

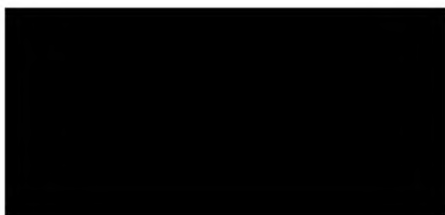
Am alten Sportplatz 19
52 511 Geilenkirchen
Tel.: 02451 / 68 480

**Vorausberechnung der Geräuschemissionen
für die
Errichtung von drei Windkraftanlagen
südwestlich von Seiwerath**

Auftraggeber:



Geilenkirchen, den 01.10. 1996

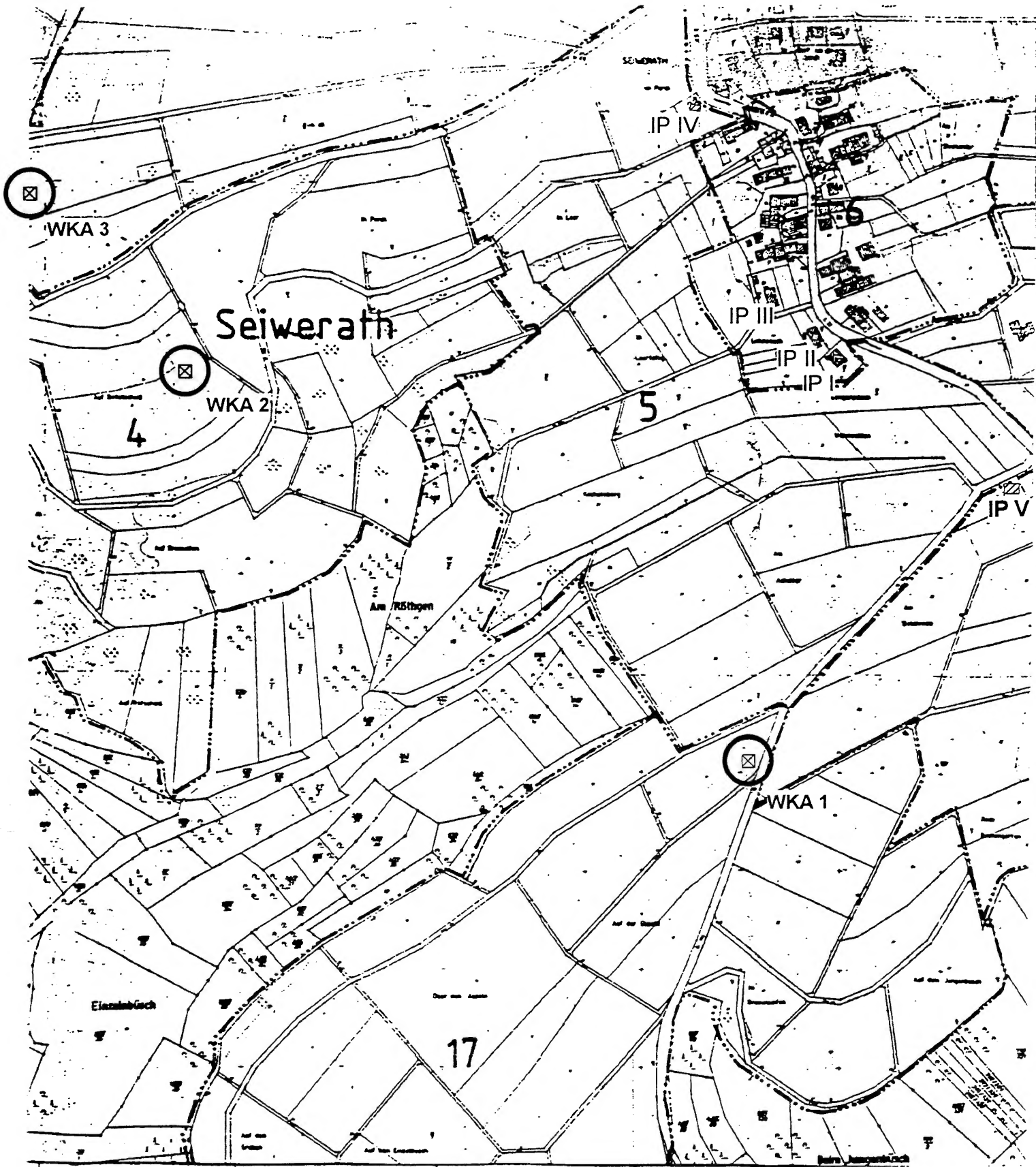


1 Situationsbeschreibung und Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant die Errichtung von drei Windkraftanlagen mit einer Nennleistung von jeweils 600 kW. Für an der Ortsgrenze von Seiwerath gelegene Betriebs- und Wohngebäude sind die zu erwartenden Geräuschemissionen der geplanten Windkraftanlagen zu prognostizieren und zu beurteilen.

2 Lageplan und ausgewählte Immissionspunkte

Die Standorte der geplanten Windkraftanlagen sind dem Lageplan auf der folgenden Seite (Bild 1) zu entnehmen. Die festgelegten Immissionspunkte IP I bis IP V sind ebenfalls in dieser Karte dargestellt.



In der TA-Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm [1]) hat der Gesetzgeber Immissionsrichtwerte in Abhängigkeit der baulichen sowie der industriellen und gewerblichen Nutzung der Grundstücke und Nutzflächen festgelegt. Die ausgewählten Immissionspunkte sind hinsichtlich ihrer Flächennutzung wie folgt einzustufen:

Die Immissionspunkte IP I bis IP V liegen am Ortsrand von Seiwerath. Die tatsächliche bauliche Nutzung dieser Grundstücke ist in Anlehnung an die Baunutzungsverordnung in die Kategorie „Mischgebiet Dorfgebiet“ einzuordnen. Diese Kategorie entspricht nach [2] einem Gebiet mit gewerblichen Anlagen und Wohnungen, in denen weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind.

Immissionspunkt	Flächennutzung	Immissionsrichtwert Tag (6 - 22 h)	Immissionsrichtwert Nacht (22 - 6 h)
IP I bis IP V	Gebiet mit weder vorwiegend gewerblichen Anlagen noch vorwiegend Wohnungen	60 dB(A)	45 dB(A)

Tabelle 1 Immissionsrichtwerte für die festgelegten Immissionspunkte nach TA-Lärm [1]

Die Windkraftanlagen sollen kontinuierlich über 24 Stunden täglich betrieben werden. Infolge der niedrigeren Grenzwerte für den Immissionsschutz zur Nachtzeit (22 Uhr bis 6 Uhr) wird im folgenden nur dieser Zeitraum betrachtet. In Tabelle 1 sind die Immissionsrichtwerte für die festgelegten Immissionspunkte angeführt.

3 Anlagenbeschreibung und Geräuschemission

Zur Kennzeichnung der Geräuschemission von Maschinen wird nach DIN 45635, Teil 1 [3] der Schalleistungspegel angegeben. Der Schalleistungspegel von Windkraftanlagen wird nach einer Empfehlung der IEA [4] aus einer Schallmessung unter Normbetriebsbedingungen bei einer Windgeschwindigkeit von 8 m/s in 10 m Höhe ermittelt. Beispielhaft für eine typische 600-kW-Windkraftanlage enthalten die Tabellen 2 und 3 auf der nächsten Seite die technischen Daten sowie den vom Hersteller angegebenen Schalleistungspegel $L_{WA,ref}$ [5].

Anlage	Nennleistung	Rotor-Durchmesser	Nabenhöhe	Anzahl Rotorblätter	Rotor-Anordnung
TACKE TW 600	600 kW bei 14,5 m/s	43 m	60 m	3	luvseitig

Tabelle 2 Technische Daten der Windkraftanlage TACKE TW 600

Anlage	Schalleistungspegel [dB(A)]	Tonhaltigkeit [dB]	Impulshaltigkeit [dB]
TACKE TW 600 [5]	98,3	1,0	< 2

Tabelle 3 Vom Hersteller angegebener Schalleistungspegel $L_{WA,ref}$ für die Geräuschemission der Windkraftanlage TACKE TW 600

Da keine Schallemissionswerte für höhere Windgeschwindigkeiten zur Verfügung stehen und für den geplanten Standort mittlere Windgeschwindigkeiten oberhalb 8 m/s nur in weniger als 5 % des Jahres zu erwarten sind, ist die Vorausberechnung der Schallemission anhand des Wertes aus Tabelle 3 gerechtfertigt.

- Andere Hersteller geben für Windkraftanlagen gleicher Nennleistung etwas höhere Schalleistungspegel $L_{WA,ref}$ an. Zwei der bei Seiwerath gebauten Anlagen sind vom Typ Micon M1800 mit einem Schalleistungspegel von 98,4 dB(A).
- Der Schalleistungspegel der dritten Anlage liegt voraussichtlich unter dem für dieses Gutachten verwendeten Referenzschalleistungspegel von

$$L_{WAref} = 100 \text{ dB(A)},$$

der aus Sicherheitsgründen an dieser Stelle jedoch für alle drei Anlagen angesetzt wird.

Niedrigere Schalleistungspegel führen dann auch zu entsprechend niedrigeren Schallimmissionspegeln.

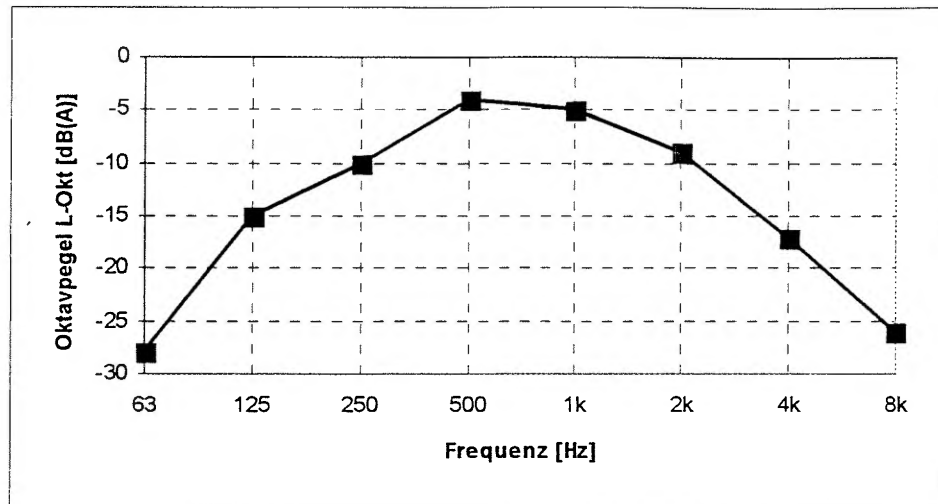


Bild 2 Normiertes Oktavpegelspektrum einer Windkraftanlage nach [7]

Die wichtigsten Schallentstehungsmechanismen für die Breitband-Geräuschquellen sind in [6] zusammengefasst:

- Rotorblatt-Kraftschwankungen infolge von Anströmungs-Turbulenzen führen zu einem mit etwa 8 dB/Oktav zu hohen Frequenzen hin abfallenden Rauschspektrum.
- Das von der turbulenten Grenzschichtströmung auf der Rotorblattoberfläche in Wechselwirkung mit der Blatt-Hinterkante verursachte Geräusch weist ein breitbandiges Maximum im Frequenzbereich von 250 Hz auf.
- Strömungs-Nachlaufwirbel, verursacht durch die endliche Hinterkantendicke, bewirken ein breitbandiges Maximum im Frequenzbereich zwischen 1 und 2 kHz.

Die Aufteilung der Geräuschemission über der Frequenz ist in Bild 2 in Oktavbändern unter Berücksichtigung der A-Bewertung nach Schallmessungen in [7] dargestellt. Das Spektrum ist breitbandig mit einem Maximum bei 500 Hz.

4 Geräuschimmission

Die Berechnung des Schalldruckpegel L_s am Immissionsort aus dem Schalleistungspegel L_w ist in der VDI-Richtlinie „Schallausbreitung im Freien“, VDI 2714 (Januar 1988) [8], festgelegt. Dazu wird folgendes Rechenschema angewendet:

$$L_s = L_w + DI + K_0 - D_s - D_L - D_{BM} - D_D - D_G - D_e$$

Das **Richtwirkungsmaß** DI berücksichtigt die unterschiedliche Abstrahlung der Schallquelle in verschiedene Richtungen. Da für Windkraftanlagen nur der ungünstigste Fall, die Abstrahlung in Windrichtung, betrachtet wird und der Schalleistungspegel ebenfalls für die Abstrahlung in Windrichtung ermittelt wurde, gilt für das Richtwirkungsmaß $DI = 0 \text{ dB}$.

Das **Raumwinkelmaß** K_0 gibt den Einfluß von reflektierenden Flächen nahe der Schallquelle an. Nach Meßergebnissen in [9] wird empfohlen, die Schallabstrahlung von Windkraftanlagen als Abstrahlung über einer voll reflektierenden Ebene zu behandeln. Nach VDI 2714, Tabelle 2 [8] ist demnach das Raumwinkelmaß mit $K_0 = +3 \text{ dB}$ anzusetzen.

Das **Abstandsmaß** D_s berücksichtigt die Abnahme des Schalldruckpegels mit der Entfernung für eine sich in alle Richtungen ungehindert ausbreitende Kugelwelle, bei der sich die Schalleistung auf einer ständig wachsenden Kugelmantelfläche mit gleicher Intensität verteilt. Die Fläche wächst quadratisch mit der Entfernung, was einer Pegelabnahme von 6 dB je Abstandsverdopplung entspricht, und es gilt:

$$D_s = 10 \cdot \lg \left[4\pi \cdot \frac{s_m^2}{s_0^2} \right] ; \quad s_0 = 1 \text{ m}$$

Bei der Ausbreitung von Schallwellen in freier Umgebung bewirken Dissipation und Wärmeleitung eine Dämpfung, die die transportierte Schallenergie mit dem zurückgelegten Weg exponentiell abklingen läßt. Die Ausbreitungsdämpfung ist frequenzabhängig und wird durch das **Luftabsorptionsmaß** D_L beschrieben. In [8] sind Werte für die frequenzabhängige Ausbreitungsdämpfung festgelegt.

Im **Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß** D_{BM} sind Schallpegelminderungen infolge von Interferenzen zwischen den direkt abgestrahlten und den am Boden reflektierten Schallwellen sowie durch die Schallstreuung in der Luft und Absorption am Boden enthalten. Der Einfluß der Boden- und Meteorologiedämpfung kann nach [8] mit einer Näherungsformel abgeschätzt werden.

Das **Bewuchsdämpfungsmaß** D_D , das **Bebauungsdämpfungsmaß** D_G und das **Einfügungsdämpfungsmaß durch Abschirmung** D_e enthalten Schallpegelminderungen infolge von Bewuchs, Gebäuden und/oder anderen Hindernissen zwischen Schallquelle und Emissionssort. Es wird hier $D_D = D_G = D_e = 0 \text{ dB}$ gesetzt.

Für die betrachteten Immissionspunkte sind die Rechenergebnisse in Tabelle 4 angegeben. Die Berechnungen wurden in den einzelnen Oktavbändern durchgeführt, wobei die spektrale Ver-

teilung der Schalleistung gemäß Bild 2 vorgenommen wurde. Der Rechengang kann den im Anhang angeführten Tabellen entnommen werden.

Die in Tabelle 3 angegebene Tonhaltigkeit [10] wurde dem Wert für L_{WAref} nicht zugeschlagen.

Nach Untersuchungen in [11] nimmt die Tonhaltigkeit im Frequenzspektrum des Geräusches von Windkraftanlagen mit der Entfernung ab. Im Nahbereich ermittelte Tonhaltigkeiten von weniger als 3 dB zeigen im Fernfeld von Windkraftanlagen (Abstände > 200 m) keine Auswirkungen mehr auf und können daher vernachlässigt werden [11].

Immissionspunkt	Schallimmissionspegel [dB(A)]	Immissionsrichtwert [dB(A)]
IP I	38	45
IP II	38	45
IP III	37	45
IP IV	36	45
IP V	38	45

Tabelle 4 Schallimmissionspegel für die geplanten Windkraftanlagen

5 Beurteilung der Ergebnisse

5.1 Beurteilungspegel

Grundlagen zur Beurteilung der Immissionspegel sind die TA-Lärm [1] sowie die VDI-Richtlinie 2058, Blatt 1 [12]. Zuschläge zur Berücksichtigung auffälliger Eigenschaften des abgestrahlten Geräusches sind nicht gegeben. Eine zeitliche Bewertung kann entfallen, da von einem stationären Betrieb aller Anlagen ausgegangen werden kann. Der Abzug von 3 dB nach [1], Abschnitt 2.422.5 c), im Hinblick auf die Meßunsicherheit wird im Rahmen einer Vorausberechnung nicht berücksichtigt. Nach den gegebenen Voraussetzungen entsprechen die Beurteilungspegel den berechneten Immissionspegeln. Die Immissionsrichtwerte sind zum Vergleich in Tabelle 4, Spalte 3, angegeben.

Die in der Tabelle angegebenen Beurteilungspegel wurden unter Mitwindbedingungen bestimmt. Bei Gegenwind oder Querwind sind im allgemeinen niedrigere Pegelwerte zu erwarten.

Zur Bewertung der Rechenergebnisse sollen noch folgende Punkte angemerkt werden:

- Bei der Berechnung der Immissionspegel nach VDI 2714 [8] wurde eine Abschätzung nach oben ('worst case') vorgenommen, bei der von einem schallharten, voll reflektierenden Boden ausgegangen wird. In Wirklichkeit wird die Energie der von der Windkraftanlage nach unten abgestrahlten Schallwellen infolge der akustischen Eigenschaften eines vorhandenen landwirtschaftlich kultivierten Bodens bei der Reflexion zu einem geringen Teil absorbiert. Der Einfluß der Boden- und Meteorologiedämpfung zeigt Auswirkungen für Entfernungen Immissionspunkt - Schallquelle oberhalb von 250 m. Für die hier festgelegten Immissionspunkte ergeben sich Pegelminderungen zwischen 1,4 und 3,6 dB (entsprechend Entfernungen von 378 m bis 1052 m).
- Die durchgeführten Berechnungen wurden für relativ hohe Windgeschwindigkeiten von 8 m/s vorgenommen. Das Jahresmittel mit 4 bis 5 m/s ist sehr viel geringer und verursacht entsprechend geringere Schallemissionen. Mit steigenden Windgeschwindigkeiten beobachtet man dagegen an den Immissionspunkten eine Überlagerung des Betriebsgeräusches mit den natürlichen Windgeschwindigkeiten. Nach Untersuchungen in [13] beträgt das windinduzierte Fremdgeräusch für eine Windgeschwindigkeit von 8 m/s in offenen Landschaften ohne Baum- und Strauchbestand 48 dB(A). Ist der von der Schallquelle verursachte Immissionspegel geringer als das Fremdgeräusch, kommt es zu einer „Maskierung“ oder „Verdeckung“ des Betriebsgeräusches. Wie in [13] gezeigt, setzen erste Verdeckungseffek-

te ab einer Pegeldifferenz von 4 dB ein. Eine vollständige Maskierung ist ab Pegeldifferenzen größer als 9 dB gegeben. Daraus folgt, daß Betriebsgeräusche erst ab einem Schalldruckpegel von 39 dB(A) aus den überlagerten Windgeräuschen „herausgehört“ werden können.

5.2 Vergleich der Beurteilungspegel mit den Immissionsrichtwerten

Der Vergleich der Beurteilungspegel mit den Immissionsrichtwerten ergibt, daß die Immissionsrichtwerte in allen Immissionspunkten bei weitem eingehalten werden. Für die Immissionspunkte IP I bis IP V liegen die Beurteilungspegel unterhalb von 39 dB(A).

6 Zusammenfassung

Für die an der Ortsgrenze von Seiwerrath gelegenen Betriebs- und Wohngebäude wurden die zu erwartenden Geräuschemissionen der geplanten Windkraftanlagen vorausberechnet und beurteilt. Bei den geplanten Anlagen handelt es sich um dreiblättrige Generatoren mit einer Nennleistung von 600 kW (siehe Tabelle 2).

Für die Beurteilung wurden 5 exponierte Immissionspunkte ausgewählt, die dem Lageplan in Bild 1 zu entnehmen sind. Die entsprechenden Immissionsrichtwerte sind nach der Flächennutzung in Tabelle 1 festgelegt.

Die zu erwartenden Immissionspegelwerte und Beurteilungspegel wurden nach VDI 2714 [8] und gemäß den Vorgaben in der TA-Lärm [1] ermittelt. Grundlage der Berechnungen sind Herstellerangaben über den Schalleistungspegel, die durch gutachterliche Schallmessungen belegt werden [5]. Bei den Berechnungen wurde nach der Empfehlung einer Expertengruppe [11] für die zur Auswahl stehenden Anlagen die Tonhaltigkeit [10] nicht berücksichtigt (Werte kleiner als 3 dB).

Die Immissionsrichtwerte werden von den betrachteten Windkraftanlagen an allen Immissionspunkten eingehalten.

Geilenkirchen, den 01.10. 1996

7 Literatur

- [1] Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA-Lärm) vom 16. Juli 1968
Bundesanz. Nr. 137, 26. 7. 1968
- [2] M. Pfaff, Technischer Kommentar zur TA-Lärm
ecomed-Verlag, Landsberg/Lech, 1991
- [3] DIN 45635, Teil 1, Geräuschemessung an Maschinen, Luftschallmessung,
Hüllflächenverfahren, Rahmen-Meßvorschrift, 1984
- [4] Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation - 4. Acoustics -
Measurement of Noise Emission from Wind Turbines, 2nd edition 1988 - Expert Group
Study submitted to the Executive Committee of International Energy Agency (IEA)
Programme for Research and Development in Wind Energy Conversion Systems
- [5] Schalltechnisches Gutachten zur Windkraftanlage TW 600 bei Brunsbüttel,
Berichte WT 355/95 vom 23. 5. 1995, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH
- [6] H. H. Hubbard, K. P. Shepherd, Aeroacoustics of Large Wind Turbines,
Journal of the Acoustical Society of America, vol 89, June 1991, S. 2495 - 2508
- [7] Schall-Emissionsmessung an einer NORDEX N-52 / 800 kW,
Wind-consult Ingenieurgesellschaft für umweltschonende Energiewandlung mbH
- [8] VDI-Richtlinie VDI 2714, Schallausbreitung im Freien, Januar 1988
- [9] J. Jakobsen, Noise from Wind Turbine Generators, Noise Control, Propagation and
Assessment, Proceedings 1990 INTERNOISE-Conference, 1990 Goetheborg,
Schweden, S. 303 - 308
- [10] DIN 45 681, Entwurf, Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung
eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen, Januar 1992
- [11] J. Gabriel, H. Klug, T. Osten, Schallmessungen an Windkraftanlagen,
DEWEK '94, Tagungsband herausgegeben vom DEWI, S. 251
- [12] VDI-Richtlinie VDI 2058, Blatt 1, Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft,
September 1985
- [13] D. Piorr, Schallemissionen und -immissionen von Windkraftanlagen,
Fortschritte der Akustik - DAGA '91, Bochum, S. 365 - 368

Anhang

Berechnungsblätter
für die
betrachteten Immissionspunkte

Projekt Seiwerath - Immissionspunkt 1

Anlage Nr.	Aufpunkt		Abstand s-m [m]	Frequenz f [Hz]	L-W-Okt [dB(A)]	Nabenhöhe		Schalleistung		Aufpunkthöhe [m]	
	x-Wert [m]	y-Wert [m]				[m]	L-WA [dB(A)]	L-L [dB]	B+M-Dämpf. D-BM [dB]		
1	830	440	407,9	63,0	72,0	63,2	100,0	0,0	1,7	10,1	
				125,0	85,0						0,4
	750	40	407,9	250,0	90,0	0,4	0,4	0,4	22,7		
				500,0	96,0					0,8	
	L-A-ges	175	440	655,0	1k	95,0	21,2	0,0	0,0	2,9	36,7
					2k	91,0					
					4k	83,0					
					8k	74,0					
3	0	610	847,2	63,0	72,0	69,6	0,0	0,0	3,3	30,7	
				125,0	85,0						0,8
	0	610	847,2	250,0	90,0	0,8	0,8	0,8	19,3		
				500,0	96,0					1,7	
	L-A-ges	0	610	847,2	1k	95,0	44,1	13,8	34,1	2,0	-27,3
					2k	91,0					
					4k	83,0					
					8k	74,0					
Gesamtpegel				63,0	72,0		0,0	0,0	3,3	2,1	
				125,0	85,0						
				250,0	90,0						0,8
				500,0	96,0						1,7
L-A-ges				1k	95,0		17,8	17,8		-4,7	
				2k	91,0						
				4k	83,0						
				8k	74,0						
Gesamtpegel				63,0	72,0		44,1	44,1		27,5	
				125,0	85,0						
				250,0	90,0						0,8
				500,0	96,0						1,7
L-A-ges				1k	95,0		17,8	17,8		-39,9	
				2k	91,0						
				4k	83,0						
				8k	74,0						
Gesamtpegel				63,0	72,0		44,1	44,1		38,1	
				125,0	85,0						
				250,0	90,0						0,8
				500,0	96,0						1,7

Projekt Seiwerrath - Immissionspunkt 5

Anlage Nr.	Aufpunkt		y-Wert [m]	Abstand s-m [m]	Frequenz f [Hz]	L-W-Okt [dB(A)]		Schalleistung L-WA [dB(A)]	Nabenhöhe [m]	Schalleistung		Aufpunkthöhe [m]
	x-Wert [m]	y-Wert [m]				D-s [dB]	D-BM [dB]			D-L [dB]	B+M-Dämpf. D-BM [dB]	
1	Koordinaten x-Wert [m] 750	5	y-Wert [m] 315	378,5	63,0	72,0	0,0	100,0	70,0	1,4	L-A-Okt [dB(A)] 11,0	
					125,0	85,0	0,4					
					250,0	90,0	0,4					
					500,0	98,0	0,8					
					1k	95,0	1,5					
L-A-ges 2	175	440	844,3	2k	91,0	3,0	27,0	14,1	19,7	-6,7		
				4k	83,0	7,9						
				8k	74,0	19,7						
				L-A-ges	72,0	0,0					3,3	37,7
L-A-ges 3	0	610	1052,2	125,0	85,0	0,8	21,8	14,4	17,7	-4,6		
				250,0	90,0	0,8						
				500,0	96,0	1,7						
				1k	95,0	3,4						
L-A-ges	Gesamtpegel			2k	91,0	6,8	27,6	-39,8	43,9	27,6		
				4k	83,0	17,7						
				8k	74,0	43,9						
				L-A-ges	72,0	0,0					3,6	-0,1
L-A-ges	Gesamtpegel			125,0	85,0	1,1	11,9	16,9	1,1	21,8	18,7	
				250,0	90,0	1,1						
				500,0	96,0	2,1						
				1k	95,0	4,2						
L-A-ges	Gesamtpegel			2k	91,0	8,4	10,5	-11,2	22,1	54,7	-52,8	
				4k	83,0	22,1						
				8k	74,0	54,7						
				L-A-ges	72,0	0,0						3,6
Gesamtpegel												38,3