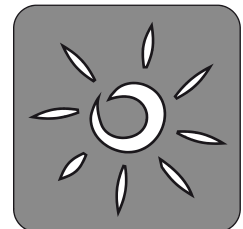
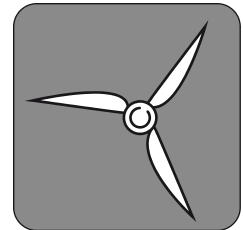


Technische Richtlinien für Windenergieanlagen

TEIL 1 (TR 1)
Bestimmung der Schallemissionswerte

Revision 19
Stand 01.03.2021



Herausgeber:
FGW e.V.
Fördergesellschaft Windenergie
und andere Dezentrale Energien

Bestimmung der Schallemissionswerte

Stand 01.03.2021

Herausgeber

FGW e.V.
Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien

Oranienburger Straße 45
10117 Berlin

Tel. +49 (0)30 30101505-0

Fax +49 (0) 30 30101505-1

E-Mail info@wind-fgw.de

Internet www.wind-fgw.de

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliothek; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrecht zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Herausgebers. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird auf die geschlechtsneutrale Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für alle Geschlechter.

Folgende Teile der Technischen Richtlinien der FGW sind erhältlich:

- Teil 1:** Bestimmung der Schallemissionswerte
- Teil 2:** Bestimmung von Leistungskennlinien und standardisierten Energieerträgen
- Teil 3:** Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und –anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz
- Teil 4:** Anforderungen an Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und –anlagen, Speicher sowie deren Komponenten
- Teil 5:** Bestimmung und Anwendung des Referenzertrages
- Teil 6:** Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen
- Teil 7:** Betrieb und Instandhaltung von Kraftwerken für erneuerbare Energien
- Rubrik A:** Allgemeiner Teil: Definition von Begriffen, Normative Verweisungen und Beschreibungen von Prozessen und Systemaspekten
 - Rubrik A1:** Anlagenverantwortung
 - Rubrik B3:** Fachspezifische Anwendungserläuterung zur Überwachung und Überprüfung von Gründungs- und Tragstrukturen (GuT) bei Windenergieanlagen
 - Rubrik D2:** Zustands-Ereignis-Ursachen-Schlüssel für Erzeugungseinheiten (ZEUS)
 - Rubrik D3:** Globales Service Protokoll (GSP)
 - Rubrik D3 – Anhang A:** XML-Schemadokumentation
- Teil 8:** Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und –anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Stromnetz
- Teil 9:** Bestimmung der hochfrequenten Emissionen von regenerativen Energieerzeugungseinheiten
- Teil 10:** Bestimmung der Standortgüte nach Inbetriebnahme

Vorwort

Die Erarbeitung der Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen (seit 1998 auch FGW-Richtlinien genannt) begann 1992 mit dem Ziel, Messverfahren anzugeben, mit denen verlässliche und vergleichbare Daten über Windenergieanlagen (WEA) nach dem neuesten Stand der Technik ermittelt werden können. Die Messungen aus den drei Bereichen – Leistungskennlinie, Schallemission und Elektrische Eigenschaften – sollten als Grundlage zur Beurteilung von WEA, z. B. in Genehmigungsfragen, bei der Beurteilung von Netzanschlussmöglichkeiten oder zum Erstellen verlässlicher Ertragsberechnungen dienen.

Die nach dieser Richtlinie ermittelten Daten sollten darüber hinaus eine Basis für die Höhe der Förderung von WEA im Rahmen der Landesförderung der deutschen Küstenländer bilden. Die Entwicklung leiser, leistungsfähiger Anlagen mit guter Netzverträglichkeit sollte so honoriert werden.

Inzwischen haben die einzelnen Technischen Richtlinien sowie die unabhängig, von kompetenten Messinstituten erstellten Messberichte in ihren Bereichen Geltung erlangt. Leistungskennlinien sind oftmals Grundlage von Kaufverträgen und Finanzierungszusagen, vermessene Schallemissionswerte finden sowohl in Kaufverträgen als auch im Zuge der Genehmigung Anwendung. Die Vermessung der elektrischen Eigenschaften entsprechend dieser Technischen Richtlinie wird von den Übertragungsnetzbetreibern für Berechnungen zum Anschluss an deren Versorgungsnetze gefordert.

Bezug zu anderen Normen

Die Richtlinien der Internationalen Energieagentur (IEA), die seit den 80er Jahren erstellt worden sind, lassen einen breiten Spielraum bei den Messungen und Auswertungen zu. Dem gegenüber sollten die Technischen Richtlinien die Voraussetzungen dafür schaffen, durch weitergehende Festlegungen die Messergebnisse unabhängig vom Durchführenden vergleichbar zu machen.

Sie dienen bereits als Vorlage für die Normen der Reihe IEC EN 61400, welche entsprechend der übernommenen Inhalte die Technischen Richtlinien mehr oder weniger ersetzen werden. Im Rahmen der internationalen Abstimmung kann es jedoch zu Lösungen kommen, die nicht alle nationalen Belange berücksichtigen. In einem solchen Fall müssen die Regelungen im Rahmen der Technischen Richtlinie erhalten bleiben, damit die Messergebnisse von den deutschen Genehmigungsbehörden und Übertragungsnetzbetreibern anerkannt werden.

Alle Definitionen sind mit der IEC-Reihe IEC 61400 bzw. dem Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuch IECV-415 (IEC 60050-415) sowie IECV 161 (IEC 60050-161) abgestimmt, sofern aus schwerwiegenden Gründen nicht ausdrücklich davon abgewichen wird.

Im Folgenden wird ein Bezug zu den Ringversuchen der Gruppe MEASNET (Measuring Network of Wind Energy Institutes) hergestellt. Sieben Institute aus unterschiedlichen europäischen Ländern gründeten diese Gruppe mit dem Ziel, wichtige Messungen im Bereich Windenergie so zu harmonisieren, dass die Mitglieder eine möglichst hohe Messqualität erreichen und dadurch die Messergebnisse vergleichbar werden.

Erstellung der Richtlinien

Die inhaltliche Gestaltung der Technischen Richtlinien obliegt den entsprechenden Fachausschüssen und Arbeitskreisen. An der Erstellung dieser Richtlinien in den Arbeitskreisen waren beteiligt: Messinstitute und Immissionsschutzbehörden der Bundesrepublik Deutschland, Hersteller von Windenergieanlagen und deren Komponenten, Elektrizitätsversorgungsunternehmen, Institute und Hochschulen, Ingenieurbüros, Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V. (VDEW), Fördergesellschaft Windenergie e.V. (FGW).

Durchführung und Anerkennung der Messungen

Die Messungen nach den Technischen Richtlinien können von allen qualifizierten Stellen durchgeführt werden. Über die Messung ist ein Bericht anzufertigen, dessen wesentliche Ergebnisse nach den in dieser Richtlinie angegebenen Vorgaben in einem Auszug aus dem Prüfbericht (FGW–Stammbblatt) zusammengefasst werden können.

Es ist jedoch neben den in diesen Technischen Richtlinien beschriebenen Vorgaben zu beachten, dass die Stelle, die diese Messungen anerkennen soll, weitere Anforderungen an die Messinstitution stellen kann. So fordern Zertifizierer von WEA Messungen durch nach DIN EN ISO/IEC 17025 [1] akkreditierte Labors, während einige Immissionsschutzbehörden alternativ eine Benennung als §29b–Messstelle (nach BImSchG) fordern. Ergänzend zu den Vorgaben der Technischen Richtlinien werden auch akustische Vermessungen durch Messstellen anerkannt, die ihre Kompetenz z. B. durch die Teilnahme an regelmäßigen Ringversuchen zur akustischen Vermessung von Windenergieanlagen nach Technischer Richtlinie nachweisen.

FGW–Konformität

Unabhängige Messinstitute können die Qualität ihrer Arbeit durch das Führen eines Konformitätssiegels hervorheben. Zu diesem Zweck wird das Siegel unter den Prüfbericht (bzw. Auszug aus dem Prüfbericht) gesetzt. Die Berechtigung zum Führen des Konformitätssiegels kann von unabhängigen Messinstituten beim Nachweis entsprechender Qualitätsmerkmale beantragt werden. Diese sind auf der Internetseite der FGW veröffentlicht.

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Abkürzungen	iv
Symbole und Einheiten	v
Begriffe und Definitionen	vii
1 Einleitung	1
2 Messgeräte	2
2.1 Geräte zur Bestimmung der A-bewerteten Terzspektren	2
2.2 Geräte zur Bestimmung der Schmalbandspektren	2
2.3 Geräte zur Bestimmung der WEA-Parameter.....	2
3 Durchführung und Auswertung der Messungen	3
3.1 Bestimmung der Windgeschwindigkeit aus der Leistungskennlinie.....	3
3.2 Schalleistungspegel.....	3
3.2.1 Immissionsrelevanter Schalleistungspegel	3
3.2.2 Unsicherheiten	4
3.2.2.1 Allgemein	4
3.2.2.2 Beschreibung der verwendeten Indizes.....	5
3.2.2.3 Stochastische Unsicherheit Typ A	5
3.2.2.4 Systematische Unsicherheit Typ B	6
3.2.2.5 Kombination aus stochastischer und systematischer Unsicherheit	7
3.2.2.6 Berechnung der Messunsicherheit für ermittelte Schalleistungen.....	7
3.2.2.7 Messunsicherheit für den A-bewerteten Schalleistungspegel	8
3.3 Zu Erfassender Windgeschwindigkeitsbereich	8
3.4 Tonhaltigkeit	8
3.5 Impulshaltigkeit.....	10
3.6 Terz- und Oktavspektren	10
3.7 Subjektiver Höreindruck	10
4 Dokumentation der Messergebnisse	12
Inhaltsverzeichnis Anhänge	13
Anhang A Herstellerbescheinigung	14
Anhang B Auszug aus dem Prüfbericht	15
Anhang C Statistische Zusammenfassung mehrerer Schalleistungspegel.....	19
Literaturverzeichnis	29

Verwendete Abkürzungen

BImSchG	Bundes–Immissionsschutzgesetz
DIN	Deutsches Institut für Normung
e.V.	eingetragener Verein
Ed.	Edition
FGW	Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien
IEA	Internationale Energieagentur
IEC	International Electrotechnical Commission
IEV	Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch
ISO	Internationale Organisation für Normung
LAI	Bund/Länder–Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz
MEASNET	Measuring Network of Wind Energy Institutes
Rev.	Revision
TR 1	Technische Richtlinie Teil 1
VDEW	Verband der Elektrizitätswirtschaft
WEA	Windenergieanlage

Symbole und Einheiten

Symbol	Bedeutung	Einheit
A_{div}	Dämpfung aufgrund geometrischer Ausbreitung gemäß ISO 9613-2 [2]	dB
A_{gr}	Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts gemäß ISO 9613-2 [2]	dB
α	Absorptionskoeffizient der Luft gemäß ISO 9613-2 [2]	dB/km
Bin	Windgeschwindigkeitsklasse	m/s
Bin, h_N	Windgeschwindigkeitsklasse in Nabenhöhe	m/s
$Bin_{10m, max}$	größte verwertbare ganzzahlige Windgeschwindigkeitsklasse der zugrundliegenden Auswertung gemäß FGW TR 1 Rev. 18 [3] bzw. IEC 61400-11 ed. 2.1 [4]	m/s
$Bin_{10m, min}$	kleinste verwertbare ganzzahlige Windgeschwindigkeitsklasse der zugrundliegenden Auswertung gemäß FGW TR 1 Rev. 18 [3] bzw. IEC 61400-11 ed. 2.1 [4]	m/s
ΔL	Tonhaltigkeit als Differenz zwischen dem Pegel des Tones und dem Pegel des maskierenden Geräusches je Bin	dB
$\Delta L_{A,k}$	tonale Wahrnehmbarkeit je Windgeschwindigkeits-Bin	dB
$\Delta R_{0,I-E}$	horizontale Längendifferenz zwischen Immissions- und Emissionsort	m
f_c	Mittenfrequenz der kritischen Bandbreite	Hz
h_N	Nabenhöhe	m
$h_{N, vermessen}$	Nabenhöhe der vermessenen WEA in Meter	m
j	Terzband	–
k	Bin (Windgeschwindigkeitsklasse)	–
K_{IN}	Impulszuschlag im Nahbereich	dB
K_{TN}	Tonzuschlag im Nahbereich	dB
L_A	A-bewerteter Schalldruckpegel	dB
$L_{Aeq,T,k}$	A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel des Gesamtgeräusches pro Bin (Windgeschwindigkeitsklasse)	dB
$L_{Aeq,B,k}$	A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel des Fremdgeräusches pro Bin (Windgeschwindigkeitsklasse)	dB
$L_{Aeq,C,k}$	Fremdgeräuschkorrigierter A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel pro Bin (Windgeschwindigkeitsklasse)	dB
L_p	Schalldruckpegel	dB
L_{pAFeq}	äquivalenter A-bewerteter Schalldruckpegel als Funktion der Zeit	dB
L_{pAFTeq}	äquivalenter A-bewerteter Taktmaximalpegel	dB
L_{pt}	Schalldruckpegel des Tones	dB
$L_{pt,E}$	Schalldruckpegel des Tones am Emissionsmesspunkt	dB
$L_{pt,I}$	Schalldruckpegel des Tones am Immissionsort	dB

$L_{WA,k}$	A-bewerteter Schalleistungspegel pro Bin (Windgeschwindigkeitsklasse)	dB
\bar{L}_{WA}	Mittelwert der Schalleistungspegel	dB
n	Anzahl der verwendeten Stichproben	–
P_{tol}	Toleranz des Leistungsmesswertes	kW
R_o	Abstand zwischen Turmfuß der WEA und Mikrofonposition	m
R_l	Entfernungen vom Rotormittelpunkt zum Mikrofon	m
S_o	Referenzfläche	m ²
s_k	Standardabweichung je Bin (Windgeschwindigkeitsklasse)	m/s
U_c	Gesamtmessunsicherheit der einzelnen Stichprobe	dB
V_{10}	Windgeschwindigkeit auf 10 m Höhe	m/s
$V_{10,Bin}$	Windgeschwindigkeit bezogen 10 m Höhe je Bin (Windgeschwindigkeitsklasse)	m/s
$V_{10,Bin,max}$	Windgeschwindigkeitswert auf 10 m Höhe der größten möglichen Bins (Windgeschwindigkeitsklasse)	m/s
$V_{10,Bin,min}$	Windgeschwindigkeitswert auf 10 m Höhe der kleinsten möglichen Bin (Windgeschwindigkeitsklasse)	m/s
V_k	mittlere Windgeschwindigkeit im Bin k	m/s
V_{k10}	mittlere Windgeschwindigkeit im Bin k auf 10 m Höhe	m/s
V_n	Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	m/s
$V_{P,n}$	normierte Windgeschwindigkeit, abgeleitet von der Leistungskennlinie unter Standard-Wetterbedingungen	m/s
z_o	Referenzrauhigkeitslänge = 0,05 m	m