


Leitfaden zu Schallpegelmessungen an Windenergieanlagen

 Planung, Überwachung und Plausibilitätsprüfung



| | |
|----------------------|---|
| AUFTRAGGEBER | LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Referat Technischer Arbeitsschutz, Lärmschutz |
| HERAUSGEBER | LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe www.lubw.baden-wuerttemberg.de |
| BEARBEITUNG | Referat Technischer Arbeitsschutz, Lärmschutz Dominic Kaiser, Kai Jänke E-Mail: windenergie@lubw.bwl.de |
| AUFTRAGNEHMER | KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG Oliver Bunk, Matthias Humpohl Bauphysik und Immissionen, Fachbereich Windenergie Telefon: 05971 / 9710 - 31 / - 78 E-Mail: rheine@koetter-consulting.com |
| STAND | November 2021 |



| | |
|--|-----------|
| EINLEITUNG | 5 |
| 1 SCHALLEMISSIONEN VON WINDENERGIEANLAGEN | 6 |
| 1.1 Stand der Windenergie aus akustischer Sicht | 6 |
| 1.1.1 Herstellerangaben | 6 |
| 1.1.2 Einfachvermessungen | 6 |
| 1.1.3 Mehrfachvermessungen | 7 |
| 1.2 Aktuelle Normen und Vorschriften | 7 |
| 1.2.1 Technische Richtlinie TR 1 Rev. 18 | 7 |
| 1.2.2 Technische Richtlinie TR 1 Rev. 19 | 7 |
| 1.2.3 Unterschiede TR 1 Rev. 18 und Rev. 19 | 7 |
| 1.2.4 Anwendung von TR 1 Rev. 18 oder TR 1 Rev. 19 | 9 |
| 1.2.5 TA Lärm | 9 |
| 2 SCHALLIMMISSIONSSCHUTZ IM GENEHMIGUNGSVERFAHREN | 10 |
| 2.1 Prüfung Schallimmissionsprognose | 10 |
| 2.2 Entwicklung der Nebenbestimmungen Schall | 10 |
| 2.2.1 Messtechnische Überprüfung | 11 |
| 3 SCHALLTECHNISCHE MESSUNG | 12 |
| 3.1 Messkonzept | 12 |
| 3.1.1 Emissionsmessung und Immissionsmessung, Vor- und Nachteile | 12 |
| 3.1.2 Vorgehensweise bei der Prüfung | 13 |
| 3.2 Messbericht | 13 |
| 3.2.1 Prüfung Emissionsmessung nach FGW TR 1 Rev. 18 | 14 |
| 3.2.2 Prüfung Messbericht Emissionsmessung nach FGW TR 1 Rev. 19 | 14 |
| 3.2.3 Prüfung Messbericht Immissionsmessung nach TA Lärm | 15 |
| 3.3 Vergleich von Messergebnissen und genehmigten Immissionswerten | 16 |
| 4 LITERATUR | 17 |
| 4.1 Normen und Richtlinien | 17 |
| 4.2 Fachstudien und Literatur | 17 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5 | GLOSSAR | 19 |
| 6 | ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS | 22 |
| 7 | ANLAGEN | 24 |
| 7.1 | Checkliste Messkonzept für Windenergieanlagen | 24 |
| 7.2 | Beispiel: Emissionsmessung an einem Waldstandort | 25 |

Einleitung

Die Vorgabe und Prüfung von Messplanungen sowie die Beurteilung von Berichten zu schalltechnischen Messungen an Windenergieanlagen (WEA) sind Teil der behördlichen Aufgaben in Verbindung mit der Genehmigung von WEA nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG). WEA stellen insbesondere aufgrund der Höhe der Schallquelle über dem Boden und ihrer windgeschwindigkeitsabhängigen Schallemissionen besondere Anforderungen an schalltechnische Messungen. Darum werden neben der TA Lärm als grundlegendem Regelwerk für die Beurteilung anlagenbezogener Schallquellen weitere spezielle, z. T. eigens für WEA entwickelte Regelwerke angewendet. Der vorliegende Leitfaden hat zum Ziel, die Immissionsschutzbehörden in Baden-Württemberg bei der Planung von Schallmessungen und der Beurteilung von Messberichten nach den geltenden Regelwerken zu unterstützen.

Normen und Richtlinien für die Messung von Windenergieanlagen werden regelmäßig aktualisiert, um dem aktuellen Stand der Anlagentechnik (Abmessungen und Regelungstechnik) und der Messtechnik zu entsprechen (vgl. Kap. 1.2). Die Technische Richtlinie 1 (TR 1) der Fördergesellschaft für Windenergie (FGW) als Grundlage für Emissionsmessungen an WEA in Deutschland ist im März 2021 in der aktualisierten Revision 19 [4] erschienen. Diese kann den Immissionsschutzbehörden auf Anfrage unter zsv@rpt.bwl.de zur Verfügung gestellt werden (als nicht druckbare Version). Im vorliegenden Leitfaden wird die TR 1 Rev. 19 [4] mit der weiterhin gültigen Rev. 18 [3] verglichen. Aufgrund der Besonderheiten von WEA sind Emissionsmessungen meist gegenüber Immissionsmessungen vorzuziehen. Unabhängig davon wird im vorliegenden Leitfaden das Vorgehen nach den unterschiedlichen Versionen der TR 1 auch dem Vorgehen bei einer Immissionsmessung gegenübergestellt (vgl. Kap. 3).

Die Einschätzung zur Durchführbarkeit von Messungen, die Messplanung wie auch die Vorgehensweise der Messungen selbst werden nachfolgend detailliert dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen den verschiedenen Formen zur Bestimmung der Kenndaten von WEA (E-Messung) und der Bildung eines Beurteilungspegels an den Immissionsorten (I-Messung). Damit werden Hilfen für die Bewertung von Messkonzepten und -berichten an die Hand gegeben, die abschließend in Form einer Checkliste und eines beispielhaften Lageplans für eine Emissionsmessung konkretisiert werden.

Eine elektronische Fassung dieses Leitfadens ist bei der Zentralen Stelle für die Vollzugsunterstützung der Gewerbeaufsicht (ZSV)¹ beim Regierungspräsidium Tübingen eingestellt.

Für Fragen zu den in diesem Leitfaden behandelten Themen steht das Kompetenzzentrum Windenergie der LUBW den Immissionsschutzbehörden in Baden-Württemberg zur Verfügung².

¹ <http://www.gaa.bwl.de/servlet/is/64533/>

² Kontakt: <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/erneuerbare-energien/kontaktadressen>

1 Schallemissionen von Windenergieanlagen

WEA unterscheiden sich als Schallquelle von anderen Gewerbe- und Industrieanlagen. Die Unterschiede sowie die daraus resultierenden Vorgehensweisen für eine schalltechnische Messung werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

1.1 Stand der Windenergie aus akustischer Sicht

In der Akustik werden Schallleistungspegel normalerweise als ganzzahlige Werte angegeben. Die Windenergie stellt hier eine Ausnahme dar: Die Angaben zum Schallleistungspegel sind mit einer Nachkommastelle gekennzeichnet, um eine höhere Genauigkeit in den Prognosen, Beurteilungen und Bewertungen der Kenndaten zu erhalten. Mit diesem Schritt stiegen auch die Anforderungen an die Messverfahren, was sich in der Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen, Teil 1 (TR 1) Rev. 18 [3] aus 2008 widerspiegelt. Einen Schritt weiter geht dann die TR 1 Rev. 19 [4] aus 2021, welche für alle Wind-BINs die Auswertung von Terz- und Oktavpegeln vorgibt. Die DIN ISO 9613-2 [9], die auf Berechnung der Schallausbreitung bei bodennahen Schallquellen (bis 60 m Höhe) ausgelegt ist, wird den immer größer werdenden Dimensionen wie Nabenhöhe (i.d.R. deutlich über 100 m) und Rotordurchmesser (Schallabstrahlung deutlich oberhalb der Nabenhöhe) der heutigen Windenergieanlagen nicht mehr gerecht. Daher wurde das Interimsverfahren [10] mit den LAI-Hinweisen [11] im Jahr 2017 eingeführt (für Baden-Württemberg vgl. [12]), um die Geräuschcharakteristik der einzelnen WEA und die damit verbundene Schallausbreitung bei der Immissionsprognose besser abzubilden. Bezüglich der Beurteilung der WEA sind aufgrund der Vorgaben des Interimsverfahrens die Schallpegel der Oktavbänder zur Beurteilung bei der Genehmigung von zentraler Bedeutung.

Im Folgenden wird kurz dargelegt, wie Schallleistungspegel aus Herstellerangaben sowie aus Einfach- und Mehrfachvermessungen einzuordnen sind.

1.1.1 Herstellerangaben

Herstellerangaben im Sinne von Ziff. 4.2 der LAI-Hinweise [11] beziehen sich auf noch nicht durch akkreditierte Messinstitute vermessene WEA. Anders als in [11] vorgesehen, sind in den Werten im Regelfall keine Unsicherheiten für die Serienstreuung berücksichtigt, sodass die Werte als „Typmittelwert“ zu sehen und für die Schallimmissionsprognose sowie den maximal zulässigen Emissionspegel $L_{e,max}$ entgegen [11] entsprechend zu beaufschlagen sind.

Herstellerangaben basieren meist auf internen Messungen während der Entwicklung des jeweiligen WEA-Typen und stellen oftmals auch die Garantiewerte dar. Dadurch ist eine gute Reproduzierbarkeit im Rahmen von Abnahmemessungen im Interesse der Hersteller. Mit dem Vorliegen von Vermessungen korrigieren die Hersteller ihre Angaben, was die Werte im Regelfall reduziert.

1.1.2 Einfachvermessungen

Einfachvermessungen nach FGW-Richtlinie [3] [4] stellen den häufigsten Fall bei der Beurteilung der Schallausbreitung von Windparks dar. Die Dokumentationen von Einfachvermessungen enthalten alle relevanten Daten. In Bezug auf Schallimmissionsprognosen wird bei Vorliegen nur einer Vermessung die Serienstreuung σ_p mit 1,2 dB angesetzt, wodurch ein höherer oberer Vertrauensbereich als bspw. bei Mehrfachvermessungen (s.u.) gebildet wird.

1.1.3 Mehrfachvermessungen

Mehrfachvermessungen, üblich sind Dreifachvermessungen, stellen eine hohe Sicherheit hinsichtlich der Reproduzierbarkeit eines Schallleistungspegels eines WEA-Typs dar. Dies reduziert gleichzeitig im Rahmen einer Schallimmissionsprognose die verwendeten Unsicherheiten im Modell (vgl. Abschnitt 2.1). In Berichten zu Mehrfachvermessungen werden die Ergebnisse aus den Einzelmessungen nach den Vorgaben der TR 1 gemittelt.

1.2 Aktuelle Normen und Vorschriften

Die Bestimmung der Schallleistung einer Windenergieanlage erfolgt in Deutschland nach den Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen Teil 1 (TR 1) der Fördergesellschaft Windenergie (FGW). Die TR 1 basiert auf der internationalen Norm DIN EN 61400-11 Windenergieanlagen – Teil 11: Schallmessverfahren. Das in dieser DIN EN-Norm beschriebene Verfahren zur Schallleistungspegelbestimmung wird durch die TR 1 an die Anforderungen des deutschen Immissionsschutzrechts (TA Lärm, BImSchG) angepasst, außerdem wird durch die TR 1 Rev. 19 eine einheitliche Auslegung der DIN EN-Norm vorgegeben um eine bessere Vergleichbarkeit von Messungen zu gewährleisten. Die Untersuchung tieffrequenter Schallemissionen von WEA ist nicht Teil einer Messung nach TR 1, sodass diese nicht explizit beurteilt werden. Allerdings beginnt der gemessene Frequenzbereich nach TR 1 Rev. 19 [4] bei 10 Hz und deckt damit einen großen Teil des Infraschallbereichs ab. Akustische Auffälligkeiten im Frequenzbereich unter 100 Hz sind – sofern vorhanden – dadurch in den Terz- und Schmalbandspektren erkennbar.

1.2.1 Technische Richtlinie TR 1 Rev. 18

Seit 2008 existiert die Revision 18 der TR 1 [3]. Sie basiert auf der DIN EN 61400-11 [1] von 2007. Bei einer Schallleistungspegelermittlung nach Rev. 18 liegt der Schwerpunkt auf der Ermittlung des Summenschallleistungspegels über der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe (z. B.: $L_{WA} = 105,5 \text{ dB(A)}$ bei $v_s = 8 \text{ m/s}$), zusätzlich werden mögliche Tonzuschläge oder eine Impulshaltigkeit untersucht. Damit ist eine Emissionsmessung nach TR 1 Rev. 18 geeignet, belastbare Eingangsdaten für eine Schallausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613-2 [9] zu liefern und eine Beurteilung nach TA Lärm [5] in der Nachbarschaft zu ermöglichen. Auch eine Berechnung nach dem Interimsverfahren [10] ist auf Grundlage einer Emissionsmessung nach der TR 1 Rev. 18 möglich.

1.2.2 Technische Richtlinie TR 1 Rev. 19

Im März 2021 wurde die neue Revision 19 der Technischen Richtlinie Teil 1 eingeführt. Sie fußt auf der DIN EN 61400-11 ed 3.1 [2] vom Mai 2019. Der Messaufbau der Schallmessung hat sich dabei im Vergleich zur letzten Revision nicht entscheidend verändert. Hauptsächlich wird ein neues Auswertungsverfahren angewendet. Der Bezugswert des Schallleistungspegels ist jetzt die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe der WEA, dadurch sind Messungen bei verschiedenen Nabenhöhen besser vergleichbar. Die gemessenen Schalldruckpegel werden nach TR 1 Rev. 19 frequenzabhängig untersucht. Die Auswertung erfolgt über Terzbandpegel, wodurch bei optimalen Messbedingungen eine größere Detailliertheit der Ergebnisse erzielt wird. Aussagen zu Tonhaltigkeit und Impulshaltigkeit der WEA werden weiterhin im Sinne der TA Lärm [5] getroffen.

1.2.3 Unterschiede TR 1 Rev. 18 und Rev. 19

Nach wie vor ist die Technische Richtlinie TR 1 Rev. 18 [3] gültig und kann für Vergleiche oder eine Beurteilung von WEA herangezogen werden, wenn z. B. nur ältere Messberichte für bestehende WEA-Typen vorhanden sind. Für eine Vergleichbarkeit der beiden TR 1-Versionen sowie deren „Grundlagen“, der DIN EN 61400-11 ed. 2 [1] und der DIN EN 61400-11 ed 3.1 [2], ist somit wichtig, in welchen Punkten sich die

Richtlinien / Normen unterscheiden. Wesentliche Neuerungen an der TR 1 Rev. 19 [4] gegenüber der älteren TR 1 Rev. 18 [3] (TR) oder der internationalen DIN EN 61400-11 ed 3.1 [2] (DIN) sind:

- Bezugswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe (TR).
- BIN-Aufteilung in 0,5 m/s-Schritten (TR).
- Neuer erforderlicher Messbereich mit Bezug auf das 0,8- bis 1,3-fache der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe bei 85 % der maximalen Leistung (der WEA bzw. des zu messenden Betriebsmodus) (TR).
- Je Wind-BIN sind sowohl für das Gesamtgeräusch wie auch für das Fremdgeräusch je 10 Messwerte zu erheben (TR). Achtung, gilt jetzt pro 0,5 m/s-Schritt, somit sind mehr Messwerte zu erheben.
- Ausnahmeregelung Messbereich: Die Messung ist auch vollständig, wenn mindestens 18 Wertepaare oberhalb 95 % Nennleistung vorhanden sind, der Anstieg zwischen den beiden höchsten BINs nicht mehr als $0,2 \text{ dB/ms}^{-1}$ beträgt und die ausgewiesene maximale Drehzahl erstmalig erreicht wird (TR + DIN).
- Wegfall der Angaben für 95 % der Nennleistung (TR).
- Bildung von Schwerpunkten (Mittelwerte von Schalldruckpegel und Windgeschwindigkeit) in Teilbereichen der BIN-Aufteilung und lineare Interpolation zwischen diesen Punkten, nicht mehr über polynomische Regression des gesamten Messbereiches (TR).
- Erweiterung Frequenzbereich Terzspektren auf 10 Hz bis 10 kHz (TR + DIN).
- Der Schallleistungspegel wird auf Grundlage von Terzen ermittelt (TR).
- Oktavspektren (im Frequenzbereich 63 Hz bis 8 kHz) sind für jedes BIN zu bilden (TR).
- Frequenzauflösung jetzt fest 2 Hz (TR + DIN).
- Tonanalyse erfolgt ohne Fremdgeräuschkorrektur (TR).
- Es werden alle erfassten Messwerte eines BINs zur Tonanalyse herangezogen (TR).
- Pro BIN sind mindestens 10 Spektren für die Tonanalyse erforderlich. Wenn $> 20 \%$ der Spektren eines BINs einen Ton aufweisen und die Anzahl der restlichen Spektren in diesem BIN nicht sechs oder mehr entspricht, muss die Messwertanzahl auf 30 Spektren erhöht werden (TR).
- Definition der Impulshaltigkeit als scharfe Geräuschimpulse wie Knallen, Knacken oder Rattern (TR + DIN).
- Unsicherheitsberechnung wurde komplett überarbeitet (DIN) und ist nun terzbandabhängig (TR).
- Herstellerbescheinigung Kurzversion (Standard) wurde überarbeitet, die Langversion wurde gestrichen (TR).
- Auszug aus dem Prüfbericht um Terz-, Oktavspektren und Messunsicherheit aller BINs erweitert (TR).
- Dreifachbericht darf mit Messungen unterschiedlicher Richtlinien / Normen erfolgen (TR).

Die Ergebnisse einer Messung nach TR 1 Rev. 18 [3] sind bezogen auf den Schalleistungspegel als Summenpegel mit den Ergebnissen nach TR 1 Rev. 19 [4] vergleichbar. Die Abweichungen sind abhängig von der Anzahl der Messwerte sowie den verwendeten Regressionskurven und liegen im Bereich von $\pm 0,2$ dB. In den Terz- und Oktavbandpegeln kommt es teilweise zu größeren Abweichungen, durch die pauschale Korrektur nach TR 1 Rev. 18 [3] für Fremdgeräuschabstände < 6 dB. Diese führt zu einer Überschätzung der betroffenen Terz- und Oktavbandpegel.

1.2.4 Anwendung von TR 1 Rev. 18 oder TR 1 Rev. 19

Soll eine Messung an einer WEA durchgeführt werden, stellt sich die Frage, nach welcher Version der Technischen Richtlinie gemessen werden muss. Grundsätzlich ist die TR 1 Rev. 19 [4] seit dem 01.03.2021 eingeführt und damit die aktuelle Version der Technischen Richtlinie. Die LAI-Hinweise [11] verweisen unter Ziff. 5.1 daher auch auf die neue Rev. 19.

Für Genehmigungen seit dem 01.03.2021 ist generell die TR 1 Rev. 19 [4] anwendbar und für ältere Genehmigungen, die auf die LAI-Hinweise [11] verweisen, ebenfalls.

Die TR 1 Rev. 18 [3] ist als Technische Richtlinie weiterhin gültig, da sie durch die Rev. 19 nicht ersetzt wurde. Wird in einer Nebenbestimmung auf die TR 1 Rev. 18 [3] als Grundlage der Messung verwiesen, kann diese weiterhin verwendet werden. Soll nach der TR 1 Rev. 19 [4] gemessen werden, sollten die Ergebnisse mit Bezug auf die alten Nebenbestimmungen eingeordnet werden.

1.2.5 TA Lärm

Bei Durchführung einer Immissionsmessung nach TA Lärm [5] berücksichtigt die DIN 45645-1 [6] nicht die erforderliche windgeschwindigkeitsabhängige Betrachtung bei der Beurteilung eines Windparks. Für die zielführende Auswertung der Messwerte, muss daher zusätzlich eine Fassung der TR 1 [3] oder [4] herangezogen werden. So ist die Bildung windgeschwindigkeitsabhängiger Beurteilungspegel möglich (vgl. Abschnitt 3.2.3).

Zuschläge für tonal auffällige Geräuschanteile sind primär nach dem subjektiven Höreindruck festzulegen. Der Wert für den Zuschlag beträgt nach Ziff. A.3.3.5 TA Lärm [5] 0 dB, 3 dB oder 6 dB. Zwischenwerte sind hier nicht vorgesehen. Der subjektiv ermittelte Wert kann mithilfe von Berechnungen für die Windklassen nach der DIN 45681 [7] [8] bestätigt werden. Ergibt sich bei entsprechender Konstellation die Feststellung einer immissionsseitigen Tonhaltigkeit bei bestimmten Windgeschwindigkeiten, ist dieser nach Ziff. 2 der LAI-Hinweise [11] mit technischen Maßnahmen (z. B. Anpassung des Betriebsmodus) abzuhelpen. Eine Anlage muss somit nicht grundsätzlich als „tonal“ eingestuft werden, stattdessen können Zuschläge für den Betrieb in einzelnen Windgeschwindigkeitsklassen vergeben werden, die nicht zwingend dem lautesten Betriebszustand der Anlage entsprechen müssen.

2 Schallimmissionsschutz im Genehmigungsverfahren

2.1 Prüfung Schallimmissionsprognose

Im Zuge des Genehmigungsverfahrens für WEA nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ist eine Schallimmissionsprognose durchzuführen. Die akustischen Eingangsdaten für die Prognosen zu den geplanten Anlagen sind Herstellerangaben oder Vermessungsberichten zu entnehmen (vgl. Abschnitte 1.1.1 bis 1.1.3). Neben den geplanten sind auch bestehende WEA und sonstige Quellen im Anwendungsbereich der TA Lärm [5] als Vorbelastung zu berücksichtigen.

Eine detaillierte Betrachtung aller Aspekte bietet hier die Arbeitshilfe „Prüfung von Schallimmissionsprognosen für Windkraftanlagen“ [14].

Mit Hilfe einer geprüften Schallimmissionsprognose ist es möglich, ein Messkonzept zu entwickeln, das standortabhängig eine valide Beurteilung der schalltechnischen Situation ermöglicht.

Nebenbestimmungen können auf Basis dieser Überlegungen durch die zuständige Behörde so festgelegt werden, dass eine Abnahmemessung zeitnah umsetzbar ist und dadurch der Schutz der Bevölkerung gemäß den Vorgaben nachgewiesen werden kann.

2.2 Entwicklung der Nebenbestimmungen Schall

Die im Genehmigungsverfahren durchzuführende Schallimmissionsprognose liefert die Eingangsdaten für die Formulierung der immissionsschutzrechtlichen Nebenbestimmungen im Genehmigungsbescheid zum Thema Schall.

Im Genehmigungsbescheid sollten die Schallemissionen festgehalten werden (vgl. Empfehlungen nach Ziff. 4.1 der LAI-Hinweise [11]).

Wichtige Parameter sind:

- der angesetzte Schallleistungspegel als Oktavspektrum $L_{W,Okt}$,
- die berücksichtigten Unsicherheiten σ_R (Messunsicherheit) und σ_P (Serienstreuung der Anlage),
- die zugehörige Betriebsweise mit Bezeichnung, Drehzahl und Nennleistung,
- Benennung der zugrundeliegenden Schallimmissionsprognose.

Maßgeblich für die Abnahmemessung ist dann der resultierende maximal zulässige Schallleistungspegel $L_{e,max}$. Dieser wird in Anlehnung an Ziff. 4.1 der LAI-Hinweise [11] nach folgender Formel gebildet:

$$L_{e,max} = L_{W,Okt} + 1,28 \times \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_P^2}$$

Eine Tonhaltigkeit der WEA im Nahbereich $K_{TN} > 2$ dB ist gemäß Ziff. 2 der LAI-Hinweise [11] nicht Stand der Technik und sollte grundsätzlich ausgeschlossen werden.

Die Ziff. 4.1 der LAI-Hinweise [11] beinhaltet auch weitere Vorgaben bezüglich Fristen zur Abnahmemessung etc., die zu berücksichtigten sind.

Für einige Standorte von WEA (z. B. nahe von Autobahnen, verkehrsreichen Straßen oder an Waldstandorten) ist eine zeitnahe Messung in der Praxis nicht immer umsetzbar. Dieser Umstand sollte bei der Formulierung der Nebenbestimmungen beachtet werden.

Eine umfangreiche Auswahl an Formulierungsvorschlägen bietet hier das Windenergiehandbuch [15] im Kapitel Bescheiderstellung/Textbausteine/immissionsschutzrechtliche Nebenbestimmungen - Schall.

2.2.1 Messtechnische Überprüfung

Eine Nebenbestimmung zur Präzisierung der Anforderungen an eine messtechnische Überprüfung vereinfacht die Abstimmung eines Messkonzeptes und bietet eine für alle Seiten transparente Vorgehensweise.

Gemäß Ziff. 5.2 der LAI-Hinweise [11] ist im Rahmen einer Abnahmemessung die Messunsicherheit zu Lasten des Betreibers zu berücksichtigen. Der genehmigte $L_{e,max}$ gilt also als eingehalten, wenn der im Rahmen einer Abnahmemessung gemessene Schallleistungspegel zzgl. der Messunsicherheit σ_R diesen $L_{e,max}$ (i. d. R. Oktavspektrum) nicht überschreitet. Dabei ist die obere Vertrauensbereichsgrenze, unterhalb der die Messunsicherheit mit 90-prozentiger Wahrscheinlichkeit liegt, mit zu berücksichtigen. Dies erfolgt durch Multiplikation der Messunsicherheit ($\sigma_R = 0,5 \text{ dB} \neq U_C$) mit dem Faktor 1,28. Damit muss folgende Ungleichung erfüllt werden³:

$$L_{WA} + 1,28 \times \sigma_R \leq L_{e,max} = L_W + 1,28 \times \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_P^2}$$

Bei Überschreitungen in einzelnen Oktavbändern kann der Nachweis der Einhaltung der IRW auch über einen Vergleich der Immissionsanteile der gemessenen WEA erfolgen. Dabei werden Ergebnisse einer Schallausbreitungsberechnung auf Basis des $L_{e,max}$ den Ergebnissen einer Berechnung für den gemessenen Schallleistungspegel zzgl. der Messunsicherheit (wie oben beschrieben) gegenübergestellt. Die Unsicherheit der neu erstellten Ausbreitungsberechnung ist in dem Fall gemäß Ziff. 5.2 der LAI-Hinweise [11] nicht zu berücksichtigen.

Ein Textvorschlag für eine entsprechende Nebenbestimmung findet sich im Windenergiehandbuch [15] auf Seite 245 im ersten Absatz (Version Dez. 2020).

Ist eine Emissionsmessung für einen Standort schwierig umzusetzen (z. B. bei Einschränkung der Windrichtung an Waldstandorten, zusätzliche tageszeitliche Einschränkungen durch Verkehrslärm), kann eine Immissionsmessung sinnvoll sein und sollte ebenfalls alternativ zu einer Emissionsmessung zugelassen werden.

³ Mit L_{WA} als dem bei der Messung ermittelten Schalleistungspegel, $L_{e,max}$ gemäß Definition in Ziffer 4.1 der LAI-Hinweise [11] und L_W wie in der Genehmigung festgelegt bzw. in der zugehörigen Prognose verwendet. L_{WA} und L_W sind unterschiedliche Schreibweisen für die gleichen Parameter (für die Werte für jedes Oktavband anzugeben sind).

3 Schalltechnische Messung

3.1 Messkonzept

Ein geeignetes Messkonzept dient im Vorfeld der Messung der Abstimmung zwischen dem beauftragten Messinstitut und der Behörde. Eventuelle Vorgaben dazu wären im Genehmigungsbescheid festzuschreiben. Ob eine Emissionsmessung oder eine Immissionsmessung für den Standort zielführender ist, muss entsprechend abgewogen werden. Die Entscheidung obliegt der zuständigen Behörde. Auf die Vor- und Nachteile beider Optionen wird nachfolgend eingegangen.

Sind die erforderlichen Messbedingungen durch ein Messkonzept abgesteckt, kann die zuständige Behörde über verschiedene Wetterportale (z. B. <https://wetterstationen.meteomedia.de>, <https://www.windfinder.com/>, <https://www.wetteronline.de/>, <https://kachelmannwetter.com/de>, <https://www.maschinenring.de/>) die Prognosen parallel zum Messinstitut prüfen, um möglichst keine nutzbaren Messzeiträume zu verpassen.

3.1.1 Emissionsmessung und Immissionsmessung, Vor- und Nachteile

Im Regelfall erfolgt eine Abnahmemessung für Windenergieanlagen in Form einer FGW-konformen Emissionsmessung. Die emissionsseitige Messung der WEA bietet mehrere Vorteile:

- Eindeutige Bestimmung des maximalen Schallleistungspegels
- Klare Zuordnung potentiell auftretender akustischer Auffälligkeiten wie Ton- oder Impulshaltigkeit zum Betriebspunkt der WEA
- Im Normalfall tageszeitunabhängige Vermessung jeder relevanten Betriebsweise
- Mehr nutzbare Windrichtungssektoren durch flexible Positionierung des Schallmesspunktes
- Oft Verwendbarkeit der Hauptwindrichtung am Standort
- Durch standardisierte Messverfahren hohe Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Messung

Eine Emissionsmessung liefert allerdings nicht zwangsläufig zu allen evtl. auftretenden Fragestellungen die gewünschten Ergebnisse und Antworten. Insbesondere folgende Sachverhalte können damit nicht geklärt werden:

- Tritt eine potentielle Tonhaltigkeit auch am Immissionsort auf?
- Ist das Gesamtgeräusch des Windparks unauffällig?

Eine Immissionsmessung nach den Vorgaben der TA Lärm kann bei bestimmten Konstellationen an einigen Standorten eine gute Alternative sein. Sie bietet ebenfalls einige Vorteile:

- Ermittlung des Beurteilungspegels (Schalldruckpegel und Zuschläge) in der Nachbarschaft oder vergleichbarer Entfernung zur Wohnbebauung
- Nutzung von Windrichtungssektoren, die bei WEA an Waldstandorten sonst nicht nutzbar wären

In vielen Fällen ist die Immissionsmessung aber im Nachteil:

- Verwendbarkeit von Messpositionen stark abhängig von der vorhandenen Vegetation nahe des Immissionsortes
- Erhöhter Einfluss von Fremdgeräuschen durch Verkehrslärm und Umgebungsgeräusche aufgrund niedrigerer Immissionsanteile des Windparks am Gesamtgeräusch (geringer Fremdgeräuschabstand)
- Nutzbare Windrichtungssektoren in der Nähe der Wohnbebauung oft außerhalb der Hauptwindrichtung
- Messung aufgrund der günstigeren Schallausbreitung nur im meteorologischen Nachtzeitraum (eine Stunde nach Sonnenuntergang bis eine Stunde vor Sonnenaufgang) möglich
- Erhöhter organisatorischer Aufwand durch eine potenziell höhere Zahl von benachbarten WEA, die während der Messung abgeschaltet werden müssen
- Größere Vorlaufzeiten durch Nacht- oder Abendarbeit aller an der Messung Beteiligten
- Keine Vermessung über gefrorenem oder verschneitem Boden möglich

3.1.2 Vorgehensweise bei der Prüfung

Ein Messkonzept muss individuell auf den WEA-Standort mit seinen schalltechnisch relevanten Besonderheiten abgestimmt werden. Dabei geben die nachfolgenden Punkte eine Orientierung, welche Themen das Messkonzept abdecken sollte:

- Werden die Einflüsse von Parklayout und Geländetopografie berücksichtigt?
- Liegt eine Vorbelastung durch Gewerbelärm oder sonstige Schallquellen vor und wie wird damit umgegangen?
- Ist die Durchführbarkeit von Freifeldmessungen an bestimmten Messpunkten möglich?
- Welchen Einfluss haben die erforderlichen Witterungsverhältnisse auf die Messwahrscheinlichkeit? Kommt es zu vermeidbaren Wartezeiten?

In Kapitel 7 Anlagen ist unter Nr. 7.1 eine detaillierte Checkliste für die Prüfung eines Messkonzepts angefügt. Des Weiteren ist unter Nr. 7.2 ein Fallbeispiel für eine Emissionsmessung an einem Waldstandort dargestellt.

3.2 Messbericht

Wird für einen Windpark eine schalltechnische Messung durchgeführt, sind folgende Punkte unabhängig von der Art der Messung zu prüfen:

- Ist das ausführende Institut im ReSyMeSa-Recherchesystem Messstellen und Sachverständige (www.resymes.de) gelistet und für die Abnahmemessung von WEA akkreditiert/bekanntgegeben?
- Welche Betriebsweise wurde vermessen? (z. B.: schallreduzierter Betrieb „NAMEBETRIEB“)
- Ist die maximale elektrische Leistung der Betriebsweise erreicht worden? (z. B.: ... die reduzierte Nennleistung von 2.100 kW wurde im Messzeitraum erreicht ...)
- Ist die maximale Drehzahl der Betriebsweise erreicht worden? (z. B.: ... die WEA wurde im Betriebsmodus mit einer Drehzahl von 12,8 U/min vermessen und erreichte diese während der Messung.)

- Ist die Messposition dokumentiert und als Foto im Bericht vorhanden?
- Fand die Messung bei Mitwind statt?
- Sind die verwendeten Messgeräte mit Angaben zu Typ, Seriennummer sowie Kalibrier- oder Eichstatus im Bericht aufgeführt?
- Wurde der Schallpegelmessers vor und nach der Messung kalibriert?

Abhängig von der verwendeten Messvorschrift sind weitere Punkte wichtig, die in den nachfolgenden Kapiteln angeführt sind.

3.2.1 Prüfung Emissionsmessung nach FGW TR 1 Rev. 18

Wird ein schalltechnischer Messbericht nach der Technischen Richtlinie Teil 1 Rev. 18 [3] eingereicht, sind die folgenden Punkte zu prüfen:

- Wurde ein ausreichend hoher Fremdgeräuschabstand ($\Delta L_{s+n, n} \geq 6$ dB) im lautesten Windgeschwindigkeits-BIN erreicht? (Bei fehlendem Fremdgeräuschabstand muss der Schalleistungspegel mit einem * gekennzeichnet werden)
- Liegen ausreichend Messwerte, insbesondere bei WEA-Betrieb für den lautesten Betriebspunkt vor? Die TR 1 [3] fordert hier 3 Minuten Messzeit entsprechend 18 10-Sekunden-Mittelwerten.
- Konnte der Messbereich von 6 m/s bis 10 m/s vollständig abgedeckt werden? Wenn nicht, wird die Abweichung begründet (z. B.: Nennleistung und -drehzahl erreicht, kein weiterer Anstieg der Schalleistung zu erwarten)?
- Trat Tonhaltigkeit auf? Wenn ja in welcher Höhe wurden Zuschläge vergeben? Ist eine subjektive Beschreibung des Höreindrucks vorhanden? Stützt diese den rechnerischen Tonzuschlag? Bei einer Tonhaltigkeit von $K_{TN} > 1$ dB darf am Immissionsort keine Tonhaltigkeit wahrnehmbar sein.
- Liegt eine Impulshaltigkeit vor? Wenn ja, welcher Zuschlag wird vergeben? Ist die subjektive Impulshaltigkeit nachvollziehbar beschrieben?
- Ist der maximale Schalleistungspegel nach Einschätzung des Messinstituts erfasst worden? (z. B.: ... der lauteste Betriebspunkt wurde erfasst ... oder ... die Messung ist FGW-konform ...)
- Liegt für den maximalen Schalleistungspegel ein Oktavspektrum vor? Dieses ist insbesondere für den Vergleich mit der Schallimmissionsprognose nach dem Interimsverfahren wichtig.
- Beinhaltet der Messbericht eine Herstellerbescheinigung (gemäß TR 1) zur gemessenen WEA?

Liefert der Messbericht zu allen genannten Punkten Informationen, können diese zum Vergleich mit den Nebenbestimmungen herangezogen werden.

3.2.2 Prüfung Messbericht Emissionsmessung nach FGW TR 1 Rev. 19

Wird ein schalltechnischer Messbericht nach der Technischen Richtlinie Teil 1 Rev. 19 [4] eingereicht, sind die folgenden Punkte zu prüfen

- Wurde ein ausreichend hoher Fremdgeräuschabstand ($\Delta L_{s+n, n} \geq 6$ dB) im lautesten Windgeschwindigkeits-BIN erreicht? (Bei fehlendem Fremdgeräuschabstand muss der Summschalleistungspegel $L_{WA,k}$ mit einem * gekennzeichnet werden)

- Liegen ausreichend Messwerte, insbesondere bei WEA-Betrieb für den lautesten Betriebspunkt vor? Die TR 1 [4] fordert hier 10 10-Sekunden-Mittelwerte.
- Wurde der erforderliche Messbereich abgedeckt (vom 0,8-fachen bis zum 1,3-fachen der Windgeschwindigkeit bei 85 % der Nennleistung der WEA bzw. des zu messenden Betriebsmodus)? Wenn nicht, wie wird die Abweichung begründet (z. B.: Ausnahme nach TR 1 vgl. Kapitel 1.2.3)
- Trat Tonhaltigkeit auf? Wenn ja, in welcher Höhe wurden Zuschläge vergeben? Ist eine subjektive Beschreibung des Höreindrucks vorhanden? Stützt diese den rechnerisch ermittelten Tonzuschlag? Bei einer Tonhaltigkeit von $K_{TN} > 1$ dB darf am Immissionsort keine Tonhaltigkeit wahrnehmbar sein.
- Liegt eine Impulshaltigkeit vor? Wenn ja, welcher Zuschlag wird vergeben? Ist die subjektiv wahrgenommene Impulshaltigkeit nachvollziehbar beschrieben?
- Ist der maximale Schallleistungspegel nach Einschätzung des Messinstituts erfasst worden? (z. B.: ... der lauteste Betriebspunkt wurde erfasst ... oder ... die Messung ist FGW-konform ...)
- Werden Terz- und Oktavbandspektren für den erfassten Messbereich tabellarisch dargestellt?
- Beinhaltet der Messbericht eine Herstellerbescheinigung (gemäß TR 1) zur gemessenen WEA?

Liefert der Messbericht zu allen genannten Punkten Informationen, können diese zum Vergleich mit den Nebenbestimmungen herangezogen werden.

3.2.3 Prüfung Messbericht Immissionsmessung nach TA Lärm

Wird ein schalltechnischer Messbericht nach der TA Lärm [5] in Verbindung mit einer TR 1 [3] oder [4] eingereicht, sind die folgenden Punkte zu prüfen:

- Wo lag der Messpunkt? (z. B. Ersatzimmissionsort (EIO) in vergleichbarem Abstand zum Windpark, EIO nahe Immissionsort, Messung am Immissionsort)
- Welcher Messaufbau wurde verwendet? (Stativaufbau in mindestens 4 m Höhe, senkrechte schallharte Platte, Messung vor dem geöffneten Fenster)
- Wann fand die Messung statt, lag die Messzeit im meteorologischen Nachtzeitraum?
- Wie wurden die Betriebsdaten des WP erfasst und in der Auswertung berücksichtigt? (z. B.: 10-Sekunden-Daten aus der Fernüberwachung der WEA, Verwendung der normierten Windgeschwindigkeit nach TR 1 Rev. 18 [3])
- Wurde ein ausreichend hoher Fremdgeräuschabstand ($\Delta L_{s+n, n} \geq 3$ dB) im lautesten Windgeschwindigkeits-BIN erreicht?
- Trat eine Tonhaltigkeit auf und bei welcher Windgeschwindigkeit? Wie erfolgte die Beurteilung der Tonhaltigkeit (subjektive Beurteilung unterstützt von rechnerischer Analyse, vgl. Kapitel 1.2.5)?
- Liegt eine Impulshaltigkeit vor? Wenn ja, welcher Zuschlag wird vergeben? Ist die Impulshaltigkeit subjektiv nachvollziehbar beschrieben?
- Für welche Immissionsorte erfolgt eine Beurteilung? Nur für den Immissionsort nahe dem Messpunkt, oder für alle relevanten Immissionsorte? Die letztliche Entscheidung über die Festlegung der Immis-

sionsorte obliegt der Behörde. Mit der nötigen Ortskenntnis ausgestattet, kann die Behörde auch sensiblere Gebietseinstufungen in größerer Entfernung (z. B. WA in erster und WR in zweiter oder dritter Baureihe) berücksichtigen.

- Werden die Messergebnisse plausibel auf den maßgeblichen Immissionsort übertragen, z. B. durch Berechnung einer Abstandskorrektur (Korrektur des Messwerts unter Berücksichtigung der Entfernung des Messorts zum maßgeblichen Immissionsort) oder eine erneute Schallausbreitungsberechnung?

3.3 Vergleich von Messergebnissen und genehmigten Immissionswerten

Gemäß Ziff. 5.2 der LAI-Hinweise [11] ist im Rahmen einer Abnahmemessung die Messunsicherheit zu Lasten des Betreibers zu berücksichtigen. Die Ergebnisse einer Emissionsmessung nach TR 1 müssen daher mit einer oberen Vertrauensbereichsgrenze beaufschlagt werden (vgl. Kap. 2.2.1), um sie dem maximal zulässigen Emissionspegel $L_{e,max}$ gegenüberzustellen. Dabei handelt es sich im Regelfall um das Oktavspektrum des lautesten Betriebspunktes. Kommt es bei einzelnen Oktavbandpegeln zu Überschreitungen des $L_{e,max}$, ist gemäß LAI-Hinweisen [11] eine erneute Schallausbreitungsberechnung erforderlich, um die Immissionspegel der WEA von Messung und $L_{e,max}$ gegenüberzustellen und so die Einhaltung der prognostizierten und genehmigten Immissionen zu verifizieren.

Tritt eine Tonhaltigkeit im Nahbereich der WEA auf, $K_{TN} > 1$ dB und wird die Auswirkung auf das Fernfeld im Rahmen des Prüfberichts nicht ausgeschlossen, muss dieser Nachweis durch eine Prüfung der Tonhaltigkeit beim Anlieger im meteorologischen Nachtzeitraum erfolgen.

Liegt eine Tonhaltigkeit beim Anlieger vor, muss die WEA durch konstruktive Maßnahmen (z. B. Ausrichtung oder Nacharbeiten von Komponenten) oder Änderung der Betriebsweise (z. B. Aussparen der kritischen Drehzahl) in einen genehmigungskonformen Zustand gebracht werden. Im Anschluss ist eine erneute messtechnische Überprüfung der Tonhaltigkeit erforderlich.

Bei Vorliegen eines Immissionsmessberichtes nach TA Lärm [5] sind die ermittelten Immissionsanteile der Zusatzbelastung durch den Windpark den Werten der Schallimmissionsprognose gegenüberzustellen. Werden bei Abnahmemessungen Überschreitungen genehmigter Werte festgestellt, so ist die Betriebsweise der Anlagen so anzupassen, dass die genehmigten Werte eingehalten werden. Bei Feststellung von Überschreitungen im Rahmen von Überwachungsmessungen, ist zu prüfen, ob die Immissionsrichtwerte nach TA Lärm weiterhin durch die Gesamtbelastung eingehalten werden.

Eine Tonhaltigkeit an Immissionsorten ist analog zur Emissionsmessung im Regelbetrieb auszuschließen, da die Tonhaltigkeit nicht dem Stand der Technik entspricht.

4 Literatur

4.1 Normen und Richtlinien

- [1] DIN EN 61400-11 ed. 2, Windenergieanlagen - Teil 11: Schallmessverfahren; Ausgabe März 2007
- [2] DIN EN 61400-11 ed. 3.1, Windenergieanlagen - Teil 11: Schallmessverfahren; Ausgabe Mai 2019
- [3] FGW e.V. Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien, Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Revision 18, Stand 01.02.2008, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte
- [4] FGW e.V. Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien, Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Revision 19, Stand 01.03.2021, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte
- [5] TA Lärm, Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissions-schutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm), Ausgabe August 1998, letzte Änderung 01.06.2017 (BAz AT 08.06.2017 B5)
- [6] DIN 45645-1, Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen, Teil 1: Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft; Ausgabe Juli 1996
- [7] DIN 45681, Akustik - Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen; Ausgabe März 2005
- [8] DIN 45681 Berichtigung 2, August 2006: Akustik – Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen, Berichtigungen zu DIN 45681: 2005-03
- [9] DIN ISO 9613-2, Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, Ausgabe Oktober 1999
- [10] Dokumentation zur Schallausbreitung – Interimsverfahren für Windkraftanlagen, Ergänzung zu DIN ISO 9613-2 und DIN EN 61400-11, Fassung 2015-05.1
- [11] Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windenergieanlagen, LAI, Überarbeiteter Entwurf vom 17.03.2016 mit Änderungen PhysE vom 23.06.2016, Stand 30.06.2016
- [12] Erlass zur Einführung der „Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen“ der Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), Aktenzeichen: 46-4583, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Referat 46 – Windenergieanlagen, Stuttgart, 22.12.2017

4.2 Fachstudien und Literatur

- [13] FGW e.V. Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien, Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen (WKA) Überarbeiteter Entwurf vom 17.03.2016 mit Änderung PhysE vom 23.06.2016 – Stellungnahme de FGW e.V., 27.03.2018

- [14] Prüfung von Schallimmissionsprognosen für Windkraftanlagen, Arbeitshilfe, 2. überarbeitete Auflage, LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Kompetenzzentrum Windenergie, Karlsruhe, September 2018, https://gaa.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/37557/Arbeitshilfe_Pruefung_Schallimmissionsprognosen_Windkraftanlagen_Stand_11_2018.pdf
- [15] Windenergiehandbuch, Frau Dipl.-Ing. Monika Agatz, Gelsenkirchen, 17. Ausgabe, Dezember 2020, <http://windenergie-handbuch.de/windenergie-handbuch/>

5 Glossar

Im Folgenden werden die hier im Leitfaden verwendeten Begrifflichkeiten der Windenergie kurz zum besseren Verständnis erläutert.

A-Bewertung

Frequenzabhängiger Filter für Schallsignale, mit dem näherungsweise die Hörempfindung des Menschen für Geräusche unterschiedlicher Frequenz berücksichtigt wird. Besonders tiefe und hohe Frequenzen werden dadurch stärker gedämpft. Die TA Lärm [5] enthält A-bewertete Immissionsrichtwerte, bei Immissionsmessungen und Emissionsmessungen an WEA werden daher Schalldruckpegel in dB(A) gemessen.

Betriebsmodus

auch Betriebsweise, Betriebskennlinie: Durch eine Steuerkennlinie definiertes Betriebsverhalten einer Windenergieanlage. Die Anpassung von Drehzahlanstieg und Leistungsabgabe ändert das Schallverhalten. Eine Windenergieanlage kann durch Änderung des Betriebsmodus an die zulässigen Schallemissionen angepasst werden. Pro WEA-Typ gibt es eine vom Hersteller festgelegte Anzahl an Betriebsmodi.

Drehzahl

Aktuelle Windenergieanlagen laufen drehzahlvariabel, d. h. die Rotordrehzahl ändert sich mit zunehmender Windgeschwindigkeit, abhängig vom eingestellten Betriebsmodus.

E-Messung

Emissionsmessung: Schalltechnische Vermessung einer Windenergieanlage im Nahbereich zur Bestimmung von schalltechnischen Kenndaten wie Schallleistungspegel, Ton- und Impulshaltigkeit.

I-Messung

Immissionsmessung, schalltechnische Vermessung einer Windenergieanlage oder eines Windparks im Fernbereich zur Beurteilung des ankommenden Schalldruckpegels und ggf. Zuschlägen für Ton- oder Impulshaltigkeit.

Impulshaltigkeit

Zuschlagspflichtige akustische Auffälligkeit nach Ziff. A.3.6. TA Lärm [5]. Berücksichtigt scharfe Geräuschimpulse im Sinne der DIN 45645-1 [6] wie Knallen, Rattern oder Knacken. Die durch die Drehbewegung des Rotors erzeugte anlagentypische Geräuschcharakteristik ist gemäß Ziff. 2 der LAI-Hinweise [11] in der Regel nicht als impulshaltig einzustufen.

Interimsverfahren

Berechnungsverfahren zur Schallausbreitung von Windenergieanlagen auf Grundlage der DIN ISO 9613-2 unter Verwendung von Oktavspektren und weiteren Anpassungen (z. B. Bodendämpfung), die auf die Schallausbreitung hochliegender Geräuschquellen abgestellt sind [10], eingeführt in Baden-Württemberg 2017 [12].

Maximal zulässiger Emissionspegel

auch $L_{e,max}$ (oder teilweise $L_{e,max,Okt}$): Obere Vertrauensbereichsgrenze des Schallleistungspegels einer WEA inkl. der Unsicherheiten für Reproduzierbarkeit (Messunsicherheit) und Serienstreuung. Berücksichtigt nicht den Einfluss des Prognosemodells. Darstellung meist anhand des zugehörigen Oktavspektrums oder als Einzahlwert.

Messkonzept

Schriftliche Abstimmung zwischen Messinstitut/Betreiber und Behörde zur Festlegung der Vorgehensweise der schalltechnischen Überprüfung am Standort der WEA/des WP.

Messung

Akustische Messung (Abnahme- oder Überwachungsmessung) für eine genehmigte Windenergieanlage oder einen Windpark, kann als E-Messung oder I-Messung ausgeführt werden (im Unterschied zu „Vermessung“, s. ebd.).

Meteorologischer Nachtzeitraum

Zeitraum ab einer Stunde nach Sonnenuntergang bis eine Stunde vor Sonnenaufgang. Durch stabilere atmosphärische Schichtungen kommt es zu einer tendenziell günstigeren Schallausbreitung. Durch die stärkere Spreizung zwischen der Windgeschwindigkeit in Bodennähe und Nabenhöhe, kommt es zu geringeren windinduzierten Geräuschen bei Messungen. Somit ergeben sich längere verwertbare Messzeiträume, in denen eine geringere Fremdgeräuschbelastung vorliegt. Der meteorologische Nachtzeitraum ist nicht deckungsgleich mit dem in der TA Lärm [5] definierten Nachtzeitraum.

Nachtzeitraum (TA Lärm)

Nach Ziff. 6.4 TA Lärm der Zeitraum von 22 bis 6 Uhr. Die lauteste Nachtstunde ist maßgeblich für die Beurteilung. Im Hinblick auf die Immissionsrichtwerte der sensiblere Beurteilungszeitraum.

Oktav(band)pegel

Schalldruckpegel oder Schalleistungspegel für ein Oktavband. Die Breite der Frequenzbänder ist abhängig von der Oktavmittenfrequenz, die sich für die nächsthöhere Oktave jeweils verdoppelt. Teil eines Oktavspektrums.

Oktavspektrum

Nach Frequenzbändern aufgeteilter Schalldruck- oder Schalleistungspegel bestehend aus zehn einzelnen Oktavbandpegeln für die Bandmittenfrequenzen 16 Hz, 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz, 2.000 Hz, 4.000 Hz und 8.000 Hz nach TR 1 Rev. 19 [4].

Parklayout

Anordnung der Anlagen in einem WP mit mehreren WEA. Das Parklayout beeinflusst den Wirkungsgrad des WP und die Auswirkungen auf Immissionsorte.

Schallimmissionsprognose

Berechnungsmodell zur Beurteilung der Schallausbreitung einer WEA oder eines WP. Muss für WEA auf Grundlage des Interimsverfahrens erstellt werden.

Schalleistungspegel

Die von der Windenergieanlage abgestrahlte Schallleistung (in Watt) dargestellt als Pegel (in Dezibel [dB(A)] bezogen auf 1 pW). Der Schalleistungspegel (L_{WA}) kann als Summenpegel (über den kompletten Frequenzbereich) oder als Spektrum (Terz- oder Oktavspektrum) angegeben werden.

Terz(band)pegel

Schalldruckpegel oder Schalleistungspegel für ein Terzband. Die Breite der Frequenzbänder ist abhängig von der Terzmittenfrequenz, die für die nächsthöhere Terz jeweils mit dem Faktor $\sqrt[3]{2}$ multipliziert wird. Teil eines Terzspektrums.

Terzspektrum

Nach Frequenzbändern aufgeteilter Schalldruck oder Schalleistungspegel bestehend aus 31 einzelnen Terzbandpegeln für die Bandmittenfrequenzen von 10 Hz bis 10.000 Hz nach TR 1 Rev. 19 [4]. Je drei Terzbandpegel ergeben einen Oktavbandpegel durch energetische Addition. Die Frequenz 10 Hz wurde hierbei durch die TR 1 Rev. 19 noch ergänzt.

Tonhaltigkeit

Beschreibt das Hervortreten einer einzelnen Frequenz im Anlagengeräusch als hörbarem Ton. Bei einer Emissionsmessung wird die Tonhaltigkeit im Nahbereich einer Anlage untersucht. Bei einer Immissionsmessung ist das Geräusch beim Anlieger maßgeblich. Zuschlagspflichtige akustische Auffälligkeit nach Ziff. A 3.3.6 TA Lärm [5].

Vermessung

Typvermessung einer Windenergieanlage nach Technischer Richtlinie [3] oder [4] i.d.R. beauftragt durch den Hersteller, d. h. eine Anlage eines bestimmten Typs wurde vermessen (nicht eine konkrete, individuelle Anlage, die im Rahmen eines geplanten Windparks errichtet werden soll). Drei oder mehr Vermessungen können zu einer Mehrfachvermessung nach [3] oder [4] zusammengefasst werden. Typvermessungsberichte sind dem Genehmigungsantrag beizulegen und dienen als Grundlage für Schallimmissionsprognosen.

Vertrauensbereich

auch oberer Vertrauensbereich oder obere Vertrauensbereichsgrenze: Im Rahmen der Schallimmissionsprognose gebildeter Wertebereich, den die real auftretenden Werte mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit einhalten. Dient einer konservativen Ergebnisermittlung. Beispiel: Der Beurteilungspegel L_{r90} berücksichtigt eine 90prozentige Wahrscheinlichkeit der Einhaltung bzw. Unterschreitung, wobei für Windenergieanlagen die Serienstreuung σ_p , die Messreproduzierbarkeit (= Messunsicherheit) σ_R und die Unsicherheit des Prognosemodells σ_{Prog} einfließen.

Wind-BIN

Windgeschwindigkeits-BIN oder Windgeschwindigkeitsklasse, Intervall um einen Mittelwert mit entweder 0,5 m/s oder 1 m/s Intervallbreite. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt für den Mittenwert (z. B. $L_{WA} = 102,5 \text{ dB(A)}$ für das Wind-BIN 8 m/s).

Windenergieanlage (WEA)

Windkraftanlage, Windrad, Windkonverter: Wandelt die kinetische Energie des Windes durch Drehbewegung des Rotors in elektrischen Strom um. Weit verbreitet ist die Bauform des Luvläufers mit einem Dreiblattrotor als Auftriebsläufer, der sich um eine horizontale Achse dreht.

6 Abkürzungsverzeichnis

Übersicht über die im Leitfaden verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen sowie die wichtigsten Abkürzungen und Formelzeichen der TR 1 [3][4]:

| | | |
|--------------------|---|---|
| D | = | Rotordurchmesser [m] |
| e | = | Abstand Rotorflanschmittelpunkt – Turmmittellinie [m] |
| f | = | Frequenz [Hz] |
| FFT | = | Fast Fourier Transformation |
| f_T | = | Tonfrequenz [Hz] |
| H | = | Höhe des Rotormittelpunktes über Grund [m] |
| κ | = | Kappa-Faktor, Multiplikator für die Normierung einer mit einem Anemometer gemessenen Windgeschwindigkeit |
| K_{IN} | = | Impulshaltigkeitszuschlag für den Nahbereich [dB] |
| K_T | = | Tonhaltigkeitszuschlag für den Fernbereich [dB] |
| K_{TN} | = | Tonhaltigkeitszuschlag für den Nahbereich [dB] |
| $L_{Aeq,c}$ | = | fremdgeräuschkorrigierter Pegel [dB(A)] |
| $L_{e,max}$ | = | maximal zulässiger Emissionspegel [dB(A)] nach Ziff. 4.1 der LAI-Hinweise [11] |
| L_n, L_B | = | Fremdgeräuschpegel [dB(A)] |
| L_s, L_T | = | Anlagengeräuschpegel [dB(A)] |
| L_{s+n}, L_{T+B} | = | Gesamtgeräuschpegel [dB(A)] |
| $L_{W,Okt}$ | = | Deklariertes Schallleistungspegel als Oktavspektrum, in Anlehnung an Ziff. 4.1 der LAI-Hinweise [11], [dB(A)] |
| L_W | = | Deklariertes (mittleres) Schallleistungspegel [dB(A)], übernommen aus Ziff. 4.1 der LAI-Hinweise [11] |
| L_{WA} | = | Schallleistungspegel [dB(A)] mit der Frequenzbewertung A |
| $L_{WA,k}$ | = | Summschallleistungspegel einer Windgeschwindigkeitsklasse k aus Addition der gemessenen Terzbandpegel gemäß TR1 Rev. 19 [4] [dB(A)] |
| N | = | Anzahl der Werte einer Stichprobe |
| n_{Rot} | = | Rotordrehzahl [U/min] |
| $P_{95\%}$ | = | 95 % der Nennleistung [kW] |
| P_m | = | gemessene Leistung [kW] |
| P_{max} | = | Maximalwert der Leistungskennlinie [kW] |
| P_{Nenn} | = | Nennleistung [kW] |
| R_0 | = | horizontaler Abstand von der Turmmittellinie zum RMP [m] |

| | | |
|---------------|---|--|
| R_1 | = | schräger Abstand vom Rotorflanschmittelpunkt zum RMP [m] |
| RMP | = | Referenzmesspunkt des Schalldrucks |
| S | = | horizontaler Abstand vom Rotorflanschmittelpunkt zum RMP [m] |
| S_0 | = | Bezugsfläche ($S_0 = 1 \text{ m}^2$) |
| U_C | = | kombinierte Gesamtstandardabweichung aus Typ A und Typ B [dB] |
| v_{10} | = | Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe [m/s] |
| v_H | = | Windgeschwindigkeit in Höhe des Rotormittelpunktes [m/s] |
| $v_{H, 95\%}$ | = | Windgeschwindigkeit in Höhe des Rotormittelpunktes, die 95 % der Nennleistung entspricht [m/s] |
| v_n | = | Windgeschwindigkeit des Gondelanemometers [m/s] |
| v_s | = | normierte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe [m/s] |
| WEA | = | Windenergieanlage |
| WP | = | Windpark |

7 Anlagen

7.1 Checkliste Messkonzept für Windenergieanlagen

Erforderliche Inhalte eines Messkonzepts:

- Beschreibung des Standortes
 - WEA Typ
 - WEA Anzahl
 - genehmigte Betriebsweise(n), wie z. B. offener oder schallreduzierter Betrieb im Nachtzeitraum
 - Bezugsquelle, aktueller Genehmigungsbescheid mit evtl. Änderungsbescheiden
 - Übersichtsplan mit WEA-Standorten und nächstgelegenen Immissionsorten (mit Nord-Pfeil und Maßstabsangabe)

- Erläuterung des Vorgehens
 - zu messende Betriebsweise
 - Messverfahren
 - E-Messung
 - Auswahl der zu messenden WEA (mindestens eine WEA pro Typ und Betriebsweise)
 - I-Messung
 - Positionen möglicher Ersatzimmissionsorte
 - Ausgewählter Messaufbau (senkrechte Platte oder Stativ)
 - Geplante Übertragung der Messergebnisse auf die Immissionsorte

- Erforderliche Messbedingungen
 - Witterungsverhältnisse
 - Erforderliche Windgeschwindigkeiten (abhängig von der zu messenden Betriebsweise)
 - Frost und Schnee nutzbar (abhängig von der Art der Messung, I-Messung bei gefrorenem Boden nicht zulässig)
 - Nutzbare Windrichtung
 - Einschränkungen durch Baumreihen oder Waldstücke
 - Nicht nutzbare Sektoren wegen Turbulenzabschaltung
 - Nutzbare Tageszeiten
 - Nachtmessung durch Verkehrslärm oder andere Betriebe erforderlich
 - Messung nachts nur eingeschränkt möglich z. B. durch Fledermausabschaltung
 - Vorherrschende, fremdgeräuschverursachende Vegetation
 - Belaubte Bäume an Waldstandorten oder in der Nähe des EIO, z.B.: in Gärten
 - Bestellung der Felder am Messpunkt mit z. B. Mais, Getreide o. ä.

7.2 Beispiel: Emissionsmessung an einem Waldstandort

Das nachfolgende Beispiel zeigt einen Windpark mit drei Windenergieanlagen, deren Standorte alle im Wald liegen. Freiflächen sind nur an den Zuwegungen und im Bereich der Immissionsorte IO 1 und IO 2 gegeben. Eine Immissionsmessung könnte hier vermutlich im Bereich der Immissionsorte durchgeführt werden. Allerdings wären entweder Nord- oder Südwind erforderlich.

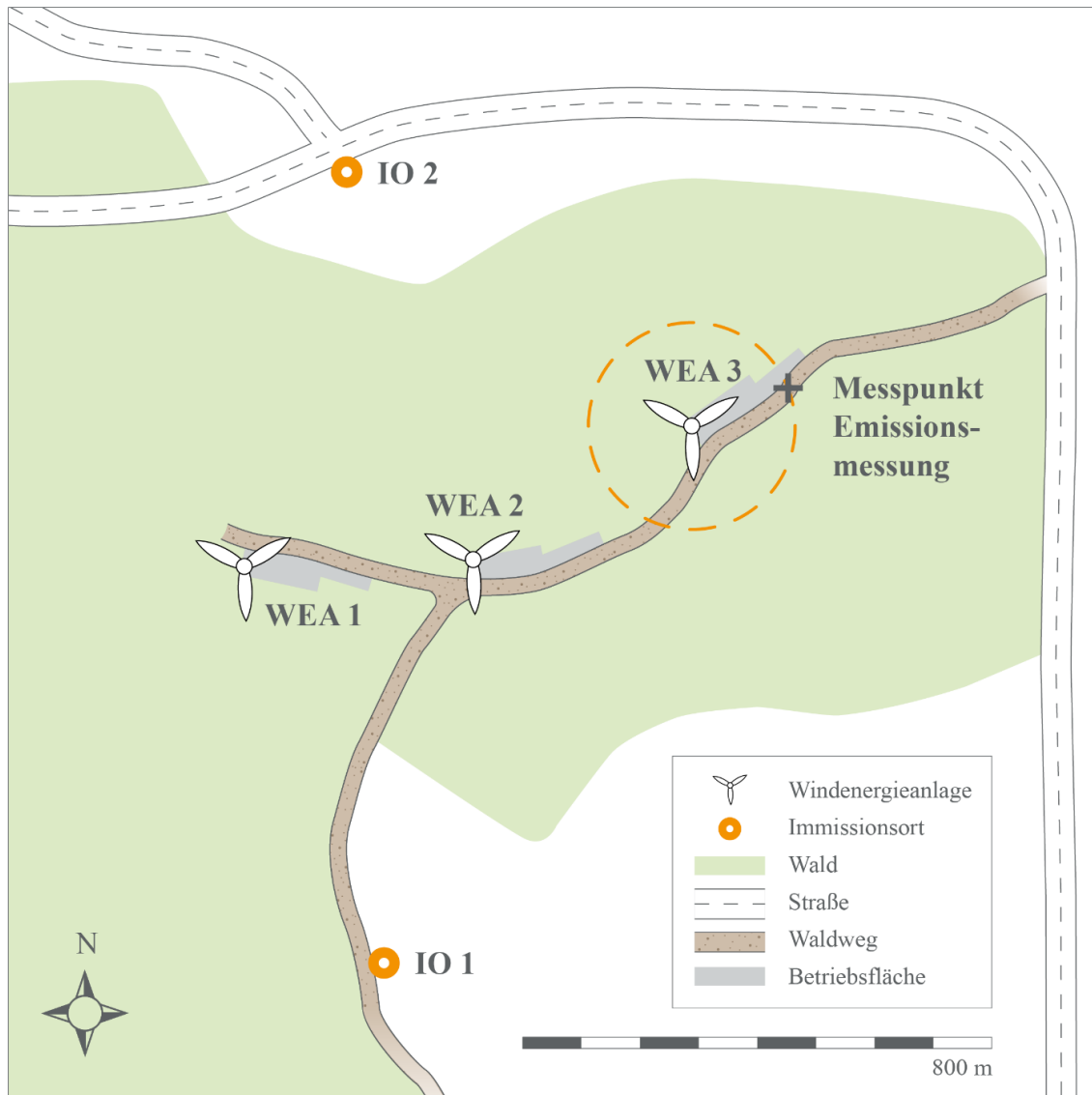


Abbildung 1: Vereinfachter Lageplan eines Windparks im Wald mit drei Windenergieanlagen, zwei Immissionsorten und der Darstellung eines möglichen Messpunktes einer Emissionsmessung

In diesem Beispiel kommt eine Emissionsmessung der WEA 3 im Bereich der Zuwegung in Frage (graues Kreuz = Messpunkt). Erforderlich für die Messung ist Südwestwind, der im Regelfall häufig auftritt. Alternativ kann auch bei anderen Windrichtungen an den weiteren WEA gemessen werden, wenn eine Mitwindsituation für die Zuwegung auftritt.

Aufgrund der windinduzierten Geräusche im Tageszeitraum muss diese Messung im Nachtzeitraum durchgeführt werden, wenn der bodennahe Wind abnimmt, während der Wind in Nabenhöhe der WEA weiterhin ausreichend hoch ist.

