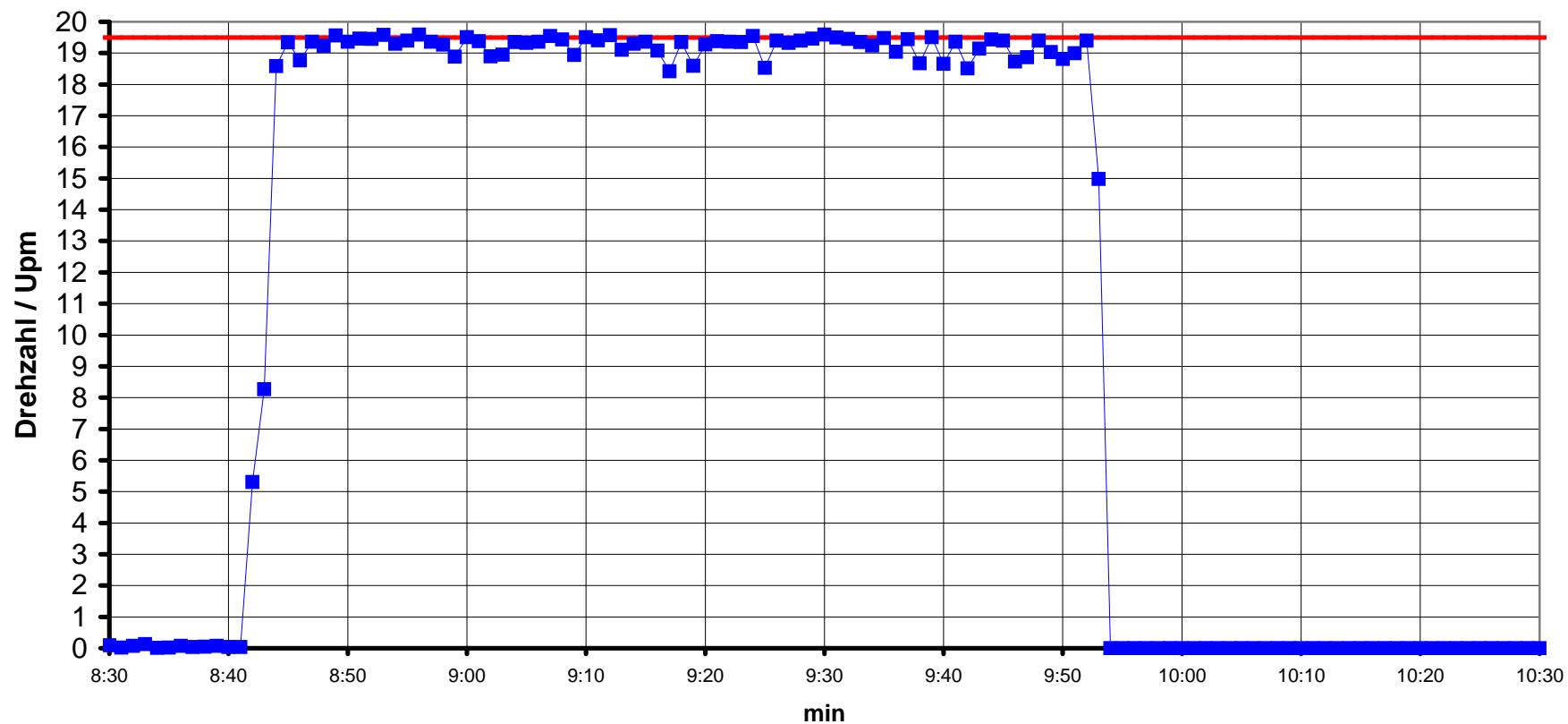


Anlage D: Leistungskennlinie, Scatter-Plotts der Rotordrehzahl und Herstellerbescheinigung zur ENERCON E-70 E4

Anlage 701858 in Ahaus-Wüllen, Betrieb I
Auszug Minutenmittelwerte der Drehzahl vom 07.10.2004 17:00-19:00



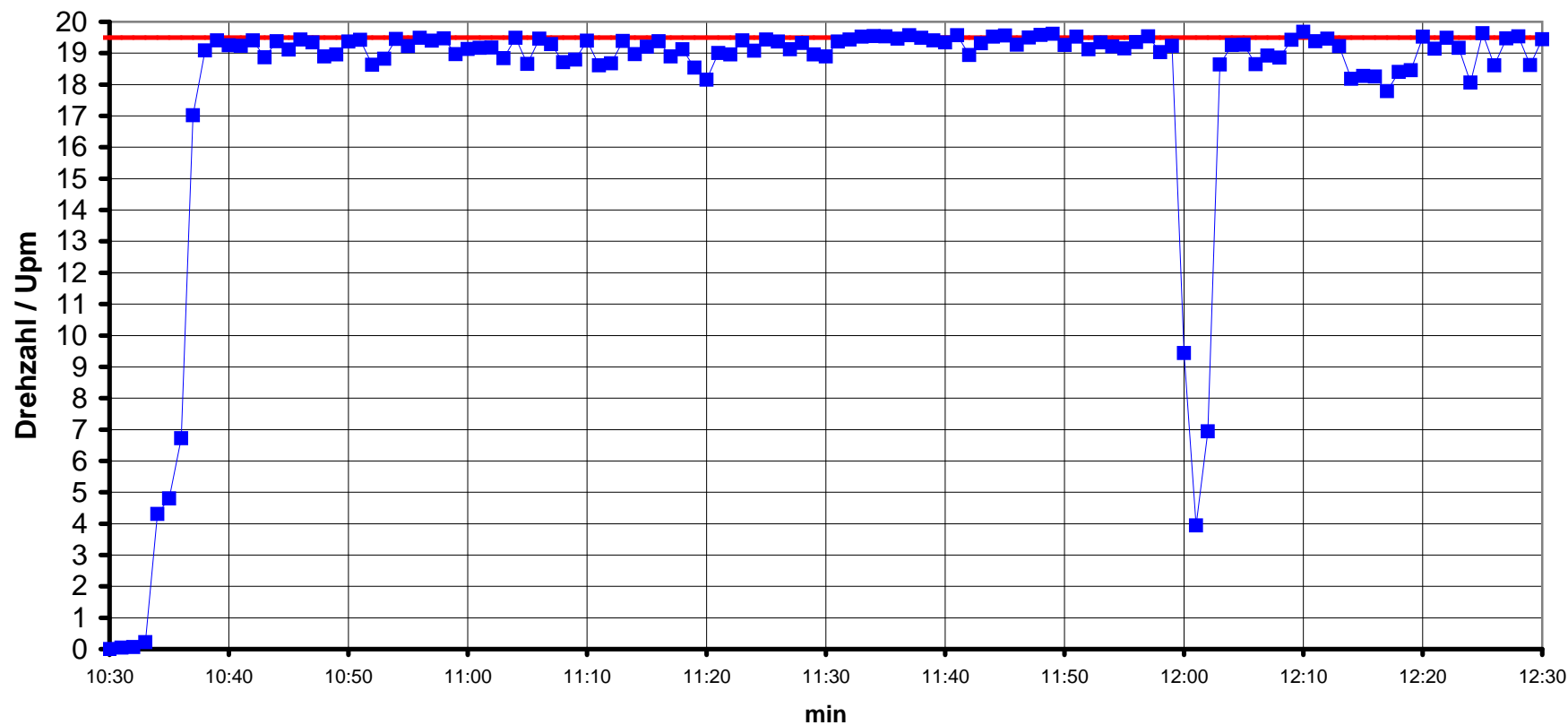
Anlage 701858 in Ahaus Auszug Minutenmittelwerte der Drehzahl vom 7.1.2005 8:30-10:30



Über "8:30" ist der Mittelwert der von 8:30-8:31 gemessenen Drehzahlwerte aufgetragen

■ 701858 — DZsoll

Anlage 701858 in Ahaus Auszug Minutenmittelwerte der Drehzahl vom 7.1.2005 10:30-12:30



Über "10:30" ist der Mittelwert der von 10:30-10:31 gemessenen Drehzahlwerte aufgetragen

■ 701858 — DZsoll

Leistungskurve ENERCON E-70 E4

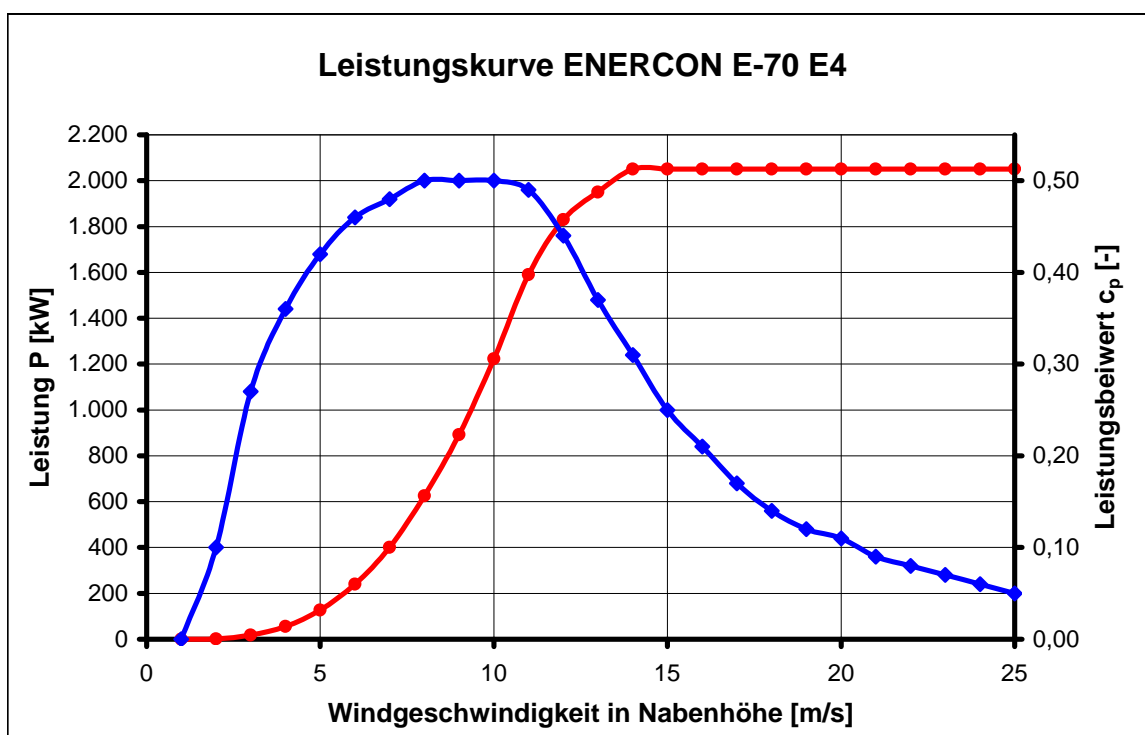
Nennleistung: 2.000 kW

Rotordurchmesser: 71 m

Stand: Berechnete Leistungskurve (Januar 2004)
Standardluftdichte 1,225 kg/m³



Windgeschwindigkeit in Nabhöhe v [m/s]	Leistung P [kW]	Leistungsbeiwert c_p [-]
1	0,0	0,00
2	2,0	0,10
3	18,0	0,27
4	56,0	0,36
5	127,0	0,42
6	240,0	0,46
7	400,0	0,48
8	626,0	0,50
9	892,0	0,50
10	1.223,0	0,50
11	1.590,0	0,49
12	1.830,0	0,44
13	1.950,0	0,37
14	2.050,0	0,31
15	2.050,0	0,25
16	2.050,0	0,21
17	2.050,0	0,17
18	2.050,0	0,14
19	2.050,0	0,12
20	2.050,0	0,11
21	2.050,0	0,09
22	2.050,0	0,08
23	2.050,0	0,07
24	2.050,0	0,06
25	2.050,0	0,05



Herstellerbescheinigung zu spezifischen Daten des Anlagentyps: ENERCON E-70 E4 **Manufacturer's certificate on specific data of the type of installation: ENERCON E-70 E4**

Datum / date: 21.10.2004

1. Allgemeines		General
Hersteller	ENERCON GmbH	manufacturer
Anlagenbezeichnung	ENERCON E-70 E4	type name
Art (horizontal/vertikal)	horizontal	type (horizontal / vertical)
Nennleistung	2.000 kW	rated power
Leistungsregelung	pitch	power control
Nabenhöhe über Fundament	114 m	hub height above foundation
Nabenhöhe über Grund	114 m	hub height above ground
Nennwindgeschwindigkeit	13,0 m/s	rated wind speed
Einschaltwindgeschwindigkeit	2,5 m/s	cut-in wind speed
Abschaltwindgeschwindigkeit	28-34 m/s	cut-out wind speed
Überlebenswindgeschwindigkeit	70 m/s	survival wind speed
Rechnerische Lebensdauer	20 Jahre / years	calculated safe life
2. Rotor		Rotor
Durchmesser	71 m	diameter
Bestrichene Fläche	3.959 m²	swept area
Anzahl der Blätter	3	number of blades
Nabenart (pendelnd/starr)	starr	kind of hub
Anordnung zum Turm (luv/lee)	luv	relative position to tower (wind-/leeward)
Nennndrehzahl / -bereich	6 - 20 U/min / rpm	rated speed / speed range
Auslegungsschnellaufzahl	-	designed tip speed ratio
Rotorblatteinstellwinkel	variabel	rotor blade pitch angle
Konuswinkel	0°	cone angle
Rotorachsneigung	4°	rotor tilt
Abstand Rotorflanschmittelpunkt - Turmmittellinie	4,32 m	distance between rotor flange centre - tower centre line
3. Blatt		Blade
Hersteller	ENERCON	manufacturer
Typenbezeichnung	70-4	type
Profile innen/außen	ENERCON	blade section inside / outside
Material	GFK (Epoxidharz)	material
Blattlänge	33,1 m	blade length
Profiltiefe außen, max./Blattende	-	blade section depth outside, max./end
Zusatzkomponenten (z.B. stall strips)	keine/none	additional components (e.g. stall strips)
Blattextender	entfällt	blade extender
4. Getriebe		Gear
Hersteller	entfällt	manufacturer
Typenbezeichnung	entfällt	type
Ausführung	entfällt	design
Übersetzungsverhältnis	entfällt	speed ratio
5. Windrichtungsnachführung		Yaw orientation drive
Ausführung (aktiv/passiv)	aktiv	design (active/passive)
Antriebsart (el./mech./hydr.)	elektrisch	drive (electr./mech./hydr.)
Dämpfungssystem während des Betriebs	Reiblagerung	damping system during operation
6. Generator		Generator
Hersteller	ENERCON GmbH	manufacturer
Typenbezeichnung	E-70	type
Anzahl	1	numbers
Art	synchron, Ringgener.	design
Nennleistung	2.000 kW	rated power
Nennscheinleistung	2.000 kVA	rated apparent power
Nennndrehzahl / -bereich	6 – 20 Upm/rpm (Betrieb I)	rated speed / speed range
Spannung	440 V	voltage
Frequenz	variabel	frequency
Nennschlupf	entfällt	rated slip

7. Turm		Tower
Hersteller	WEC	manufacturer
Typenbezeichnung	E-66/BF/112/27/01-20.70	type
Ausführung (Gitter/Rohr, zyl./kon.)	Rohrturm	design (lattice/tube, cylin./tapered)
Werkstoff	Fertigteilbeton	material
Länge	112 m	length

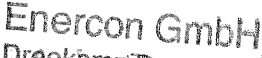

8. Betriebsführung / Regelung		Supervisory system/control
Art der Leistungsregelung	Pitch	kind of power control
Antrieb der Leistungsregelung	elektrisch	drive of power control
Automatischer Wiederanlauf		automatic restart
- nach Netzausfall	ja	- following grid-failure
- nach Abschaltwind	ja	- following cut-out wind speed
Hersteller der Betriebsführung / Regelung	ENERCON	manufacturer of control system
- Typenbezeichnung	E-70 E4	- type
- Verwendete Steuerungskurve	Betrieb I	- used control curve

9. Sonstige elektrische Komponenten		Other electric installations
Anzahl der Kompensationsstufen	entfällt	number of compensation stages
Blindleistung Stufe 1	entfällt	reactive power stage 1
Blindleistung Stufe 2	entfällt	reactive power stage 2
Blindleistung Stufe x	entfällt	reactive power stage x
Blindleistung Stufe x	entfällt	reactive power stage x
Art der Netzkopplung	über Wechselrichter	kind of interconnection
- Hersteller	ENERCON	- manufacturer
- Typenbezeichnung	E-70 E4	- type
Netzschutzhersteller	ENERCON	mains protective manufacturer
- Typenbezeichnung	E-70 E4	- type
- Einstellbereiche:		- adjustment range:
Spannungssteigerungsschutz	106,5%, 0,1s	overvoltage protection
Spannungsrückgangsschutz	90%, 0,1s	undervoltage protection
Frequenzsteigerungsschutz	50,4 Hz, 100ms	overfrequency protection
Frequenzrückgangsschutz	49,5 Hz, 100m/s	underfrequency protection
Oberschwingungsfilter (ja/nein)	ja	harmonic filter (yes/no)

10. Art der Bremsen		Kind of brakes
Bremssystem (primär/sekundär)	Einzelblattverstellung	brakes (primary/secondary)
- Aktivierung	elektrisch	- activation
- Anordnung	Einzelblatt	- arrangement
- Bremsenart	aerodynamisch	- kind
- Betätigung	automatisch	- operation

11. Typenprüfung		Type approval
Prüfbehörde		testing authority
Aktenzeichen		reference

12. Informativer Teil		Type approval
Standort der vermessenen WEA	48683 Ahaus-Wüllen	location of measured WTG
Koordinaten des Standortes	GK RW: 25.67.856	coordinate of location
	GK HW: 57.68.850	
Seriennummer der WEA	701858	serial number of WTG



 28605 Aurich
 Stempel und Unterschrift des Herstellers
 stamp and signature of the manufacturer

Der Hersteller der Windenergieanlage bestätigt, dass die WEA, deren elektrische Eigenschaften in dem Prüfberichten Nr. WT3091/04 abgebildet ist, hinsichtlich ihrer technischen Daten mit den o.g. Positionen identisch ist.
 The manufacturer of the wind turbine generator system confirms that the WTG whose power curve is measured and depicted in the test report WT3091/04 is identical with the above entries with regard to its technical data.

Anlage E: Auszug aus dem Prüfbericht

Auszug aus dem Prüfbericht

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

Rev. 15 vom 01. Januar 2004 (Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie e.V. Stresemannplatz 4, D-24103 Kiel)

Auszug aus dem Prüfbericht 28277-1.004 zur Schallemission der Windenergieanlage vom Typ ENERCON E-70 E4												
Allgemeine Angaben						Technische Daten (Herstellerangaben)						
Anlagenhersteller:		ENERCON GmbH				Nennleistung (Generator):		2.000 kW („Betrieb I“)				
Seriennummer:		701858				Rotordurchmesser:		71 m				
WEA-Standort (ca.):		48683 Ahaus-Wüllen				Nabenhöhe über Grund:		114 m				
Standortkoordinaten		RW: 25.67.856				Turmbauart:		Rohrturm (Fertigbeton)				
		HW: 57.68.850				Leistungsregelung:		Pitch				
Ergänzende Daten zum Rotor (Herstellerangaben)						Erg. Daten zu Getriebe und Generator (Herstellerang.)						
Rotorblatthersteller:		ENERCON				Getriebehersteller:		entfällt				
Typenbezeichnung Blatt:		70-4				Typenbezeichnung Getriebe:		entfällt				
Blatteinstellwinkel:		Variabel				Generatorhersteller:		ENERCON GmbH				
Rotorblattanzahl:		3				Typenbezeichnung Generator:		E-70				
Rotordrehzahlbereich:		6 - 20 U/min				Generatormenndrehzahl:		6 – 20 U/min				
Berechnete Leistungskennlinie ENERCON E-70 E4; berechnet durch ENERCON (Januar 2004)												
	Referenzpunkt					Schallemissions- Parameter	Bemerkungen					
	Normierte Wind- geschwindigkeit in 10 m Höhe		Elektrische Wirkleistung									
Schalleistungs-Pegel $L_{WA,P}$	5 ms ⁻¹		445 kW			94,1 dB(A) *	1)					
	6 ms ⁻¹		845 kW			99,3 dB(A)	1)					
	7 ms ⁻¹		1275 kW			100,6 dB(A)	2)					
	8 ms ⁻¹		1780 kW			101,6 dB(A)	2)					
	8,9 ms ⁻¹		1948 kW			101,9 dB(A)	2)					
Tonzuschlag für den Nahbereich K_{TN}	5 ms ⁻¹		445 kW			0 dB						
	6 ms ⁻¹		845 kW			0 dB						
	7 ms ⁻¹		1275 kW			0 dB						
	8 ms ⁻¹		1780 kW			0 dB						
	8,9 ms ⁻¹		1948 kW			0 dB						
Impulszuschlag für den Nahbereich K_{IN}	5 ms ⁻¹		445 kW			0 dB						
	6 ms ⁻¹		845 kW			0 dB						
	7 ms ⁻¹		1275 kW			0 dB						
	8 ms ⁻¹		1780 kW			0 dB						
	8,9 ms ⁻¹		1948 kW			0 dB						
Terz-Schalleistungspegel für $v_{10} = 8,9 \text{ ms}^{-1}$ in dB(A) entsprechend 95 % der Nennleistung												
Frequenz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
$L_{WA,P,95\%}$	76,9	79,2	82,5	84,6	87,9	89,8	86,3*	88,9	90,1	91,3	91,2	92,2
Frequenz	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
$L_{WA,P,95\%}$	91,7	92,7	91,8	89,7	86,5	82,5*	79,3*	73,8*	72,8**	71,0**	70,7**	70,1**
Oktav-Schalleistungspegel für $v_{10} = 8,9 \text{ ms}^{-1}$ in dB(A) entsprechend 95 % der Nennleistung												
Frequenz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000				
$L_{WA,P,95\%}$	84,9	92,7	93,5	96,3	96,9	91,9	80,9*	75,4**				

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht gilt nur in Verbindung mit der Herstellerbescheinigung vom 21.10.2004.

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

Bemerkungen: Die normierte Windgeschwindigkeit von $v_{10} = 8,9 \text{ ms}^{-1}$ entspricht 95 % der Nennleistung. Da in diesem Fall in der berechneten Leistungskennlinie [6] höhere Werte als die Auslegungsnennleistung vorliegen, wird bis 95% des Maximalwertes in der Leistungskurve, also bis $P_{el,95\%} = 1.948 \text{ kW}$, ausgewertet.

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

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

1) Messung vom 07.10.2004

2) Messung vom 07.01.2005

Gemessen durch: KÖTTER Consulting Engineers
- Rheine

Datum:
14.03.2005



P. Wanning
i. V. Dipl.-Ing. Patrick Wanning

Arno Schallig
i. V. Dipl.-Ing. Arno Schallig

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