

**Schalltechnisches Gutachten gemäß
FGW TR.1 zur Windenergieanlage
ENERCON E-82 Ser.-Nr.: 823617,
im Windpark Weibern-Rieden**

- reduzierter Betriebsmodus (1.000 kW) -

Messung 2014-02-12

Vollständiger Bericht

2014-03-10

SE12028B1

**Schalltechnisches Gutachten gemäß FGW TR.1
zur Windenergieanlage
ENERCON E-82 Ser.-Nr.: 823617,
im Windpark Weibern-Rieden**

- reduzierter Betriebsmodus (1.000 kW) -

Bericht SE12028B1

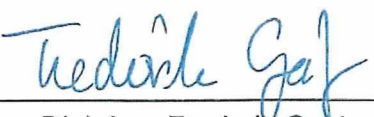
Standort bzw. Messort:	Weibern-Rieden, WEA 7, Ser.-Nr. 823617
-------------------------------	--

Auftraggeber:	DunoAir Windpark Planung GmbH Brotstrasse 1 D-54290 Trier
----------------------	---

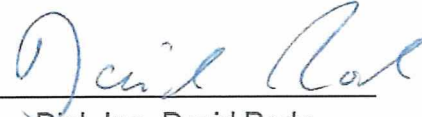
Auftragnehmer:	windtest grevenbroich gmbh Frimmersdorfer Str. 73a D-41517 Grevenbroich
-----------------------	---

Datum der Auftragserteilung:	2012-10-02	Auftragsnummer:	12 0168 07
-------------------------------------	------------	------------------------	------------

Prüfer:


Dipl.-Ing. Frederik Gast
Projektleiter

Bearbeiter:


Dipl.-Ing. David Rode
Gruppenleiter

Grevenbroich, 2014-03-10

Dieser Bericht darf auszugsweise nur mit schriftlicher Zustimmung der windtest grevenbroich gmbh vervielfältigt werden. Er umfasst insgesamt 38 Seiten inkl. der Anlagen.



1	AUFGABENSTELLUNG	4
2	DURCHFÜHRUNG DER MESSUNG	4
2.1	Messverfahren	4
2.2	Messobjekt	4
2.3	Messort	5
2.4	Messaufbau	5
2.5	Messablauf	8
2.6	Meteorologische Bedingungen	8
3	MESSERGEBNISSE	8
3.1	Subjektives Geräuschempfinden	8
3.2	Richtcharakteristik	9
3.3	Schalldruckpegel	9
3.4	Immissionsrelevanter Schallleistungspegel	12
3.5	Impulshaltigkeit	13
3.6	Pegel von Einzelereignissen	14
3.7	Tonhaltigkeitsanalyse	14
3.7.1	Verfahren der Tonhaltigkeitsanalyse	14
3.7.2	Ergebnisse der Tonhaltigkeitsanalyse	14
3.8	Turbulenzintensität	14
3.9	Betriebszustand während der Messung	15
4	MESSUNSICHERHEIT	16
4.1	Messunsicherheit Typ A	16
4.2	Messunsicherheiten Typ B	16
4.3	Abschätzung der Gesamtmessunsicherheit U_c	17
4.4	Messunsicherheiten für Tonhaltigkeiten	17
4.5	Messunsicherheiten für Terzspektren	17
5	ABWEICHUNGEN ZUR RICHTLINIE FGW TR.1	18
6	ZUSAMMENFASSUNG	19
7	LITERATURVERZEICHNIS	20
8	VERZEICHNIS DER VERWENDETEN FORMELZEICHEN UND ABKÜRZUNGEN	21
9	BEARBEITUNGSVERLAUF	22
10	ANHANG	23

Anhang 1	Lageplan
Anhang 2	Herstellerbescheinigung
Anhang 3	Leistungskennlinie
Anhang 4	Oktav- und Terzspektrum
Anhang 5	Schmalbandspektren



1 Aufgabenstellung

Die windtest grevenbroich gmbh (wtg) wurde 2012-10-02 von DunoAir Windpark Planung GmbH beauftragt, die charakteristische Geräuschabstrahlung der Windenergieanlage (WEA) E-82 mit einer Nabenhöhe von $H = 108,4$ m inkl. Fundament im leistungsreduzierten Betriebsmodus (1.000 kW) mit dem Standort Weibern-Rieden gemäß der aktuellen Technischen Richtlinie Teil 1 zu erfassen.

2 Durchführung der Messung

2.1 Messverfahren

Die Mess- und Beurteilungsmethoden basieren auf der Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen, Teil 1 „Bestimmung der Schallemissionswerte“ [1], Revision 18, Stand 2008-02-01. Gemäß dieser Richtlinie ist die Tonhaltigkeitsauswertung entsprechend der IEC 61400-11 [2] durchzuführen und nach DIN 45681 [3] mit einem Tonzuschlag K_{TN} zu bewerten.

Angegeben werden der immissionsrelevante Schallleistungspegel sowie die Ton- und Impulshaltigkeit im Nahfeld der WEA im Bereich von 6 m/s bis 10 m/s in 10 m Höhe (und evtl. bei 95 % der Nennleistung, sofern diese unterhalb einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 m Höhe erreicht wird).

2.2 Messobjekt

Beim zu vermessenden Objekt handelt es sich um eine im Dauerbetrieb betriebene Windenergieanlage des Typs E-82.

Akustisch betrachtet setzt sich eine WEA aus mehreren Einzelschallquellen zusammen. Zu nennen sind hier z. B. Komponenten wie Generator, Getriebe und Hydraulikpumpen (falls vorhanden), Transformatoren und Umrichter, welche sowohl über die Öffnungen im Maschinenhaus und im Turm direkt, als auch durch Körperschallübertragung über Maschinenhaus, Blätter und Turm Geräusche abstrahlen. Diese Geräusche können tonhaltig sein.

Aerodynamisch bedingte Geräusche, verursacht durch die Rotation der Rotorblätter, stellen eine weitere wesentliche Schallquelle dar. Diese Geräusche sind in der Regel breitbandig und in erster Linie von der Blattspitzengeschwindigkeit und den Blattprofilen bzw. dem Regelverhalten (Pitch oder Stall) abhängig.

Die vermessene WEA weist die in der Tab. 1 dargestellten Eigenschaften auf. Detaillierte Angaben finden sich in der Herstellerbescheinigung im Anhang.



Tab. 1: Technische Daten der Windenergieanlage

Hersteller	ENERCON GmbH
WEA-Typ	E-82
Seriennummer	823617
Standort	Weibern-Rieden
Nennleistung (reduziert)	2.000 kW (1.000 kW)
Leistungsregelung	pitch
Nabenhöhe ü. Grund	108,4 m
Turmbauart	zylindrisch- konischer Stahl- und Stahlbeton- turm
Anordnung Rotorblät- ter zum Turm	luv
Anzahl der Rotorblätter	3
Rotordurchmesser	82 m
Blatt-Typ	E-82-1CFK
Drehzahlbereich (Rotor)	6 – 15,5 min ⁻¹
Getriebe-Typ	entfällt
Generator-Typ	E-82 (Synchrongenerator)



Abb. 1: WEA E-82 (823617)

2.3 Messort

Die WEA befindet sich mit weiteren WEA verschiedenen Typs am Standort Weibern-Rieden. Die Umgebung der WEA wird landwirtschaftlich genutzt und war zum Zeitpunkt der Messung bestellt. Weiterhin besteht die Umgebung aus mehreren eingestreuten Waldgebieten. Der Windpark Weibern-Rieden besteht derzeit aus insgesamt 14 WEA (1x Seewind, 2x Nordex N90, 5x Vestas V47, 4x Enercon E-82, 2x Enercon E-70 E4). Die Anlagen befinden sich auf einer Anhöhe mit einer geodätischen Höhe von ca. 490 m – 550 m über NN. Südöstlich des Windparks in ca. 1.200 m Entfernung befindet sich die im Tal gelegene Ortschaft Rieden (ca. 400 m über NN). Westlich des Windparks in ca. 1.200 m Entfernung befindet sich die ebenfalls im Tal gelegene Ortschaft Weibern (ca. 410 m über NN).

2.4 Messaufbau

Die Anordnung der Messpunkte wurde gemäß [2] gewählt. Die Messung der Schallemissionen am Referenzpunkt wurde mit einem Mikrofon auf einer schallharten Platte mit einem Durchmesser von 1 m in einem Abstand zum Turmmittelpunkt der WEA von $R_{0, \text{gewählt}} = 134 \text{ m}$ durchgeführt. Der Referenzpunkt war in Mitwindrichtung zur WEA angeordnet (Abb. 2).

$$R_0 = H + \frac{D}{2} \pm 20\%$$

(H: Nabenhöhe; D: Rotordurchmesser)



Die Schalldruckpegel (Betriebs- bzw. Gesamtgeräusche und Fremdgeräusche) wurde mit Hilfe eines Mikrofons und eines Schallpegelmessers aufgezeichnet und für nachträgliche Analysen zeitgleich mit einem Audiorecorder aufgenommen. Bei der Messung wurde ein sekundärer halbkugelförmiger Windschirm (Spezifikation nach [2]) verwendet. Der Frequenzgang des Windschirms ist bekannt.

Der dämpfende Einfluss beträgt 0,2 dB und wurde im Folgenden berücksichtigt.

Die eingespeiste Wirkleistung der WEA wurde über ein spezielles Modul des Herstellers als Stromsignal aus der Anlagensteuerung entnommen, digitalisiert und mit Hilfe eines Analog-Digitalwandlers auf der Festplatte eines Mess-PCs gespeichert.

Da die WEA E-82 auf Grund der regelbaren Drehzahl in verschiedenen Betriebsmodi betrieben werden kann, ist nach [1] vorgesehen, zur eindeutigen Charakterisierung des Betriebszustandes die Drehzahl der WEA während der Messung mit aufzuzeichnen.

Das Drehzahlsignal und ebenfalls das Signal der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe wurden über ein spezielles Modul des Herstellers als Stromsignal aus der Anlagensteuerung entnommen, digitalisiert und ebenfalls auf der Festplatte des Messrechners gespeichert.

Die Windrichtung und Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe wurden von einem Anemometer und einer Windfahne im Abstand von 69 m zur WEA luvseitig erfasst (Abb. 3), digitalisiert und ebenfalls auf der Festplatte des Mess-PCs gespeichert.



Abb. 2: Aufbau Mikrofon

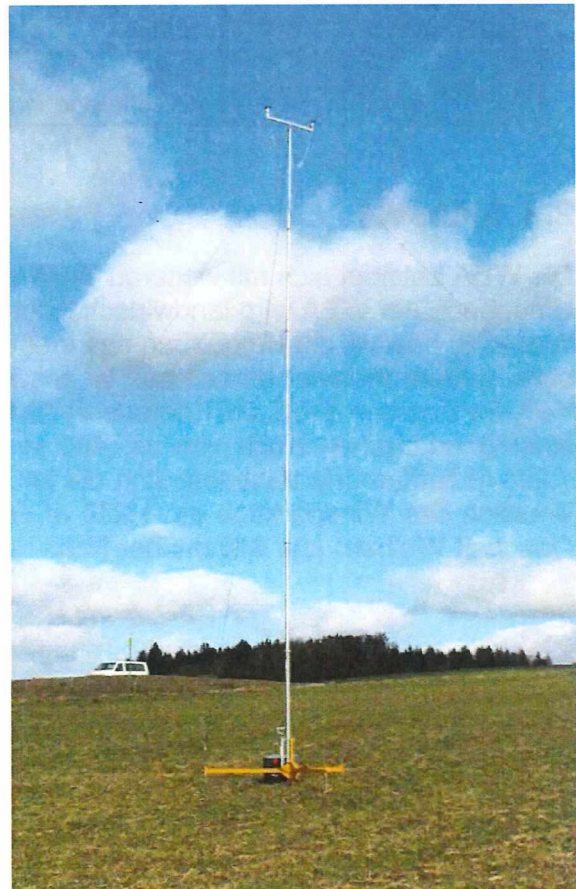


Abb. 3: Aufbau Windmessmast



Die Erfassung der meteorologischen, akustischen und elektrischen Signale wurde mit Hilfe einer Funkuhr (DCF77) synchronisiert. Die verwendeten Messgeräte zur Erfassung aller Signale sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Um eine einwandfreie Daten- und Messsicherheit zu gewährleisten, werden alle Messgeräte in den in [2] genannten Abständen geprüft.

Die gesamte akustische Messkette wurde mit einer Prüfschallquelle vor und nach der Messung kalibriert.

Tab. 2: Messgeräte

Geräte Akustik devices acoustic	Hersteller / Serien.-Nr. manufacturer / serial number	Kalibriert bis calibrated until	WTG-Nummer wtg number
Mikrofon microphone	Norsonic, Typ 1220, Serien-Nr. 28411 Norsonic, type 1220, serial-no. 28411	2015-02-13	WTGMT0034/2
Mikrofonvorverstärker preamplifier	Norsonic, Typ 1201, Serien-Nr. 21115 Norsonic, type 1201, serial-no. 21115	2015-02-13	WTGMT1874
Schallpegelmesser sound level meter	Norsonic 110, Serien-Nr. 19604 Norsonic 110, serial-no. 19604	2015-02-13	WTGMT0034/1
Digitaler Audiorekorder digital audio recorder	Tascam DR-05, 0241106 Tascam DR-05, 0241106		WTGMT2459
Akustischer Kalibrator acoustical calibrator	Brüel & Kjaer, Typ 4231, Serien-Nr. 2162810 Brüel & Kjaer, Typ 4231, serial-no. 2162810	2014-08-05	WTGMT0269
Prim. Windschirm primary wind screen	Norsonic Norsonic		
Sek. Windschirm secondary wind screen	windtest grevenbroich gmbh windtest grevenbroich gmbh		
Geräte Meteorologie meteorological devices	Hersteller / Serien.-Nr. manufacturer / serial number	Kalibriert bis calibrated until	WTG-Nummer wtg number
Messmast 10 m meteorological mast	Teksam Clark-Mast, Typ Cot 10-6/HP, Serien-Nr. GK94289 Teksam Clark-Mast, type Cot 10-6/HP, serial- no. GK94289		WTGMT1806
Anemometer anemometer	Thies, Typ: 4.3519.00.700, Serien-Nr. 08120909 Thies, type: 4.3519.00.700, serial no. 08120909	2014-08-29	WTGMT2417
Windfahne wind vane	Thies, Typ: 4.312.30.021A, SN: 0110039 Thies, type: 4.312.30.021A, SN: 0110039		WTGMT1780
Messumformer signal transformer	Weidmüller, Typ: WAZ4 PRO DC/DC Weidmüller, type: WAZ4 PRO DC/DC		WTGMT1402
Messumformer signal transformer	Weidmüller, Typ: WAZ5 PRO RTD Weidmüller, type: WAZ5 PRO RTD		WTGMT1467
Thermometer und Hygrometer thermometer and hygrometer	Thies, 1.1005.54.241, Serien-Nr. 1002-46 Thies, 1.1005.54.241, serial-no. 1002-46		WTGMT2152
Barometer barometer	Greisinger, Typ GDH 12AN Greisinger, type GDH 12AN		WTGMT0563
Geräte Hard- und Software devices hard- and software	Hersteller / Serien.-Nr. manufacturer / serial number	Kalibriert bis calibrated until	WTG-Nummer wtg number
Datenlogger data logger	IMC CS4108, Serien-Nr. 125918 IMC CS4108, serial-no. 125918		WTGMT2089
Datenlogger data logger	IMC SCI8, Serien-Nr. 888416 IMC SCI8, serial-no. 888416		WTGMT2090
Computer Computer	Toshiba Tecra R950-15F, Serien-Nr. XC130731 Toshiba Tecra R950-15F, serial-no. XC130731		WTGPC1146
Laserentfernungsmesser laser rangefinder	Yardage Pro, 1000 Serien-Nr. 027178 Yardage Pro, 1000 serial-no. 027178		WTGMT1050
Auswertesoftware data acquisition software	WTG Technik WTG Technik		
Auswertesoftware data acquisition software	IMC Famos Version 6.0 Rev. 3 IMC Famos version 6.0 rev. 3		



2.5 Messablauf

Die Messung wurde 2014-02-12 in der Zeit zwischen 10³⁰ Uhr und 15³⁰ Uhr durchgeführt. Für die Messung der Schallemissionen wurden die benachbarten WEA des Typs Nordex N90 (Ser.-Nr. 81761) und Enercon E-82 mit der Park-Nr. 8 (Ser.-Nr. 823618) und 9, außer Betrieb gesetzt. Die während der Messung in 10 m Höhe aufgetretenen Windgeschwindigkeiten lagen in einem Bereich zwischen 2 m/s und 9,5 m/s. Die abgegebene Wirkleistung der WEA lag zwischen 230 kW und 1050 kW. Während der Messungen des Betriebsgeräusches lief die WEA im Dauerbetrieb.

Bei der Messung wurden parallel der Schalldruckpegel, die elektrische Wirkleistung, die Generatordrehzahl, die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe und Windgeschwindigkeit sowie Windrichtung in 10 m Höhe gemessen und aufgezeichnet.

Störgeräusche, die während der Messung auftraten (z. B. Autoverkehr, landwirtschaftlicher Verkehr, Flugverkehr), wurden für die Ermittlung der Schallemissionswerte (Betrieb und Hintergrund) ausgeschlossen.

2.6 Meteorologische Bedingungen

Die meteorologischen Bedingungen wurden während der Messzeit kontinuierlich aufgezeichnet. Es herrschten die in Tabelle 3 dargestellten meteorologischen Bedingungen.

Tabelle 3: Meteorologische Bedingungen während der Messzeit

Bewölkung	heiter bis wolzig
Luftdruck	945 – 948 hPa
Lufttemperatur	4 – 6 °C
Luftfeuchte	70 – 85 %

3 Messergebnisse

Grundlage aller Auswertungen (Tabellen, Grafiken) ist eine Mittelungszeit von 60 sek. für alle aufgezeichneten Signale.

3.1 Subjektives Geräuschempfinden

Aerodynamisch bedingte Geräusche traten durch die Rotation der Rotorblätter auf. Diese sind nach subjektivem Hörempfinden derzeit als auffällig zu bewerten. Am Referenzpunkt waren keine relevanten tonalen oder impulshaltigen Betriebsgeräusche wahrnehmbar. Das Anlagengeräusch ist aufgrund der aerodynamischen Geräusche derzeit jedoch als auffällig einzustufen.

3.2 Richtcharakteristik

Es wurde subjektiv keine ausgeprägte Richtcharakteristik für die WEA E-82 festgestellt.



3.3 Schalldruckpegel

Zur Analyse der charakteristischen Schallwerte bei den verschiedenen Windgeschwindigkeiten wurden die gemessenen Schalldruckwerte, Leistungswerte und Windgeschwindigkeiten des Messzeitraums nach Status unterschieden und analysiert.

Es wurde unterschieden zwischen den Zeiträumen Anlagenbetrieb (Betriebs- bzw. Gesamtgeräusche, Status = 1) und Anlagenstillstand (Fremdgeräusche, Status = 0,5). Status = 0 bedeutet, dass die Geräuschdaten aufgrund von Störgeräuschen nicht für die Auswertung herangezogen werden dürfen (vgl. Abb. 4).

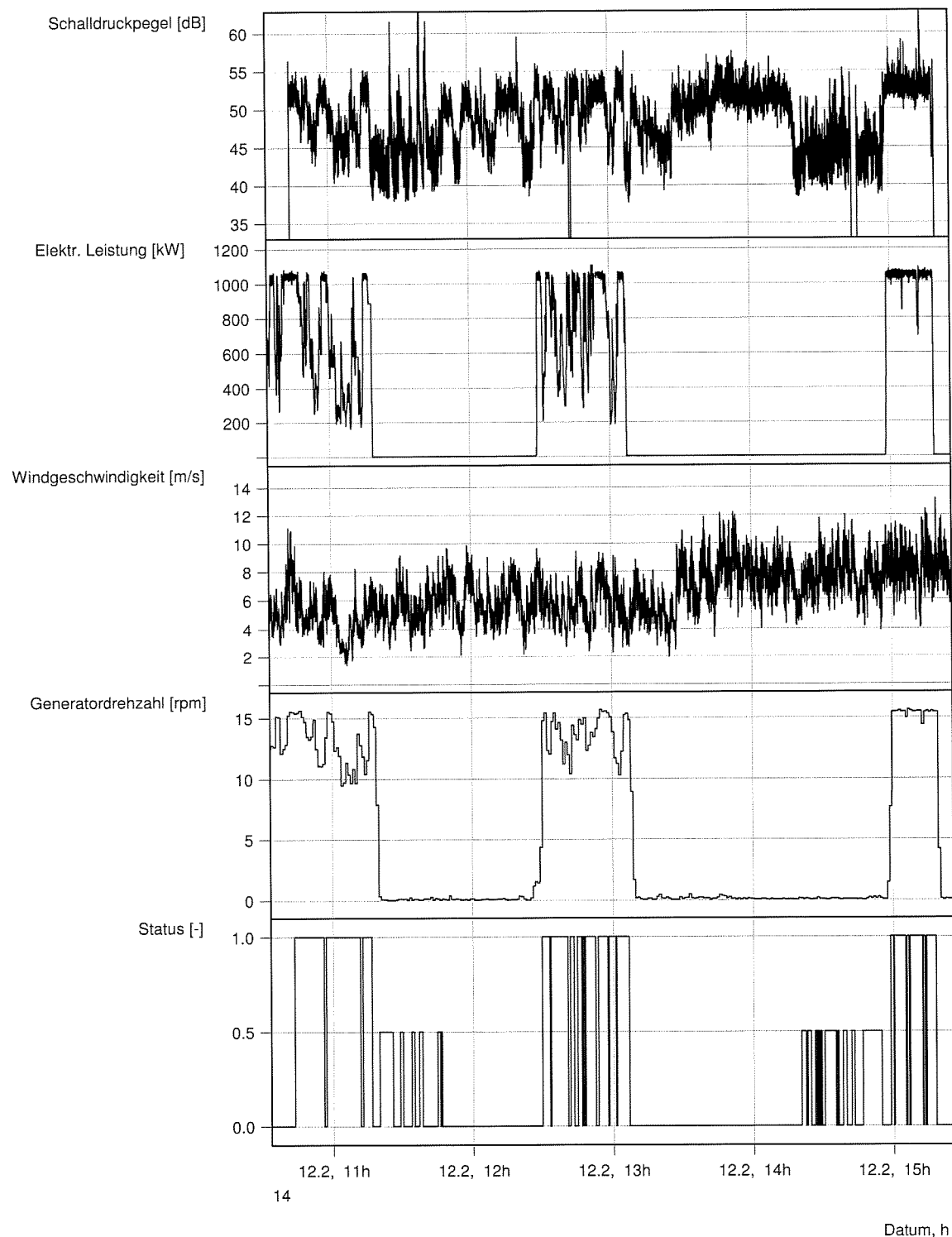


Abb. 4: Messwerte

Aus dem zeitlichen Verlauf der gemessenen Werte wurden je nach Status die Leistung, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Schalldruckpegel gefiltert. Das arithmetische Mittel der Windgeschwindigkeit und der Leistung sowie das energetische Mittel der Schalldruckpegel über jeweils 60 sek. waren Grundlage zur Ermittlung der Regressionen für die Schalldruckpegel Betrieb und Hintergrund (vgl. Abb. 5 bis Abb. 7).

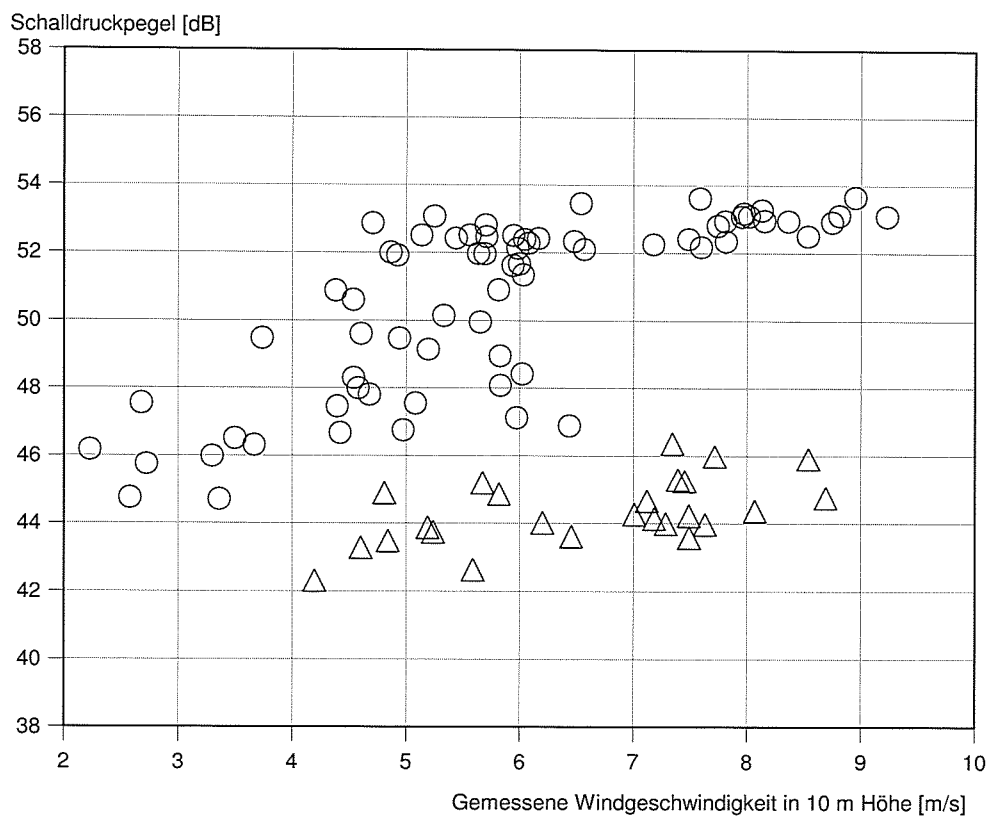


Abb. 5: Schalldruckpegel über gemessener Windgeschwindigkeit
(Betrieb O und Hintergrund Δ, 60 sek. Mittelwerte)

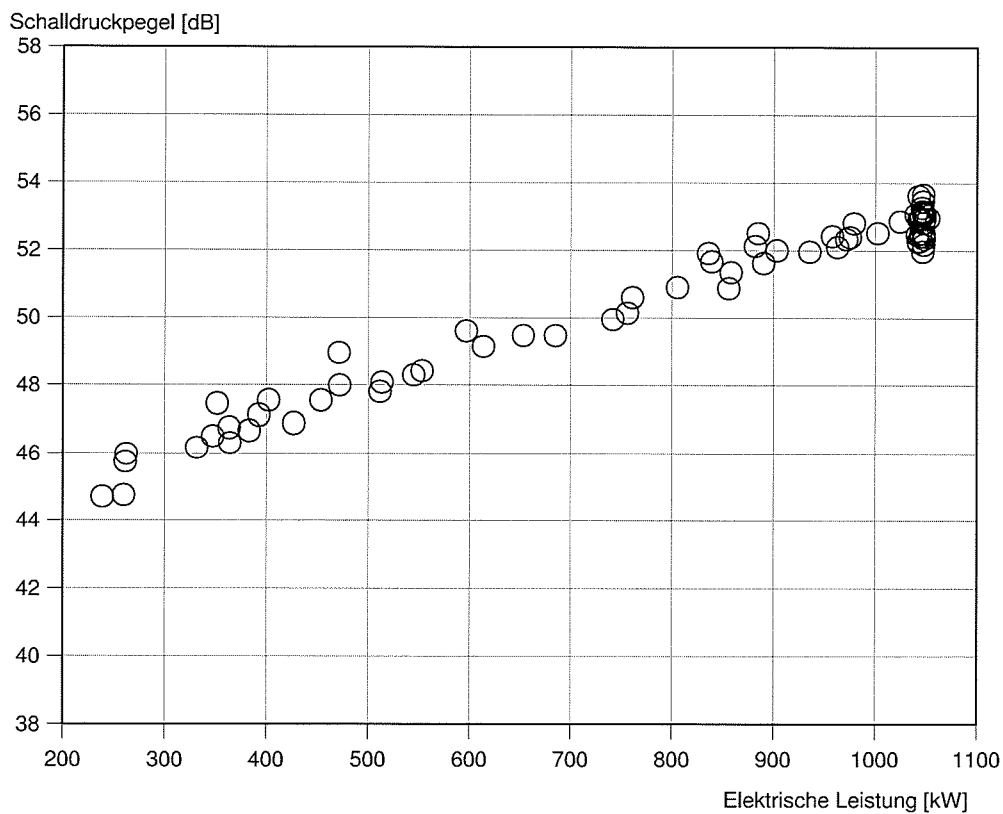


Abb. 6: Schalldruckpegel über elektrischer Leistung (60 sek. Mittelwerte)



3.4 Immissionsrelevanter Schalleleistungspegel

Aus der gemessenen Wirkleistung wurde mit Hilfe der zu Grunde gelegten Leistungskurve (vgl. Anhang), einer meteorologischen Korrektur gemäß [2] und einem logarithmischen Ansatz für das Windgeschwindigkeitsprofil (Rauhigkeitslänge $z_0 = 0,05$ m) auf die standardisierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe geschlossen.

$$v_{p10} = v_H \cdot \frac{\ln 10 / z_0}{\ln H / z_0} \quad \text{mit } z_0 = 0,05 \text{ m, } H = 108,4 \text{ m}$$

Aus der standardisierten Windgeschwindigkeit und der im Betrieb der WEA gemessenen Windgeschwindigkeit wurde der Korrekturfaktor κ für die gemessene Hintergrundwindgeschwindigkeit bestimmt.

$$\kappa = \frac{v_{p10}}{v_{mess,10}} \quad \text{und} \quad v_{mess,10,korr} = \kappa \cdot v_{mess,10}$$

Es wurde ein Korrekturfaktor $\kappa = 1,12$ zur Korrektur der gemessenen Hintergrundwindgeschwindigkeiten bestimmt. Daraus ergaben sich die in der folgenden Abbildung dargestellten Regressionen. Messwerte bei mehr als 95 % der Nennleistung sind in der Abb. 7 über ihre gemessene, mit dem Korrekturfaktor κ korrigierte Windgeschwindigkeit mit quadratischen Symbolen $\square$ dargestellt. Dabei entfallen gemäß [1] solche Messwerte, bei denen die korrigierte Windgeschwindigkeit unterhalb der Windgeschwindigkeit zu 95 % der Nennleistung liegt.

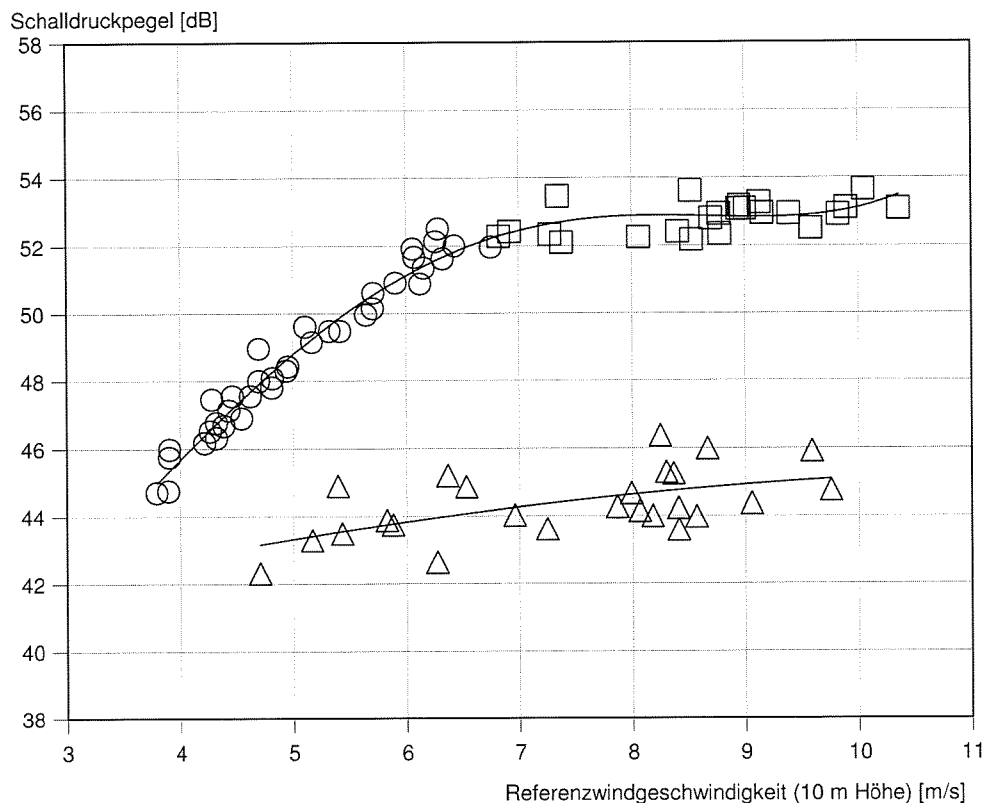


Abb. 7: Schalldruckpegel über standardisierter Windgeschwindigkeit (60 sek. Mittelwerte)



Regression Betrieb O: $41,94 - 5,218 \cdot X + 2,6993 \cdot X^2 - 0,34616 \cdot X^3 + 0,0139598 \cdot X^4$ [dB]

Regression Hintergrund Δ: $39,65 + 0,918 \cdot X - 0,0370 \cdot X^2$ [dB]

□ Messwerte größer 95%-Nennleistung

Zwischen den Regressionsgleichungen Schalldruckpegel Betrieb ($L_{Aeq,BG}$) und Schalldruckpegel Hintergrund ($L_{Aeq,HG}$) über der standardisierten Windgeschwindigkeit wurde der Störabstand bestimmt und anschließend der fremdgeräuschkorrigierte Schalldruckpegel ($L_{Aeq,c}$) für den Betrieb der WEA berechnet.

$$L_{Aeq,c} = 10 \lg [10^{(0,1 \cdot L_{Aeq,BG})} - 10^{(0,1 \cdot L_{Aeq,HG})}]$$

Aus dem fremdgeräuschkorrigierten Schalldruckpegel $L_{Aeq,c}$ wurde für die standardisierten Windgeschwindigkeiten von 6 m/s bis 10 m/s in 10 m Höhe der Schalleistungspegel L_{WA} der WEA berechnet.

$$L_{WA} = L_{Aeq,c} - 6 \text{ dB} + 10 \cdot \log(4\pi \cdot \frac{R_i^2}{1 \text{ m}^2}) \quad \text{dB}$$

$$R_i = \sqrt{(R_o + N_A)^2 + (H - h_A)^2}$$

$$R_o = 134 \text{ m}, N_A = 4,62 \text{ m}, H = 108,4 \text{ m}, h_A = 2 \text{ m}$$

Damit ergaben sich für die WEA E-82 in der vorliegenden Konfiguration die in der Tab. 4 dargestellten immissionsrelevanten Schalleistungspegel.

Tab. 4: Immissionsrelevanter Schalleistungspegel E-82, reduzierter Betriebsmodus (1.000 kW)

Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe (v_{p10})	BIN 6 5,5–6,5 m/s	6,8 m/s ¹⁾	BIN 7 6,5–7,5 m/s	BIN 8 7,5–8,5 m/s	BIN 9 8,5–9,5 m/s	BIN 10 ²⁾ 9,5–10,5 m/s
Gesamtgeräusch $L_{Aeq,BG}$ [dB]	51,1	52,3	52,5	52,9	52,9	53,1
Fremdgeräusch $L_{Aeq,HG}$ [dB]	43,8	44,2	44,3	44,6	44,9	44,9
Abstand ΔL [dB]	7,3	8,1	8,2	8,3	7,9	8,2
Betriebsgeräusch $L_{Aeq,c}$ [dB]	50,2	51,6	51,7	52,2	52,1	52,4
Schalleistungspegel L_{WA} [dB]	100,0	101,4	101,5	102,0	101,9	102,2
Elektrische Leistung P [kW]	838	950	962	991	1.000	1.000

1) 95 % Nennleistung

2) Wenige Messwerte für das Fremdgeräusch. Wert für HG aus BIN9 übernommen: Schalleistungspegel wurde abgeschätzt (worst-case Betrachtung).

Anmerkung 1: Aufgrund der derzeit untypischen aerodynamischen Betriebsgeräusche der WEA, ist nicht auszuschließen, dass bei noch höheren Windgeschwindigkeiten eine weitere Erhöhung der Schallemissionswerte erfolgt.

3.5 Impulshaltigkeit

Vom Gutachter wurden keine impulsartigen Auffälligkeiten festgestellt (subjektive Beurteilung nach [1]). Somit wurde hier keine detaillierte Auswertung nach DIN 45645-1 [4] vorgenommen.



3.6 Pegel von Einzelereignissen

Einzelereignisse wie das Anfahren oder Abschalten der Anlage, Quietschen der Bremsen oder Fahren des Azimut, die den Mittelungspegel um mehr als 10 dB überschritten, wurden bei der Messung nicht festgestellt.

3.7 Tonhaltigkeitsanalyse

Die Tonhaltigkeitsauswertung ist gemäß Technischer Richtlinie [1] nach IEC 61400-11 [2] durchzuführen und nach DIN 45681 [3] mit einem Tonzuschlag K_{TN} zu bewerten.

3.7.1 Verfahren der Tonhaltigkeitsanalyse

Das aufgezeichnete Geräusch (Hintergrund und Betrieb) wird zur Bestimmung der Frequenzzusammensetzung mit 40 kHz unter Verwendung eines Antialiasing-Filters mit einer Grenzfrequenz von 20 kHz digitalisiert und einer Fastfourieranalyse (FFT) unterzogen.

Je Windgeschwindigkeitsklasse (BIN) werden für das Betriebsgeräusch und das Hintergrundgeräusch jeweils zwölf Aufnahmen mit einer Länge von je 10 sek. der FFT zu Grunde gelegt. Die Frequenzauflösung beträgt 2 Hz. Für die FFT wurde ein Hanning Fenster verwendet.

Nach energetischer Mittelung der zwölf Differenzpegel ΔL und Berücksichtigung des Audibilitätsmaßes (L_a) wird ein Tonhaltigkeitszuschlag (K_{TN}) für den Nahbereich der Windenergieanlage nach [3] je BIN vergeben.

3.7.2 Ergebnisse der Tonhaltigkeitsanalyse

Das von der E-82 analysierte Betriebsgeräusch weist im Spektrum keine tonale Komponente gemäß [2] auf, sodass auf eine detaillierte Darstellung an dieser Stelle verzichtet wird. Die Spektren sind im Anhang 5 dargestellt.

3.8 Turbulenzintensität

Die Turbulenzintensität wurde gemäß [2] aus drei repräsentativen 10 Minuten Zeitabschnitten der Windgeschwindigkeit und der zugehörigen Standardabweichung ermittelt. Die Turbulenzintensität beträgt im Durchschnitt 26 %. Dieser Wert wurde in 10 m Höhe gemessen und ist nicht direkt mit Werten an anderer Stelle, z. B. in Standortgutachten, zu vergleichen.



3.9 Betriebszustand während der Messung

In Abb. 8 wurde die Generatordrehzahl über der Leistung aufgetragen. Dieser Messdatenverlauf charakterisiert den eingestellten Betriebsmodus der WEA und kann mit Sollkurven des Herstellers verglichen werden.

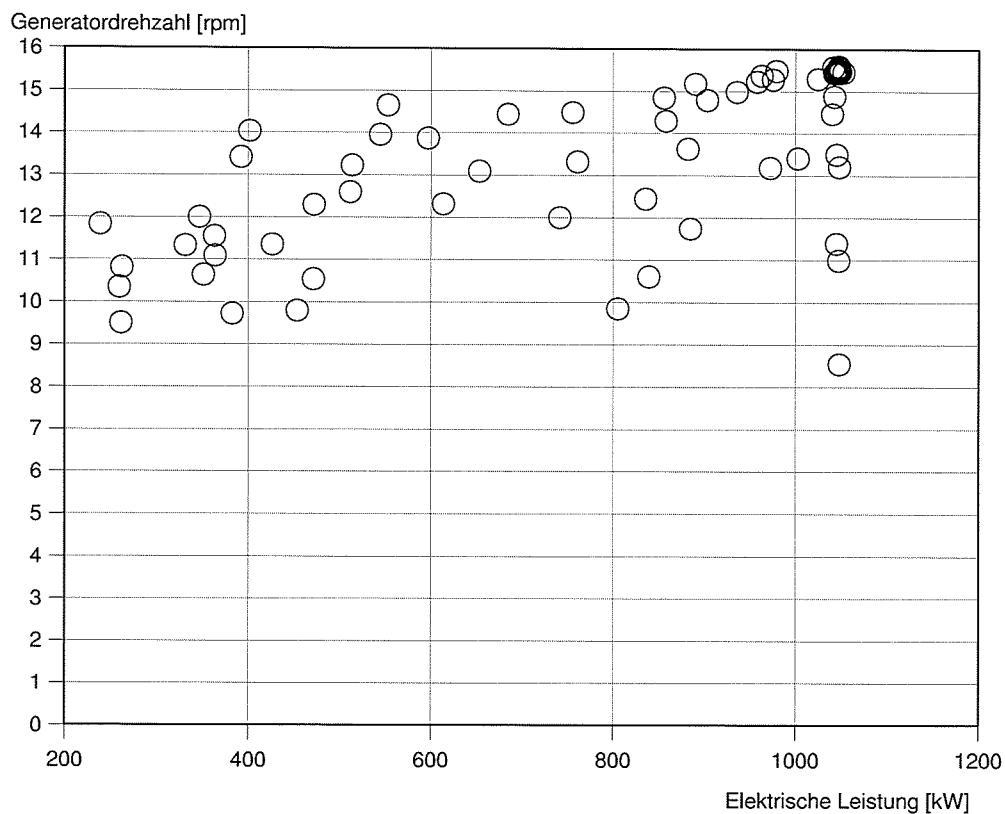


Abb. 8: Drehzahl über Leistung (60 sek. Mittelwerte)



4 Messunsicherheit

Die Messunsicherheit wird bei Schallemissionsmessungen an WEA gemäß [2] abgeschätzt. Sie setzt sich zusammen aus statistischen Unsicherheiten (Typ A) und systematischen Abweichungen (Typ B).

4.1 Messunsicherheit Typ A

Aus den gemessenen Schalldruckpegeln und den berechneten Schalldruckpegeln (Regressionsanalyse) wurde die Messunsicherheit des Typs A in 10 m Höhe bestimmt.

Die Gleichung für U_A in [1] beschreibt die Standardabweichungen der ermittelten Regressionswerte für das Betriebs- und Fremdgeräusch.

$$U_A = \sqrt{\frac{\sum (y - y_{est})^2}{N(N-2)}}$$

Die Unsicherheit des gemessenen fremdgeräuschkorrigierten Anlagenpegels $U_{A,s}$ wird wie folgt berechnet:

$$U_{A,s} = \sqrt{\frac{(U_{A,BG} * 10^{0,1 * L_{BG}})^2 + (U_{A,HG} * 10^{0,1 * L_{HG}})^2}{10^{0,1 * L_{WEA}}}}$$

Tab. 5: Messunsicherheiten Typ A

Stand. Windgeschwindigkeit	BIN 6	BIN 7	BIN 8	BIN 9	BIN 10
Messunsicherheit $U_{A,s}$ [dB]	0,22	0,29	0,06	0,24	0,25

4.2 Messunsicherheiten Typ B

Messunsicherheiten des Typs B wurden nach Tab. 6 abgeschätzt.

Tab. 6: Messunsicherheiten Typ B

Messunsicherheiten Typ B	Fehlergrenzen $\pm a$	Wahrscheinlicher Fehler	$U_a = a / \sqrt{3}$
Akustischer Kalibrator U_{B1}	$\pm 0,3$ dB		0,17 dB
Schallpegelmesser U_{B2}	$\pm 0,3$ dB		0,17 dB
Schallharte Platte U_{B3}	$\pm 0,5$ dB		0,29 dB
Messabstand U_{B4}	$\pm 0,1$ dB		0,06 dB
Luftimpedanz U_{B5}	$\pm 0,2$ dB		0,12 dB
Turbulenz U_{B6}	$\pm 0,7$ dB		0,40 dB
Windgeschwindigkeit U_{B7}	$\pm 0,3$ dB		0,17 dB
Windrichtung U_{B8}	$\pm 0,5$ dB		0,29 dB



4.3 Abschätzung der Gesamtmessunsicherheit U_c

Aus der berechneten Messunsicherheit des Typs A und den abgeschätzten Messunsicherheiten des Typ B ergibt sich nach [2] die kombinierte Gesamtmessunsicherheit U_c :

$$U_c = \sqrt{U_{A,s}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2 + U_{B3}^2 + U_{B4}^2 + U_{B5}^2 + U_{B6}^2 + U_{B7}^2 + U_{B8}^2}$$

Die ermittelten Gesamtmessunsicherheiten U_c sind in Tab. 7 dargestellt:

Tab. 7: Gesamtmessunsicherheit U_c für den Schallleistungspegel

Windgeschwindigkeit auf 10m Höhe (v_{p10})	BIN 6 5,5-6,5 m/s	BIN 7 6,5-7,5 m/s	BIN 8 7,5-8,5 m/s	BIN 9 8,5-9,5 m/s	BIN 10 9,5-10,5 m/s
Gesamtmessunsicherheit U_c [dB]	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

4.4 Messunsicherheiten für Tonhaltigkeiten

Bei der Tonhaltigkeit ist U_A für jeden Einzelton der Fehler des Mittelwertes aus den maximalen Tonpegeln. Der Wert von U_{B3} kann mit 1,7 dB abgeschätzt werden. Da es sich bei dem angegebenen Wert $\Delta L_{a,k}$ um eine Differenz handelt und des Weiteren die Windgeschwindigkeit hier von zweitrangiger Bedeutung ist, können die Werte von U_{B1} , U_{B4} und U_{B6} geringer angenommen werden als beim Schallleistungspegel L_{WA} .

Da keine tonale Komponente gemäß Verfahren nach [2] ermittelt werden konnte, wird an dieser Stelle auf eine Ausweisung von Unsicherheiten verzichtet.

4.5 Messunsicherheiten für Terzspektren

Bei der Betrachtung von Terzbänder gibt U_A die Abweichung zum jeweiligen Frequenzbandmittlungspegels in jedem Frequenzband an, welcher aus der Standardabweichung mit dem Nenner $\sqrt{N-1}$ berechnet wurde, wobei N die Anzahl der gemessenen Spektren ist. Der Wert für U_{B3} muss hier im Vergleich zur Messunsicherheitsbetrachtung des Schallleistungspegels L_{WA} größer eingeschätzt werden und liegt typischerweise bei 1,7 dB. Die Gesamtunsicherheiten U_c für die Frequenzbandmittlungspegel der Terzspektren sind in den Tabellen im Anhang 4 dargestellt.



5 Abweichungen zur Richtlinie FGW TR.1

- [1] Die elektrische Wirkleistung wurde über eine Schnittstelle gemessen.
- [2] Für die Bestimmung des immissionsrelevanten Schallleistungspegels in BIN10, lagen für die Betriebsgeräusche nicht genügend Messwerte gemäß [2] vor, sodass der Schallleistungspegel abgeschätzt wurde.
- [3] Für die Beschreibung der Fremdgeräusche in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit, wurde eine Regression 2. Ordnung verwendet.



6 Zusammenfassung

Im Auftrag der DunoAir Windpark Planung GmbH wurde von der Firma windtest grevenbroich gmbh die Geräuschabstrahlung der WEA E-82 mit einer Nabenhöhe von $H = 108,4$ m inkl. Fundament nach Technischer Richtlinie für Windenergieanlagen der FGW [1] untersucht.

Grundlage für den Messaufbau ist dabei die IEC 61400-11 [2]. Für die Bestimmung der Tonhaltigkeitszuschläge im Nahfeld der WEA ist die IEC 61400-11 bzw. die DIN 45681 [3] die Grundlage.

Die Messung wurde 2014-02-12 in Weibern-Rieden an der WEA 7 des Typs E-82 mit der Ser.-Nr. 823617, im leistungsreduzierten Betriebsmodus (1.000 kW) durchgeführt.

Eine ausgeprägte Richtungscharakteristik des Anlagengeräusches ist bei dieser Windenergieanlage nicht festgestellt worden. Einzelereignisse, die den Mittelungspegel im Betrieb der WEA um mehr als 10 dB überschreiten, traten nicht auf.

Bezüglich des Schallleistungspegels L_{WA} wurde für diese Messung eine typische Messunsicherheit von $U_C = 0,7$ dB ermittelt.

Die Tonhaltigkeitsanalyse nach IEC 61400-11 [2] für das in 134 m Entfernung gemessene Anlagengeräusch ergab nach DIN 45681 [3] keinen Tonhaltigkeitszuschlag für die hier analysierten BINs.

Das Anlagengeräusch ist derzeit aufgrund untypischer aerodynamischer Betriebsgeräusche als auffällig einzustufen.

Nach Auswertung der gemessenen Werte in den einzelnen BINs ergeben sich für Tab. 8 aufgeführten Pegel.

Tab. 8: Messergebnisse für die WEA E-82, reduzierter Betriebsmodus (1.000 kW)

Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe (v_{p10})	BIN 6 5,5–6,5 m/s	6,8 m/s ¹⁾	BIN 7 6,5–7,5 m/s	BIN 8 7,5–8,5 m/s	BIN 9 8,5–9,5 m/s	BIN 10 9,5–10,5 m/s
Schallleistungspegel L_{WA} [dB]	100,0	101,4	101,5	102,0	102,5	103,0
Tonzuschlag K_{TN} [dB]	0	0 ²⁾	0	0	0	0
Impulshaltigkeit K_{IN} [dB]	0	0 ²⁾	0	0	0	0
Elektrische Leistung P [kW]	838	950	962	991	1.000	1.000

1) 95 % Nennleistung

2) Übernahme des Wertes aus BIN 7, da der 95 % Punkt innerhalb dieser BIN-Grenzen liegt.

Es wird versichert, dass das Gutachten gemäß dem Stand der Technik, unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen erstellt wurde.

Die in diesem Bericht aufgeführten Ergebnisse beziehen sich nur auf diese Anlage (vgl. Herstellerbescheinigung im Anhang).

Grevenbroich, 2014-03-10


Dipl.-Ing. David Rode
Gruppenleiter





7 Literaturverzeichnis

- [1] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Revision 18, Stand 01.02.2008
Teil1: Bestimmung der Schallemissionswerte, Herausgeber: Fördergesellschaft
Windenergie e. V.
- [2] IEC 61400-11:2002 + A1:2006,
Wind turbine generator systems- Part 11: Acoustic noise measurement techniques
- [3] DIN 45681
Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages
für die Beurteilung von Geräuschimmissionen
August 2006
- [4] DIN 45645, Teil 1
Ermittlung von Beurteilungspegel aus Messungen, Teil1: Geräuschimmissionen in
der Nachbarschaft
Juli 1996.



8 Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Abkürzungen

ΔL	- Pegeldifferenz	dB
ΔL_k	- energetisches Mittel	dB
$\Delta L_{a,k}$	- Tonalität	dB
BG	- Betriebsgeräusch	-
D	- Rotordurchmesser	m
f_T	- Tonfrequenz	Hz
H	- Höhe Rotormittelpunkt (Nabenhöhe)	m
h_A	- Aufpunkthöhe (bei Messungen gleich der Mikrofonhöhe)	m
HG	- Hintergrundgeräusch	-
$h_{N, \text{neu}}$	- Nabenhöhe für gleiche WEA, aber andere Nabenhöhe als die vermessene	m
$h_{N, \text{vermessen}}$	- Nabenhöhe der vermessenen WEA	m
K	- Korrekturfaktor	-
K_{IN}	- Impulshaltigkeit	dB
K_{TN}	- Tonzuschlag im Nahfeld nach DIN 45681	dB
L_a	- Audibilitätsmaß	-
L_{Aeq}	- äquivalenter Dauerschallpegel, A-bewertet	dB
$L_{Aeq,c}$	- hintergrundkorrigierter Schalldruckpegel	dB
$L_{Aeq,mess}$	- gemessene Schalldruckpegel	dB
$L_{Aeq,reg}$	- aus Regression berechnete Schalldruckpegel	dB
L_T	- Tonpegel	dB
L_{WA}	- A-bewerteter Schallleistungspegel	dB
N	- Anzahl Werte	-
N_A	- Nabenabstand Rotormittelpunkt - Turmmitte	m
N_{Gen}	- Generatordrehzahl	min ⁻¹
N_{Rot}	- Rotordrehzahl	min ⁻¹
P	- abgegebene elektrische Wirkleistung	kW
R_0	- Messradius (= projizierter Abstand zwischen Schallquelle und Messpunkt)	m
R_i	- Abstand zwischen Schallquelle und Messpunkt (Hüllflächenradius)	m
U_a, U_b, U_c	- Messunsicherheiten	dB
v_H	- Windgeschwindigkeit aus Leistungskurve in Nabenhöhe	m/s
$v_{mess,10}$	- gemessene Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	m/s
$v_{mess,10,korr}$	- korrigierte gemessene Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	m/s
v_{p10}	- standardisierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	m/s
$v_{10,i}$	- Windgeschwindigkeit der vermessenen WEA in 10 m Höhe	m/s
$v_{10,ref}$	- ganzzahlige Windgeschwindigkeit der WEA mit neuer Nabenhöhe	m/s
WEA	- Windenergieanlage	-
z_0	- Rauigkeitslänge	m



9 Bearbeitungsverlauf

Fassung	Datum	Inhalt
SE12028B1	2014-03-10	Schalltechnisches Gutachten gemäß FGW TR.1 zur Wind- energieanlage ENERCON E-82 Ser.-Nr.: 823617, im Windpark Weibern-Rieden - reduzierter Betriebsmodus (1.000 kW) -

Umlauf	Kopie Nr.
Auftraggeber	1
Projektordner	2
QM-Ablage	3

Kopie Nr.: 1



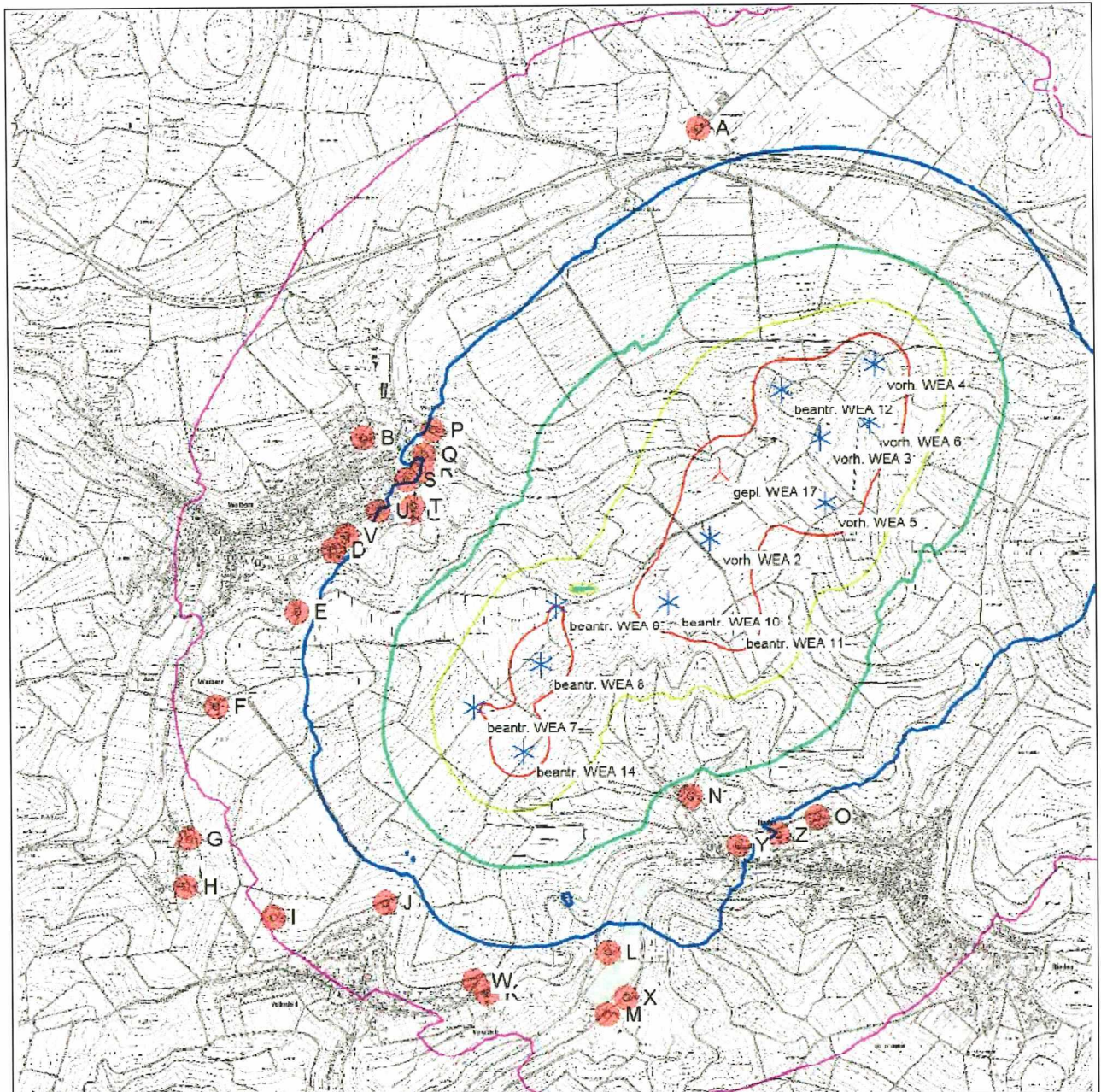
10 Anhang

- Anhang 1 Lageplan
- Anhang 2 Herstellerbescheinigung
- Anhang 3 Verwendete Leistungskurve
- Anhang 4 Oktav- und Terzspektrum
- Anhang 5 Schmalbandspektren



Lageplan der E-82 (WEA 7)

Quelle: Schallimmissionsprognose PK2008003-SLG-NT2 bis NT4 von
2010-07-26 (Datum letzter Nachtrag), Fa. Ingenieurbüro PLANKon





Herstellerbescheinigung, Kurzfassung für akustische Nachmessungen
Manufacturer's certificate, Short version for control measurements of acoustic noise

1. Allgemeine Informationen – General informations			
Anlagenhersteller – turbine manufacturer :	ENERCON		
Spezifische Anlagenbezeichnung – specific turbine type name :	E-82 E1		
Seriennummer der vermessenen WEA – serial number of tested WT :	823617		
Standort der vermessenen WEA – location of tested WT :	56745 Weibern - Rieden		
Koordinaten des Standortes (WGS 84/UTM zone 32N) – coordinates of turbine location (WGS 84/UTM zone 32N):	R: 369011/ H: 5584839		
Rotorachse – rotor axis :	horizontal – horizontal ☒	vertikal – vertical ☐	
Nennleistung – rated power :	2,0 MW		
Vermessene Leistung – measured power :	1,0 MW		
Leistungsregelung – power control :	pitch ☒	stall ☐	
Nabenhöhe über Grund – hub height above ground :	108,38 m		
Nabenhöhe über Fundamentflansch – hub height above top of foundation flange :	108,18 m		
Nennwindgeschwindigkeit – rated wind speed :	12 m/s		
Ein- / Abschaltwindgeschwindigkeit – cut-in / cut out wind speed :	2,5 m/s	/	28 – 34 m/s
2. Rotor – Rotor			
Durchmesser – rotor diameter :	82 m		
Anzahl der Blätter – number of blades :	3		
Nabenart – kind of hub :	pendelnd – teetered ☐	starr – rigid ☒	
Anordnung zum Turm – position relative to tower :	luv – upwind ☒	lee – downwind ☐	
Drehzahlbereich / Drehzahlstufen – rot. speed range / stages of rot. speed:	6 – 15,5 Upm (Betrieb 1 MW) – 6 – 15,5 rpm (mode 1 MW)		
Rotorblatteinstellwinkel – rotor blade pitch setting :	variabel – variable		
Konuswinkel – cone angle :	0°		
Achsneigung – tilt angle :	5°		
Horizontaler Abstand Rotormittelpunkt – Turmmittellinie – horiz. distance between centre of rotor and tower centre line :	4,62 m		
3. Rotorblatt – Rotor blade			
Hersteller – manufacturer :	ENERCON		
Typenbezeichnung – type :	E82-1CFK		
Seriennummern der Rotorblätter – serial numbers of rotor blades :	1: AE3378	2: AE3373	3: AE3377
Zusatzkomponenten (z.B. stall strips, Vortex-Gen., Turbulatoren) – additional components (e.g. stall strips, vortex gen., trip strips):	keine – none		
4. Getriebe – Gearbox			
Hersteller – manufacturer :	entfällt – non existent		
Typenbezeichnung – type :	entfällt – non existent		
Seriennummer des Getriebes – serial number of gear box :	entfällt – non existent		
Ausführung – design :	entfällt – non existent		
Übersetzungsverhältnis – gear ratio :	entfällt – non existent		
5. Generator – Generator			
Hersteller – manufacturer :	ENERCON		
Typenbezeichnung – type :	E-82		
Seriennummer des Generators – serial number of generator :	Rotor: CF323-12-2085	Stator: CM429-2-0857	
Anzahl – number of generators :	1		
Art – design :	synchron, Ringgenerator		
Nennleistung(en) – rated power value(s) :	2,0 MW		
Drehzahlbereich / Drehzahlstufen – rot. speed range / stages of rot. speed:	6 – 18 Upm (Betrieb 2 MW) – 6 – 18 rpm (mode 2 MW)		
6. Turm – Tower			
Ausführung – design :	Gitter – lattice ☐	Rohr – tubular ☒	zylindrisch – cylindrical ☐ konisch – conical ☒
Material – material :	Stahl und Fertigteilbeton – Steel / Precast concrete		
Durchmesser - Turmfuß – foot of the tower diameter:	8,83 m		
7. Betriebsführung / Regelung – Control system			
Art der Leistungsregelung – kind of power control :	Pitch		
Antrieb der Leistungsregelung – actuation of power control :	elektrisch – electrical		
Hersteller der Betriebsführung / Regelung – manufacturer of control system :	ENERCON		
Typenbezeichnung der Betriebsführung / Regelung – control system type :	CS82a		
Bezeichnung der verwendeten Steuerungskurve – designation of used control setup :	ENERCON E-82 Betrieb 1,0MW		
Bezeichnung / Messbericht der verwendeten Leistungskurve – designation of power curve report :	Leistungskennlinie berechnet E-82 E1 1.0 MW Vers.1.0		

ENERCON
 ENERCON GmbH
 Dreekamp 5
 26605 Aurich

Magdeburg, 25.02.2014

Stempel und Unterschrift des Herstellers
 manufacturer's stamp and signature

Der Hersteller der Windenergieanlage bestätigt, dass die WEA, deren Schallemission, Leistungskurve und elektrische Eigenschaften in den Prüfberichten abgebildet sind, die o. g. Eigenschaften aufweist. – The manufacturer of the wind turbine (WT) confirms that the WT whose noise level, performance curve and power quality is measured and depicted in the test reports shows the characteristics given above.



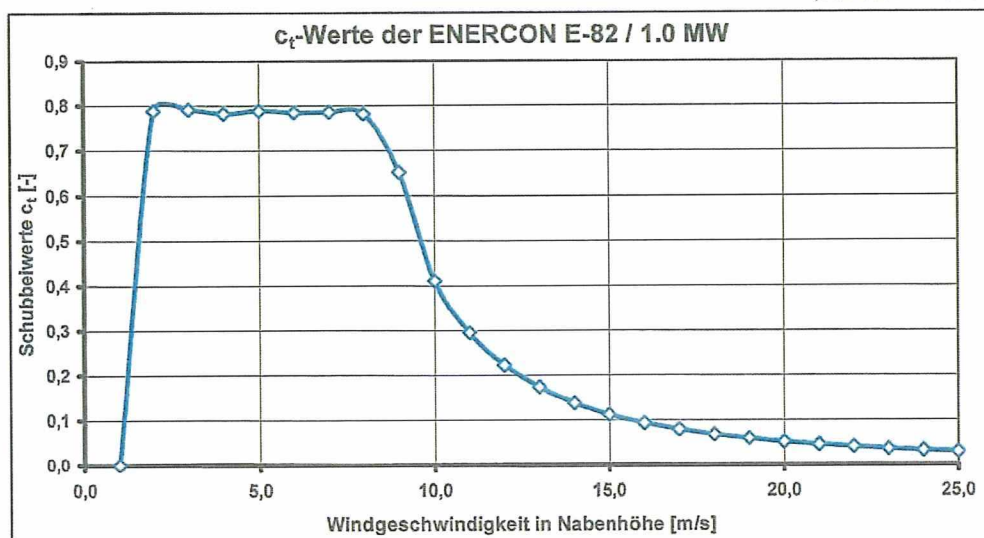
Verwendete Leistungskennlinie E-82

	Schubbeiwerte ENERCON E-82 – nennleistungsreduzierter Betrieb	Seite 1 von 1
---	--	------------------

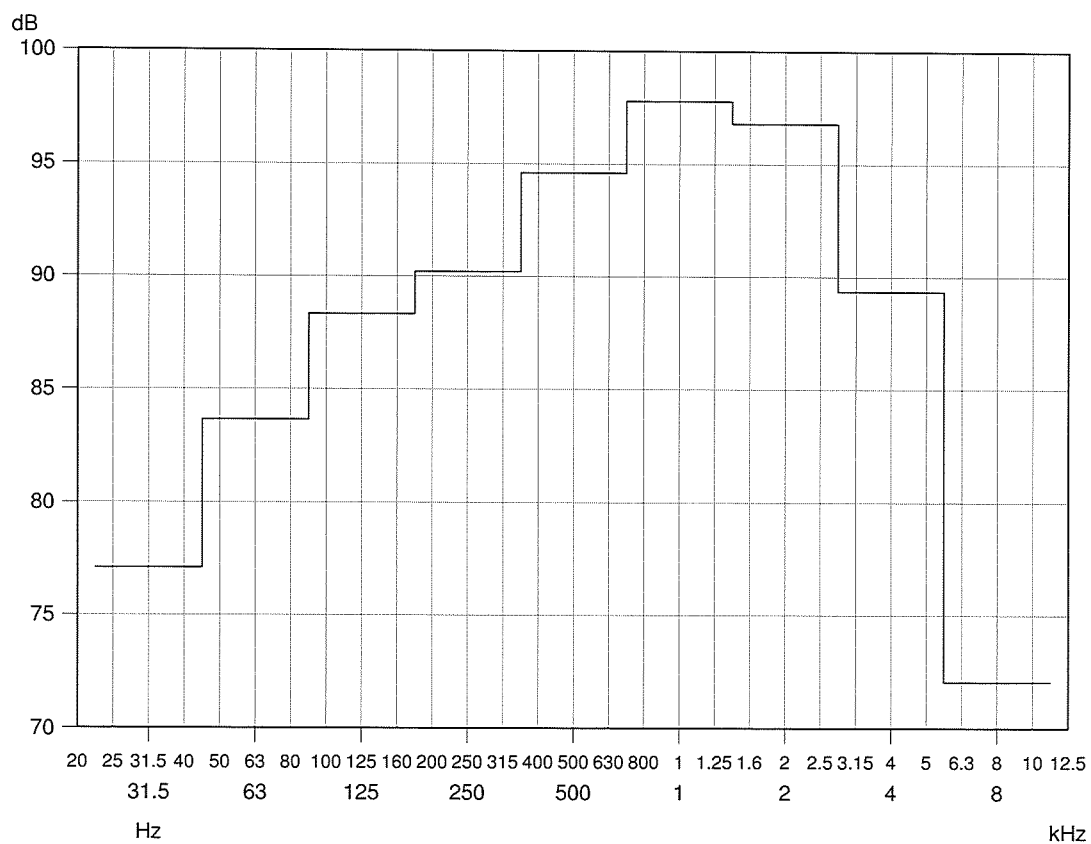
Nennleistung: 1.000 kW
Leistungskurve: berechnete Leistungskurve für reduzierten Betrieb
 (Stand August 2005)

Windgeschwindigkeit [m/s]	Leistung [kW]	c_t [-]
1,0	0,0	0,000
2,0	3,0	0,789
3,0	25,0	0,792
4,0	82,0	0,782
5,0	174,0	0,789
6,0	321,0	0,785
7,0	532,0	0,786
8,0	730,0	0,782
9,0	890,0	0,652
10,0	960,0	0,411
11,0	980,0	0,296
12,0	1.000,0	0,224
13,0	1.000,0	0,175
14,0	1.000,0	0,139
15,0	1.000,0	0,113
16,0	1.000,0	0,094
17,0	1.000,0	0,080
18,0	1.000,0	0,068
19,0	1.000,0	0,060
20,0	1.000,0	0,052
21,0	1.000,0	0,046
22,0	1.000,0	0,041
23,0	1.000,0	0,037
24,0	1.000,0	0,033
25,0	1.000,0	0,030

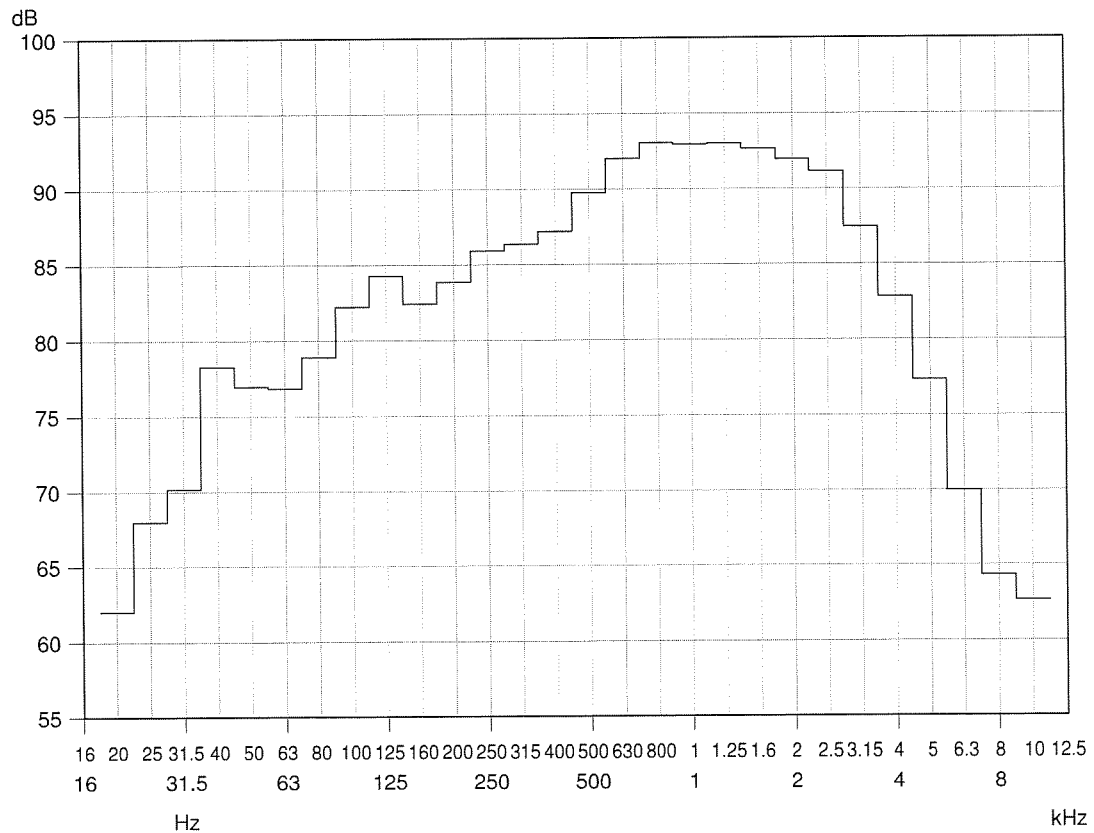
(Simulation ENERCON)



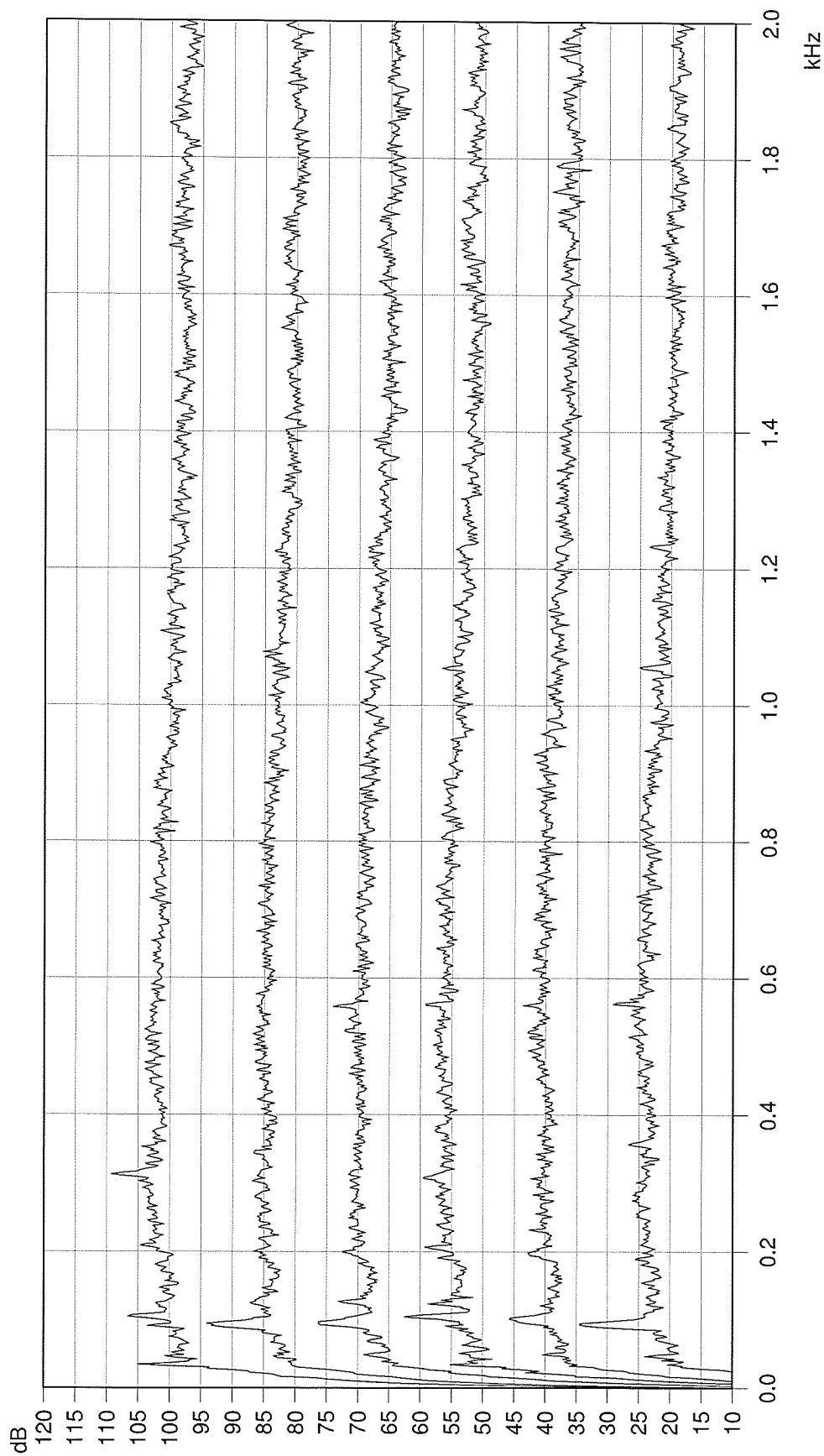
Document information:		
Author/date:	Mei/02.08.06	Translator/date:
Department:	SA	Revisor/date:
Approved/date:	St/02.08.06	Reference:
		SA-001-ct_E82_1.0MWred-Rev1.0ger-ger.doc



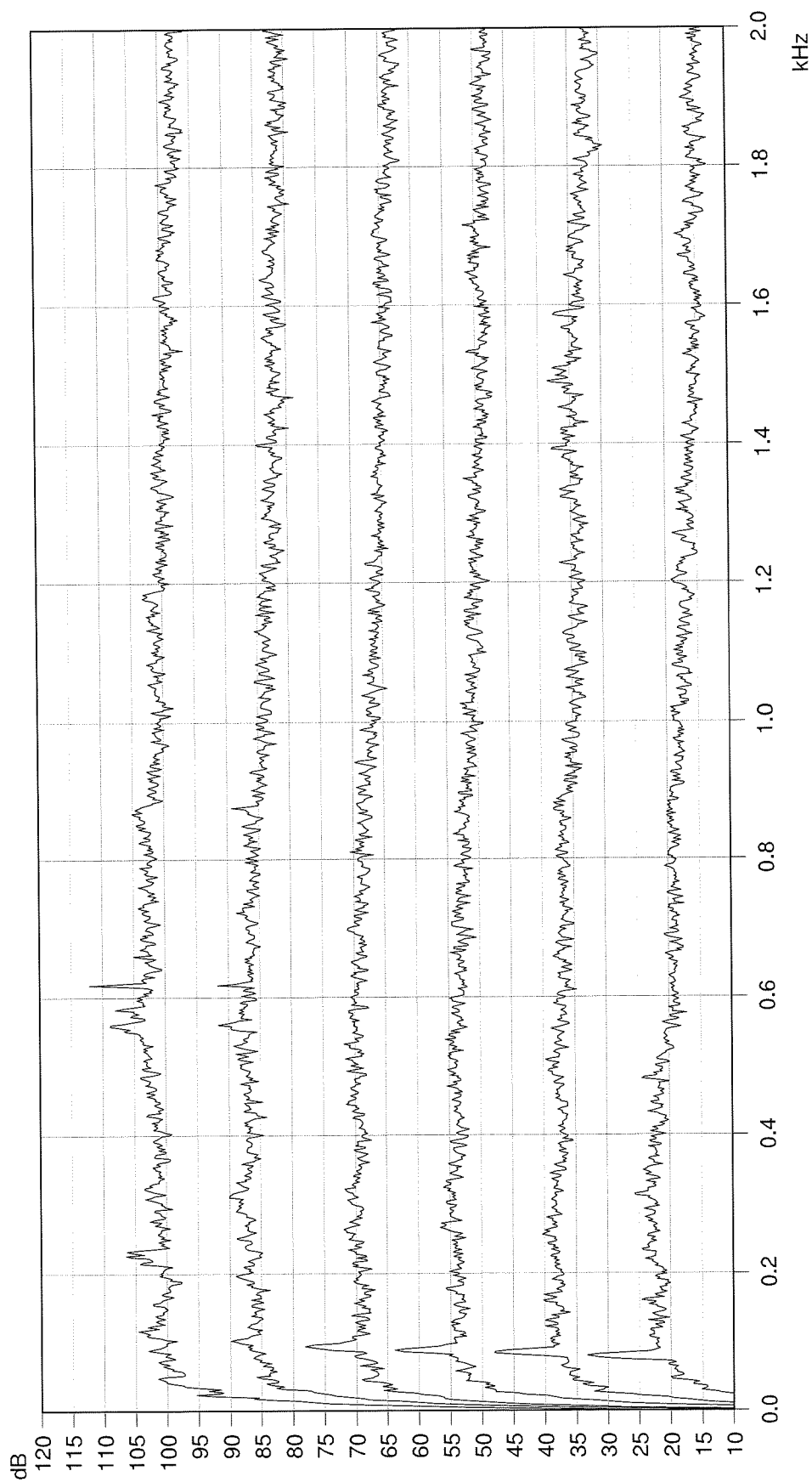
Oktavpegel für 10 m/s, Summenpegel = 102,2 dB			
Oktavmittenfrequenz [Hz]	Schallleistungspegel [dB]	Oktavmittenfrequenz [Hz]	Schallleistungspegel [dB]
31,5	77,10	1000	97,79
63	83,65	2000	96,81
125	88,33	4000	89,36
250	90,23	8000	72,05
500	94,61		



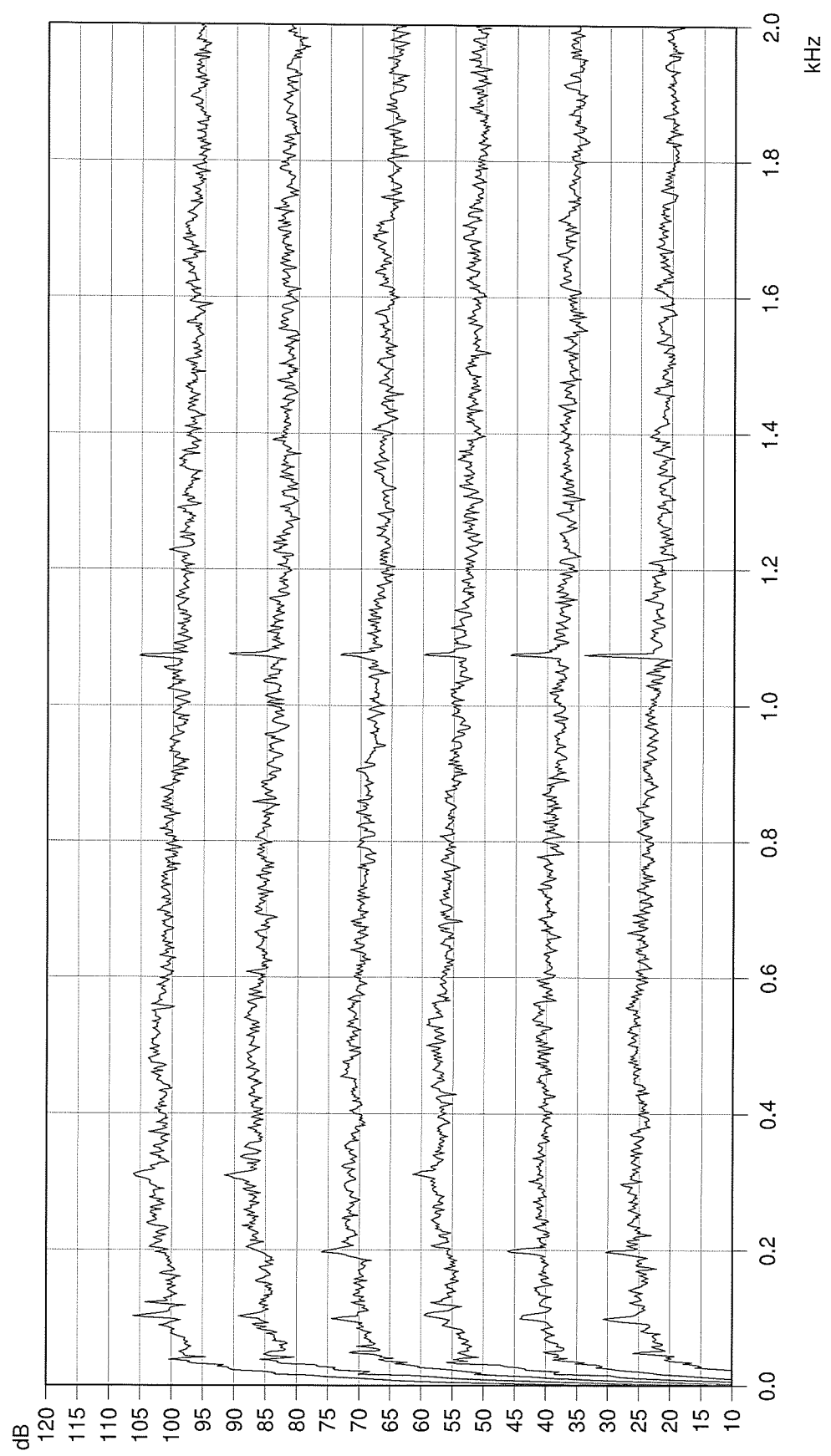
Terzpegel für 10 m/s, Summenpegel = 102,2 dB					
Terzmittenfrequenz [Hz]	Schallleistungspegel [dB]	Unsicherheit Uc [dB]	Terzmittenfrequenz [Hz]	Schallleistungspegel [dB]	Unsicherheit Uc [dB]
20	62,00	2,58	500	89,76	1,89
25	67,95	2,18	630	92,04	1,88
31,5	70,15	1,96	800	93,09	1,88
40	78,29	1,95	1000	92,97	1,87
50	76,97	2,00	1250	93,05	1,88
63	76,85	1,94	1600	92,68	1,88
80	78,89	1,96	2000	91,99	1,89
100	82,22	1,88	2500	91,15	1,88
125	84,27	1,90	3150	87,45	1,88
160	82,42	1,89	4000	82,82	1,88
200	83,86	1,88	5000	77,32	1,88
250	85,93	1,89	6300	69,97	1,90
315	86,38	1,90	8000	64,29	2,10
400	87,20	1,89	10000	62,65	2,04



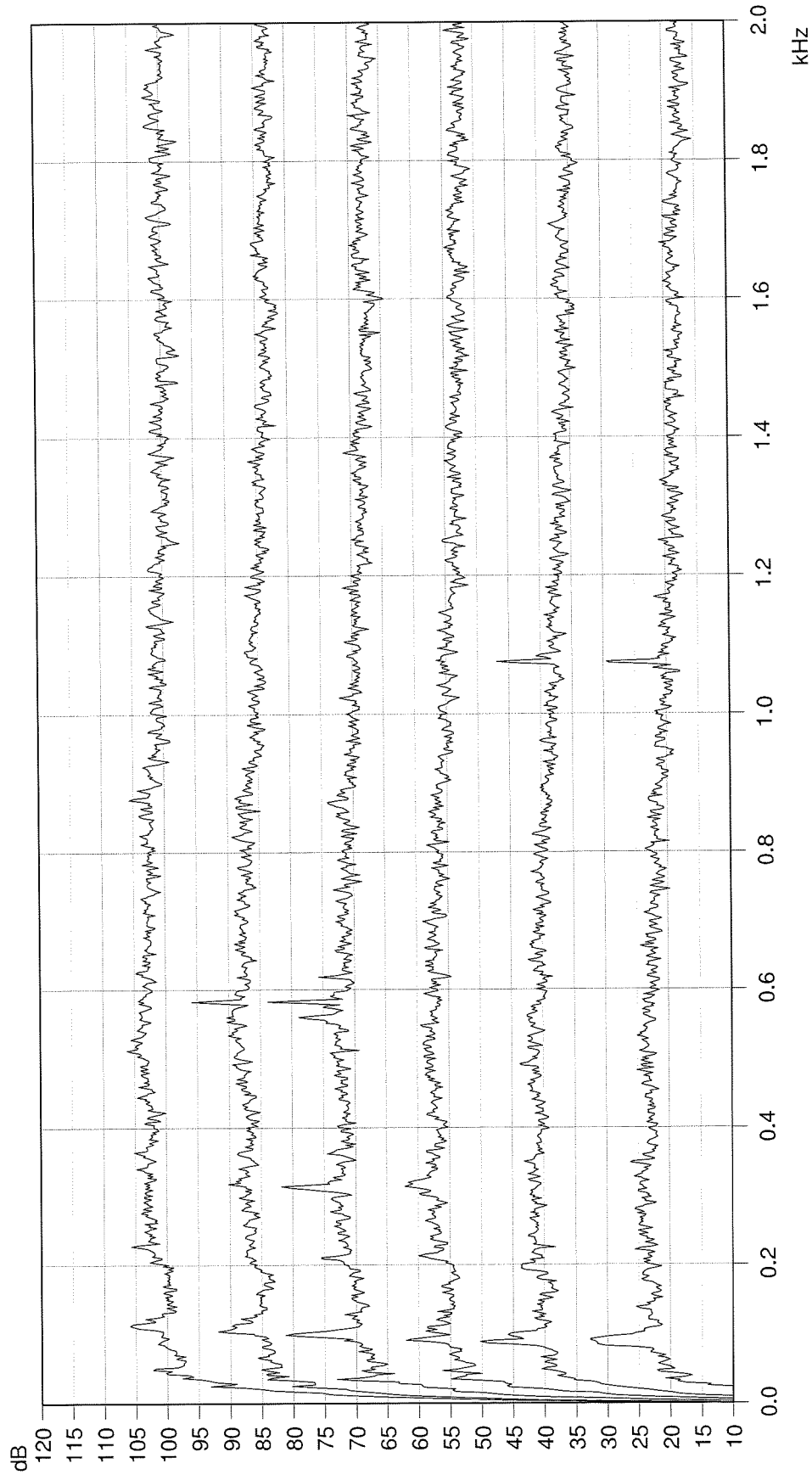
Spektren 1 – 6 aus BIN 6 (obere Spektren jeweils 15 dB nach oben verschoben, Spektrum 1 ganz oben)



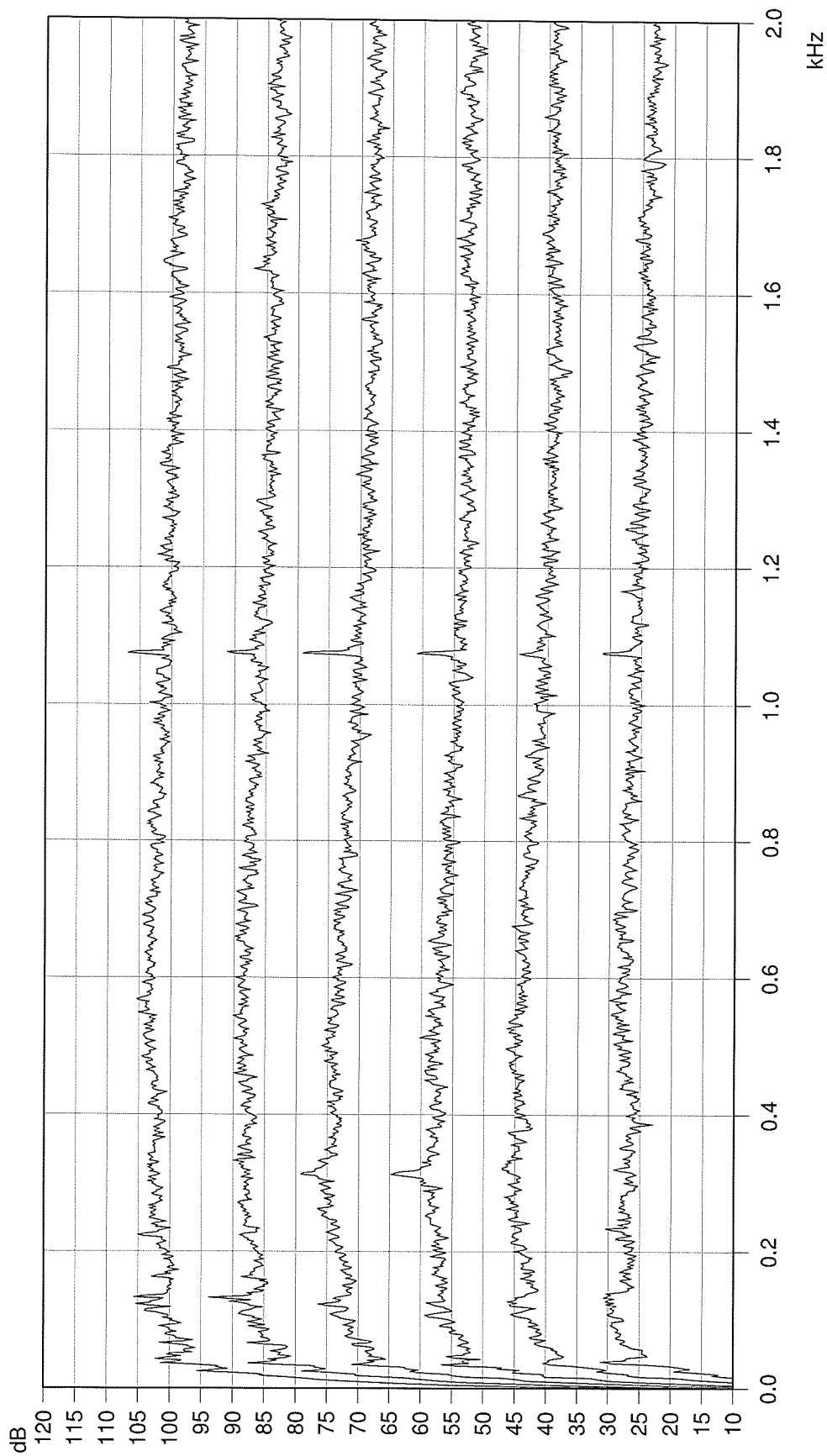
Spektren 7 – 12 aus BIN 6 (obere Spektren jeweils 15 dB nach oben verschoben, Spektrum 7 ganz oben)



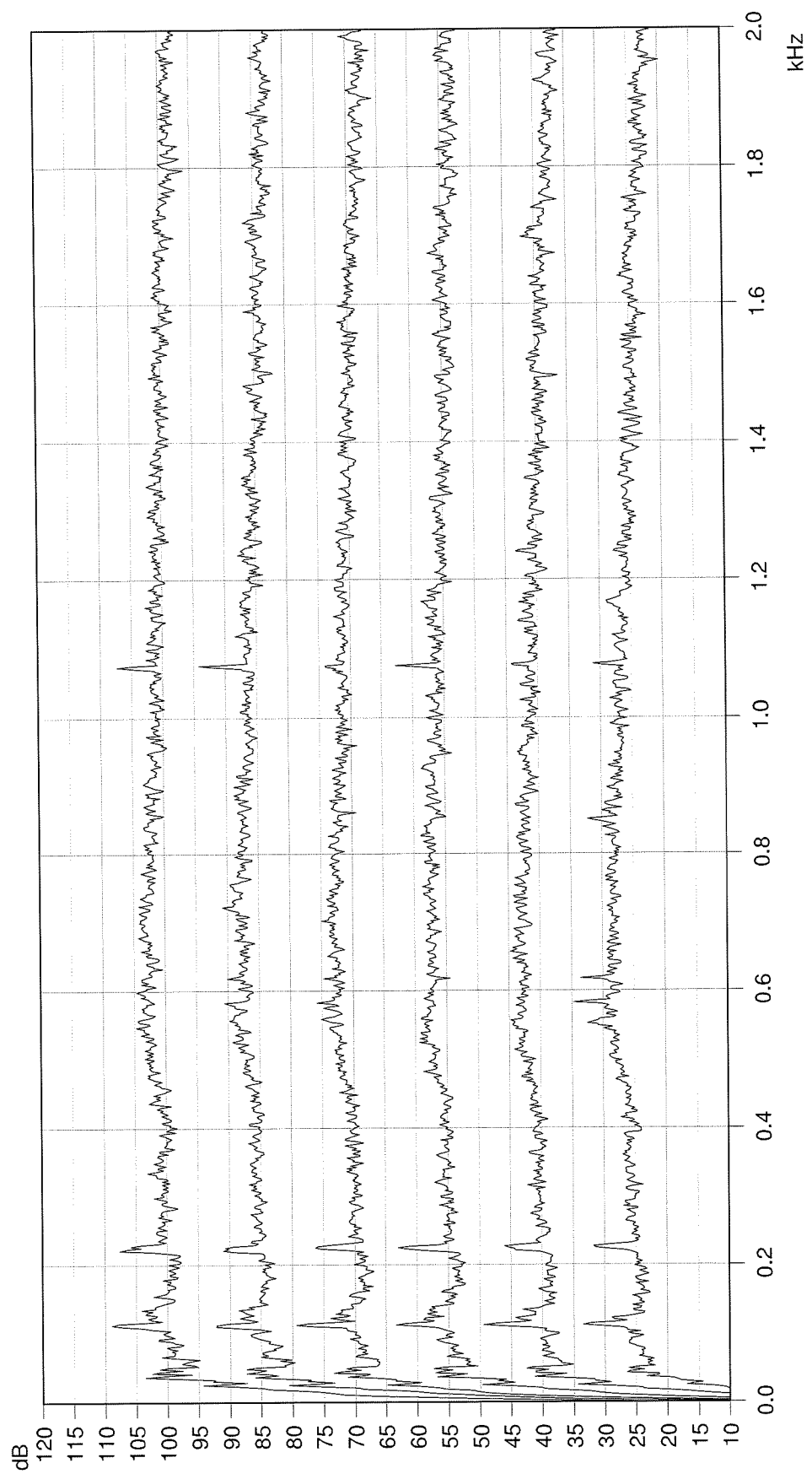
Spektren 1 – 6 aus BIN 7 (obere Spektren jeweils 15 dB nach oben verschoben, Spektrum 1 ganz oben)



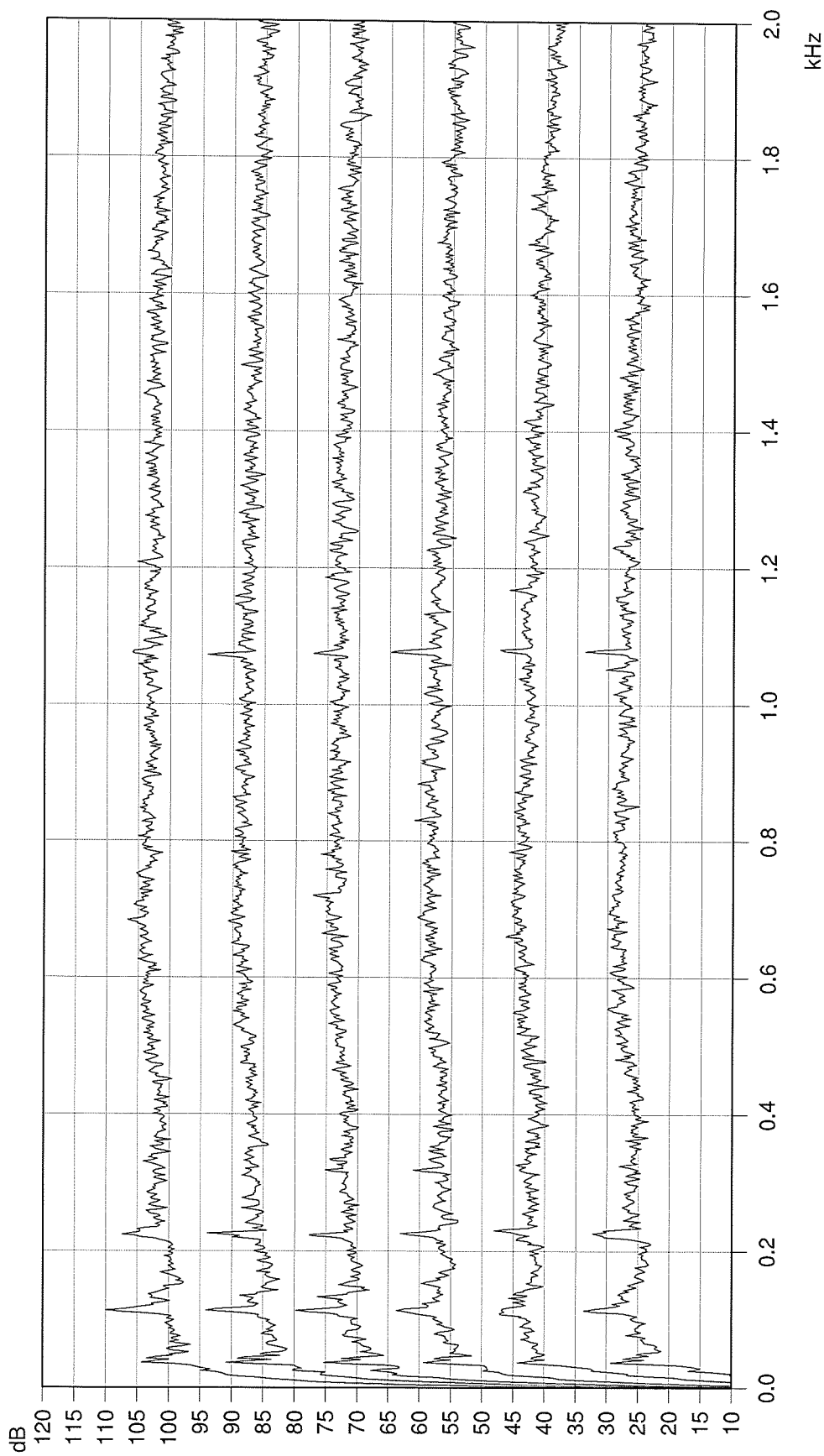
Spektren 7 – 12 aus BIN 7 (obere Spektren jeweils 15 dB nach oben verschoben, Spektrum 7 ganz oben)



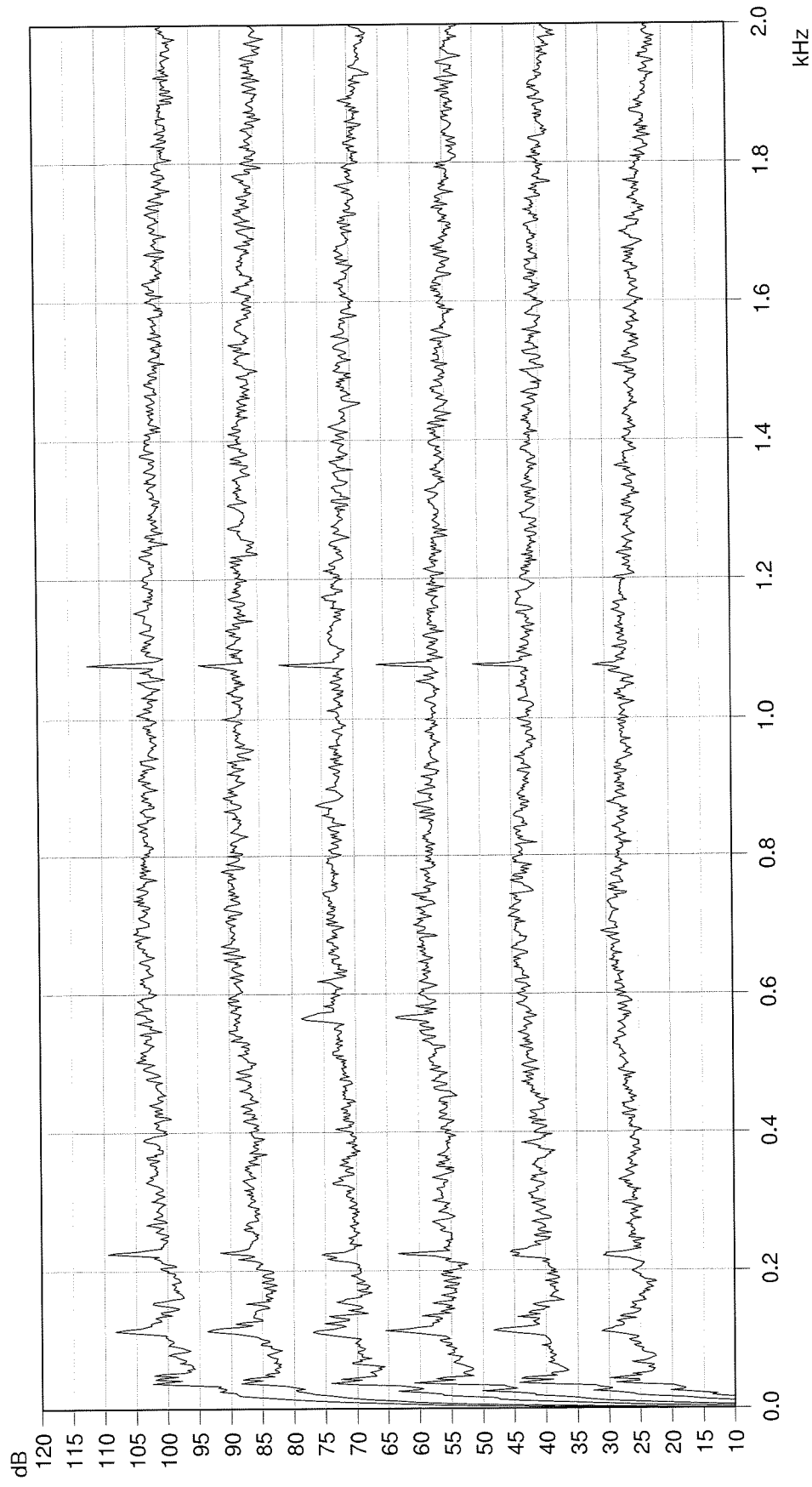
Spektren 1 – 6 aus BIN 8 (obere Spektren jeweils 15 dB nach oben verschoben, Spektrum 1 ganz oben)



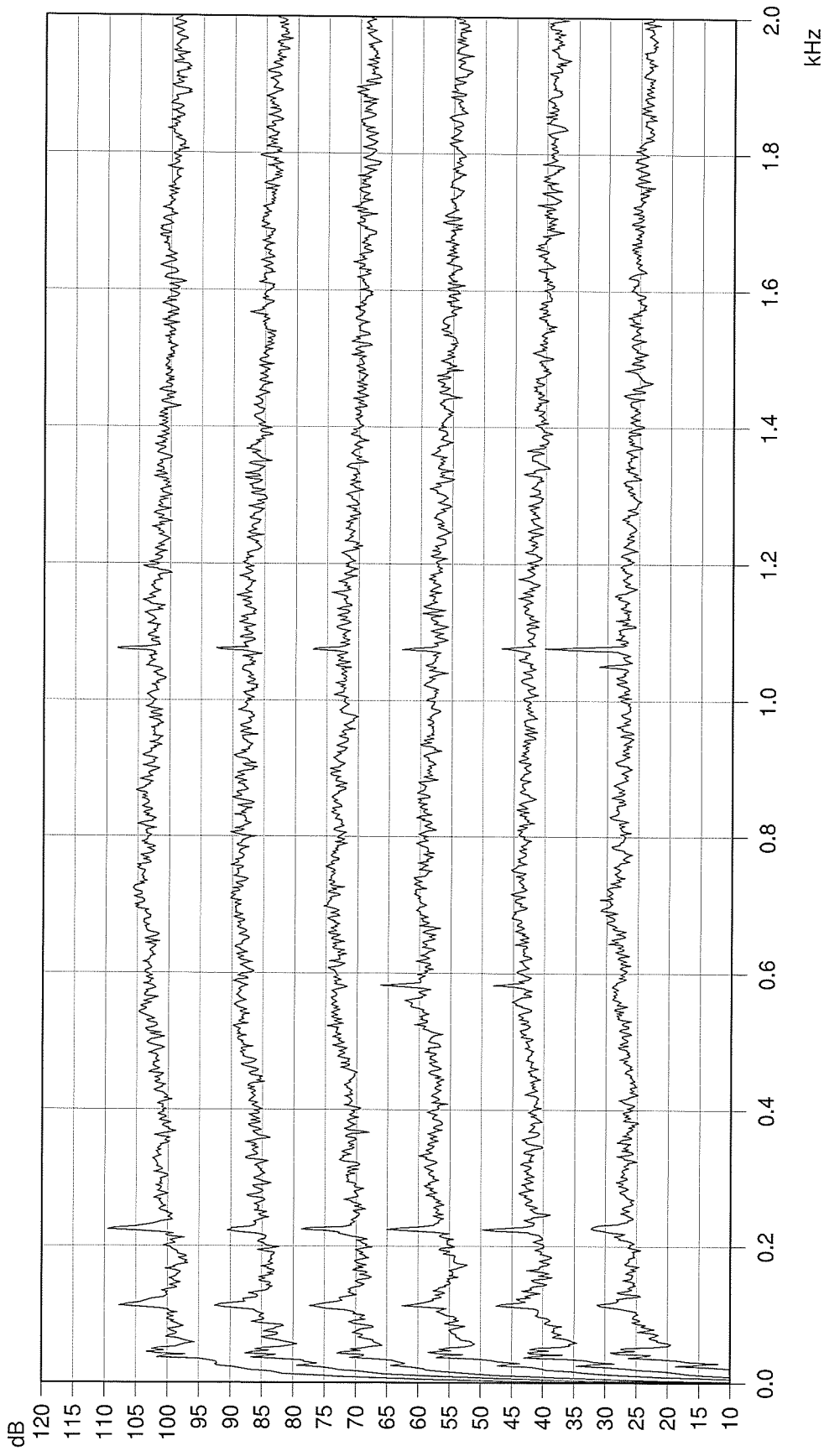
Spektren 7 – 12 aus BIN 8 (obere Spektren jeweils 15 dB nach oben verschoben, Spektrum 7 ganz oben)



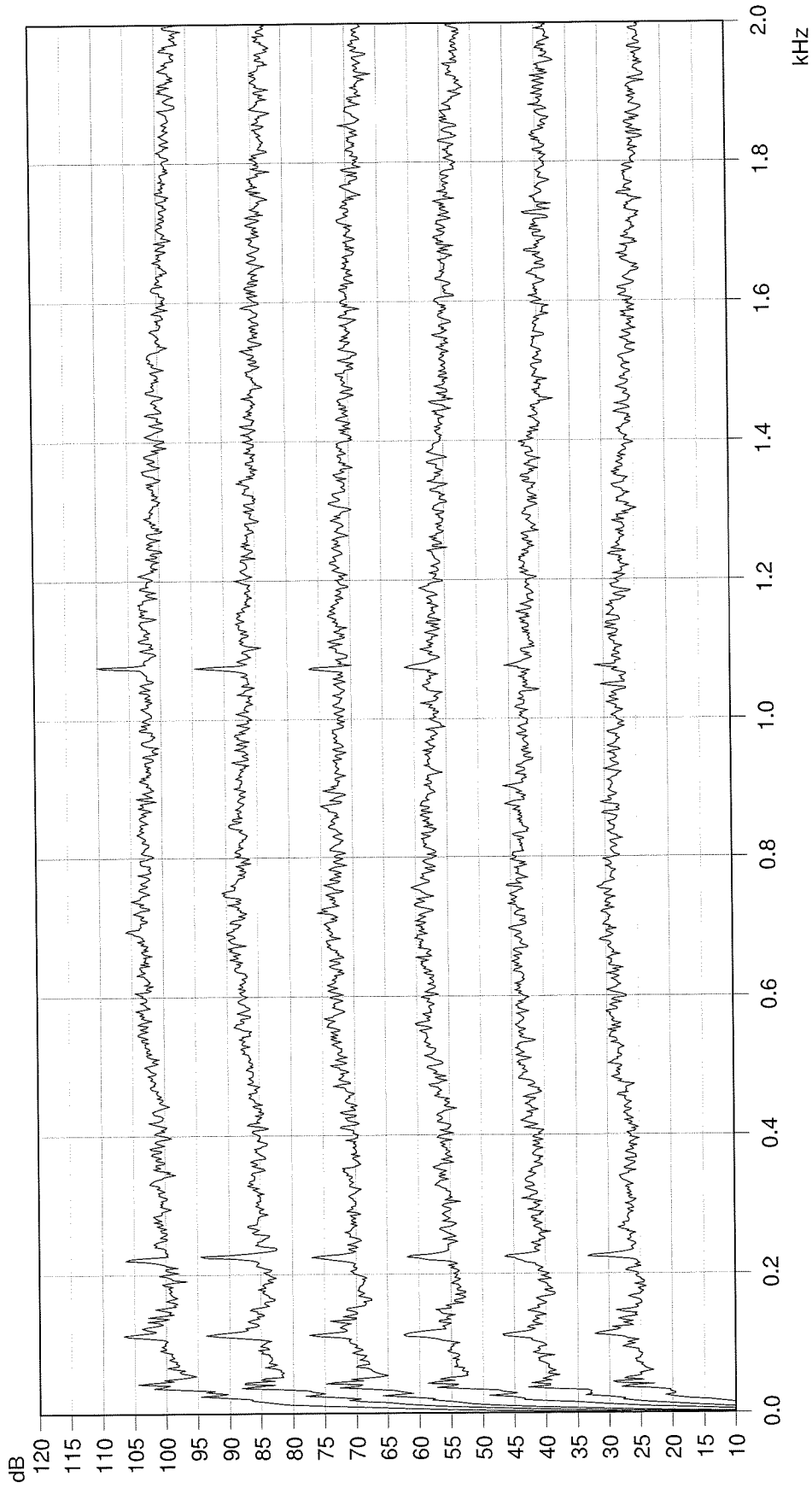
Spektren 1 – 6 aus BIN 9 (obere Spektren jeweils 15 dB nach oben verschoben, Spektrum 1 ganz oben)



Spektren 7 – 12 aus BIN 9 (obere Spektren jeweils 15 dB nach oben verschoben, Spektrum 7 ganz oben)



Spektren 1 – 6 aus BIN 10 (obere Spektren jeweils 15 dB nach oben verschoben, Spektrum 1 ganz oben)



Spektren 7 – 12 aus BIN 10 (obere Spektren jeweils 15 dB nach oben verschoben, Spektrum 7 ganz oben)