



SACHSEN-ANHALT

Landesamt für Umweltschutz

Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen (WKA)

Erste Erfahrungen in der
Anwendung in Sachsen-Anhalt



Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen (WKA)

- **Eingangskenngrößen für Schallimmissionsprognosen**
 Vorbelastung
 Zusatzbelastung
- **Schallimmissionsprognosen**
- **Qualität der Prognose**
- **Empfehlungen für Nebenbestimmungen der Genehmigung**
- **Messungen**
- **Referenzspektrum**



Eingangskenngrößen für Schallimmissionsprognosen Vorbelastung

- Als Vorbelastung sind neben den bereits genehmigten Windkraftanlagen alle Anlagen, für die die TA Lärm gilt, zu berücksichtigen.
- Im Genehmigungsbescheid festgelegte zulässige Schallleistungspegel.
- Fehlen derartige Festlegung im Genehmigungsbescheid, dann sachlich begründete Abschätzung
- Liegt ein Messbericht vor, dann bestimmungsgemäßer Betrieb auf Basis des Messbericht abschätzen.
- In der Regel ist das Referenzspektrum als Grundlage für die Eingangsdaten der Prognose
- Liegen Informationen über anlagenbezogene Oktavspektren vor, können diese herangezogen werden.



Eingangskenngrößen für Schallimmissionsprognosen Vorbelastung

- Als Vorbelastung sind neben den bereits genehmigten Windkraftanlagen alle Anlagen, für die die TA Lärm gilt, zu berücksichtigen.
- Im Genehmigungsbescheid ist die Vorbelastung durch Schalleistungspunkte anzugeben.
- Fehlen derartige Angaben, ist die Vorbelastung sachlich begründet anzunehmen.
- Liegt ein Messbericht vor, ist die Vorbelastung auf Basis des Messergebnisses anzunehmen.
- In der Regel ist die Vorbelastung auf Basis der Eingangsdaten der Windkraftanlagen anzunehmen.
- Liegen Informationen über die Vorbelastung vor, können diese herangezogen werden.

Einwirkungsbereich

- 2.2 TA Lärm – 10 dB-Kriterium, aber 2.3 Abs. 2
- DIN 45691 – Festsetzungen im Bebauungsplan 15 dB-Kriterium
- In der aktuellen Fachdiskussion 20 dB-Kriterium aufgrund der Einwirkung einer großen Vielzahl WEA-Anlagen auf einen Immissionsort

Vorhandene Emissionswerte der Vorbelastung

verschiedene Qualität der EW
mal mit 2 dB-Zuschlag, mal ohne Sicherheiten

Anlassbezogen

§ 17 BImSchG



Eingangskenngrößen für Schallimmissionsprognosen

Zusatzbelastung - Angabe des Herstellers

Der Schallleistungspegel, den der Hersteller für den bestimmungsgemäßen Betrieb angibt. Die Herstellerangabe kann z.B. herangezogen werden, wenn bei den ersten Anlagen eines neuen Anlagentyps noch keine Messberichte vorliegen. Diese Angaben müssen nicht nur den Schallleistungspegel L_{WA} , sondern auch das zugehörige Oktavspektrum umfassen. Die Angaben müssen die möglichen Auswirkungen der Serienstreuung und der Unsicherheit der noch ausstehenden Abnahmemessung berücksichtigen.



Eingangskenngrößen für Schallimmissionsprognosen

Zusatzbelastung - Angabe des Herstellers

Der Schallleistungspegel, den der Hersteller für den bestimmungsgemäßen Betrieb angibt. Die Herstellerangabe kann z.B. herangezogen werden für die Berechnung der Schallbelastung für neuen Anlagentypen. Die Herstellerangaben müssen auch das zugehörige Maß für die Unsicherheit der Angabe berücksichtigen.

Was weiß der Hersteller?

- Abnahmemessung i.R. nach der Methode der Typvermessung also $\sigma_R = 0,5 \text{ dB}$
- Serienstreuung – Herstellervermutung

Häufige Angabe $\pm 1 \text{ dB}$ zum Garantiewert – was bedeutet das?

- unklar, vermutlich Standardabweichung
- umfasst ca. 68 % des wahrscheinlichen Werts bei Normalverteilung

Empfehlung

$\sigma_R = 1,2 \text{ dB}$, wie Einfachvermessung



Eingangskenngrößen für Schallimmissionsprognosen

Zusatzbelastung - Einfachvermessung

Der Schallleistungspegel eines WKA-Typs in einem bestimmten Betriebsmodus und das zugehörige Oktavspektrum wurden durch eine Typvermessung entsprechenden Richtlinien und Normen ermittelt.

FGW TR1 in der jeweils gültigen Revision in Verbindung mit
IEC 61400-11 Ed. 2 oder
IEC 61400-11 Ed. 3



Eingangskenngrößen Schallimmission Zu

Der Schalleistungs-
Betriebsmodus und
eine Typvermessung
ermittelt.

FGW TR1 in der jeweils
IEC 61400-11 Ed. 2
IEC 61400-11 Ed. 3

Auszug aus dem Prüfbericht													
Stammblatt „Geräusche“, entsprechend den „Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallimmissionswerte“													
Rev. 17 vom 01. Juli 2006 (Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie e. V., Stresemannplatz 4, D-24103 Kiel)													
Auszug aus dem Prüfbericht XXXXXXXXXX zur Schallimmission der Windenergieanlage vom Typ XXXXXXXXXX													
Allgemeine Angaben						Technische Daten (Herstellerangaben)							
Anlagenhersteller:	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX					Nennleistung (Generator):	XXXX kW						
	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX					Rotordurchmesser:	XX.XX m						
	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX					Nabenhöhe über Grund:	XXX m						
Seriennummer:	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX					Turmbauart:	XXXXXXXXXXXX						
WEA-Standort (ca.):	RW: XXXXXXXX HW: XXXXXXXX					Leistungsregelung:	Pitch/Stall/Aktiv-Stall						
Ergänzende Daten zum Rotor (Herstellerangaben)						Erg. Daten zu Getriebe und Generator (Herstellerang.)							
Rotorblatthersteller:	XXXXXXXXXXXX					Getriebehersteller:	XXXXXXXXXXXX						
Typenbezeichnung Blatt:	XXXXXXXXXXXX					Typenbezeichnung Getriebe:	XXXXXXXXXXXX						
Blattstellwinkel:	XX.XX°					Generatorhersteller:	XXXXXXXXXXXX						
Rotorblattanzahl:	X					Typenbezeichnung Generator:	XXXXXXXXXXXX						
Rotordrehzahlbereich:	XX.XX-XX.XX U/min					Generatormenndrehzahl:	XXXX-XXXX U/min						
Prüfbericht zur Leistungskurve: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX													
	Referenzpunkt					Schallimmissions-Parameter		Bemerkungen					
	Standardisierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe			Elektrische Wirkleistung									
Schalleistungs-Pegel $L_{WA,P}$	6 ms ⁻¹			xx kW		xx dB(A)							
	7 ms ⁻¹			xx kW		xx dB(A)							
	8 ms ⁻¹			xx kW		xx dB(A)							
	9 ms ⁻¹			xx kW		xx dB(A)							
	10 ms ⁻¹			xx kW		xx dB(A)							
Tonzuschlag für den Nahbereich K_{NW}	6 ms ⁻¹			xx kW		xx dB bei xxx Hz							
	7 ms ⁻¹			xx kW		xx dB bei xxx Hz							
	8 ms ⁻¹			xx kW		xx dB bei xxx Hz							
	9 ms ⁻¹			xx kW		xx dB bei xxx Hz							
	10 ms ⁻¹			xx kW		xx dB bei xxx Hz							
Impulzzuschlag für den Nahbereich K_{WI}	6 ms ⁻¹			xx kW		xx dB							
	7 ms ⁻¹			xx kW		xx dB							
	8 ms ⁻¹			xx kW		xx dB							
	9 ms ⁻¹			xx kW		xx dB							
	10 ms ⁻¹			xx kW		xx dB							
Terz-Schalleistungspegel für $v_{10} = x \text{ ms}^{-1}$ in dB(A)													
Frequenz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	
$L_{WA,P}$													
Frequenz	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	
$L_{WA,P}$													
Oktav-Schalleistungspegel für $v_{10} = x \text{ ms}^{-1}$ in dB(A)													
Frequenz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000					
$L_{WA,P}$													

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht gilt nur in Verbindung mit der Herstellerbescheinigung vom xx.xx.xxxx. Die Angaben ersetzen nicht den o. g. Prüfbericht (insbesondere bei Schallimmissionsprognosen).

Standort: Prüfbau, Messstationen, etc.



Eingangskenngrößen für Schallimmissionsprognosen

Zusatzbelastung - Mehrfachvermessung

Der Schallleistungspegel eines WKA-Typs in einem bestimmten Betriebsmodus und das zugehörige Oktavspektrum wurden durch Vermessung an mehreren WKA dieses Typs ermittelt. Es liegen mindestens drei Vermessungen vor, über die ein zusammenfassender Bericht gemäß FGW TR1 (Anhang D) [1] erstellt wurde. Neben dem Schallleistungspegel des Anlagentyps kann diesem Bericht der Wert für die Serienstreuung entnommen werden.



Bestimmung der Schalleistungspegel aus mehreren Einzelmessungen

Seite 1 von 2

Auf der Basis von mindestens drei Messungen nach der "Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen" /1/ besteht die Möglichkeit die Schallemissionswerte eines Anlagentyps gemäß /2/ anzugeben, um die schalltechnische Planungssicherheit zu erhöhen.

Anlagendaten						
Hersteller	XXXXXXXXXXXX		Anlagenbezeichnung		XXXXXXXXXXXX	
	XXXXXXXXXXXX		Nennleistung in kW		XXXXXX	
			Nabenhöhe in m		XXXX	
	XXXXXXXXXXXX		Rotordurchmesser in m		XXXX	
Angaben zur Einzelmessung		Messung-Nr.				
	1	2	3	4	5	
Seriennummer	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
Standort	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
vermess. Nabenhöhe (m)	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
Messinstitut	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	
Prüfbericht	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	
Datum	XX.XX.XX	XX.XX.XX	XX.XX.XX	XX.XX.XX	XX.XX.XX	XX
Getriebetyp	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	
Generatortyp	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	
Rotorblatttyp	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	
Angaben zur Einzelmessung		Messung-Nr. (Fortsetzung)				
	6	7	8	9	10	n
Seriennummer	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
Standort	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
vermess. Nabenhöhe (m)	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
Messinstitut	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	
Prüfbericht	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	
Datum	XX.XX.XX	XX.XX.XX	XX.XX.XX	XX.XX.XX	XX.XX.XX	XX
Getriebetyp	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	
Generatortyp	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	
Rotorblatttyp	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	

Schallemissionsparameter: Messwerte (Prüfbericht Leistungskurve: XXXXX)

Schallleistungspegel LWA,P:

Messung	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe				
	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s
1	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)
2	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)
3	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)
4	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)
...					
n	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)
Mittelwert $\bar{L}_{W,P}$	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)
Standardabweichung s	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)
K nach /2/ $\sigma_{K^*} \pm \text{dB}$	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)	xx dB(A)

Bestimmung der Schalleistungspegel aus mehreren Einzelmessungen

Seite 2 von 2

Schallemissionsparameter: Zuschläge

Tonzuschlag bei vermessener Nabenhöhe K_{TN} :

Messung	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe									
	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s
1	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz
2	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz
3	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz
4	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz
5	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz
6	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz
7	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz
!										
n	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz	xx dB	xxx Hz

Impulzzuschlag K_{IN} :

Messung	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe				
	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s
1	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB
2	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB
3	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB
4	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB
5	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB
6	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB
7	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB
!					
n	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB	xx dB

Terz-Schalleistungspegel (Mittel aus n Messungen) Referenzpunkt $V_{10LWA,Prax}$ in dB(A)

Frequenz	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
$L_{W,P}$												
Frequenz	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
$L_{W,P}$												

Okta-Schalleistungspegel (Mittel aus n Messungen) Referenzpunkt $V_{10LWA,Prax}$ in dB(A)

	500	1000	2000	4000	8000				

(insbesondere bei Schallemissionsprognosen)

IEC61400-14 k(95 %)
LAI-Hinweise k(90 %)

/1/ Technische Richtlinie für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte
Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie e.V., Stresemannplatz 4, 24103 Kiel
/2/ IEC 61400-14 TS ed. 1, Declaration of Sound Power Level and Tonality Values of Wind Turbines

Schallimmissionsprognosen

- Nr. A 2 der TA Lärm
- DIN ISO 9613-2 gilt für die Berechnung der Schallausbreitung bei bodennahen Quellen.
- Zur Anpassung des Prognoseverfahrens auf hochliegende Quellen „Interimsverfahren“ veröffentlicht.
- Für WKA als hochliegende Schallquellen ist das „Interimsverfahren“ im Genehmigungsverfahren zu berücksichtigen.
- Die Immissionsprognose ist frequenzselektiv durchzuführen. (Auch für Alt-WKA)
- Tonzuschlag im Nahbereich $0 \leq K_{TN} \leq 2$, Tonzuschlag K_T (ab 300 m) von 0 dB. WKA, die im Nahbereich höhere tonhaltige Geräuschemissionen hervorrufen, sind nicht Stand der Technik.
- Für WKA-Typen, bei denen in Messberichten nach der FGW-Richtlinie ein $K_{TN} = 2$ dB im Nahbereich ausgewiesen wird, ist am maßgeblichen Immissionsort eine Abnahmemessung zur Beurteilung der Tonhaltigkeit.
- Die durch die Drehbewegung der Rotorblätter erzeugte windkraft-anlagentypische Geräuschcharakteristik ist in der Regel weder als ton- noch als impulshaltig einzustufen
- Infraschall von WKA liegt bei Abständen zwischen 150 und 300 m deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen [4, 5]. (derzeitigem Erkenntnisstand)
- Rundungsregel DIN1333



Schallimmissionsprognosen

- Nr. A 2 der TA Lärm
 - DIN ISO 9613-2 gilt für die Berechnung
 - Zur Anpassung des Prognoseverfahrens
 - Für WKA als hochliegende Schallquellen berücksichtigen.
 - Die Immissionsprognose ist frequenzselektiv
 - Tonzuschlag im Nahbereich $0 \leq K_{TN} \leq 2$, Tonzuschlag K_T (ab 300 m) von 0 dB. WKA, die im Nahbereich höhere tonhaltige Geräuschemissionen hervorrufen, sind nicht Stand der Technik.
 - Für WKA-Typen, bei denen in Messberichten nach der FGW-Richtlinie ein $K_{TN} = 2$ dB im Nahbereich ausgewiesen wird, ist am maßgeblichen Immissionsort eine Abnahmemessung zur Beurteilung der Tonhaltigkeit.
 - Die durch die Drehbewegung der Rotorblätter erzeugte windkraft-anlagentypische Geräuschcharakteristik ist in der Regel weder als ton- noch als impulshaltig einzustufen
 - Infraschall von WKA liegt bei Abständen zwischen 150 und 300 m deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen [4, 5]. (derzeitigem Erkenntnisstand)
 - Rundungsregel DIN1333
- **Anpassung: 50 m Nabenhöhe statt 30 m mittlere Höhe**
 - **andere TA-Lärm i.R. nicht hochliegend**
 - **Summation der unterschiedliche berechneten Beurteilungsgrößen z.Zt. „händisch“**
 - **Amplitudenmodulation?!**



Qualität der Prognose

- Die Sicherstellung der Nicht-Überschreitung der Immissionsrichtwerte der TA Lärm ist dann anzunehmen, wenn die unter Berücksichtigung der Unsicherheit der Emissionsdaten (Unsicherheit der Typvermessung σ_R und Unsicherheit der Serienstreuung σ_P) und der Unsicherheit des Prognosemodells bestimmte obere Vertrauensbereichsgrenze des prognostizierten Beurteilungspegels den IRW unterschreitet.
- Überschreitungen des IRW im Rahmen der Regelung unter Nr. 3.2.1 Abs. 3 der TA Lärm sind weiterhin zulässig.



Qualität der Prognose

Prüfkriterium für den Gesamtbeurteilungspegel

$$\text{IRW} \geq \text{Lr,oVB}$$

- Die Sicherstellung der Nicht-Überschreitung der Immissionsrichtwerte der TA Lärm ist dann anzunehmen, wenn die unter Berücksichtigung der Unsicherheit der Emissionsdaten (Unsicherheit der Typvermessung σ_R und Unsicherheit der Serienstreuung σ_P) und der Unsicherheit des Prognosemodells bestimmte obere Vertrauensbereichsgrenze des prognostizierten Beurteilungspegels den IRW unterschreitet.
- Überschreitungen des IRW im Rahmen der Regelung unter Nr. 3.2.1 Abs. 3 der TA Lärm sind weiterhin zulässig.



Qualität der Prognose

Unsicherheit der Herstellerangabe

- Wird die Herstellerangabe für die Immissionsprognose herangezogen, werden keine Unsicherheiten für Typvermessung und Serienstreuung ausgewiesen, da eine Abnahmemessung erfolgen muss (!?), um den Nachweis der Nicht-Überschreitung der festgesetzten Herstellerangabe zu erbringen.



Auslegungsmöglichkeiten der Herstellerangabe bei WEA:
Hersteller spricht von 1 dB Sicherheitszuschlag zum Lwa1 (z.B. 106 dB)

Fallunterscheidung	Unsicherheiten nach Fallunterscheidung	$\sqrt{\sigma R^2 + \sigma P^2}$	$\frac{1,28^*}{\sqrt{\sigma R^2 + \sigma P^2}}$	Le,max1 Le,max2	$\sqrt{\sigma R^2 + \sigma P^2 + \sigma \text{Prog}^2}$	$1,28^* \sigma_{\text{ges}}$
Vorbelastung WEA2 105 dB Fall 1	$\sigma_{RV} = 0,5 \text{ dB}$ $\sigma_{PV} = 0,4 \text{ dB}$	1,19	1,52)	105,8	1,19	1,52
Zusatzbelastung WEA1 106 dB Fall 2	$u = \sigma_R + \sigma_P = 1 \text{ dB}$ mit z.B. $\sigma_{RZ} = 0,5 \text{ dB}$ $\sigma_{PZ} = 0,5 \text{ dB}$	0,70	0,90	106,9	1,22	1,57
Zusatzbelastung WEA1 106 dB Fall 3 (NRW, MV)	$u = \sigma_{WEA1} = \sqrt{\sigma R^2 + \sigma P^2} = 1 \text{ dB}$ $\sigma_{RZ} = 0,5 \text{ dB}$ $\sigma_{PZ} = 0,87 \text{ dB}$	1,00	1,28	107,3	1,41	1,81
Zusatzbelastung WEA1 106 dB Fall 4	$\sigma_{RZ} = 0,5 \text{ dB}$ $\sigma_{PZ} = 1,2 \text{ dB}$ Wie Einzelmessungen, da nach der Genehmigung Nachweismessung erfolgt.	1,30	1,66	107,7	1,64	2,10
Zusatzbelastung WEA1 106 dB	$\sigma_{RZ} = 0,5 \text{ dB}$ $\sigma_{PZ} = 1 \text{ dB}$ Da Hersteller nur eine Abschätzung für seine Serienstreuung liefern kann.	1,12	1,43	107,4	1,5	1,92



Qualität der Prognose

Unsicherheit der Herstellerangabe

- Wird die Herstellerangabe für die Immissionsprognose herangezogen, werden keine Unsicherheiten für Typvermessung und Serienstreuung ausgewiesen, da eine Abnahmemessung erfolgen muss (!?), um den Nachweis der Nicht-Überschreitung der festgesetzten Herstellerangabe zu erbringen

**Empfehlung auch des FGW
bei unsicheren Herstellerangaben
von Mittelwerten ausgehen und
 $\sigma_R = 1,2$ dB wie Einfachvermessung
ansetzen**



Qualität der Prognose

Unsicherheit der Typvermessung

- Bei einer normkonform nach FGW-Richtlinie durchgeführten Typvermessung (Messunsicherheit!) kann von einer Unsicherheit $\sigma_R = 0,5 \text{ dB}$ ausgegangen werden.



Qualität der Prognose

Unsicherheit der Typvermessung

- Bei einer normkonform nach FGW-Richtlinie durchgeführten Typvermessung (Messunsicherheit!) kann von einer Unsicherheit $\sigma_R = 0,5 \text{ dB}$ ausgegangen werden.

- 2001 noch $\sigma_R = 0,9 \text{ dB}$
- jahrelange Messerfahrungen
- FGW-Qualitätsdiskussion
- Ringversuche



Qualität der Prognose

Unsicherheit durch Serienstreuung

- Bei einer Mehrfachvermessung aus mindestens drei Messungen kann für σ_p die Standardabweichung s der Messwerte aus dem zusammenfassenden Bericht angesetzt werden.
- Liegt eine Mehrfachvermessung des Anlagentyps in einer anderen als der beantragten Betriebsweise vor, kann die durch die Mehrfachvermessung dokumentierte Serienstreuung auch auf die beantragte Betriebsweise übertragen werden. In diesem Fall wird eine Abnahmemessung empfohlen.
- Liegt keine Mehrfachvermessung vor, ist für σ_p ein Ersatzwert von 1,2 dB zu wählen. (Hinweis Herstellerangabe, alten LAI-Hinweise)



Qualität der Prognose

Unsicherheit des Prognosemodells

- Die Unsicherheit des Prognosemodells wird wie folgt berücksichtigt:

$$\sigma_{\text{Prog}} = 1,0 \text{ dB}$$

- Anzuwenden auch bei Neuberechnungen mit Vorbelastungs-WEA
- beschreibt nicht(!) das Emissionsverhalten



Qualität der Prognose

Gesamtunsicherheit

- Gesamtunsicherheit σ_{ges} :

$$\sigma_{ges} = \sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_R^2 + \sigma_{Prog}^2}$$

- Obere Vertrauensbereichsgrenze für den prognostizierten Beurteilungspegel (mit einem Vertrauensniveau von 90 %):

$$\mathbf{IRW \geq Lr + \Delta L = Lr + 1,28 \sigma_{ges}}$$

- Die Unsicherheit der Emissionsdaten der Vorbelastungsanlagen ist in der gleichen Weise zu berücksichtigen, wie sie im Rahmen der Genehmigungen der Vorbelastungsanlagen angewandt wurde.



Qualität der Prognose

Gesamtunsicherheit

Verschiedene Interpretationen der Datenlage für eine spezielle WEA

Jahr	Gutachten	Lwa	Prognose	Serie	Produkt	Sicherheitszuschlag bzw. Gesamtunsicherheit am IO	Lwa,max
2015	2003 garantiert?	103,5				0,5?	103,5
2016	generiert	104,0				1,8	105,8
2016	3 Messberichte von 2003	103,0	1,5	0,5	0,6	2,2	105,2
2017	generiert	103,5	1,0	0,5	1,2	1,3?	104,8
2018	3 Messberichte von 2003	103,0	1,0	0,5	0,4?	1,5	104,5
Wissensstand	3 Messberichte von 2003	103,0	1,0	0,5	0,6	1,6	104,6 104,0



Empfehlungen für Nebenbestimmungen der Genehmigung

Allgemeine Hinweise

- Als maximal zulässiger Emissionswert ist der in der Prognose verwendete Schallleistungspegel $L_{e,max}$ im Genehmigungsbescheid festzuschreiben. Dabei sind die in der Prognose angesetzten Unsicherheiten der Emissionsdaten als Toleranzbereich zu berücksichtigen, das heißt, es ist die obere Vertrauensbereichsgrenze des Schallleistungspegels für ein einseitiges Vertrauensniveau von 90 % festzuschreiben.

- $$L_{e,max} = \bar{L}_W + 1,28 \cdot \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_P^2}$$

- Der Schallleistungspegel ist als Einzahlwert in der Genehmigung festzuschreiben. Das zum Schallleistungspegel zugehörige Oktavspektrum ist in den Genehmigungsbescheid aufzunehmen.



Empfehlungen für Nebenbestimmungen der Genehmigung

Allgemeine Hinweise

- Als maximal zulässig verwendete Schallleistung in der Genehmigungsbeschreibung anzusetzen. Prognose angesetzter Toleranzbereich zu beidseitigen Vertrauensbereichsgrenzen einseitiges Vertrauensniveau von 90 % festzuschreiben.
 - Oktavleistungsspektrum in der Genehmigung von WEA das neue Maß aller Dinge!
 - keine Erfahrungen zu spektralen Abhängigkeit der Unsicherheiten, deshalb Übernahmen der Spektralsummenwerte σ_R , σ_P und σ_{Prog}
 - Auswirkung auf die Abnahmemessung
- $$L_{e,max} = \bar{L}_W + 1,28 \cdot \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_P^2}$$
- Der Schallleistungspegel ist als Einzahlwert in der Genehmigung festzuschreiben. Das zum Schallleistungspegel zugehörige Oktavspektrum ist in den Genehmigungsbescheid aufzunehmen.



Messungen

Emissionsmessungen zur Typkennzeichnung

- Emissionsmessungen sollen nach den Mess- und Auswertevorschriften der Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen Teil 1: „Bestimmung der Schallemissionswerte“ durchgeführt werden.
- akustische Vermessungen durch anerkannte Messstellen (z.B. FGW-Siegel)

<https://wind-fgw.de/themen/fgw-konformitaet/>



Messungen

Emissionsseitige Abnahmemessungen

- Wird eine emissionsseitige Abnahmemessung gefordert, ist im Anschluss mit den Ergebnissen der Abnahmemessung mit den ermittelten Oktav-Schallleistungspegeln eine erneute Schallausbreitungsrechnung nach dem Interimsverfahren durchzuführen. Bei dieser Neuberechnung ist die Messunsicherheit, nicht jedoch die Unsicherheit des Prognosemodells zu berücksichtigen. Dabei ist der Vergleich mit der Ausbreitungsrechnung unter Ansatz von $L_{e,max}$ durchzuführen. Die auf Basis des gemessenen Emissionsspektrums berechneten A-bewerteten Immissionspegel dürfen die auf Basis des in der Prognose angesetzten Emissionsspektrums berechneten A-bewerteten Immissionspegel nicht überschreiten. Die Emission darf keine relevante Tonhaltigkeit aufweisen.
- Falls die Emission eine geringe Tonhaltigkeit ($K_{TN} = 2 \text{ dB}$) aufweist, ist immissionsseitig zu prüfen, ob die Tonhaltigkeit immissionsrelevant ist.



Messungen

Emissionsseitige Abnahmemessungen

- Wird eine emissionsseitige Abnahmemessung gefordert, ist im Anschluss mit den Ergebnissen der Abnahmemessung mit den ermittelten Oktav-Schallleistungspegeln eine erneute Schallausbreitungsrechnung nach dem Interimsverfahren durchzuführen. Bei dieser Neuberechnung ist die Messunsicherheit, nicht jedoch die Unsicherheit des Prognosemodells zu berücksichtigen. Dabei ist der Vergleich mit der Ausbreitungsrechnung unter Ansatz von L_{max} durchzuführen. Die auf Basis des gemessenen

Emissionspegel dürfen
onsspektrums
rschreiten. Die
dB) aufweist, ist
sionsrelevant ist.

- **Auch hier ist eine anerkannte Messstelle Bedingung.**
- **?, „...nicht jedoch die Unsicherheit des Prognosemodells..“ ? besser „Emissionsmodell“, denn das Messergebnis inkl. Messunsicherheit beschreibt die faktische Realität des Emissionsverhaltens aber nicht die Transmission.**



Messungen

Immissionsmessungen

- ungünstiges Verhältnis von Anlagen- und (windinduziertem) Hintergrundgeräusch sowie durch meteorologische Schwankungen der Schallausbreitungsbedingungen
- Daher werden in der Regel Emissionsmessungen durchgeführt.
- Reduzierung der windverursachten Störgeräusche an der Messeinrichtung erforderlich
- Immissionsmessungen im Regelfall nachts durchführen.



Referenzspektrum

Zur Prognose der Vorbelastung ist in der Regel folgendes Referenzspektrum als Grundlage für die Eingangsdaten der Prognose heranzuziehen:

f [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
$L_{WA,norm}$ [dB]	-20,3	-11,9	-7,7	-5,5	-6,0	-8,0	-12,0

Liegen qualifizierte Informationen über detaillierte anlagenbezogene Oktavspektren vor, können auch diese herangezogen werden.



Referenzspektrum

Zur Prognose der Vo
Referenzspektrum a
Prognose heranzuzie

f [Hz]	63 Hz	125
$L_{WA,norm}$ [dB]	-20,3	-1

Liegen qualifizierte Info
Oktavspektren vor, kör

