

Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil1, Revision 19 (FGW TR 1 Rev. 19)

Welche Änderungen beinhaltet diese und wie wirken sich diese in der Genehmigungspraxis aus?

Inhaltsübersicht

- Vorstellung
- Warum wurde die FGW TR1 überarbeitet?
- Allgemeine Unterschiede zur Revision 18
- Darzustellender Windgeschwindigkeitsbereich
- Minimaler Windgeschwindigkeitsbereich bei Nachmessungen
- Schalleistungsberechnung gemäß TR1: Rev. 19 vs. Rev. 18
- Tonanalyse gemäß TR1: Rev. 19 vs. Rev.18
- Tonhaltigkeit
- Impulshaltigkeit
- Terz- & Oktavspektren
- Auswirkungen im Genehmigungsverfahren

Vorstellung – Axel Sachse



Axel Sachse, Dipl.- Ing. (FH)

Principal Engineer & Sales Manager
Renewables Measurements, Germany

DNV – Energy Systems

E-mail axel.sachse@dnv.com

+49 (0) 4856 901 38



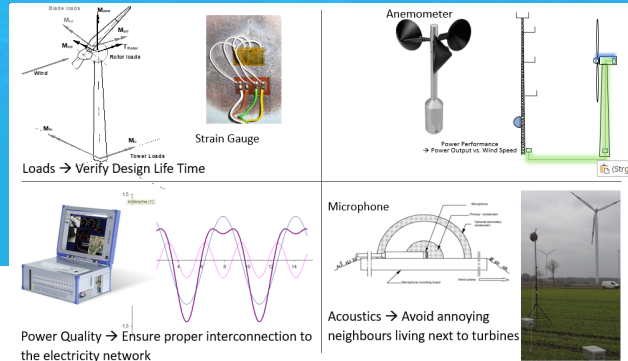
Bei ehemals Windtest (jetzt GL Garrad Hassan Deutschland GmbH bzw. DNV) seit mehr als 15 Jahren:

- Dipl.-Ing. (FH) der Elektrotechnik und Informatik
- Projektingenieur für Leistungskurven und Belastungsmessungen (5 Jahre)
- Projektingenieur für Schallemissions- und Immissionsmessungen sowie Vertriebsingenieur (10 Jahre+)
- Aktiv im Bereich Öffentlichkeitsarbeit, Vorlesungen, Messen



Vorstellung DNV

Die **GL Garrad Hassan Deutschland GmbH** ist ein gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiertes Prüflabor und eine gemäß §29b BImSchG benannte Messstelle



Messungen

Gutachten

Forschung

Tests

Mit einem lokalen Fokus auf die Windenergie gehören wir seit nunmehr drei Jahrzehnten zu den führenden technischen Experten im Bereich der Erneuerbaren Energien.

DNV



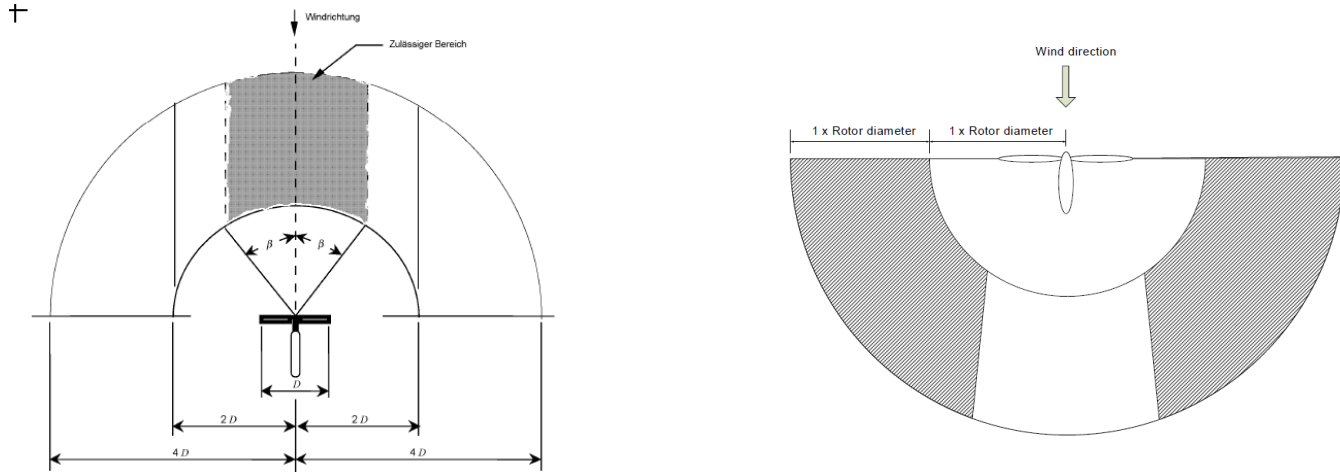
Warum wurde die FGW TR1 überarbeitet?

- Eine Revision wird immer dann notwendig, wenn der Stand der Wissenschaft bzw. Technik sich soweit weiterentwickelt hat, dass neue Richtlinien notwendig sind, um den höchstmöglichen Qualitätsstandard zu gewährleisten.
 - Eine ältere Revision behält weiterhin ihre Gültigkeit.
- Durch die Einführung der internationalen Norm „IEC 61400-11 Ed. 3.0, Wind turbines – Part 11: Acoustic noise measurement techniques“ im Jahr 2012 wurde der Grundbaustein für die Revision gelegt.
 - Die Edition 3.0 diente der Anpassung des Vorgehens bei der schalltechnischen Analyse von Windenergieanlagen auf deren aktuelle Baugröße, akustischen Verhaltens sowie den gewonnenen Erkenntnissen der zurückliegenden Jahre.
 - Im gleichen Zeitraum wurde in Deutschland auch das sogenannte **Interimsverfahren** zur Anwendung bei der Prognose von Schallimmissionswerten erarbeitet und eingeführt.
- Bereits mit der Einführung der IEC 61400-11 Ed. 3.0 wurde an einer Umsetzung der geänderten Vorgehensweise gearbeitet. Die TR1 Revision 19 beruht auf den Verfahren der IEC 61400-11 Ed. 3.1 (IEC Ed. 3.1) vom Juni 2018. In der Richtlinie werden ausschließlich Abweichungen, Klarstellungen und Ergänzungen zu der IEC Ed. 3.1 beschrieben.

Allgemeine Unterschiede zur Revision 18

Bezüglich der Messdurchführung (schalltechnische Vermessung der WEA) gibt es keine gravierenden Unterschiede:

- Änderung der Position des Messmastes (vor => neben/ hinter WEA)



- Zusätzliche Signale aus der WEA – Steuerung:
 - Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe (Gondelanemometer)
 - Daten der WEA müssen nicht vom Institut gemessen werden, sondern können aus der Steuerung entnommen werden.
 - Akustische Daten sind frequenzselektiert aufzuzeichnen (Terz)

Bezüglich der Berechnungsalgorithmen ist der Unterschied jedoch erheblich und vom Aufwand deutlich umfangreicher.



Aufnahme mit einer akustischen Kamera

Quelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

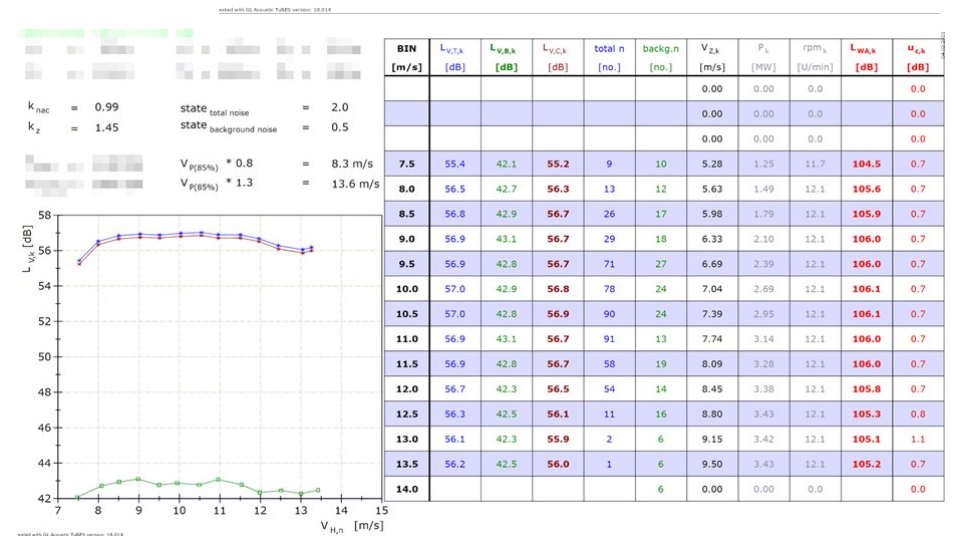
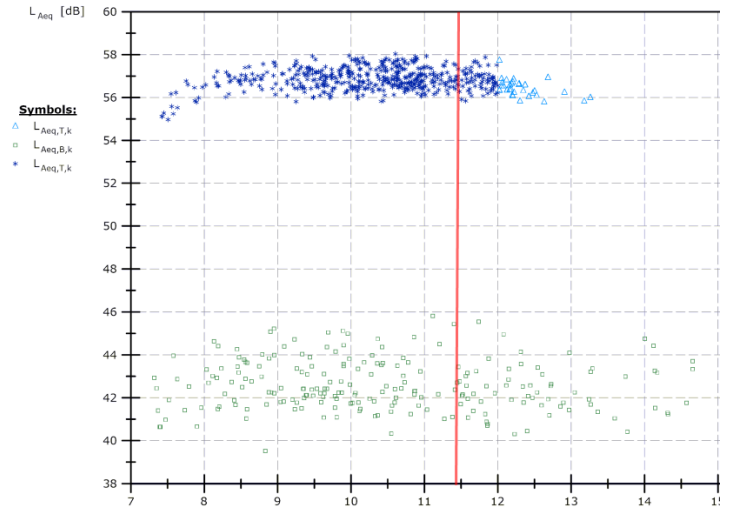
Darzustellender Windgeschwindigkeitsbereich

Verweis auf die IEC Ed. 3.1, wobei auch ein eingeschränkter Windgeschwindigkeitsbereich möglich ist.

- **Rev 18: Fester Bereich 6 -10 m/s auf 10 m Höhe**
- **Rev 19: 0,8 bis 1,3 x WS_{NH} bei 85% P_{max}**

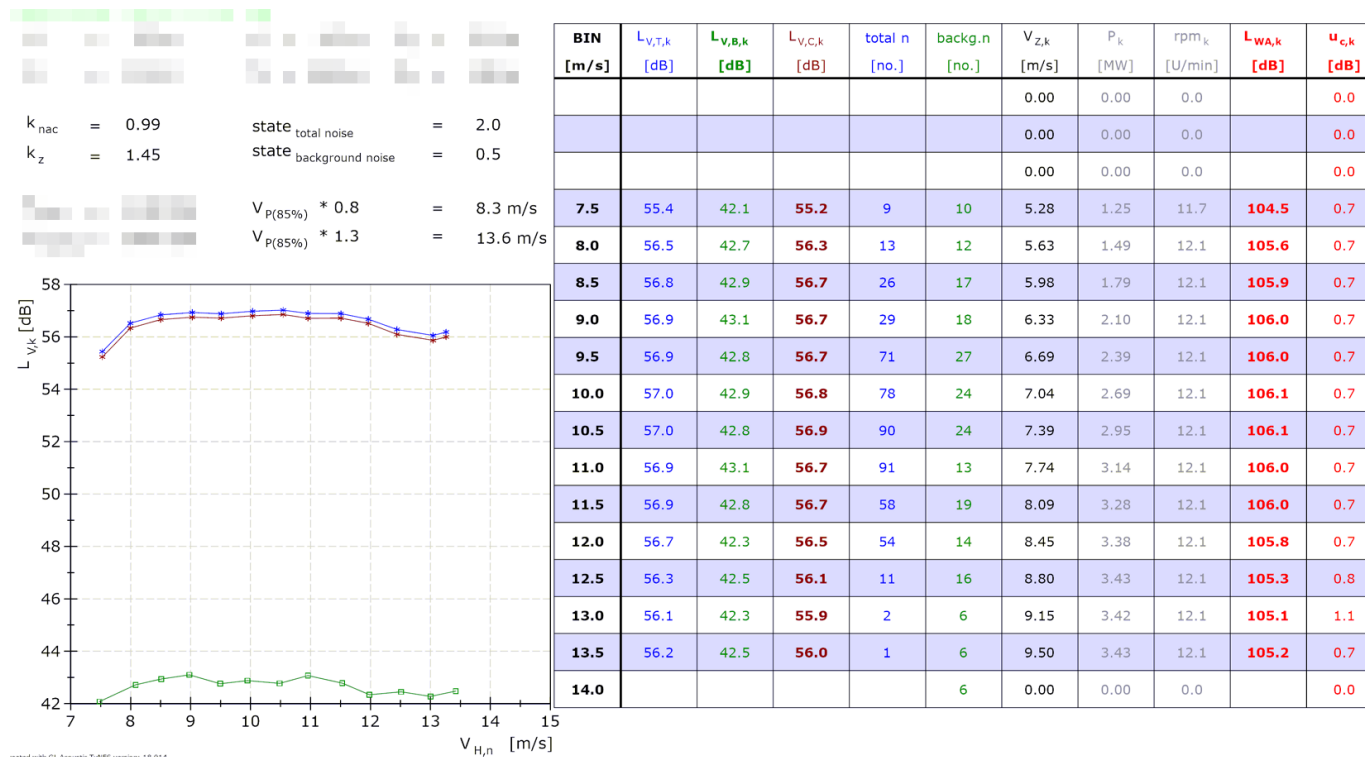
Folge: Höherer Anspruch an das „Windfenster“

- Eine Messung kann auch für den Nennleistungsbereich als vollständig angesehen werden, wenn mindestens 18 Wertepaare oberhalb 95 % der Nennleistung vorhanden sind, der Anstieg des Pegels zwischen den beiden höchsten vermessenen BINs nicht größer als $0,2 \text{ dB/ms}^{-1}$ ist und die in der Herstellerbescheinigung ausgewiesene maximale Drehzahl erstmalig erreicht wird.



Minimaler Windgeschwindigkeitsbereich bei Nachmessungen gemäß BImSchG

Bei Nachmessungen gemäß BImSchG kann eine Einschränkung des Windgeschwindigkeitsbereiches erfolgen. Es sind jedoch mindestens sechs Bins um den Bereich der immissionsrelevanten Schallemission vollständig gemäß dieser Richtlinie aufzuzeichnen und zu bestimmen, wobei die Windgeschwindigkeit, bei der die maximale Drehzahl erstmalig erreicht wird, zwingend mitvermessen werden muss.

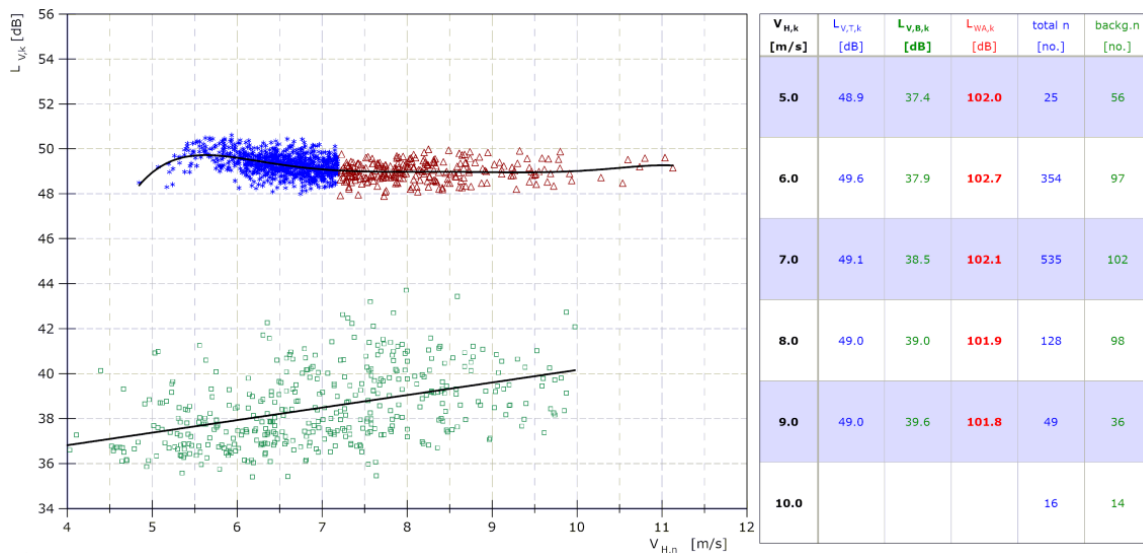


Schalleistungsberechnung gemäß TR1: Rev. 19 vs. Rev. 18

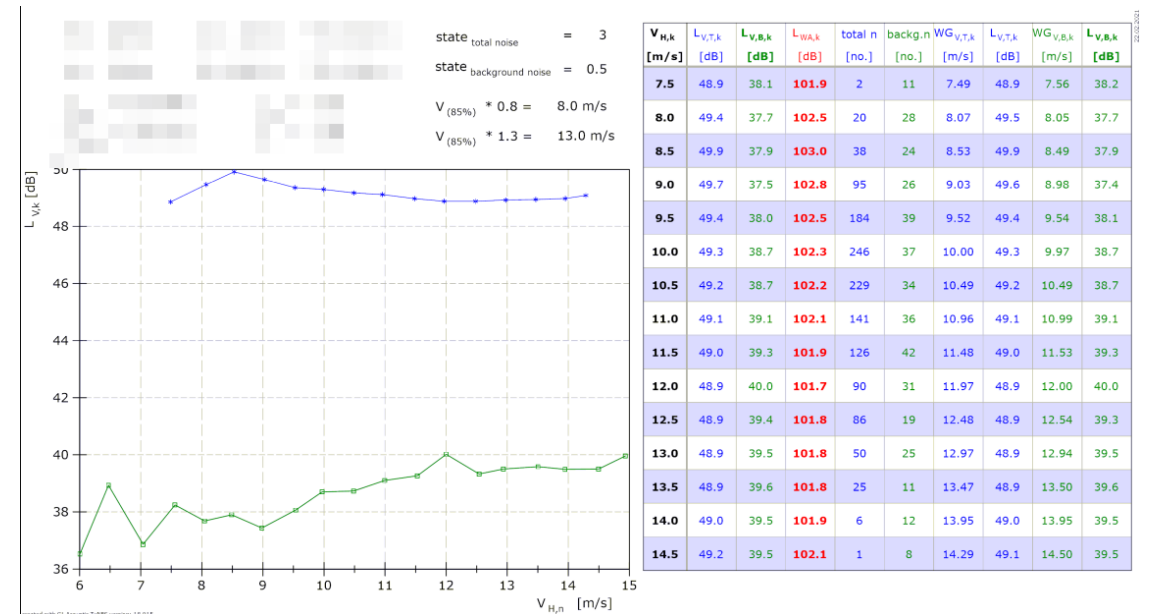
Die Schalleistung wird:

- in BINs von 0,5 m/s, bezogen auf die Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe ,
- mit Mittelwerten von 10 Sekunden,
- sowie auf Basis der jeweiligen Terz berechnet.

Diese Änderungen führen zu einer deutlich höheren Auflösung der ermittelten Schalleistung über die Windgeschwindigkeit.



Berechnung gemäß Rev.18

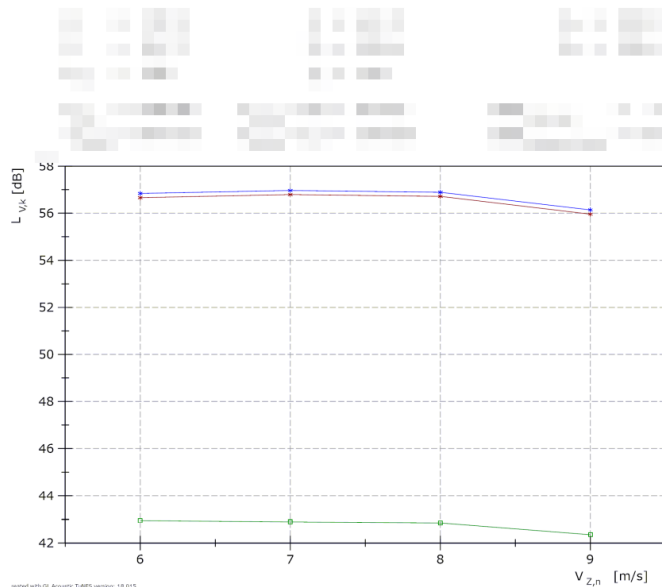


Berechnung gemäß Rev.19

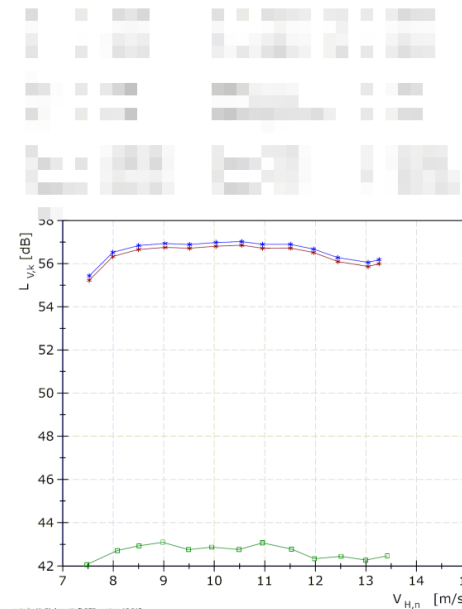
Bestimmung des Schalleistungspegels gemäß TR1 Rev. 19

- Immissionsrelevanter Schalleistungspegel

- Der Schalleistungspegel wird aus den Terzen berechnet und ein erweiterter Frequenzbereich von 10 Hz bis 10 kHz verwendet.
- Es werden keine Pegel für ganzzahlige BINs bezogen auf die Windgeschwindigkeit von 10 m Höhe **berechnet**. Ersatzweise wird für jedes BIN (0,5 m/s) bezogen auf Nabenhöhe die Windgeschwindigkeit auf 10 m Höhe **zusätzlich angegeben**.



BIN [m/s]	$L_{v,T,k}$ [dB]	$L_{v,B,k}$ [dB]	$L_{v,C,k}$ [dB]	$V_{H,k}$ [m/s]	$L_{wA,k}$ [dB]	$u_{c,k}$ [dB]
5.0				7.10		0.0
6.0	56.8	42.9	56.7	8.53	105.9	0.7
7.0	57.0	42.9	56.8	9.95	106.0	0.6
8.0	56.9	42.9	56.7	11.37	106.0	0.6
9.0	56.1	42.3	56.0	12.79	105.2	0.8
10.0				14.21		0.0



BIN [m/s]	$L_{v,T,k}$ [dB]	$L_{v,B,k}$ [dB]	$L_{v,C,k}$ [dB]	total n [no.]	backg.n [no.]	$V_{z,k}$ [m/s]	P_k [MW]	rpm _k [U/min]	$L_{wA,k}$ [dB]	$u_{c,k}$ [dB]
7.5	55.4	42.1	55.2	9	10	5.28	1.25	11.7	104.5	0.8
8.0	56.5	42.7	56.3	13	12	5.63	1.49	12.1	105.6	0.7
8.5	56.8	42.9	56.7	26	17	5.98	1.79	12.1	105.9	0.7
9.0	56.9	43.1	56.7	29	18	6.33	2.10	12.1	106.0	0.7
9.5	56.9	42.8	56.7	71	27	6.69	2.39	12.1	106.0	0.7
10.0	57.0	42.9	56.8	78	24	7.04	2.69	12.1	106.1	0.7
10.5	57.0	42.8	56.9	90	24	7.39	2.95	12.1	106.1	0.6
11.0	56.9	43.1	56.7	91	13	7.74	3.14	12.1	106.0	0.6
11.5	56.9	42.8	56.7	58	19	8.09	3.28	12.1	106.0	0.7
12.0	56.7	42.3	56.5	54	14	8.45	3.38	12.1	105.8	0.7
12.5	56.3	42.5	56.1	11	16	8.80	3.43	12.1	105.3	0.7
13.0	56.1	42.3	55.9	2	6	9.15	3.42	12.1	105.1	1.2

Tonanalyse gemäß TR1: Rev. 19 vs. Rev.18

Die Tonanalyse wird:

- Äquivalent zur Schalleistung in BINs von 0,5 m/s, bezogen auf die Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe und
- mit Mittelwerten von 10 Sekunden durchgeführt.

Der große Unterschied zur Revision 18 ist, dass die **gesamte Messzeit**, welche zur Bestimmung der Schalleistung herangezogen wurde, in die Tonanalyse fließt.

Zum Vergleich Rev. 18:

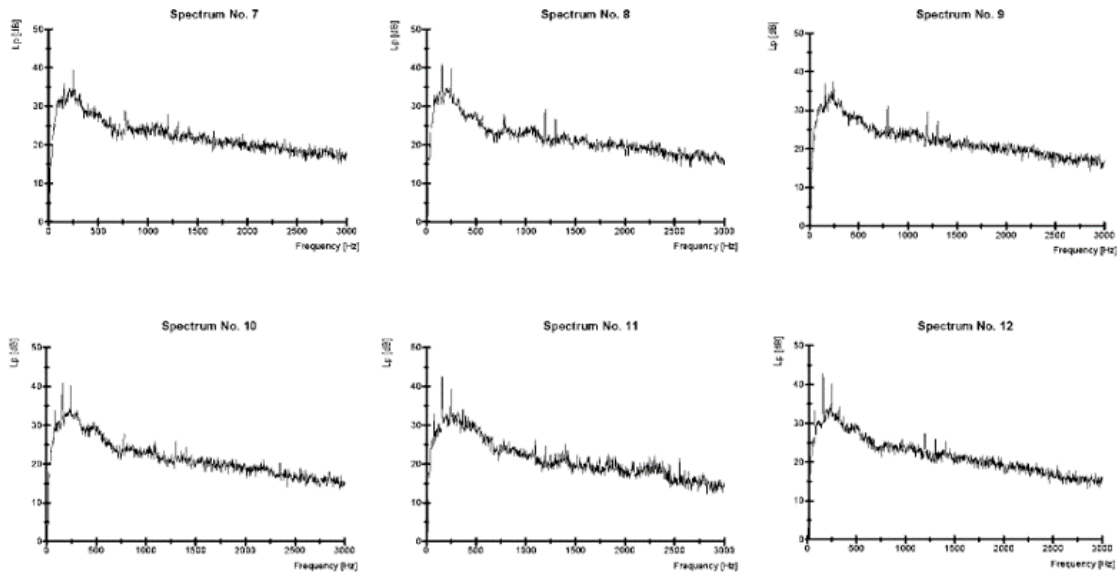
- 12 Spektren á 10 Sekunden = 2 Minuten je Windgeschwindigkeits- BIN (1 m/s)

Ziel: Es soll ausgeschlossen werden, dass evtl. temporäre Auffälligkeiten nicht erkannt werden.

Folge: Deutlich höherer Aufwand in den Analysen.

Tonanalyse gemäß TR1: Rev. 19 vs. Rev.18

Tonanalysen gemäß Rev.18 (Beispielgrafiken)



m No.	tone fT [Hz]	delta f [Hz]	Lpn,avg,j,k [dB]	Lpt,j,k [dB]	Lpn,j,k [dB]	delta Ltn,j,k [dB]	La [dB]	delta La,k [dB]
1	172	2.00	23.76	38.75	39.08	-0.34	-2.03	1.69
2	170	2.00	25.27	39.42	40.59	-1.16	-2.03	0.87
3	174	2.00	26.57	37.99	41.89	-3.90	-2.03	-1.87
4	174	2.00	27.11		42.43	-15.32	-2.03	-13.29
5	172	2.00	24.28	33.19	39.60	-6.41	-2.03	-4.38
6	176	2.00	24.95		40.27	-15.32	-2.03	-13.29
7	174	2.00	24.55	34.24	39.87	-5.63	-2.03	-3.60
8	168	2.00	25.41	33.14	40.73	-7.59	-2.03	-5.56
9	176	2.00	24.64	41.61	39.96	1.65	-2.03	3.68
10	170	2.00	23.87	39.65	39.19	0.47	-2.03	2.49
11	168	2.00	23.29	43.53	38.61	4.92	-2.03	6.95
12	172	2.00	23.91	44.70	39.23	5.47	-2.03	7.50

Energetic average of delta Lt (delta Lk) = 0,01 [dB]

Frequency dependent audibility criterion (La) [dB] = -2,03 [dB]

Audibility, delta Lk - La (delta La,k) = 2,04 [dB]

Uncertainty of delta La,k (Ua) = 4,05 [dB]

Audibility greater than or equal to -3.0 dB ? : Yes

Spectra 7 - 12 of turbine noise
Übersichtsspektren 7 – 12 des Betriebsgeräusches

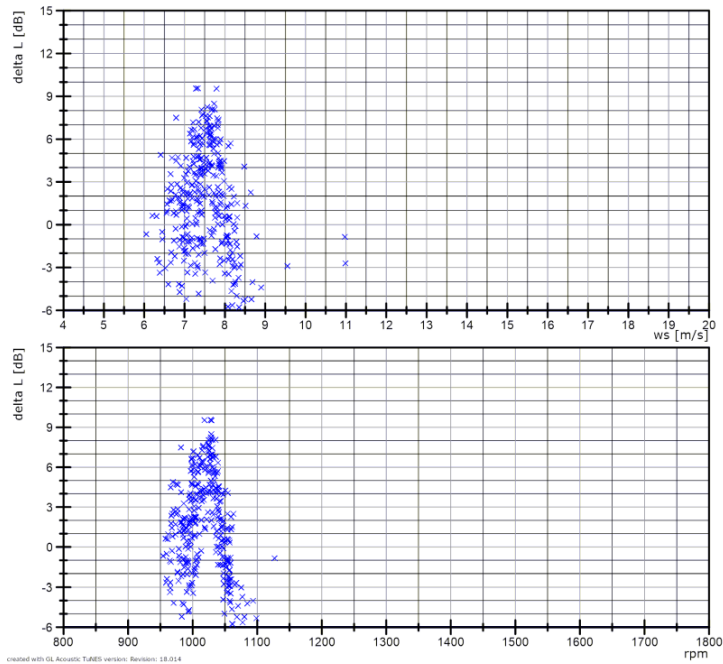
Site / Standort:
Measur. / Messdatum:
Standard / Messung: IEC 61400-11/Ed.2
Wind speed / Windge.: 7 m/s
In charge / Bearbeiter:

Analysis of tonality of turbine noise
Tonhaltigkeitsbewertung des Betriebsgeräusches

Site / Standort: Prototype
WTGS-SNo. / WEA-SNr.: 5 m/s
WS / WG:
Date of meas. / Messdatum:
Standard / Messung: IEC 61400-11 Ed. 2.1
Averaging / Mittelung: 60 sec.
In charge / Bearbeiter:

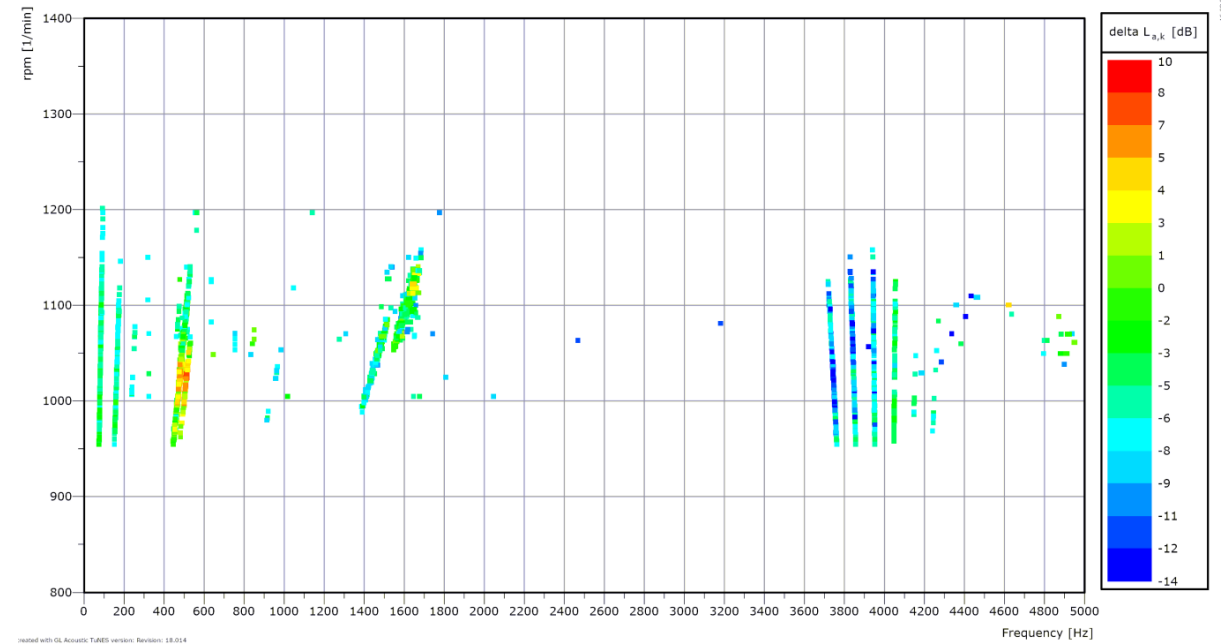
Tonanalyse gemäß TR1: Rev. 19 vs. Rev.18

Tonanalysen gemäß Rev.19 (Beispielgrafiken)



WS [m/s]	tone f _T [Hz]	n all	n ident	delta L _{a,k} [dB]	WS-BIN complete	delta L _{a,k} > -3 dB
6.5	453	25	25	0.88	Yes	Yes
7.0	463	85	84	2.32	Yes	Yes
7.5	474	121	118	4.67	Yes	Yes
8.0	485	122	96	2.19	Yes	Yes
8.5	486	120	22	-1.47	Yes	No
9.0	491	105	3	-3.22	Yes	No
9.5	482	45	1	-2.90	Yes	No
10.0		27	0		Yes	No
10.5		17	0		Yes	No
11.0	486	11	2	-1.68	Yes	No
11.5		7	0		No	No
12.0		11	0		Yes	No
12.5		8	0		No	No

frequency - area = 438.2 Hz to 495.8 Hz



TONHALTIGKEIT

Die gravierendste Änderung zur Tonanalyse gemäß TR1 Rev.18 ist die Verwendung aller Messdaten.

- Pegeldifferenzen $\Delta L_{a,j,k}$ sind gemäß IEC Ed. 3.1 aus A-bewerteten Spektren mit einer Frequenzauflösung von 2 Hz bis zu einer Frequenz von 5 kHz zu bestimmen.
- Abweichend zur IEC Ed. 3.1 ist die Frequenz des Tones die Mittenfrequenz
- Für jedes BIN sind die tonalen Wahrnehmbarkeiten $\Delta L_{a,k}$ als energetisches Mittel der einzelnen tonalen Wahrnehmbarkeiten $\Delta L_{a,j,k}$ der Töne desselben Ursprungs zu bilden.
- Wenn in einem Spektrum kein Ton desselben Ursprungs identifiziert werden kann, wird ein Ersatzwert für dieses Spektrum errechnet. Tonzuschlag gemäß Tabelle I in DIN 45681
- Objektive Abschätzung, wie weit ein Ton maximal wahrnehmbar sein könnte, als Berechnung des „worst-case“ Falls.

Impulshaltigkeit

- Das Geräusch wird weiterhin subjektiv auf impulshaltige Auffälligkeiten geprüft.
- Es wird klarstellend darauf hingewiesen, welche Art von Geräusche als impulshaltig im Sinne der DIN 45645-1 gemeint sind: „Scharfe Geräuschspitzen – Knallen, Knattern oder Rattern“
- Sofern bei der Messung subjektiv eine impulsartige Auffälligkeit wahrgenommen wird, ist der nach DIN 45645–1 zu ermittelnde Impulszuschlag KIN für die BINs im aufgezeichneten Windgeschwindigkeitsbereich auf Nabenhöhe zu bestimmen.

Terz- und Oktavspektren

- Frequenzbereich bei den Terzen von 10 Hz bis 10 kHz
- Bei Störabständen von weniger als 3 dB ist zusätzlich der reale Hintergrundpegel energetisch zu subtrahieren.
- Oktaven sind zur Verwendung in der Prognose im Frequenzbereich von **63 Hz bis 8 kHz** anzugeben.

- **BImSchG:**

Hierbei darf die o. g. Windkraftanlage folgende Oktavschalleistungspegel $L_{WA, Okt}$ in der Nachtzeit (22.00 Uhr bis 06.00 Uhr) nicht überschreiten:

f [Hz]	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
$L_{WA, Okt}$ [dB(A)]	80, ■	86, ■	88, ■	89, ■	91, ■	92, ■	89, ■	79, ■

Energetisch addiert ergibt sich daraus ein L_{WA} von ■ dB(A). Dieser Summenschalleistungspegel hat nur informellen Charakter und ist im Kontext zu den oben festgelegten oktavabhängigen $L_{WA, Okt}$ ohne rechtliche Bindungswirkung.

Y

- Keine Unsicherheitsberechnung für die Oktaven

Terz- und Oktavspektren

3 (3111 x 2000 = 6.22 MP , 266 KB) [13 / 24] 54%

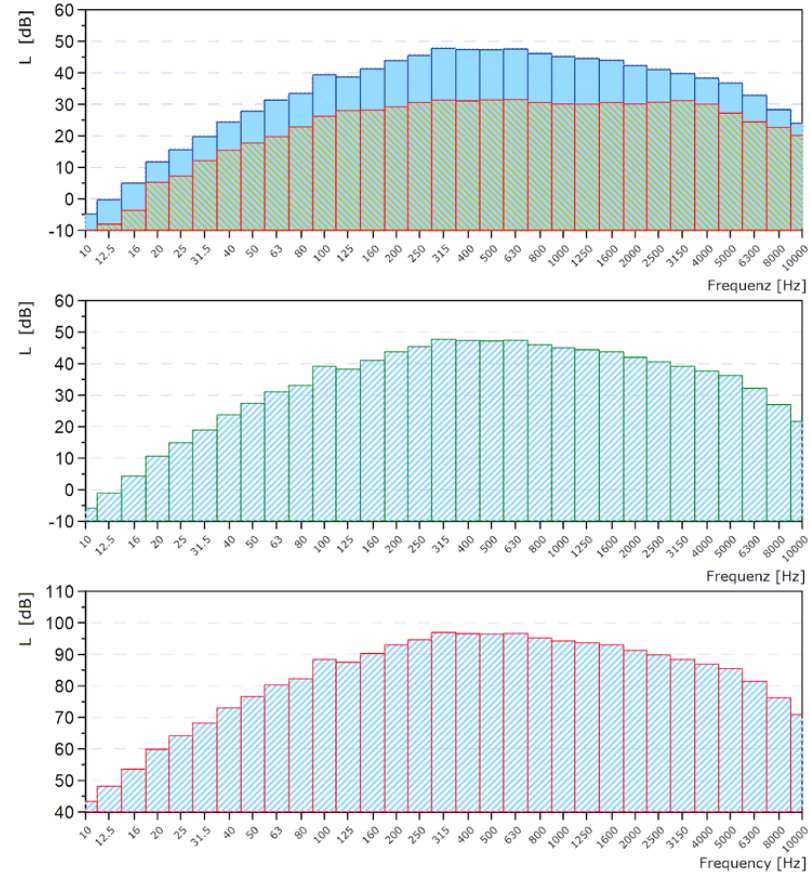
No. of data per BIN / Anzahl der Messdaten pro BIN:
 Total noise / Gesamtgeräusch = 78
 Background noise / Fremdgeräusch = 24

Reference wind speed / Referenzwindgeschwindigkeit:
 $WS_{BIN}(\text{hub height}) = 10.0 \text{ m/s}$
 $WS_{BIN}(10 \text{ m}) = 7.0 \text{ m/s}$

Sound power level / Schalleistung:
 $L_{WA,k} = 106.1 \text{ dB}$

f [Hz]	$L_{v,T,i,k}$ [dB]	$u_{Lv,T,i,k}$ [dB]	$L_{v,B,i,k}$ [dB]	$u_{Lv,B,i,k}$ [dB]	$L_{v,C,i,k}$ [dB]	$L_{WA,i,k}$ [dB]	$u_{c,i,k}$ [dB]	octave [dB]
10	-4.8	0.7	-11.5	0.9	-5.9	43.4	0.9	
12.5	-0.3	0.7	-8.0	0.9	-1.1	48.1	0.8	
16	4.9	0.7	-3.7	0.9	4.3	53.5	0.8	61.0
20	11.7	0.7	5.2	1.0	10.6	59.9	0.9	
25	15.6	0.7	7.2	0.9	14.9	64.1	0.8	
31.5	19.7	0.7	12.1	0.9	18.9	68.2	0.8	74.6
40	24.3	0.7	15.4	0.9	23.7	73.0	0.8	
50	27.8	0.7	17.8	0.9	27.3	76.6	0.8	
63	31.4	0.7	19.7	0.9	31.0	80.3	0.8	85.1
80	33.4	0.7	22.8	1.0	33.0	82.3	0.7	
100	39.3	0.7	26.2	1.0	39.1	88.4	0.7	
125	38.6	0.7	28.0	0.9	38.3	87.5	0.7	93.7
160	41.3	0.7	28.2	0.9	41.0	90.3	0.7	
200	43.9	0.7	29.2	0.9	43.7	93.0	0.7	
250	45.5	0.7	30.5	0.9	45.4	94.6	0.7	99.9
315	47.8	0.7	31.3	0.9	47.7	96.9	0.7	
400	47.4	0.7	31.1	0.9	47.3	96.5	0.7	
500	47.3	0.7	31.4	0.9	47.2	96.4	0.7	101.3
630	47.5	0.7	31.4	0.9	47.4	96.7	0.7	
800	46.1	0.7	30.6	0.9	46.0	95.2	0.7	
1000	45.1	0.7	30.1	1.0	45.0	94.2	0.7	99.2
1250	44.5	0.7	30.0	1.0	44.4	93.6	0.7	
1600	43.9	0.7	30.6	1.0	43.7	93.0	0.7	
2000	42.3	0.7	30.2	1.0	42.0	91.3	0.7	96.3
2500	41.0	0.7	30.6	1.0	40.6	89.8	0.8	
3150	39.8	0.7	31.2	1.0	39.1	88.4	0.8	
4000	38.3	0.7	30.1	1.0	37.6	86.9	0.8	91.8
5000	36.7	0.7	27.2	1.0	36.2	85.5	0.8	
6300	32.8	0.7	24.4	1.1	32.2	81.4	0.9	
8000	28.3	0.7	22.7	1.1	26.9	76.2	1.1	82.8
10000	24.0	0.9	20.2	1.2	21.6	70.9	1.8	

created with GL Acoustic TuNES version: 18.014



04.09.2021

Subjektiver Höreindruck

Der Umfang des subjektiven Höreindrucks wird in der TR1 Revision 19 beschrieben und dessen Wichtigkeit deutlich herausgestellt.

Die subjektive Einschätzung des akustischen Verhaltens der vermessenen WEA erfolgt direkt am Referenzmesspunkt (akustisches Nahfeld) und in einem Abstand von mehr als 300 m (akustisches Fernfeld) um die WEA herum. Protokolliert werden auffällige Einzelereignisse wie Azimutgeräusche, schlagende Geräusche, Blattpfeifen, tonale Komponenten, tieffrequente Geräuschanteile oder andere auffällige Geräusche.

Darüber hinaus ist eine subjektive Einschätzung des Umgebungs- bzw. Fremdgeräusches notwendig, um bestimmte Geräuschanteile aus dem Fremdgeräusch nicht fälschlicherweise der vermessenen WEA zuzuordnen. Der subjektive Höreindruck vom Umgebungs- bzw. Fremdgeräusch während der Messung ist zu protokollieren.

Alle Auffälligkeiten sind auf ihre Immissionsrelevanz zu prüfen.

Auswirkungen im Genehmigungsverfahren

- Durch die Einführung der TR1 Revision 19 werden keine großen Unterschiede zur **Schalleistungsbestimmung** im Vergleich zur TR1 Revision 18 erwartet.
- Die **Tonanalyse** ist erheblich anspruchsvoller und vermeidet das „übersehen“ von Tönen, da alle Daten analysiert werden.
- Die **Auswertegenauigkeit** wird erhöht und an den Gegebenheiten der jetzigen Windenergieanlagen generation angepasst.
- In den BImSchG-Genehmigungen wird seit Anwendung des **Interimsverfahren** in der Prognose vermehrt nicht mehr auf den **Summenschalleistungspegel** verwiesen sondern auf die Einhaltung der **Oktavschalleistungspegel**.
- Bei (einzelnen) **Überschreitungen** sind Ausbreitungsrechnungen mit den **gemessenen Oktavschalleistungspegeln** durchzuführen um die Einhaltung der **immissionsschutzrechtlichen Auflagen** nachzuweisen.
- **Der Aufwand (Kosten) für die Auswertung und Berichtserstellung erhöht sich.**
- In Schleswig-Holstein sind die akustischen Prüfungen an Windenergieanlagen gemäß der TR1 Revision 19 durchzuführen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit. Fragen?

Axel Sachse, Dipl.- Ing. (FH)
Principal Engineer & Sales Manager
Renewables Measurements, Germany
DNV – Energy Systems
E-Mail: axel.sachse@dnv.com
+49 (0) 4856 901 38

www.dnv.com

