KÖTTER
CONSULTING ENGINEERS

MESSBERICHT NR. 25433-1.001

über die Ermittlung der Schallemissionen der Windenergieanlage Frisia F56/850 kW Nr. 2

im Windpark Neuendorf/Kakerbeck

Auftraggeber:

Frisia Windkraftanlagen
Produktion GmbH
Emscherstr. 6

32427 Minden

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Arno Schällig
Frank Wenzel

Datum:

23.05.2001

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1.) Situation und Aufgabenstellung	3
2.) Bearbeitungsgrundlagen	4
3.) Meßprotokoll	5
4.) Ergebnis der Luftschallmessungen	7
4.1 Schalldruckpegel am Referenzmeßpunkt	7
4.2 Tonhaltigkeit	10
4.3 Impulshaltigkeit	11
4.4 Schalleistungspegel	12
5.) Anlage	15

1.) Situation und Aufgabenstellung

Im Windpark Neuendorf/Kakerbeck befindet sich die Windenergieanlage (WEA) Nr. 2 des Typs Frisia F56/850 kW mit einer Nabenhöhe von 70 m und einem Rotordurchmesser von 56 m.

Im Auftrag der Firma Frisia Windkraftanlagen Produktion GmbH soll der Schalleistungspegel für die Windenergieanlage Nr. 2 FGW-konform ermittelt werden.

Die Ergebnisse sind in Form eines Meßberichtes zu dokumentieren.

2.) Bearbeitungsgrundlagen

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

[1]	DIN EN 61400-11 Ausg. Febr. 2000	Windenergieanlagen, Teil 11: Schallmeßverfahren
[2]	DIN EN 61400-12 Ausg. Juli 1999	Windenergieanlagen, Teil 12: Meßverfahren zur Bestimmung des Leistungsverhaltens bei Windenergieanlagen
[3]	DIN 45681 Entwurf Jan. 1992	Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen

[4] Fördergesellschaft Windenergie e.V.:
Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Revision 13, Stand 01.01.2000, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte

[5] Leistungskennlinie Frisia F 56/850 kW und Herstellerbescheinigung zu spezifischen Daten des Anlagentyps: F56/850 kW

[6] Übersichtslageplan mit den Standorten der Windenergieanlagen im Windpark Neuendorf/Kakerbeck, zur Verfügung gestellt von der Frisia Windkraftanlagen Produktion GmbH

[7] Akustische Ringversuche des LUA Essen, Herr Dipl.-Ing. D. Piorr, zur Geräuschemissionsmessung an Windenergieanlagen, Nov. 2000
(KÖTTER Consulting Engineers (KCE) war Teilnehmer der Ringversuche)

3.) Meßprotokoll

Aufgabenstellung:	Messung der anlagenbezogenen Geräuschemissionen im Nahbereich der Windenergieanlage Nr. 2 Typ: F 56/850 kW im Windpark Neuendorf/Kakerbeck
Meßpunkt:	Referenzmeßpunkt in 98 m Abstand zur Rotationsebene auf schallharter Platte in Mitwindrichtung, freie Ausbreitungsbedingungen im Windpark Neuendorf/Kakerbeck
Datum/Uhrzeit:	28.03.2001 in der Zeit von ca. 11.00 – 15.00 Uhr
Bearbeiter:	Ralf Thien (KÖTTER Consulting Engineers) Frank Wenzel (KÖTTER Consulting Engineers)

Anlagenbeschreibung:

Typ:	F56/850 kW
Serien-Nr.:	ID 84
Hersteller:	Frisia
Nabenhöhe:	70 m (konischer Stahlrohrturm)
Rotordurchmesser:	56 m
Nennleistung:	850 kW
Leistungsregelung:	Pitch
Nenndrehzahl:	24,8 U/min
Getriebe:	Dorstener PZ3VH90, Serien-Nr. 24766
Rotorblätter:	A & R, Serien-Nr. 12/13/88

Weitere spezifische Daten der WEA sind der Herstellerbescheinigung der Anlage E zu entnehmen

Meßgeräte:

Schallpegelmesser:	Norsonic SA 110, Serien-Nr. 13930, mit Kondensatormikrophon, Typ 1220, Serien-Nr. 18711, geeicht bis 2001
Frequenzanalysator:	Norsonic SA 840, Serien-Nr. 18711, geeicht bis 2001

Meßgeräte:	DAT-Recorder:	Sony Typ TCD-D 100, Serien-Nr. 515003
	Anemometer:	Thies, Typ RR 3000-SD/24
	Stromzangen:	3 Stück LEM, Typ RR 3000-SD/24
	Daten-Logger:	Meßrechner DAP 2400 mit Software DAP-Writer
	Windschirm:	primärer Windschirm, Typ UA 0237 und Sekundärwindschirm (bespannt mit Nylongewebe, Einfluß auf den Frequenzgang im Laborversuch überprüft)
	Platte:	bündig zum Erdreich vermittelt
	10 m-Mast:	Abstand zur Anlage: 1,5 D, luvseitig
Witterungs-bedingungen:	Temperatur (Mittelwert):	5° C (für Luftdichtekorrektur)
	Luftdruck (Mittelwert):	1005 hPa (Bodenwert)
	Windgeschwindigkeit v_{10}: (Anemometer 10 m Höhe)	ca. 5 – 11 m/s

Standort: Die Windenergieanlage befindet sich im Windpark Neuendorf/ Kakerbeck. In der Umgebung befinden sich weitere WEA (siehe Übersichtslageplan in der Anlage A).

4.) Ergebnis der Luftschallmessungen

4.1 Schalldruckpegel am Referenzmeßpunkt

Zur Ermittlung der Schalldruckpegel wird das Mikrophon nach [1] auf einer schallharten Platte befestigt. Der Abstand zur Rotationsebene der Windenergieanlage beträgt S = 98,0 m in Mitwindrichtung (Abstand = Nabenhöhe + halber Rotordurchmesser).

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

Die Schalldruckpegel sollen bis zu einer standardisierten Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 m Höhe bzw. maximal bis zu der Windgeschwindigkeit, die dem 95 %-Wert der Nennleistung entspricht, angegeben werden.

Die standardisierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ist nach der FGW-Richtlinie [4] bei Anlagenbetrieb aus der elektrischen Wirkleistung zu bestimmen.

Mit Hilfe der bereitgestellten Leistungskurve sind aus den aufgezeichneten Daten der elektrischen Wirkleistung die Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe zu ermitteln. Diese Werte sind bezüglich der Luftdichte nach [2] zu korrigieren und unter Annahme eines logarithmischen Windprofils mit einer Rauhigkeitslänge von z_0 = 0,05 m wie folgt auf eine Referenzhöhe von 10 m umzurechnen:

$$v_{10} = v_H \cdot \frac{\ln\left(\frac{10}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}$$

v_{10} ≙ Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe

v_H ≙ Windgeschwindigkeit in Anemometerhöhe

z_0 ≙ Rauhigkeitslänge am Meßort (z_0 = 0,05 m)

H ≙ Höhe des Rotormittelpunktes (H = 70 m)

Zur Ermittlung der standardisierten Windgeschwindigkeit ohne Anlagenbetrieb (Hintergrundgeräuschmessung) werden die in 10 m Höhe gemessenen Werte herangezogen und über den Korrekturfaktor k korrigiert:

$$k = v_{P,10} / v_{Anem.} = 0,84$$

$v_{P,10}$ ≙ mittlere, aus der elektrischen Leistung bestimmte Windgeschwindigkeit

$v_{Anem.}$ ≙ mit dem Anemometer in 10 m Höhe gemessene Windgeschwindigkeit

Beide Mittelwerte ($v_{P,10}$, $v_{Anem.}$) müssen aus den gleichen Meßzeiträumen hervorgehen.

Die folgende Abbildung zeigt den Schalldruckpegel L_{Aeq} am Referenzmeßpunkt in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit v_{10}. Minutenmittelwerte mit relevanten Störgeräuschanteilen wurden nicht verwendet. Die unmittelbar benachbarten Windenergieanlagen (s. Lageplan) waren während des gesamten Meßzeitraumes abgeschaltet. Mehrere WEA im Abstand > 600 m waren in Betrieb.

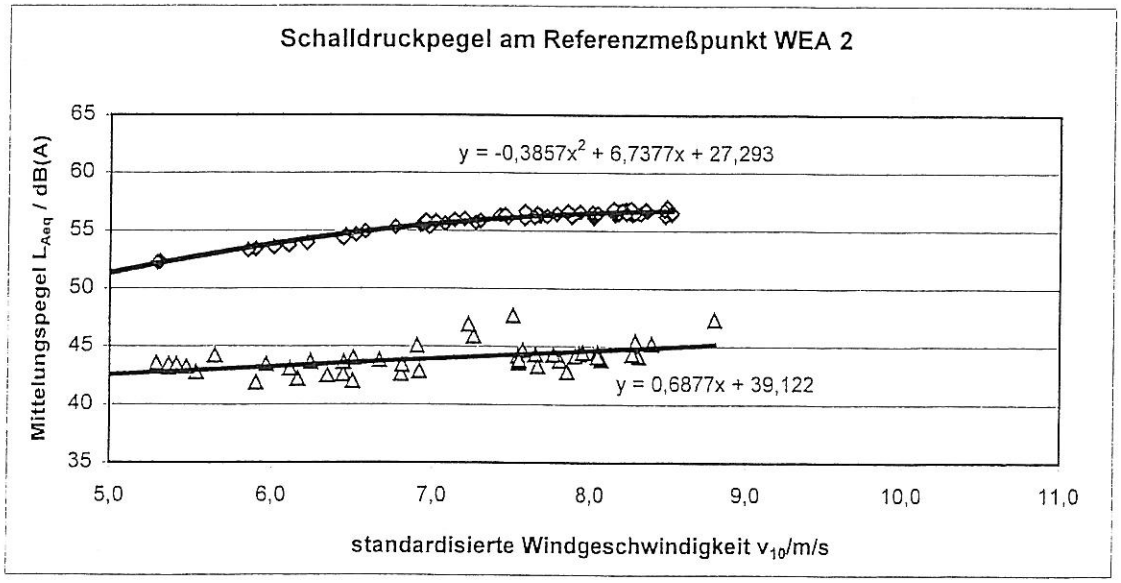


Abb. 1: Schalldruckpegel am Referenzmeßpunkt über standardisierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe für Anlagenbetrieb und Hintergrundgeräusch.

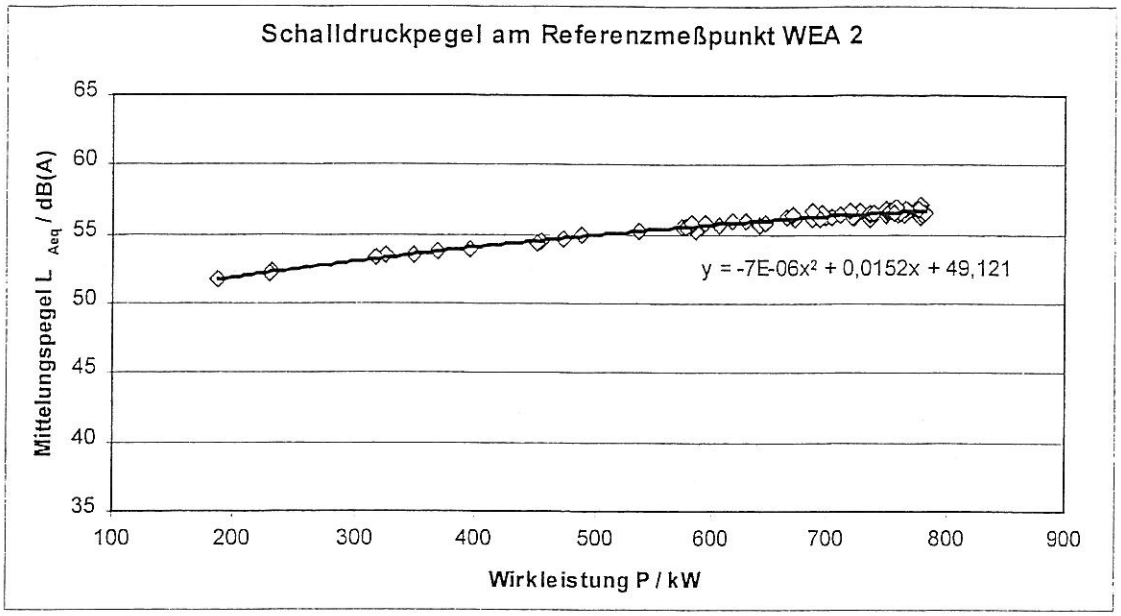


Abb. 2: Schalldruckpegel am Referenzmeßpunkt über die ermittelte elektrische Leistung

In Tabelle 1 sind die über eine BIN-Analyse (Anlagengeräusch) bzw. eine lineare Regression (Hintergrundgeräusch) am Referenzmeßpunkt ermittelten Schalldruckpegel zusammengefaßt.

Für Windgeschwindigkeiten < 5 m/s liegen keine Meßdaten vor.

Windgeschwindigkeit v_{10} /m/s je Binklasse	6	7	8	8,5 (95 % Leistung)
L_{Aeq} /dB(A), Betrieb (Anzahl Bins)	53,7	55,6	56,5	56,6
L_{Aeq} /dB(A), Hintergr.	43,3	44,0	44,7	45,0
$L_{Aeq,C}$ /dB(A) (Binan.)	53,3	55,3	56,2	56,3

Tabelle 1: Emissionsdaten der Frisia F58 / 850 kW mit einer Nabenhöhe von 70 m

In der nächsten Tabelle sind die aus der Regression 2. Ordnung ermittelten Schalldruckpegel aufgelistet.

Windgeschwindigkeit v_{10} /m/s	6	7	8	8,5 (95 % Leistung)
L_{Aeq} /dB(A), Betrieb	53,8	55,6	56,5	56,7
L_{Aeq} /dB(A), Hintergr.	43,3	44,0	44,7	45,0
$L_{Aeq,C}$ /dB(A) Regr.	53,4	55,3	56,2	56,4

Tabelle 2: Emissionsdaten der Frisia F58/850 kW aus der Regression 2. Ordnung

Die über eine Regression 2. Ordnung ermittelten Ergebnisse streuen gegenüber der BIN-Analyse um 1/10 dB.

Die elektrische Leistung von 95 % der Nennleistung wird bereits mit der eingestellten Leistungskurve bei der Referenzwindgeschwindigkeit von $v_{10} \approx 8{,}5$ m/s erreicht.

Eine überschlägige Überprüfung der Richtcharakteristik ist erfolgt. Es wurden keine signifikanten Pegeldifferenzen zwischen den Meßpunkten ermittelt.

4.2 Tonhaltigkeit

Eine Tonhaltigkeitsanalyse erfolgt mit den während der Messung aufgezeichneten DAT-Aufnahmen. Zur Auswertung wird ein Frequenzanalysator SA 840/2 eingesetzt und das Auswerteverfahren nach [3] bzw. [4] angewendet.

Die Ergebnisse der Tonhaltigkeitsanalyse sind in Tabelle 3 zusammengefaßt, die einzelnen Spektren können der Anlage C entnommen werden.

Angegeben ist in Tabelle 3 der Frequenzbereich mit der höchsten ermittelten Tonhaltigkeit.

Windgeschwindigkeit v_{10} / m/s	6	7	8	8,5
$\approx f_T$ / Hz	310	145	(75) / 145	(75) / 150
K_{TN} / dB	2	1	(2) / 2	(3) / 1

Tabelle 3: Tonhaltigkeit im Nahbereich, Tonzuschlag für f_T < 100 Hz in Klammern

Die für f_T < 100 Hz ermittelten Tonzuschläge sind nach FGW-Richtlinie [4] nicht für die Angabe des gemessenen Tonzuschlages K_{TN} zu berücksichtigen. Im Nahbereich waren tieffrequente Geräusche (Getriebe) wahrnehmbar.

Im Nahbereich ermittelte Tonzuschläge müssen nicht im Fernbereich immissionsrelevant sein. Nach dem subjektiven Höreindruck war die Windenergieanlage nicht tonhaltig. Gemäß den Empfehlungen des Arbeitskreises "Geräusche von Windenergieanlagen" kann für den Fernbereich ab 300 m angesetzt werden: wenn $K_{TN} \leq 2$ dB, dann ist $K_T = 0$ dB.

4.3 Impulshaltigkeit

Zur Bestimmung der Impulshaltigkeit K_{IN} im Nahbereich ist die Differenz zwischen Mittelungspegel L_{Aeq} und Taktmaximalpegel L_{AFTeq} (Taktzeit: 5 s) zu bilden. Die für jede Windklasse (bis maximal 95 % Nennleistung) ermittelten Pegeldifferenzen sind nach [4] ganzzahlig zu runden und als Impulszuschlag zu vergeben, wenn sich ein Wert > 2 dB ergibt.

Nach dem subjektiven Höreindruck lag keine Impulshaltigkeit vor. Die Blattdurchgangsfrequenz war nicht auffällig.

Auffällige Geräusche während Betrieb der Azimutverstellung wurden nicht festgestellt.

Die Ergebnisse zur Impulshaltigkeit sind in Tabelle 4 zusammengefaßt.

Windgeschwindigkeit v_{10}/m/s	6	7	8	8,5 [1)]
L_{AFTeq} - L_{Aeq} / dB	1,4	1,5	1,5	1,6
K_{IN} / dB	0	0	0	0

1) bezogen auf 95% von P_{Nenn} = 850 kW, hier $P_{95\%}$ = 807,5 kW

Tabelle 4: Impulshaltigkeit im Nahbereich

Ein Impulszuschlag ist nach [4] nur dann zu vergeben, wenn sich für die ganzzahlig gerundeten Pegeldifferenzen L_{AFTeq} - L_{AFeq} ein Wert > 2 ergibt.

4.4 Schalleistungspegel

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

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

R_1 ≙ Abstand Rotormittelpunkt - Mikrophon

S_0 ≙ Bezugsfläche (S_0 = 1 m²)

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

In folgender Tabelle sind zusammenfassend Schalleistungspegel sowie Ton- und Impulszuschläge für die vorliegenden Windgeschwindigkeiten angegeben:

Windgeschwindigkeit v_{10} /m/s	6	7	8	8,5 [1)]	10
L_{Aeq} /dB(A), Betrieb	53,8	55,6	56,5	56,7	—
L_{Aeq} /dB(A), Hintergr.	43,3	44,0	44,7	45,2	—
$L_{Aeq,C}$ /dB(A)	53,4	55,3	56,2	56,4	—
K_{IN} /dB	0	0	0	0	—
K_{TN} /dB	2	1	2	1	—
L_{WA} /dB(A)	100,0	101,8	102,8	103,0	—

1) bezogen auf 95% von P_{Nenn} = 850 kW, hier $P_{95\%}$ = 807,5 kW

Tabelle 5: Emissionsdaten aus der Regression 2. Ordnung der F56/850 kW mit einer Nabenhöhe von 70 m

Für niedrigere Windgeschwindigkeiten liegen witterungsbedingt keine Daten vor.

Terzpegelfrequenzspektren der Schalleistungspegel befinden sich in der Anlage.

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

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

Aufgrund des flachen Verlaufs des Schalldruckpegels über die berechnete Windgeschwindigkeit (Abb. 1) bei hohen Leistungen der pitchgeregelten WEA ist der Einfluß von Toleranzen in der Leistungskurve auf das Ergebnis gering.

Im Rahmen von Schallschutzvergleichsmessungen beim MPA in Dortmund hat KCE Toleranzen von < 0,3 dB ermittelt. Nach dem Ringversuch [7] zur Ermittlung des Schalleistungspegels von Windenergieanlagen liegen die Toleranzen der von KCE ermittelten Werte gegenüber dem Mittelwert aller Teilnehmer ≤ 0,1 dB.

Auffällig ist, daß der Korrekturfaktor k zwischen gemessener und berechneter Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe k = 0,84 beträgt.

Die Meßgenauigkeit wird auf ± 1,5 dB abgeschätzt.

Die Windenergieanlage war gemäß dem subjektiven Höreindruck nicht tonhaltig. Lediglich im Nahbereich der Windenergieanlage war zeitweise ein tieffrequentes Geräusch wahrnehmbar.

Akustische Auffälligkeiten (Azimutverstellung, Lüftergeräusche usw.) waren zum Zeitpunkt der Messungen nicht feststellbar.

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

Rheine, 23.05.2001 Wz/De

KÖTTER Consulting Engineers

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

INGENIEURKAMMER-BAU NORDRHEIN-WESTFALEN
BERATENDER INGENIEUR 102566

i.V. Arno Schällig

Dipl.-Ing. Arno Schällig

i.A. Frank Wenzel

Frank Wenzel

5.) Anlage

Anlage A: Lageplan/Fotos

Anlage B: Zusammenfassung der Meßergebnisse

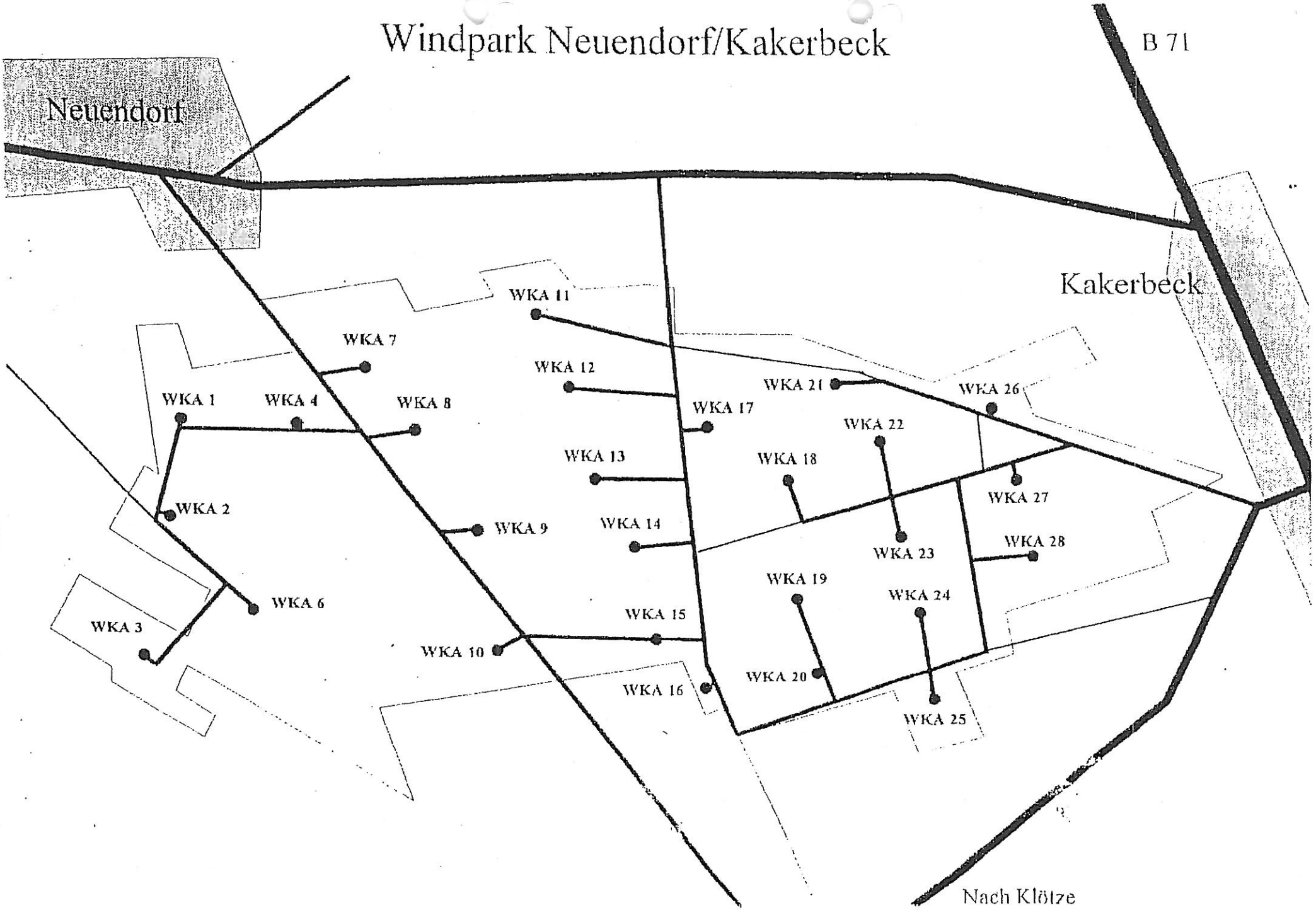
Anlage C: Spektren zur Tonhaltigkeitsanalyse

Anlage D: Leistungskurve

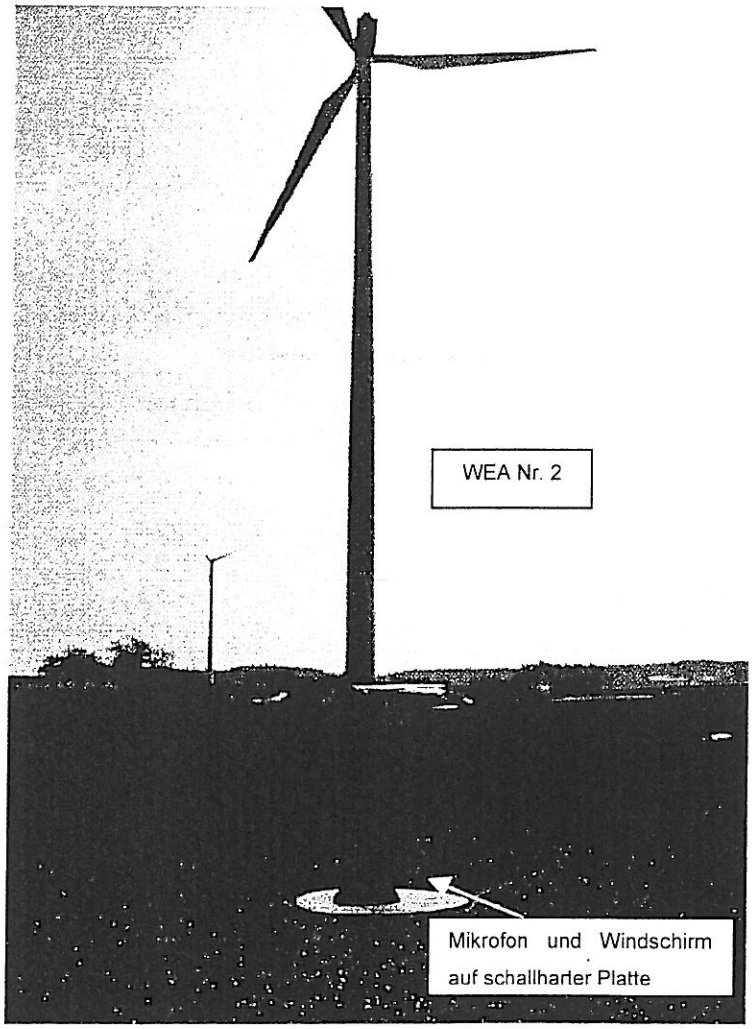
Anlage E: Herstellerbescheinigung

KÖTTER
CONSULTING ENGINEERS

Anlage A: Lageplan/Fotos



2-MAR-01 FR 14:25 FRISIA Minden FAX NR. +49 571 5055555 S. 2


WEA Nr. 2
Mikrofon und Windschirm
auf schallharter Platte

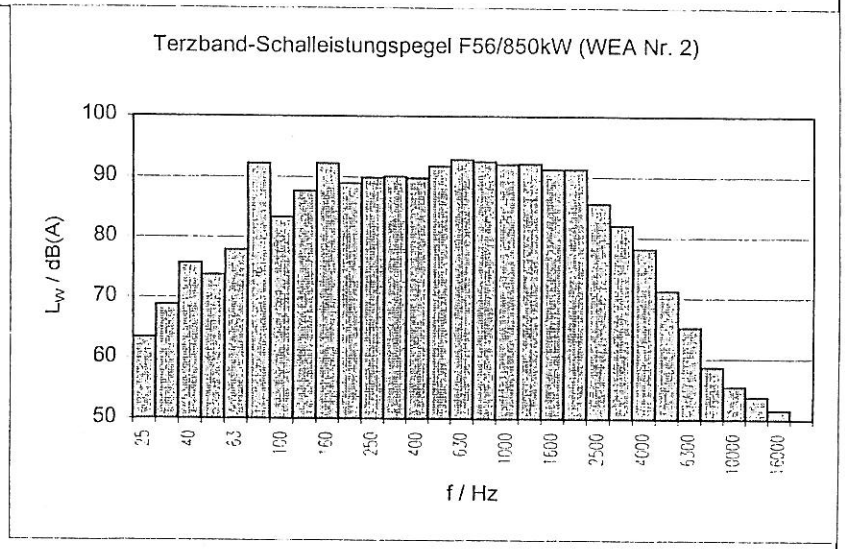
KÖTTER CONSULTING ENGINEERS

Anlage B: Zusammenfassung der Meßergebnisse

Schallemissionsmessung WEA Nr.2 in Neuendorf/Kakerbeck, 28.03.2001

Terzband-Schalleistungspegel für 95% Nennleistung:

f /Hz	L_W / dB(A)
25	63,4
31,5	68,8
40	75,7
50	73,7
63	77,9
80	92,2
100	83,4
125	87,7
160	92,2
200	89,0
250	89,9
315	90,1
400	89,8
500	91,8
630	92,9
800	92,6
1000	92,1
1250	92,2
1600	91,3
2000	91,3
2500	85,7
3150	82,0
4000	78,2
5000	71,2
6300	65,1
8000	58,6
10000	55,4
12500	53,7
16000	51,6
20000	49,2
A-netw	103,0

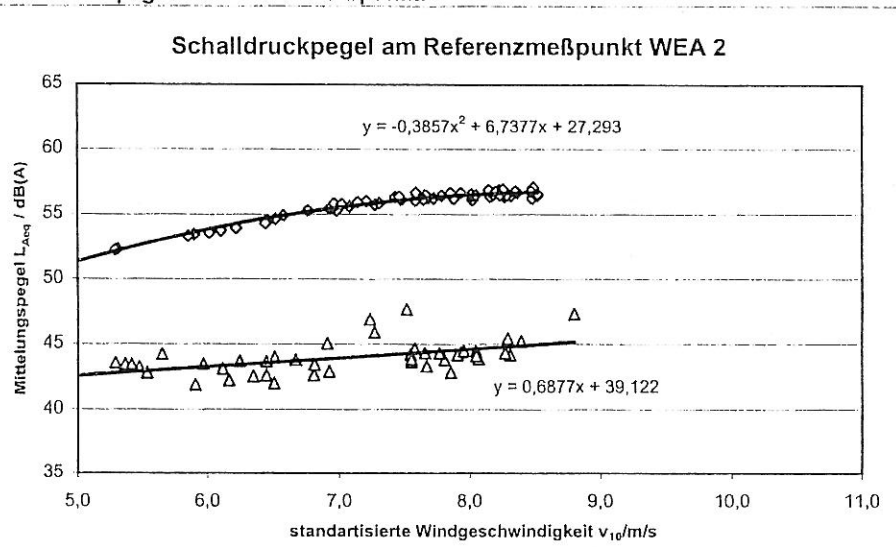


KÖTTER Consulting Engineers, Bonifatiusstraße 400, 48432 Rheine, Tel. 05971-9710.0, Fax 05971-9710.43, e-mail: immi@koetter-consulting.com, http://www.koetter-consulting.com

Schallemissionsmessung F56/850kW WEA Nr.2 in Neuendorf / Kakerbeck
Zusammenfassung der Meßergebnisse

Anlagenbeschreibung:		**Witterungsbedingungen:**	
Typ:	F56/850 kW	Temperatur (Mittelwert):	5,0 °C
Serien-Nr.:	ID 84	Luftdruck (Mittelwert):	1005 hPa
Hersteller:	Frisia Windkraftanlagen Produktion GmbH in 32427 Minden	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe:	5 - 11 m/s
Nabenhöhe:	70 m		
Rotordurchmesser:	56 m		
Regelung:	pitch		
Drehzahl:	24,8 1/min		
Getriebe:	PZ3VH90 Dorstener Maschinenfabrik AG		
Nennleistung:	850 kW		

Schalldruckpegel am Referenzmeßpunkt:

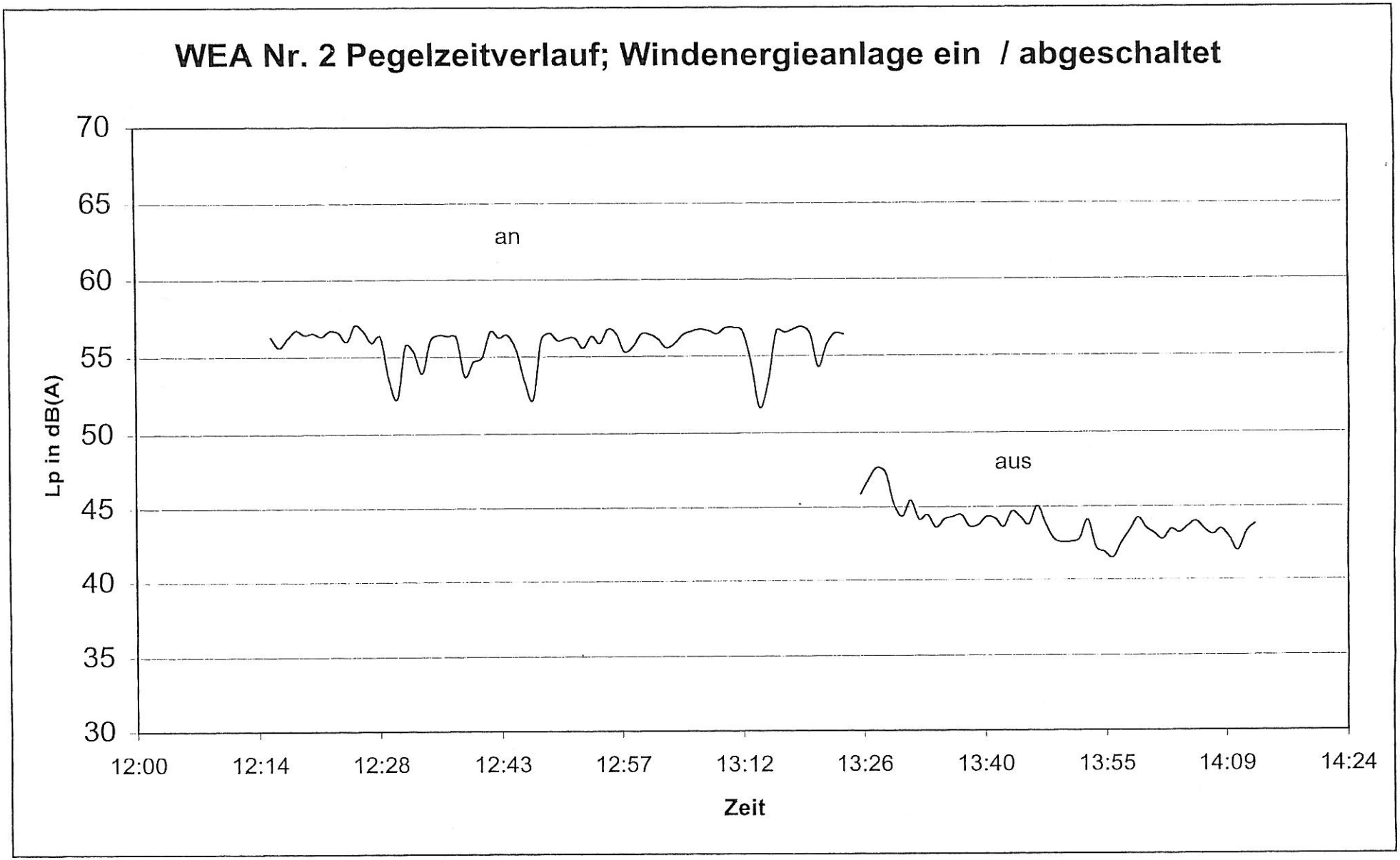


Schalleistungpegel sowie Ton- und Impulshaltigkeit im Nahbereich:
Berechnung über Regression 2. Ordnung für Anlagengeräusch und lineare Regression für Hintergrundgeräusch,
Grundlage für Umrechnung der Leistung auf Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe: berechnete Leistungskurve.

Windgschwindigkeit in 10 m Höhe	6 m/s	7 m/s	8 m/s	8,5 m/s (95 % Nennleistung)		
Schalleistungspegel L_W	100,0 dB(A)	101,8 dB(A)	102,8 dB(A)	103,0 dB(A)		
Impulshaltigkeit K_{IN}	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB		
Tonhaltigkeit K_{TN}	2 dB	1 dB	2 dB	1 dB		

95 % Nennleistung entspricht auf Grundlage der berechneten Leistungskurve einer Windgeschwindigkeit von 8,5 m/s in 10 m Höhe.
Für Windgeschwindigkeiten < 6 m/s liegen keine Meßdaten vor.

KÖTTER Consulting Engineers, Bonifatiusstraße 400, 48432 Rheine, Tel. 05971-9710.0, Fax 05971-9710.43, e-mail: immi@koetter-consulting.com, http://www.koetter-consulting.com


WEA Nr. 2 Pegelzeitverlauf; Windenergieanlage ein / abgeschaltet
70
65
60
55
50
45
40
35
30
Lp in dB(A)
an
aus
12:00
12:14
12:28
12:43
12:57
13:12
13:26
13:40
13:55
14:09
14:24
Zeit

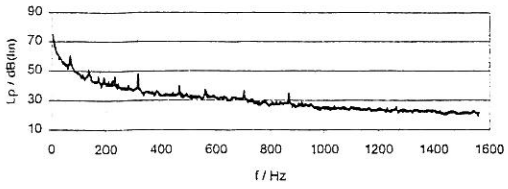
KÖTTER
CONSULTING ENGINEERS

Anlage C: Spektren zur Tonhaltigkeitsanalyse

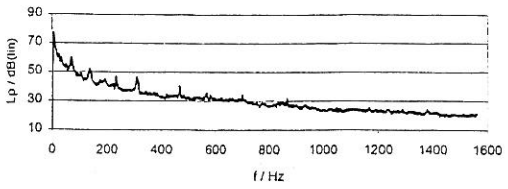
KÖTTER CONSULTING ENGINEERS

Spektren, v_{10} = 6 m/s

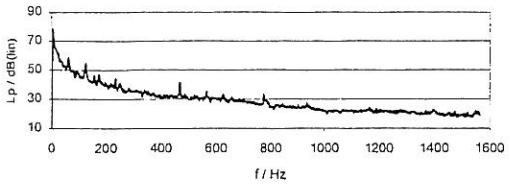
Spektrum 6-1, 12:30



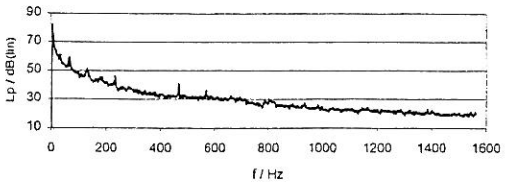
Spektrum 6-2, 12:30



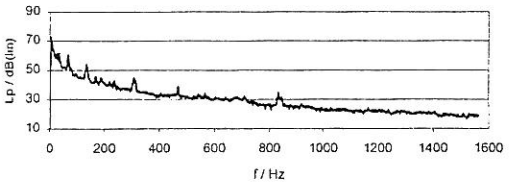
Spektrum 6-3, 12:30



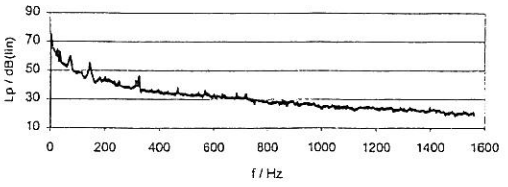
Spektrum 6-4, 12:30



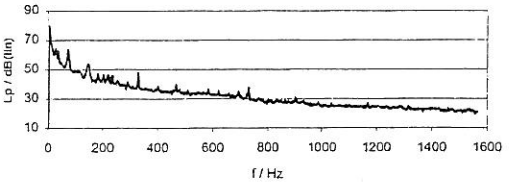
Spektrum 6-5, 12:30



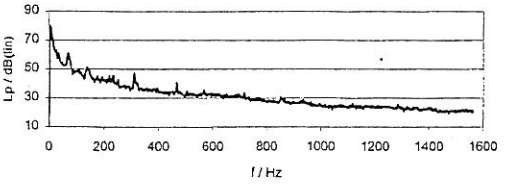
Spektrum 6-6, 12:30



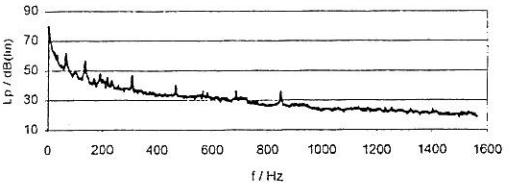
Spektrum 6-7, 12:39



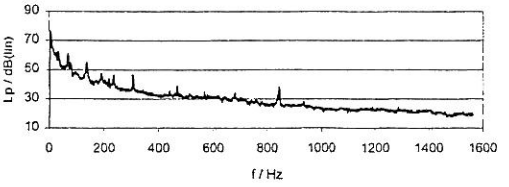
Spektrum 6-8, 12:39



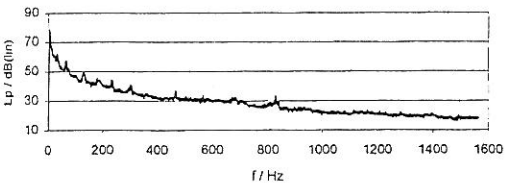
Spektrum 6-9, 12:39



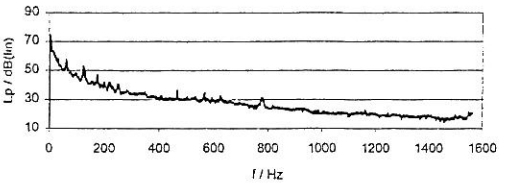
Spektrum 6-10, 12:39



Spektrum 6-11, 12:39



Spektrum 6-12, 12:39



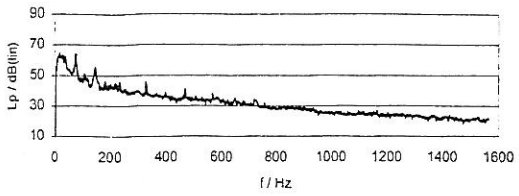
Tonhaltigkeit nach Entwurf DIN 45681, v_{10} = 6 m/s													
Spektrum	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	Mittelwert
f_T / Hz	316,41	310,55			306,64			312,50	308,59	304,69			
delta f_c / Hz	107,10	106,85			106,68			106,93	106,76	106,60			
f_1 / Hz	262,86	257,13			253,30			259,03	255,21	251,39			
f_2 / Hz	369,96	363,97			359,98			365,97	361,97	357,99			
L_S / dB	37,04	36,51			36,38			37,26	37,08	35,89			
L_G / dB	54,33	53,79			53,65			54,54	54,35	53,16			
L_T / dB	49,70	51,89			49,66			51,81	50,70	48,82			
delta L / dB	1,37	4,10			2,01			3,27	2,35	1,66			2,57
K_{TN} / dB													2

MÜLLER-BBM KÖTTER CONSULTING ENGINEERS

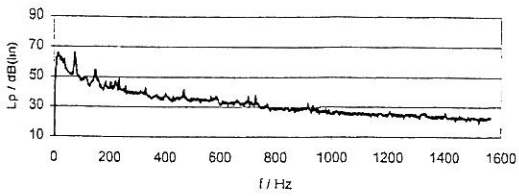
Spektren, v_{10} = 7 m/s

KÖTTER CONSULTING ENGINEERS

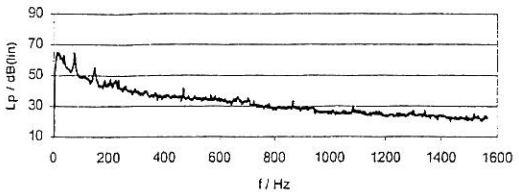
Spektrum 7-1, 12:58



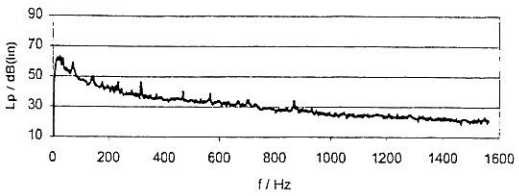
Spektrum 7-2, 12:58



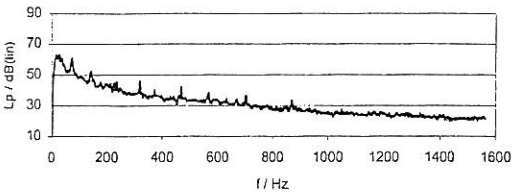
Spektrum 7-3, 12:58



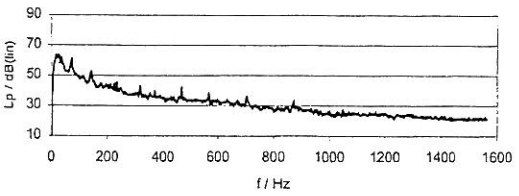
Spektrum 7-4, 12:58



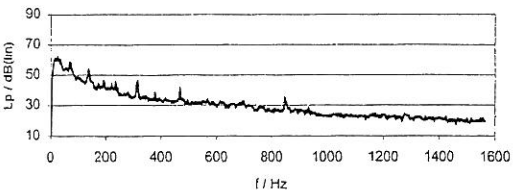
Spektrum 7-5, 12:58



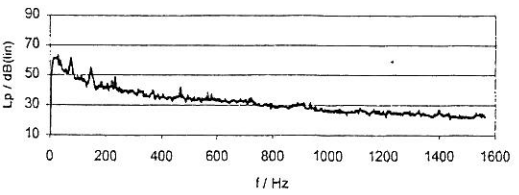
Spektrum 7-6, 12:58



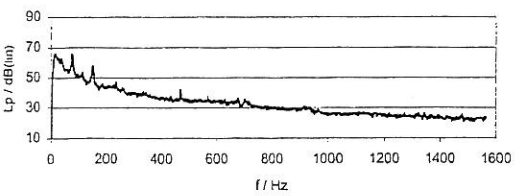
Spektrum 7-7, 12:59



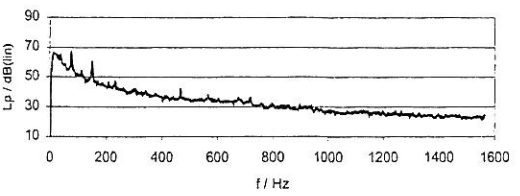
Spektrum 7-8, 12:59



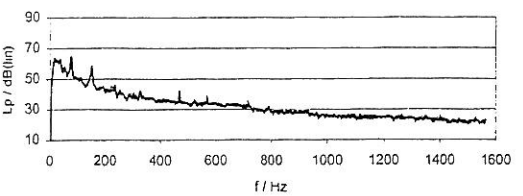
Spektrum 7-9, 12:59



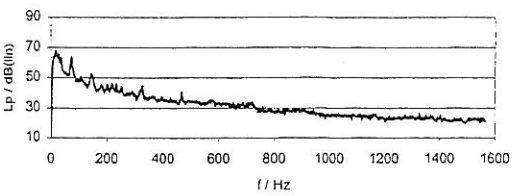
Spektrum 7-10, 12:59



Spektrum 7-11, 12:59



Spektrum 7-12, 12:59



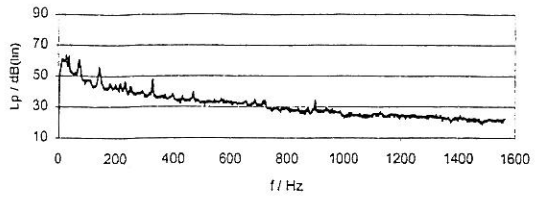
Tonhaltigkeit nach Entwurf DIN 45681, v_{10} = 7 m/s													
Spektrum	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	Mittelwert
f_T / Hz	146,48	148,44	148,44		142,58	142,58	136,72	146,48	150,39	150,39	150,39	144,53	
delta f_c / Hz	101,55	101,59	101,59		101,47	101,47	101,35	101,55	101,63	101,63	101,63	101,51	
f_1 / Hz	95,71	97,65	97,65		91,85	91,85	86,05	95,71	99,57	99,57	99,57	93,78	
f_2 / Hz	197,25	199,23	199,23		193,31	193,31	187,39	197,25	201,21	201,21	201,21	195,28	
L_S / dB	45,59	46,14	46,85		46,13	46,26	45,68	45,48	48,02	48,62	47,01	46,17	
L_G / dB	62,65	63,20	63,91		63,18	63,32	62,73	62,54	65,08	65,68	64,07	63,22	
L_T / dB	60,09	57,17	59,15		52,20	52,60	56,14	58,55	61,50	63,25	62,27	57,35	
delta L / dB	3,44	-0,03	1,24		-4,98	-4,72	-0,59	2,01	2,42	3,57	4,20	0,12	1,44
K_{TN} / dB													1

KÖTTER CONSULTING ENGINEERS

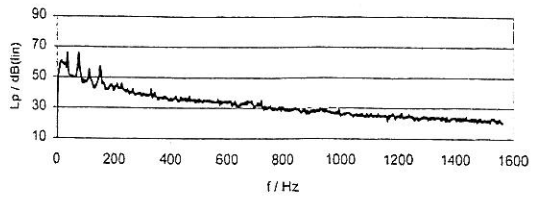
Spektren, v_{10} = 8 m/s

KÖTTER CONSULTING ENGINEERS

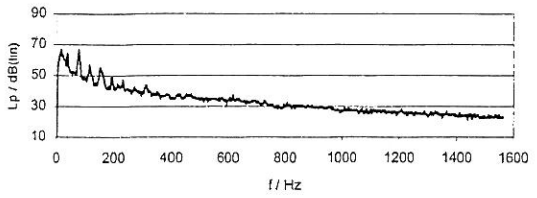
Spektrum 8-1, 12:35



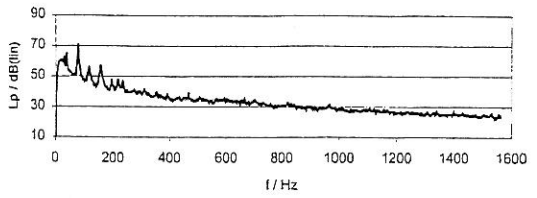
Spektrum 8-2, 12:35



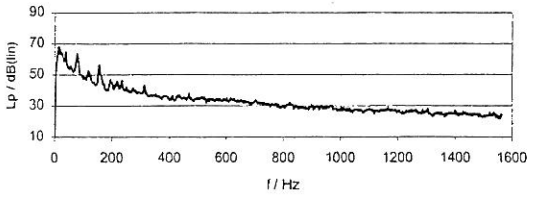
Spektrum 8-3, 12:35



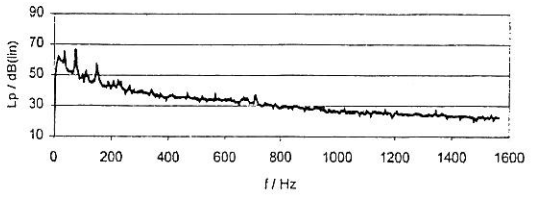
Spektrum 8-4, 12:35



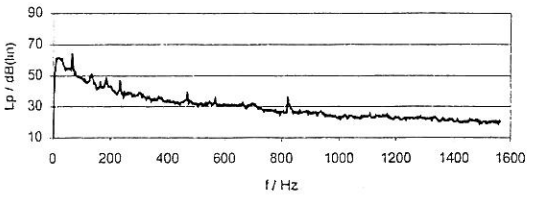
Spektrum 8-5, 12:35



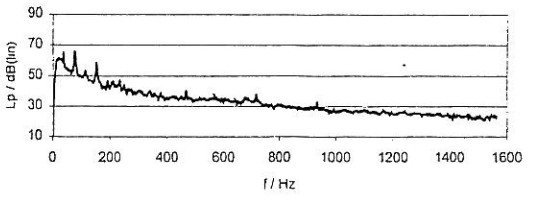
Spektrum 8-6, 12:35



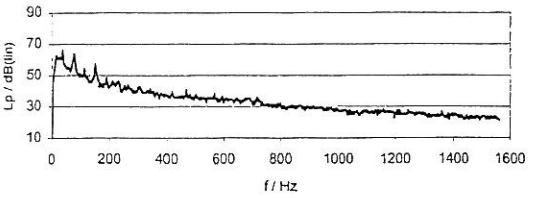
Spektrum 8-7, 13:05



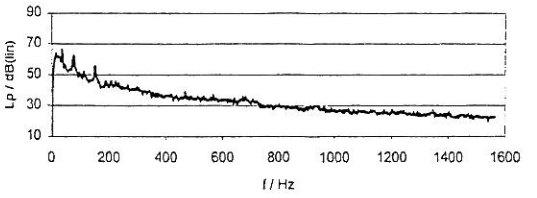
Spektrum 8-8, 13:05



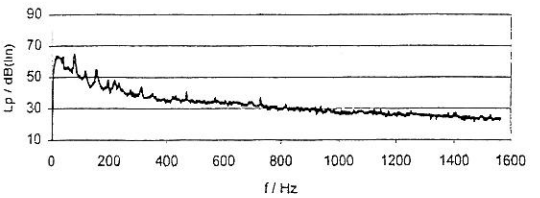
Spektrum 8-9, 13:05



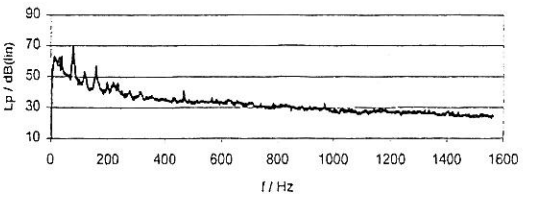
Spektrum 8-10, 13:05



Spektrum 8-11, 13:05



Spektrum 8-12, 13:05



Tonhaltigkeit nach Entwurf DIN 45681, v_{10} = 8 m/s													
Spektrum	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	Mittelwert
f_T / Hz		76,17	78,13	78,13	78,13	74,22	66,41	76,17	78,13		78,13	78,13	
delta f_c / Hz		100,42	100,44	100,44	100,44	100,40	100,32	100,42	100,44		100,44	100,44	
f_1 / Hz		25,96	27,91	27,91	27,91	24,02	16,25	25,96	27,91		27,91	27,91	
f_2 / Hz		126,38	128,35	128,35	128,35	124,42	116,57	126,38	128,35		128,35	128,35	
L_S / dB		55,68	55,28	56,30	55,96	55,78	56,33	56,12	56,96		56,10	54,26	
L_G / dB		72,69	72,29	73,31	72,97	72,79	73,33	73,13	73,97		73,11	71,26	
L_T / dB		69,56	70,55	73,62	66,04	70,21	64,40	69,59	66,56		68,64	72,72	
delta L / dB		2,87	4,26	6,32	-0,92	3,42	-2,93	2,46	-1,40		1,53	7,45	3,40
K_{TN} / dB													2

KÖTTER CONSULTING ENGINEERS

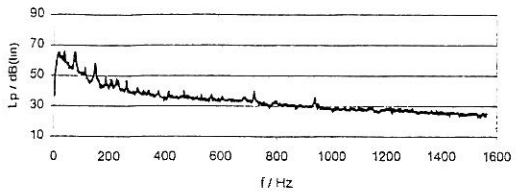
Tonhaltigkeit nach Entwurf DIN 45681, v_{10} = 8 m/s													
Spektrum	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	Mittelwert
f_T / Hz	144,53	150,39	154,30	156,25	156,25	148,44		150,39	150,39	150,39	154,30	158,20	
delta f_c / Hz	101,51	101,63	101,72	101,76	101,76	101,59		101,63	101,63	101,63	101,72	101,80	
f_1 / Hz	93,78	99,57	103,44	105,37	105,37	97,65		99,57	99,57	99,57	103,44	107,30	
f_2 / Hz	195,28	201,21	205,16	207,13	207,13	199,23		201,21	201,21	201,21	205,16	209,10	
L_S / dB	44,82	47,06	48,98	48,07	46,75	46,91		47,74	47,91	46,92	47,61	46,17	
L_G / dB	61,88	64,12	66,05	65,14	63,82	63,97		64,80	64,97	63,98	64,67	63,24	
L_T / dB	60,71	61,66	55,10	61,23	60,01	60,75		62,62	59,16	58,57	59,05	61,06	
delta L / dB	4,83	3,54	-4,95	2,10	2,19	2,79		3,81	0,19	0,59	0,37	3,82	2,35
K_{TN} / dB													2

KÖTTER CONSULTING ENGINEERS

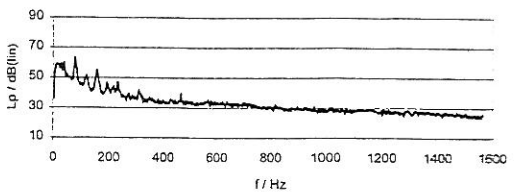
Spektren, v_{10} = 8,5 m/s

KÖTTER CONSULTING ENGINEERS

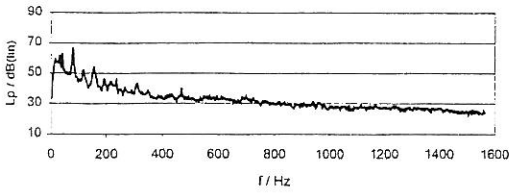
Spektrum 8,5-1, 12:18



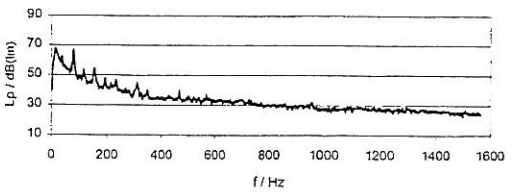
Spektrum 8,5-2, 12:18



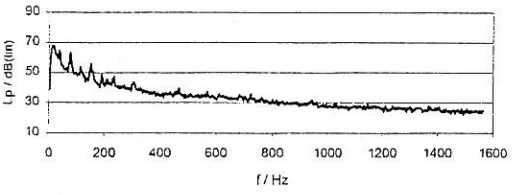
Spektrum 8,5-3, 12:18



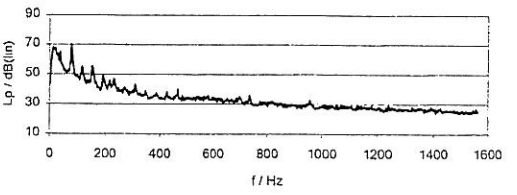
Spektrum 8,5-4, 12:18



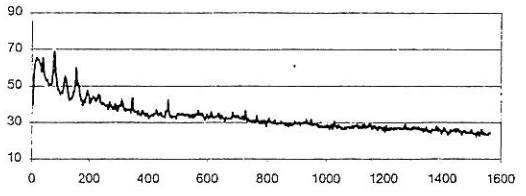
Spektrum 8,5-5, 12:18



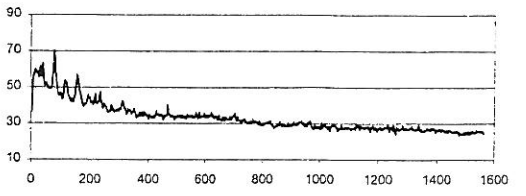
Spektrum 8,5-6, 12:18



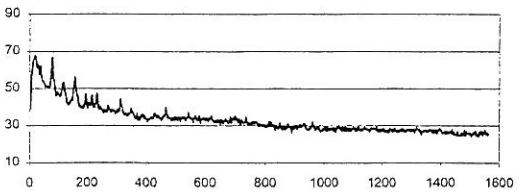
Spektrum 8,5-7, 12:21



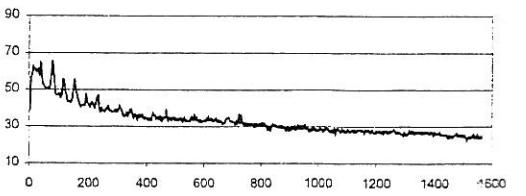
Spektrum 8,5-8, 12:21



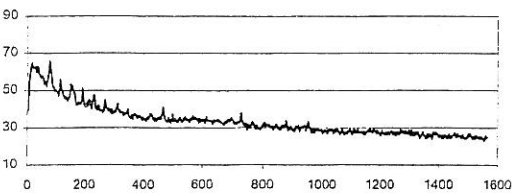
Spektrum 8,5-9, 12:21



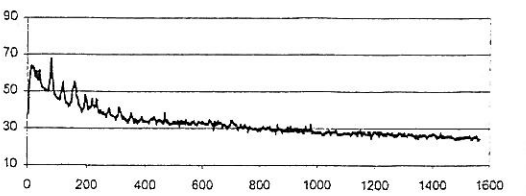
Spektrum 8,5-10, 12:21



Spektrum 8,5-11, 12:21



Spektrum 8,5-12, 12:21



Tonhaltigkeit nach Entwurf DIN 45681, v_{10} = 8,5 m/s													
Spektrum	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	Mittelwert
f_T / Hz	76,17	78,13	78,13	78,13	78,13	78,13	78,13	78,13	78,13	78,13	78,13	78,13	
delta f_c / Hz	100,42	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	100,44	
f_1 / Hz	25,96	27,91	27,91	27,91	27,91	27,91	27,91	27,91	27,91	27,91	27,91	27,91	
f_2 / Hz	126,38	128,35	128,35	128,35	128,35	128,35	128,35	128,35	128,35	128,35	128,35	128,35	
L_S / dB	57,74	52,60	53,68	55,41	55,78	56,73	55,73	54,74	54,94	55,54	53,88	56,54	
L_G / dB	74,75	69,60	70,69	72,42	72,78	73,73	72,74	71,75	71,95	72,55	70,89	73,55	
L_T / dB	69,78	66,71	70,08	70,23	65,60	72,61	72,77	72,99	69,54	69,09	70,64	68,99	
delta L / dB	1,04	3,11	5,39	3,81	-1,19	4,88	6,03	7,24	3,60	2,54	5,75	1,44	4,20
K_{TN} / dB													3

KÖTTER CONSULTING ENGINEERS

Tonhaltigkeit nach Entwurf DIN 45681, v_{10} = 8,5 m/s													
Spektrum	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**	Mittelwert
f_T / Hz	152,34	156,25	156,25	154,30	152,34	154,30	152,34	156,25	156,25	152,34		158,20	
delta f_c / Hz	101,67	101,76	101,76	101,72	101,67	101,72	101,67	101,76	101,76	101,67		101,80	
f_1 / Hz	101,50	105,37	105,37	103,44	101,50	103,44	101,50	105,37	105,37	101,50		107,30	
f_2 / Hz	203,18	207,13	207,13	205,16	203,18	205,16	203,18	207,13	207,13	203,18		209,10	
L_S / dB	48,31	45,72	45,57	47,44	47,54	47,40	48,06	46,20	46,17	48,27		46,92	
L_G / dB	65,37	62,78	62,64	64,50	64,60	64,46	65,13	64,26	63,24	65,33		63,98	
L_T / dB	61,86	60,40	59,25	58,06	58,00	59,49	62,78	61,51	59,43	55,30		59,36	
delta L / dB	2,49	3,61	2,61	-0,44	-0,54	1,03	3,66	3,24	2,19	-4,03		1,38	1,84
K_{TN} / dB													1

KÖTTER CONSULTING ENGINEERS

KÖTTER CONSULTING ENGINEERS

Anlage D: Leistungskurve

5.1.2 Bingemittelte Leistungskennlinie

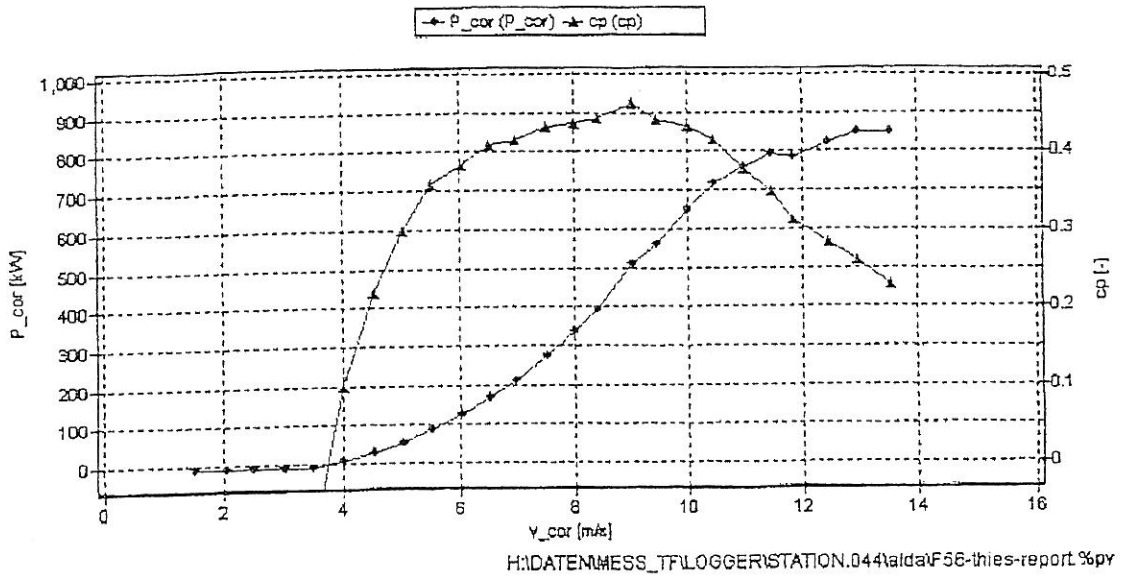


Abbildung 10: Abgegebene elektrische Wirkleistung P und der Gesamtleistungsbeiwert Cp der Windenergieanlage als Funktion der Windgeschwindigkeit (Anemometertyp Thies 4.3303.22.000). Die Bin-Breite beträgt 0.5 m/s. Die gemessenen Windgeschwindigkeitswerte wurden der IEC entsprechend auf meteorologische Normalbedingungen (15 °C und 1013 hPa) korrigiert. Der Gesamtleistungsbeiwert wurde mit einer effektiven Rotorfläche von 2450 m^2 (entsprechend der Achsneigung von 6°) berechnet.

Die nach IEC erforderliche Datenbasis von mindestens 180 h Meßdauer wurde im Meßzeitraum nicht erreicht. Es liegen lediglich Daten über 163.5 h vor.

Abgesehen hiervon, würde diese vermessene Leistungskennlinie nach IEC nur für Standorte mit einer mittleren Jahreswindgeschwindigkeit von bis zu 5.6 m/s gelten. Für dieses standortbezogene Kriterium fordert die IEC, daß für die entsprechenden Windgeschwindigkeiten das Verhältnis von AEP größer oder gleich zu 95 % von AEP-extrapoliert ist (siehe Tabelle 7).

Die bestimmte Leistungskennline ist bis Bin-Nr. 27 d.h. 13.5 m/s vollständig, da alle höheren Bins weniger als drei Wertepaare enthalten. Damit die Kennlinie nach IEC auch für Standorte mit allen höheren Jahres-Windgeschwindigkeiten gültig wäre, müßte der Windgeschwindigkeitsbereich von 1 m/s unter der Einschaltgeschwindigkeit bis zum 1,5 fachen der Windgeschwindigkeit, bei welcher die Windkraftanlage 85 % der Nennleistung erreicht, abgedeckt werden. Die untersuchte WEA erreicht 85 % ihrer Nennleistung (723 kW) bei einer Windgeschwindigkeit von 10.5 m/s. Dementsprechend müßte ein Bereich bis 16 m/s abgedeckt werden (siehe Tabelle 4).

5.1.3 Tabellarische Darstellung der Meßwerte

Bin	Windgeschwindigkeit	Elektr. Leistung	Werte	Cp	Elektr. Leistung Minimum	Elektr. Leistung Maximum	Elektr. Leistung Standardabweichung
[-]	[m/s]	[kW]	[-]	[-]	[kW]	[kW]	[kW]
3	1.52	-6.33	8	-1.205	-3.44	-9.47	2.04
4	2.05	-6.58	16	-0.511	-4.44	-9.47	1.91
5	2.50	-7.23	13	-0.308	-4.44	-9.47	1.86
6	3.01	-8.97	42	-0.218	-5.45	-10.48	1.21
7	3.51	-6.33	65	-0.097	3.60	-10.48	3.58
8	4.00	9.53	65	0.099	29.76	-6.45	8.31
9	4.53	30.51	85	0.219	57.92	2.60	11.05
10	5.01	56.51	70	0.300	96.14	23.72	14.51
11	5.51	89.75	94	0.359	147.44	46.86	16.80
12	6.01	125.47	76	0.385	188.68	81.06	19.24
13	6.51	169.66	95	0.409	249.04	89.10	26.55
14	6.97	211.80	63	0.416	294.30	139.40	30.94
15	7.50	273.54	61	0.433	344.59	157.50	31.63
16	8.01	336.44	45	0.436	415.01	224.90	43.52
17	8.40	393.14	23	0.443	426.07	325.48	25.98
18	9.02	509.80	25	0.462	602.10	411.99	42.46
19	9.46	559.99	22	0.441	734.87	461.28	60.65
20	10.01	649.88	14	0.432	711.74	552.81	49.03
21	10.48	718.43	20	0.416	778.12	633.28	32.57
22	11.01	758.14	23	0.378	822.38	690.61	35.38
23	11.48	792.88	12	0.349	826.41	733.87	27.73
24	11.86	783.41	4	0.313	837.47	753.98	32.02
25	12.48	821.38	11	0.282	849.54	769.07	28.84
26	12.97	849.14	5	0.260	852.56	845.52	2.74
27	13.52	848.03	4	0.229	851.55	843.51	2.89

Tabelle 4: Tabellarische Darstellung der Binanalyse (Anemometertyp Thies 4.3303.22.000). Dargestellt sind (in der Reihenfolge): Die Bin-Nummer, die mittlere Windgeschwindigkeit im Bin, der Mittelwert der abgegebenen Wirkleistung, die Anzahl der Wertepaare im Bin, der Leistungsbeiwert und die Standardabweichung der Leistung. Der Gesamtleistungsbeiwert wurde mit einer effektiven Rotorfläche (unter Einbeziehung einer Rotorachsneigung von 6°) von 2450 m^2 berechnet. Entsprechend dem IEC-Standard sind nur Bins mit mindestens drei Wertepaaren vollständig und dargestellt. Somit ist die Kennlinie nur bis 13.5 m/s vollständig. Die Meßdauer betrug 163.5 Stunden.

KÖTTER
CONSULTING ENGINEERS

Anlage E: Herstellerbescheinigung

Herstellerbescheinigung zu spezifischen Daten des Anlagentypes: F56/850kW
Manufacturer's certificate on specific data of the type of installation:

Datum / date: 02.04.2001

1. Allgemeines		General
Hersteller	FRISIA	manufacturer
Anlagenbezeichnung	F56/850kW	type name
Art (horizontale/vertikale Achse)	Horizontal	kind (horizontal / vertical axis)
Nennleistung	850 kW	rated power
Nabenhöhe über Grund	70 m	hub height above ground
Nabenhöhe über Fundamentflansch	70 m	hub height above top of foundation flange
Nennwindgeschwindigkeit	11,5 m/s	rated wind speed
Ein- und Abschaltwindgeschwindigkeit	2,5 / 20 m/s	cut-in and cut-out wind speed
Beitrag zum Kurzschlußstrom	0,8 kA	contribution to short circuit current

2. Rotor		Rotor
Durchmesser	56 m	diameter
Bestrichene Fläche	2463 m²	swept area
Anzahl der Blätter	3	number of blades
Nabenart (pendelnd/starr)	starr	kind of hub (teetered/rigid)
Anordnung zum Turm (luv/lee)	luv	relative position to tower (luv/lee)
Nenndrehzahl / -bereich	24,8U/min	rated speed / speed range
Auslegungsschnellaufzahl	7	design tip speed ratio
Rotorblatteinstellwinkel	1°	rotor blade pitch setting
Konuswinkel	0°	cone angle
Achsneigung	6°	tilt angle
Abstand Rotorflanschmittelpunkt - Turmmittellinie	2,758 m	distance between rotor flange centre and tower centre line

3. Rotorblatt		Rotor blade
Hersteller	A. & R.	manufacturer
Typenbezeichnung	ARA56	type
Profile innen/außen	____/____	blade sections inner/outer
Material	GFK	material
Länge	____ m	length
Profiltiefe max./min.	____/____ m	chord length (max./min.)
Zusatzkomponenten (z.B. stall strips, Vortex-Generatoren, Turbulatoren)	keine	additional components (e.g. stall strips, vortex generators, trip strips)
Extenderlänge	__ m	extender length

4. Getriebe		Gear
Hersteller	dorstener	manufacturer
Typenbezeichnung	PZ3 VH90	type
Ausführung	_____	design
Übersetzungsverhältnis	1:68,3	gear ratio

5. Generator		Generator
Hersteller	Weier	manufacturer
Typenbezeichnung	DVGIM450/4L	type
Anzahl	1	numbers
Art	synchron	design
Nennleistung (en)	850 kW	rated power (s)
Nennscheinleistung	850 kVA	rated apparent power
Nenndrehzahlen oder Drehzahlbereich	1750 U/min	rated speed (s)/ speed range
Spannung	630 ... 730 V	voltage
Frequenz	34,7 ... 66,6 Hz	frequency
Nennschlupf	0 %	rated slip

6. Turm		Tower
Hersteller	Sipro/Reuther	manufacturer
Typenbezeichnung	68mSRT	type
Ausführung (Gitter/Rohr, zyl./kon.)	kon. Rohr	design (latice/tubular, cylindrical/conical)
Material	Stahl	material
Länge	68 m	length

7. Windrichtungsnachführung		Yaw control
Ausführung (aktiv/passiv)	aktiv	design (active/passive)
Antriebsart (el./mech./hydr.)	elektrisch	drive (electr./mech./hydr.)
Dämpfungssystem während des Betriebs	Scheibenbremse	damping system during operation

8. Betriebsführung / Regelung		Control system/control
Art der Leistungsregelung	Pitch	kind of power control
Antrieb der Leistungsregelung	elektrisch	actuation of power control
Hersteller der Betriebsführung / Regelung	Frisa Steuerung	manufacturer of control system
- Typenbezeichnung	_____	- type
- Verwendete Steuerungskurve	987329U-A05B6FU-EC611DU-FBEBC9U-1067CB5L	- used control characteristics

9. Sonstige elektrische Komponenten		Other electric installations
Anzahl der Kompensationsstufen	_____	number of compensation stages
Blindleistung Stufe 1	___ kvar	reactive power stage 1
Blindleistung Stufe 2	___ kvar	reactive power stage 2
Blindleistung Stufe _	___ kvar	reactive power stage _
Blindleistung Stufe _	___ kvar	reactive power stage _
Art der Netzkopplung	Wechselr. AC-DC-AC	kind of interconnection
- Hersteller	FRISIA-Schalttanlagen	- manufacturer
- Typenbezeichnung	_____	- type
Netzschutzhersteller	FRISIA Schaltanlagen	mains protective manufacturer
- Typenbezeichnung	_____	- type
- Einstellbereiche:		- adjustment range:
Spannungssteigerungsschutz	379 V	overvoltage protection
Spannungsrückgangsschutz	324 V	undervoltage protection
Frequenzsteigerungsschutz	50.5 Hz	overfrequency protection
Frequenzrückgangsschutz	49.5 Hz	underfrequency protection
Oberschwingungsfilter (Grenzfrequenz)	____ (___Hz)	harmonic filter(cut-off frequency)

10. Bremssystem		Brake system
Bremssystem (primär/sekundär)	Pitch /Scheibenbremse	brake system (primary/secondary)
- Aktivierung	_____ / ____	– activation
- Anordnung	Getriebe/ Generators.	– location
- Bremsenart	Federbetr. hydr.	– type
- Betätigung	_____ / ____	– actuation

11. Typenprüfung		Type test
Prüfbehörde	Landesprüfamt Hannover	testing authority
Aktenzeichen	783-543-560	reference

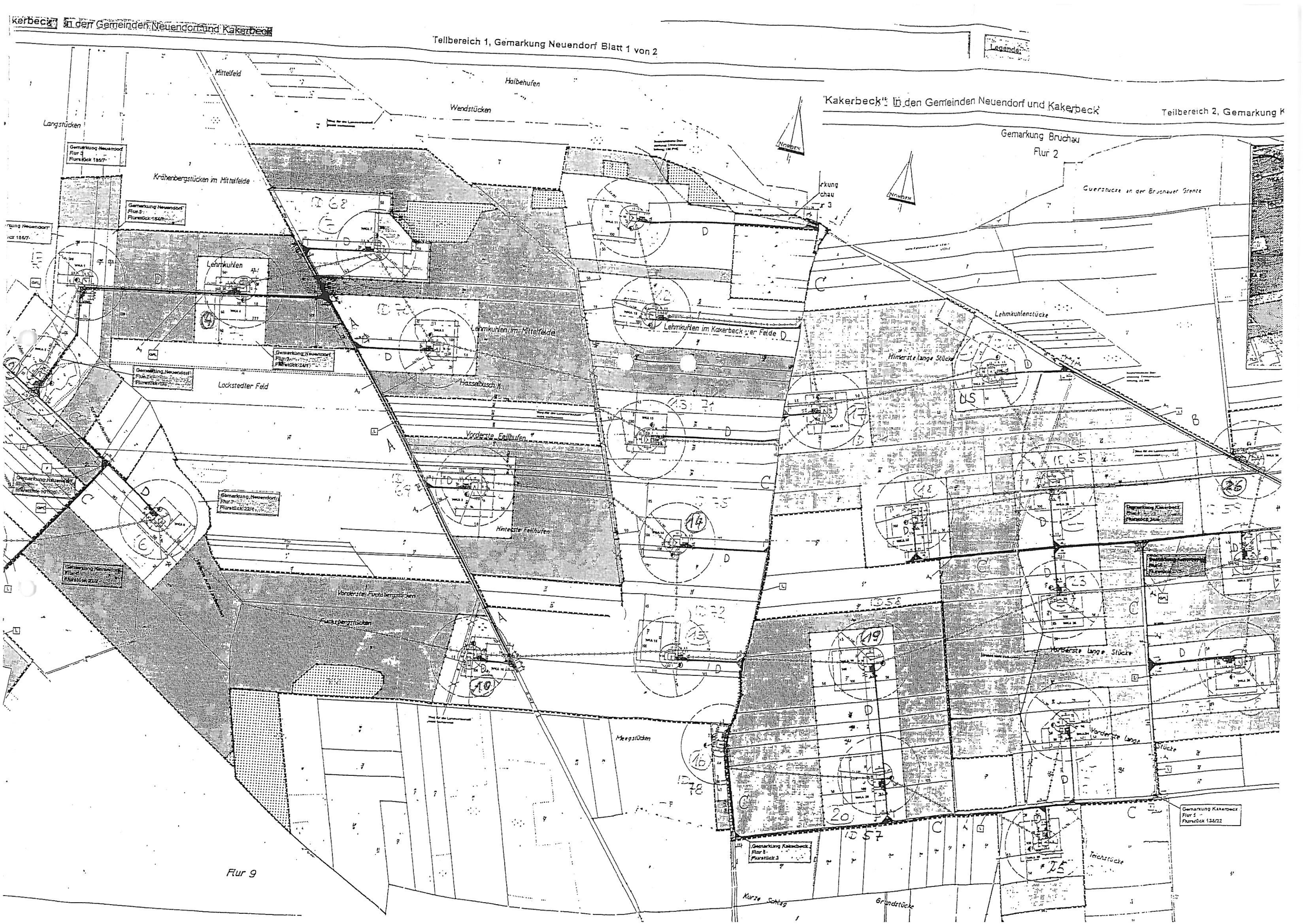
12. Informativer Teil		Informative
Standort der vermessenen WEA	Neuendorf/Kakerbeck	location of measured WTGS
Seriennummer der WEA	ID84	serial number of WTGS
der Blätter	12 / 13 / 88	blades
des Getriebes	24766	gearbox
des Generators	584476	generator

FRISIA Windkraftanlagen Produktion GmbH
Emscherstr. 6 32427 Minden

Minden,02.04.01 Stempel, Unterschrift

Der Hersteller der Windenergieanlage bestätigt, daß die WEA, deren Schallemission, Leistungskurve und elektrischen Eigen- in den Prüfberichten abgebildet ist, hinsichtlich ihrer technischen Daten mit den o.g. Positionen identisch ist.

The manfacturer of the wind turbine generator system confirms that the WTGS whose noise level, power performance curve and power quality is measured and depicted in the test reports, is identical with the above entries with regard to it's technical data.



kerbeck in den Gemeinden Neuendorf und Kakerbeck
Teilbereich 1, Gemarkung Neuendorf Blatt 1 von 2
Legende:
Mittelfeld
Halbehufen
Wendstücken
Langstücken
Krähenbergstücken im Mittelfelde
Gemarkung Neuendorf
Flur 3
Flurstück 185/7
Gemarkung Neuendorf
Flur 3
Flurstück 184/7
Lehmkuhlen
Lehmkuhlen im Mittelfelde
Lehmkuhlen im Kakerbeck'er Felde
Lockstedter Feld
Hasselbusch II
Vorderste Feilhufen
Hinterste Feilhufen
Gemarkung Neuendorf
Flur 7
Flurstück 22/4
Vorderste Fuchsbergstücken
Fuchsbergstücken
Meegstücken
Flur 9
Kurze Schlag
Grundstücke
Teichstücke
Gemarkung Kakerbeck
Flur 5
Flurstück 138/22
Gemarkung Kakerbeck
Flur 5
Flurstück 3
Vorderste lange Stücke
Vorderste lange Stücke
Hinterste lange Stücke
Lehmkuhlenstücke
Querstücke an der Bruchauer Grenze
Gemarkung Bruchau
Flur 2
Kakerbeck" in den Gemeinden Neuendorf und Kakerbeck
Teilbereich 2, Gemarkung K
Norden
Norden