ENERGIEWENDE UND LÄRMSCHUTZ

ALD-Schriftenreihe
Band 2 (2. Auflage 2023)

ALD
ARBEITSRING LÄRM
DER DEGA

Impressum

ENERGIEWENDE UND LÄRMSCHUTZ

HERAUSGEBER
Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA)
Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD)
Alte Jakobstraße 88, 10179 Berlin
Tel.: 030 / 340 60 38 02
E-Mail: ald@ald-laerm.de
www.ald-laerm.de

REDAKTION DER 2. AUFLAGE
Evelin Baumer
Thomas Beckenbauer
Christian Beckert
Christian Burkhart
Christoph Fritzsche
Hermann Lewke
Regina Heinecke-Schmitt
Dirk Schreckenberg
Sven-Oliver Wessolowski

GRAFISCHE GESTALTUNG
Friedrich Karas

GEFÖRDERT VON
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
Umweltbundesamt

Die Mittelbereitstellung erfolgt auf Beschluss des Deutschen Bundestages.
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Wir verwenden im Folgenden wegen der besseren Lesbarkeit die männliche Personenbezeichnung gleichermaßen für Personen weiblichen und männlichen Geschlechts. Hiermit ist keine Wertung verbunden.

INHALT

Vorwort 6
Vorwort zur 2. Auflage 6
Vorwort zur 1. Auflage 7
Energiewende 8
Technische Akustik 10
Tieffrequente Geräusche und Infraschall 11
Planungsrechtliche Steuerung von Windenergieanlagen 16
Planungsrechtliche Steuerung von Anlagen in Wohngebieten 21
Rechtslage, Bundes-Immissionsschutzgesetz und TA Lärm 24
Umgang mit Kleinanlagen der Erneuerbaren Energien in Wohngebieten 26
Umweltauswirkungen der Erneuerbaren Energien 27
Wirkung durch Schallimmissionen der Erneuerbaren Energien 29
Windenergieanlagen 34
Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen 34
Infraschall bei Windenergieanlagen 38
Emissions- und Immissionsmessungen 39
Ausbreitungsrechnung 41
Kleinwindanlagen 42
Fazit und Ausblick 43
Biogasanlagen 46
Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen 46
Genehmigung und Überwachung 50
Fazit und Ausblick 51
Wasserkraft 54
Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen 54
Fazit und Ausblick 56
Geothermieanlagen 58
Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen 58
Genehmigung und Bewertung der Immissionen 63
Fazit und Ausblick 64

INHALT

Luftwärmepumpen 66
Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen 66
Immissionsbeurteilung 69
Fazit und Ausblick 71
Hochspannungsfreileitungen 74
Techniken der elektrischen Energieübertragung 74
Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen 76
Immissionsermittlung und -beurteilung 77
Prognose 77
Messungen 79
Fazit und Ausblick 79
Zusammenfassung 80
Abbildungsverzeichnis 82
Abkürzungsverzeichnis 84
Literaturverzeichnis 85

VORWORT

Vorwort zur 2. Auflage

Gut sechs Jahre nach dem Erscheinen der ersten Auflage der ALD-Broschüre „Energiewende und Lärmschutz“ hat die Energiewende durch die politischen Entwicklungen an Aktualität gewonnen. Doch auch die Gerätetechnik und der gesicherte Stand des akustischen Wissens entwickelten sich in den vergangenen Jahren zum Teil rasant weiter, so dass darauf mit einer Neuauflage der Broschüre reagiert werden soll.

Dabei zeigt sich, dass die grundlegenden Aussagen zwar weiterhin Bestand haben, doch sich die Gewichte vor allem mit dem voraussehbaren weiteren Ausbau der Nutzung von Windenergie, dem forcierten Einsatz von Luftwärmepumpen zur Gebäudeklimatisierung und der Zurückdrängung von Biogasanlagen verschieben. Dem wurde durch behutsame Überarbeitung und Aktualisierung der Broschüre Rechnung getragen, wobei die Gliederung praktisch unverändert bleiben konnte. Überwiegend neu gefasst wurde der Abschnitt zu Windenergieanlagen. Auch das Literaturverzeichnis wurde auf den neuesten Stand gebracht.

Wie schon bei der ersten Auflage richtet sich die Broschüre „Energiewende und Lärmschutz“ an Interessierte und Betroffene sowie an Politik, Verwaltung, Wirtschaft und akustische Fachleute. Die Ziele der Energiewende und ein hohes Niveau beim Schutz vor Lärm stehen nicht in Konkurrenz, sondern sind gemeinsam erreichbar, wenn die bewährten und bekannten Prinzipien des Schallschutzes bei der Konstruktion, Planung und Errichtung der Anlagen beachtet werden.

Christian Beckert, Christian Popp, Dirk Schreckenberg
ALD-Leitung

Berlin, 2023

VORWORT

Vorwort zur 1. Auflage

In Deutschland besteht eine weitgehende gesellschaftliche Zustimmung zu den Erfordernissen des Klimaschutzes: Um die Erderwärmung gegenüber der vorindustriellen Zeit auf deutlich unter 2 Grad zu begrenzen, ist die fast vollständige Abkehr von fossilen Energieträgern und die Umstellung auf erneuerbare Energien bis spätestens 2050 erforderlich.

Konkrete Projekte der Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie und Wärme können vor Ort jedoch auf Widerstand stoßen. Ursache dafür ist die Verlagerung der Energie- und Wärmeproduktion von siedlungsfernen Großanlagen zu dezentralen Anlagen der Energieerzeugung in Wohngebieten. Dort können Geräusche entstehen, die zu Konflikten mit der betroffenen Nachbarschaft führen. Diese sind jedoch vermeidbar und nicht selten der Vernachlässigung bewährter und fortschrittlicher Schallschutztechnologien bei der Herstellung, Planung und Installation solcher Anlagen geschuldet. Um die Akzeptanz der Energiewende auch bei den betroffenen Anwohnern zu erhalten, müssen die Lärmschutzinteressen in Einklang mit den Ausbauzielen der erneuerbaren Energien gebracht werden.

Die Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA) hatte deshalb ihr jährliches Symposium im Oktober 2013 in Düsseldorf diesem Thema gewidmet: Es sollten rechtliche, administrative, planerische und technische Aspekte zum Lärmschutz diskutiert werden, die im Zusammenhang mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien stehen. Verantwortlich für das Programm war die Fachgruppe Arbeitsring Lärm (ALD) zusammen mit den DEGA-Fachausschüssen „Bau- und Raumakustik“, „Hörakustik“, „Lärm: Wirkungen und Schutz“ und „Strömungsakustik“. Die Veranstaltung wurde in Zusammenarbeit und mit freundlicher Unterstützung des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Die Beiträge zur Veranstaltung sind auf den Seiten des ALD einsehbar [1].

Die vorliegende Broschüre „Energiewende und Lärmschutz“ fasst die Erkenntnisse des Symposiums in aktualisierter Form zusammen und will damit zur Versachlichung der Diskussion beitragen. Adressaten sind die Interessierten und Betroffenen, aber auch Politik, Verwaltung, Wirtschaft und akustische Experten.

Die Beiträge zeigen, dass die Energiewende das Schutzniveau beim Lärm nicht beeinträchtigen muss, zumal wenn von Beginn der Planungen energieerzeugender Anlagen die bewährten und bekannten Prinzipien des Schallschutzes beachtet werden.

Regina Heinecke-Schmitt, Michael Jäcker-Cüppers, Dirk Schreckenberg
ALD-Leitung

Berlin, 2016

Energiewende

Der Umbau des Energiesystems auf Erneuerbare Energien hat in den vergangenen Jahren so sehr an Dynamik gewonnen, dass man ihm mit dem Begriff „Energiewende“ ein eigenes Schlagwort gewidmet hat. Neben der puren Notwendigkeit des Einsatzes von Erneuerbaren Energien auf Grund der Endlichkeit der fossilen und atomaren Energie, bilden Klimaschutz und Luftreinhaltung, der Ausstieg aus der Atomenergie und die Rekommunalisierung der Versorgungssysteme sowie diverse andere Aspekte die Motivation für diesen Prozess. Das bestehende Energiesystem ist über viele Jahrzehnte gewachsen, daher wird auch der Umbau dieses Systems lange Zeiträume in Anspruch nehmen. Nicht nur Planungs- und Bauzeiten, sondern vor allem die Entwicklung der Technik der Anlagen und des Systems insgesamt als auch die Entwicklung von Umweltstandards und gesellschaftlicher Akzeptanz wird Zeit benötigen.

Denn die Aufgabe ist groß: 650 TWh Strom werden jährlich in Deutschland verbraucht. Mit der Arbeit der letzten 25 Jahre lag der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2021 bei ca. 40 % (siehe Abb. 1) – der weitaus größere Teil des Ausbaus liegt also noch vor uns. Es gibt diverse Studien zum weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien. Sie beschreiben verschiedene Szenarien, die in Hinsicht auf den erforderlichen Strombedarf, die Verteilung auf die verschiedenen Arten der Erneuerbaren Energien und die benötigten Anlagenzahlen differieren (siehe Abb. 2). Als Zielpunkt für das Erreichen einer Vollversorgung mit Strom aus Erneuerbaren Energien wird frühestens der Zeitraum um 2045 anvisiert.

ENERGIE

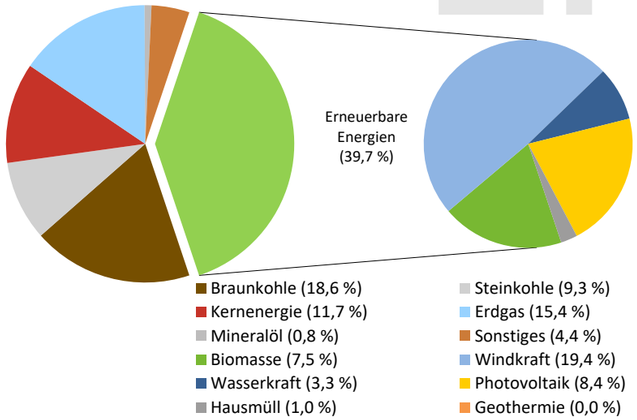


Abb.1: Bruttostromerzeugung in Deutschland 2021

Konventionelle Kraftwerke sind großindustrielle Projekte. Die an einem Standort installierte Leistung liegt etwa zwischen 200 MW und 4 000 MW. Erneuerbare Energien hingegen sind dezentrale Anlagen, deren Größe im Bereich weniger MW liegt und bei Kleinstanlagen bis hinunter auf wenige kW geht. Statt weniger Großanlagen wird die zukünftige Energieversorgung also durch eine große Vielzahl von kleinen Anlagen getragen. Auch die Standorte verlagern sich in die ländlichen Regionen oder wohnortnah zur Selbstversorgung mit Kleinstanlagen. Die veränderte Kraftwerksstruktur zieht eine Anpassung des Stromnetzes sowie den Aufbau von Speicherkapazitäten nach sich. Zum Umbau des Energiesystems gehört nicht nur die Versorgung mit elektrischer Energie, sondern auch die Wärmeversorgung. Hier wurde bis zum Jahr 2021 ein Anteil von 16,5 % auf Erneuerbare Energien umgestellt [2].

Da es sich dabei überwiegend um die Beheizung und Warmwasserversorgung von Gebäuden handelt, befinden sich diese Anlagen in Häusern oder deren unmittelbarer Nähe, ihre Leistung ist entsprechend klein und ihre Zahl groß. Statt klassischer Heizkessel kommen nun Wärmepumpen, Mini-Blockheizkraftwerke (BHKW) oder Solarthermie zum Einsatz. Durch das Gebäudeenergiegesetz [3], das die Nutzung Erneuerbarer Energien fordert, wird in Verbindung mit verschiedenen Förderprogrammen der Anteil der Erneuerbaren Energien im Wärmesektor stetig steigen. Da mit Ausnahme von Biomasseanlagen die Erneuerbaren Energien keine Luftschadstoffe emittieren, fokussiert sich der Immissionsschutz bei ihnen auf die Schallimmissionen. Die Energiewende stellt somit eine Herausforderung für den Schallimmissionsschutz dar.

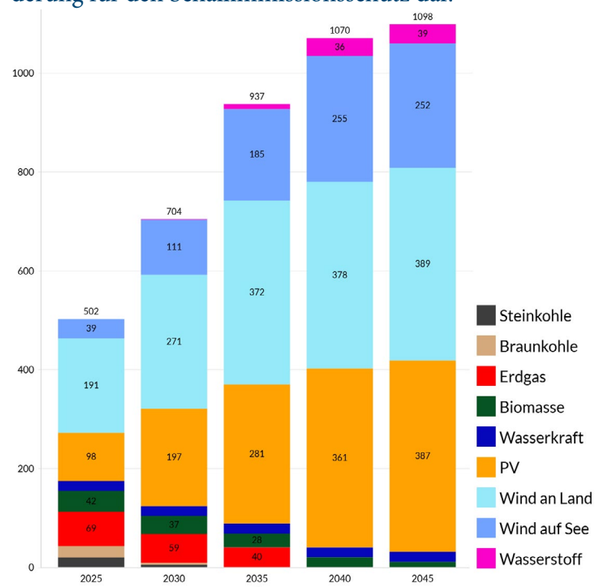


Abb. 2: Ausbauszenario 2045 für Stromerzeugung in Deutschland; Stromerzeugung in TWh.

Technische Akustik

Die technische Akustik geht an Anlagen der Erneuerbaren Energien genauso heran wie an andere technische Anlagen. Die in Anlagen der Erneuerbaren Energien eingesetzten Aggregate sind dem Akustiker überwiegend bereits lange Zeit aus anderen Anwendungen bekannt. Für den Akustiker macht es keinen Unterschied, ob ein Lüfter und ein Kompressor zu einer Kälteanlage eines Lebensmittelbetriebs oder zu einer Wärmepumpe zur Heizung eines Hauses verschaltet werden, für Dampfleitungen und Kühltürme setzt der Akustiker bei fossilen Kraftwerken und bei Geothermie- oder Biomassekraftwerken dieselben Lärmminderungsmaßnahmen ein, und ein Blockheizkraftwerk am Schwimmbad oder Krankenhaus ist genauso laut oder leise, unabhängig davon, ob es mit Heizöl, Erdgas oder Biogas betrieben wird. Der Akustiker wird die Schallemissionen der Erneuerbaren Energien also nicht vernachlässigen, aber auch nicht als außergewöhnliches Problem betrachten, sondern die ihm bekannten Werkzeuge der lärmarmen Konstruktion und der Schalldämpfung und -dämmung nutzen. Ebenso können die bekannten Methoden für die Berechnung der Schallausbreitung und die Messung von Schallemission und -immission auch auf Anlagen der Erneuerbaren Energien angewendet werden.

Eine Ausnahme bilden allerdings die Windenergieanlagen (WEA), die eine neuartige Schallquelle darstellen. Zwar kann auf Basiswissen ähnlicher Schallquellen zurückgegriffen werden, doch sind viele neue Aspekte zu bearbeiten. Hierzu wurde in den vergangenen 20 Jahren umfangreiches Wissen aufgebaut und in akustischen und rechtlichen Normen umgesetzt. Bei Windenergieanlagen entfällt für den bewegten Rotor die Möglichkeit zur Schalldämmung und -dämpfung und damit ein wertvolles Hilfsmittel des Schallschutzes. Daher investieren die Hersteller großen Aufwand in die lärmarme Konstruktion; die danach noch verbleibenden Schallimmissionen können nur über Betriebsbeschränkungen und große Abstände auf das zulässige Maß reduziert werden.

Wichtig ist also die Anwendung des bekannten Wissens und des Standes der Lärmminderungstechnik auf die Anlagen der Erneuerbaren Energien. Voraussetzung hierfür ist das Bewusstsein für schalltechnische Aspekte bei Anlagenherstellern, Planern, Installateuren und Betreibern. Bei Großprojekten wird eine individuelle schalltechnische Planung die Regel sein, während bei Kleinanlagen der Schwerpunkt in der Konstruktion von lärmarmen Aggregaten mit standardisierter Schallschutzausrüstung und somit bei den Herstellern liegen muss, da diese über die Serienproduktion die Entwicklungskosten auf eine Vielzahl von Kleinanlagen umlegen können und Einzelprojekte so von aufwändigen individuellen schalltechnischen Planungen entlastet werden. Schallschutzausrüstung an Anlagen verursacht Kosten, die daher auch bei der Bemessung der Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz [4] (EEG) oder Fördergeldern berücksichtigt werden sollten.

Mit einer Verknüpfung von Vergütung oder Förderung an die Einhaltung des Standes der Lärmminderungstechnik könnten zahlreiche Konflikte schon im Vorfeld des Anlagenbetriebes vermieden werden.

AKUSTIK

Tieffrequente Geräusche und Infraschall

Die Technische Anleitung (TA) Lärm [5] nennt für tieffrequente Geräusche eine Frequenz von 90 Hz als Obergrenze (siehe TA Lärm, Nr. 7.3; die obere Grenzfrequenz der 80 Hz-Terz liegt bei 89 Hz). Abweichend davon bezeichnet die DIN 45680 [6] Schall im Frequenzbereich von 8 Hz bis 100 Hz als tieffrequent. Zu beachten ist, dass Schall unterhalb von 20 Hz bisweilen auch unterhalb von 16 Hz als Infraschall bezeichnet wird. Die Begriffe „tieffrequenter Schall“ und „Infraschall“ sind nicht klar abgegrenzt, da sie Bereiche mit fließenden Übergängen bezeichnen. Es bestehen keine naturgegebenen harten Grenzen, sondern die Begriffe erfassen Bereiche, die sich überlappen. Infraschall und tieffrequenter Schall können eine starke Belästigung hervorrufen, die sich bis hin zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung auswirken kann.

Während der Mensch in höheren Frequenzbereichen, insbesondere im Bereich um etwa 1 000 bis 4 000 Hz besonders gut hören kann, liegt die Wahrnehmungsschwelle des menschlichen Gehörs im tieffrequenten Bereich frequenzabhängig bei hohen bis sehr hohen Schallpegeln, d.h. deutlich über 80 dB. Im tieffrequenten Bereich lässt die normale Wahrnehmung als „hören“ nach und geht im Bereich des Infraschalls in eine Wahrnehmung als Druckempfindung oder

pulsierendes Gefühl über. Daher wird bei tieffrequenten Geräuschen meist nicht von „Hörschwelle“, sondern von „Wahrnehmungsschwelle“ gesprochen.

Anlagen im Bereich Erneuerbare Energien sind weder die ersten noch die einzigen Quellen von tieffrequenten Geräuschen oder Infraschall in der Umwelt. In der Akustik sind zahlreiche natürliche und anthropogene Quellen bekannt, die diese Geräusche emittieren. Als Quellen kommen Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren etc., aber auch z.B. Fahrzeuge mit großen, langsam laufenden Verbrennungsmotoren in Betracht.

Mit dem Straßenverkehr und PKW-Innengeräuschen, Wasch- und Spülmaschinen sowie diversen anderen Quellen kommt jeder Mensch in seinem Alltag regelmäßig mit tieffrequenten Geräuschen in Kontakt. Hinzu treten natürliche Quellen wie der Wind und das meist als besonders angenehm empfundene Meeresrauschen. Tieffrequente Geräusche und Infraschall sind also genauso wie Geräusche in höheren Frequenzbereichen ein ubiquitäres Phänomen, das uns ständig umgibt, auch in unserer Wohnumgebung [7]. Aus akustischer Sicht sind daher auch die tieffrequenten

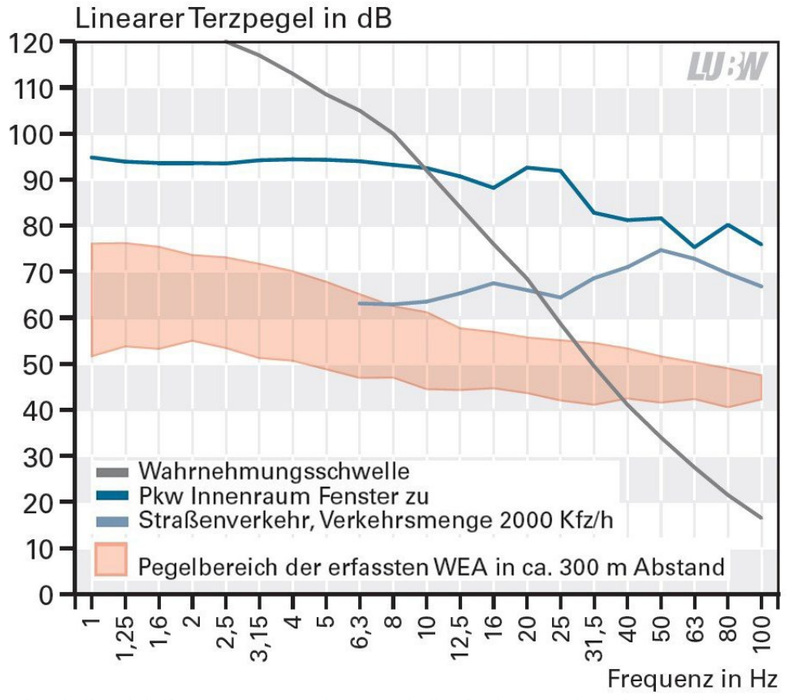


Abb. 3: Infraschall und tieffrequente Geräusche von Windkraftanlagen und Straßenverkehr

AKUSTIK

Geräuschanteile einiger Anlagen der Erneuerbaren Energien nichts Außergewöhnliches. Der Akustiker wendet auf sie die ihm bekannten Methoden zur Bewertung und Minderung an.

Die Abbildung des menschlichen Hör- und Belästigungsempfindens – ausgehend vom rein physikalischen Wert des Schalldruckpegels über ein Bewertungsverfahren in eine Zahlengröße, die sich mit Richtwerten vergleichen lässt – ist seit jeher eine hochkomplexe Anforderung an die Akustik – also kein spezifisches Problem von Anlagen der Erneuerbaren Energien. Es gibt je nach Anwendungsfall unterschiedliche Bewertungsverfahren für verschiedene Anwendungsfälle, die in Normen beschrieben sind. Die Bewertungsmodelle werden einem steten Verbesserungsprozess unterzogen, der sich in Novellierungen der Normen niederschlägt. Für die Geräuschanteile im „normalen“ Frequenzbereich und im tieffrequenten Bereich gibt es unterschiedliche, auf die jeweiligen Eigenschaften abgestimmte Bewertungsmethoden. Für tieffrequente Geräusche ist das Bewertungsverfahren nach DIN 45680 (mit Beiblatt 1) heran zu ziehen, bei dem für jede Terz eine Analyse auf die Überschreitung der Hörschwelle und auf das Hervortreten von Einzeltönen durchzuführen ist. Dieser Ansatz geht auf die Erkenntnisse der Wirkungsforschung zurück, die bisher keine negativen Wirkungen im Bereich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle feststellen konnte, aber zeigt, dass bereits bei geringen Überschreitungen der Wahrnehmungsschwelle Belästigungswirkungen auftreten können. Die DIN 45680 befindet sich seit einigen Jahren in Überarbeitung, die letzte Entwurfsfassung datiert von 2020 [8]. Die Anhaltswerte der alten und der neuen Fassung können nicht unmittelbar miteinander verglichen werden, da hinter den verschiedenen Anhaltswerten auch ein anderes Bewertungsverfahren und eine Absenkung der Wahrnehmungsschwelle in der neuen Fassung steht. Nach ersten Einschätzungen der Akustiker wird die neue Fassung der DIN 45680 tendenziell eine etwas strengere Bewertungsmethode als die alte Fassung darstellen.

Tieffrequente Geräusche werden deutlich weniger durch Gebäudebauteile (Wände, Decken, Fenster) gedämmt als höherfrequente Geräuschanteile. Mit den zur Verfügung stehenden bautechnischen Maßnahmen lässt sich kaum eine bessere Dämmwirkung von Gebäuden für tiefe Frequenzen erreichen. Die Gebäudehülle wirkt daher mitunter wie ein Filter, der die höheren Frequenzen zurückhält und die tieferen passieren lässt. Dieser Effekt wird deutlich, wenn von der Musik aus der Stereoanlage des Nachbarn in der eigenen Wohnung nur der Bass zu hören

ist, aber kaum etwas von der gesungenen Melodie. Dementsprechend kann auch ein von außen kommendes Anlagengeräusch in seiner Charakteristik verändert werden, in dem die höheren Frequenzanteile vom Gebäude gedämmt werden und die tiefen in die Räume eindringen können. Dies ist ein reiner Filtereffekt, es kommt nicht zu einer Verstärkung der tiefen Frequenzen. Von diesem Filtereffekt sind Effekte zu unterscheiden, die innerhalb von Räumen zu einer Erhöhung des Schallpegels führen können. Da die Wellenlänge von tieffrequentem Schall in der Größenordnung von üblichen Wohnraumabmessungen liegt, können sich dort sogenannte stehende Wellen ausbilden, die sich durch deutlich unterschiedliche Schallpegel an verschiedenen Stellen innerhalb des Raumes bemerkbar machen, meist ist es in der Nähe der Wände lauter und in der Raummitte leiser. Dieser Effekt ist stark von der Raumgeometrie und den Dämpfungseigenschaften der Raumausstattung abhängig. Große Räume bieten eher passende Geometrien für stehende Wellen tiefer Frequenzen als kleine Räume, harte Böden und Wände begünstigen die Schallreflexion, während Teppiche, Polster und ähnliche Raumelemente dämpfend wirken. Diese Effekte lassen sich kaum oder nur mit sehr hohem Aufwand prognostizieren, so dass die DIN 45680 hier eine messtechnische Ermittlung innerhalb des Raumes vorsieht.

Für einen Anlagenbetreiber ergibt sich daraus das Dilemma, dass die Schallimmission seiner Anlage von vielen Faktoren abhängt, die er nicht beeinflussen kann. Daher müssen Schallminderungsmaßnahmen für tieffrequente Geräusche bereits an der Quelle ansetzen. Hierzu stehen in der technischen Akustik viele bewährte Werkzeuge zur Verfügung. Eine Analyse der genauen Ursache für die Emission bestimmter Frequenzen gibt dem Maschinenbau Ansatzpunkte für konstruktive Verbesserungen. Tritt die Emission tiefer Frequenzen verstärkt bei einem bestimmten Betriebszustand auf, kann versucht werden, diesen Betriebszustand steuerungstechnisch möglichst zu vermeiden. Eine schwingungsentkoppelte Aufstellung der Aggregate vermindert die Weiterleitung tiefer Frequenzen über Bauteile. Tiefe Frequenzen lassen sich zwar nicht so einfach dämpfen wie höhere Frequenzen, dennoch stehen spezielle Schalldämpfer für tiefe Frequenzen in ausreichendem Maß zur Verfügung. Jedermann bekannt sind sie z.B. als Endschalldämpfer im Auspuff von PKW – dieselbe Technik kann der Akustiker z.B. auch bei Abgaskaminen für die großen Verbrennungsmotoren von Blockheizkraftwerken anwenden.

AKUSTIK

Abb. 4: Kulissenschalldämpfer für große Kühltürme

Planungsrechtliche Steuerung von Windenergieanlagen

Betrachtet wird die planerische Steuerung bis zum Erreichen der Flächenziele gemäß des Gesetzes zur Erhöhung und Beschleunigung des Ausbaus von Windenergieanlagen (WEA) an Land [9]. Für den Ausbau der Windenergie ist mehr verfügbare Fläche erforderlich. Zur Erreichung der Ausbauziele gemäß Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG) [4] müssen zwei Prozent der Bundesfläche für die Windenergie an Land ausgewiesen werden. Dies erfordert mehr als eine Verdoppelung der aktuell ausgewiesenen Fläche.

Das Windenergie-an-Land-Gesetz trat zum 01.02.2023 in Kraft. Bis zu diesem Zeitpunkt waren bundesweit lediglich 0,8 Prozent der Landesfläche für Windenergie an Land ausgewiesen – nur 0,5 Prozent davon waren tatsächlich verfügbar.

Das 2022 verabschiedete Gesetz zur Erhöhung und Beschleunigung des Ausbaus von Windenergieanlagen (WEA) an Land [9] verpflichtet die Bundesländer in Artikel 1, dem Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG) [56], bis Ende des Jahres 2032, einen Anteil von 1,8 bis 2,2 Prozent ihrer Landesfläche für den Ausbau der Windenergie zur Verfügung zu stellen. Die drei Stadtstaaten müssen 0,5 Prozent ihrer Landesflächen ausweisen. Repowering-Maßnahmen am selben Standort sind vorzuziehen. Die Verteilung berücksichtigt unterschiedliche Voraussetzungen der Bundesländer. Das Gesamtziel von zwei Prozent der Bundesfläche wird durch einen Verteilungsschlüssel zwischen den Ländern konkretisiert. Dabei werden die vorhandenen Flächenpotenziale für den Ausbau der Windenergie an Land in den Ländern berücksichtigt. Um eine kontinuierlich steigende Flächenausweisung sicherzustellen, sieht das Gesetz ein Zwischenziel von 1,4 Prozent für Ende 2026 vor.

Mit den in Artikel 2 des Windenergie-an-Land-Gesetzes vorgenommenen Anpassungen des BauGB [10] wurde die Zulassung von Windenergieanlagen auf eine Positivplanung umgestellt. Dies bedeutet, dass Windenergieanlagen künftig in dafür eigens planerisch ausgewiesenen Gebieten privilegiert zulässig sind. Voraussetzung ist, dass die Länder die Flächenziele zum jeweiligen Stichtag erreichen. Werden sie dagegen verfehlt, lebt die Privilegierung im gesamten Außenbereich wieder auf, bis die Flächenziele erreicht sind. Durch diese Umstellung auf eine Positivplanung werden die Planungsverfahren vereinfacht und beschleunigt.

Neu konzipiert wurde auch die Länderöffnungsklausel im Baugesetzbuch, die pauschale gesetzliche Mindestabstandsregelungen der Länder erlaubt. Die Bundesländer dürfen zwar weiterhin über Mindestabstände zu im Landesgesetz näher bezeichneten Nutzungen zu Wohnzwecken entscheiden. Sie müssen aber sicherstellen, dass sie ihre Flächenziele aus dem Windenergieflächenbedarfsgesetz erreichen und so ihren Beitrag zum Ausbau der Windenergie leisten. Tun sie dies nicht, treten die landesspezifischen Abstandsregeln außer Kraft. Der Mindestabstand darf höchstens 1 000 Meter betragen. Die Länder sind jedoch verpflichtet zu regeln, dass die Mindestabstände nicht für Flächen gelten, die planerisch für Windenergieanlagen ausgewiesen sind. Dies gilt sowohl für wirksam ausgewiesene Gebiete in Bestandsplänen als auch für Ausweisungen von Flächen für die Windenenergie in neuen Raumordnungs- und Bauleitplänen. Bestehende Landesgesetze zu Mindestabständen, die auf Grundlage

des § 249 Absatz 3 BauGB vor dem Inkrafttreten des Windenergie-an-Land-Gesetzes erlassen wurden, müssen bis zum 31. Mai 2023 entsprechend angepasst werden. Danach ist landesgesetzlichen Regelungen, die der Verpflichtung des Satzes 5 nicht genügen, die Kompetenzgrundlage entzogen.

Immissionsschutzrechtliche Abstandsvorgaben nach TA Lärm [5], die sich aus dem Schallleistungspegel einer WEA ergeben (Abb. 5 und 6), und bauordnungsrechtliche Abstandsvorgaben bleiben unberührt.

Das Windenergie-an-Land-Gesetz sorgt neben der Bereitstellung von Flächen zugleich für mehr Rechtssicherheit durch konkrete rechtliche Mengenvorgaben. Es vereinfacht und beschleunigt die Planung und entlastet die gerichtliche Kontrolle.

Bisher dauerte die Ausweisung von Windenergiegebieten je nach Komplexität 5 bis 10 Jahre. Mangels klarer gesetzlicher Mengenvorgaben hatte die Rechtsprechung eine aufwendige Planungsmethodik entwickelt. Die Anforderungen der sogenannten „Substanzrechtsprechung“ sollten gewährleisten, dass der Windenergie an Land substanziell Raum verschafft wird. In der praktischen Handhabung waren die Regelungen aber schwierig, verkomplizierten und verlangsamten die Planungsverfahren und führten zu Rechtsunsicherheit.

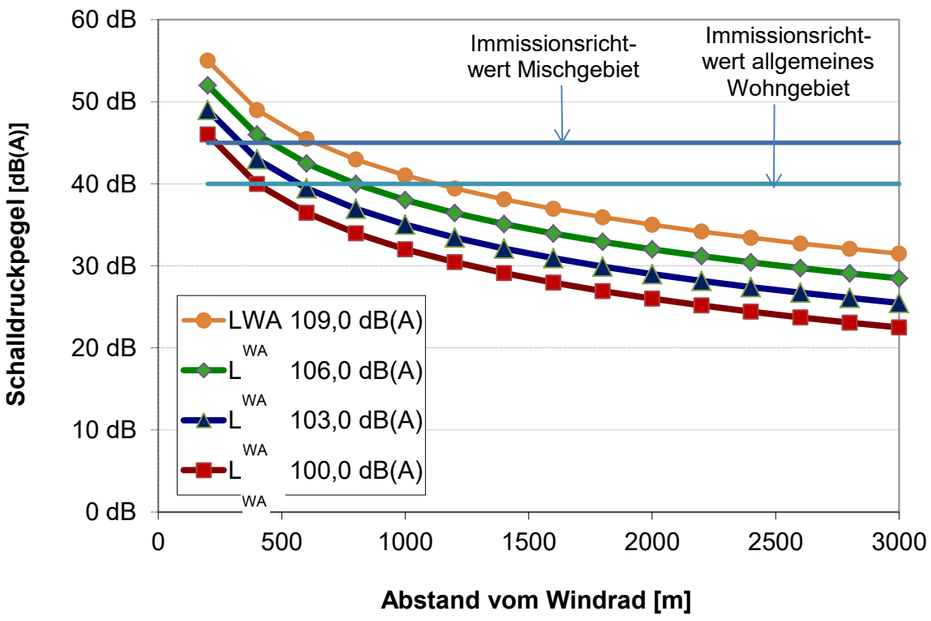


Abb. 5: Schallausbreitung in Abhängigkeit vom Schalleistungspegel der Windenergieanlage

PLANUNG

Durch die Ausweisungsvorgaben des Windenergie-an-Land-Gesetzes werden die komplexen Anforderungen des „Substanzgebotes“ abgelöst, die Flächenbedarfe an die energiewirtschaftlichen Bedarfe gekoppelt und die Flächenziele verbindlich in die Systematik des Bauplanungsrechts des Baugesetzbuchs integriert. Der planerischen Steuerung durch die Ausweisung von Windenergiegebieten kommt somit im Ergebnis nur dann eine Ausschlusswirkung zu, wenn die Flächenziele erreicht werden. Werden die Ziele verfehlt, sind Windenergieanlagen im gesamten Planungsraum als privilegierte Vorhaben im Außenbereich genehmigungsfähig.

Das WindBG [56] stellt es den Ländern frei, zu bestimmen, auf welcher Planungsebene die Flächenausweisungen für die Windenergie erfolgen soll. Gemäß Absatz 5 kann der zuständige Planungsträger unverzüglich mit der Planung beginnen, ohne an etwaige entgegenstehende Planinhalte in Plänen auf anderen Planungsebenen gebunden zu sein. Wird beispielsweise ein Träger der Raumordnung zum zuständigen Planungsträger bestimmt, soll dieser bei der Ausweisung von Windenergiegebieten entgegenstehende Darstellungen in Flächennutzungsplänen nicht beachten müssen, wenn die Ausweisungen mit dem Ziel erfolgen, die Flächenbeitragswerte oder Teilflächenziele des WindBG zu erreichen. Umgekehrt soll die Gemeinde als zuständige Planungsträgerin bei der Ausweisung von Windenergiegebieten nicht an entgegenstehende Ziele der Raumordnung gebunden sein. Die Regelung findet in diesem Fall sowohl auf die Flächennutzungsplanung als auch auf die Bebauungsplanung Anwendung.

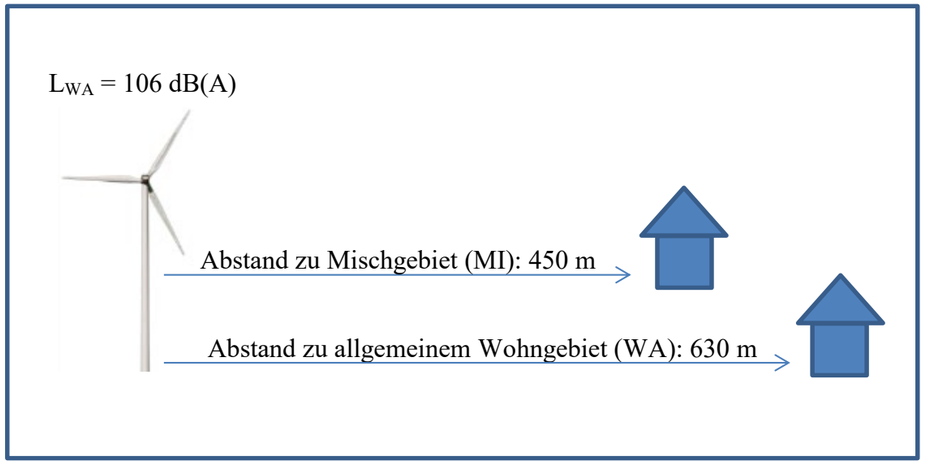


Abb. 6: Mindestabstände für die Einhaltung gebietsabhängiger Immissionsrichtwerte der TA Lärm

Planungsrechtliche Steuerung von Anlagen in Wohngebieten

Die Bauleitplanung ist seit jeher ein Instrument des „vorsorgenden Immissionsschutzes“, da durch gute städtebauliche Planung dem Entstehen von Immissionsschutzkonflikten vorgebeugt werden kann. Bei gewerblichen und industriellen Anlagen geschieht dies üblicherweise durch eine Trennung dieser emissionsträchtigen Anlagen von schützenswerter Wohnbebauung. In Wohngebieten selbst gibt es stets nicht städtebaulich greifbare Schallquellen durch die Nutzung von Maschinen und Geräten und durch verhaltensbezogenen Lärm, aber auch Straßenverkehr, Klima- und Lüftungsanlagen von Gebäuden sowie die nach der Baunutzungsverordnung (BauNVO) [11] in Wohngebieten zulässigen Geschäfte, Gastronomie- und Handwerksbetriebe, Anlagen zu kirchlichen, gesundheitlichen oder sportlichen Zwecken, die bauplanungsrechtlich relevant sind. Mit Anlagen der Erneuerbaren Energien (Wärmepumpen, Mikro-BHKW, Kleinwindanlagen) treten nun zwar weitere Schallquellen innerhalb von Wohngebieten hinzu, sie sind dort allerdings weder die ersten noch die einzigen nach BauNVO zulässigen schallrelevanten Anlagentypen. Auch Anlagen der Erneuerbaren Energie können also prinzipiell mit bauplanungsrechtlichen Werkzeugen bearbeitet werden.

Voraussetzung für eine bauplanungsrechtliche Regelung ist gemäß § 1 Abs. 3 Satz 1 BauGB [10], dass diese für die städtebauliche Ordnung und Entwicklung erforderlich ist – dies gilt insbesondere für beschränkende Festsetzungen. Außerdem müssen die Festsetzungen sich stets auf die Nutzung des Grundstücks und die Gestaltung der baulichen Anlagen beziehen. Sie müssen einerseits so konkret sein, dass eindeutig ist, welche Grundstücke betroffen sind und welche Bestimmungen für bauliche Anlagen gelten, dürfen aber andererseits nicht die Aufgaben von Genehmigungs- und Fachbehörden vorwegnehmen. Regelungen der Bauleitplanung müssen also einen Gebietsbezug aufweisen, anlagen- und produktionsbezogene Regelungen bleiben den Genehmigungs- und Fachbehörden überlassen.

Anlagen der Erneuerbaren Energien sind nach § 14 BauNVO grundsätzlich in allen Gebieten zulässig, wenn sie der Versorgung des Grundstücks oder Gebiets dienen und der Eigenart des Gebiets nicht widersprechen. Mini-BHKW sind auch dann zulässig, wenn der erzeugte Strom ins öffentliche Netz eingespeist wird. Ein Bebauungsplan darf grundsätzlich nach BauNVO zulässige Anlagen in einem Gebiet ausschließen, wenn dies städtebaulich erforderlich ist. Mit Schallschutzaspekten wird sich jedoch ein Verbot von Anlagen der Erneuerbaren Energien nur in besonderen Fällen begründen lassen, zumal auch das Baurecht umfangreiche

Zielsetzungen zur Förderung der Nutzung Erneuerbarer Energien als in der Bauleitplanung zu berücksichtigende Grundsätze vorgibt. Zu prüfen sind daher eher planerische Festsetzungen, die dem Entstehen von Immissionskonflikten bei der Nutzung von Erneuerbaren Energien vorbeugen. § 9 Abs. 1 Nr. 2, 24 BauGB erlaubt Festsetzungen über die Aufstellungsanordnung und die Freihaltung bestimmter Bereiche der Grundstücke, so dass hier Kennzeichnungen, in welchen Bereichen Wärmepumpen oder Kleinwindanlagen aufgestellt werden dürfen oder nicht, denkbar wären. Allerdings ist die Wahl des schalltechnisch optimalen Standorts in komplexen baulichen Situationen oft nur individuell zu treffen, bauplanungsrechtliche Steuerungen sind also wohl nur dort sinnvoll anzuwenden, wenn Grundstückszuschnitt und Lage der Wohnhäuser bereits im Bebauungsplan weitgehend festgeschrieben sind und sich durch die Lagegeometrie eine eindeutige, pauschale Identifizierung eines optimalen Aufstellungsbereichs aufdrängt. Für Wärmepumpen könnte ggf. die Innenaufstellung gefordert werden. § 9 Abs.1 Nr. 24 BauGB bietet auch die Möglichkeit, bauliche und technische Vorkehrungen festzulegen, die zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen erforderlich sind. Hierzu gehören nach allgemeiner Ansicht auch Vorgaben zum Einsatz von Immissionsminderungsmaßnahmen und anlagenbezogene Emissionsgrenzwerte – nicht jedoch produktions- oder nutzungsbezogene Aspekte. Demnach könnten Vorgaben zu maximalen Schallleistungspegeln von Anlagen der Erneuerbaren Energie (vgl. oben Bebauungspläne für WEA) genauso wie die Forderung der Ausrüstung mit Schalldämpfern denkbar sein, nicht jedoch eine Betriebsbeschränkung auf die Tageszeit. In immissionsschutztechnischer Hinsicht besteht dabei allerdings die Schwierigkeit der Ermittlung des maximal zulässigen Schallleistungspegels, da hier wiederum die Zahl der zu erwartenden Anlagen und ihre genaue Lage sowie der zu Grunde gelegte technische Standard nicht feststehen. Die Forderung nach Schalldämpfern wird ebenfalls auf abstrakte Qualitätsanforderungen beschränkt bleiben.

Planungsrechtliche Steuerung kann nicht nur bei der Erstausweisung von neuen Wohngebieten erfolgen, sondern auch durch Planänderung bei bestehenden Wohngebieten. Bei einer Planänderung sind aber grundsätzlich die Interessen der von der Planänderung Betroffenen in der Abwägung zu berücksichtigen – hierbei gibt es im Plangebiet allerdings nicht nur die Interessen der Nutzer von Anlagen Erneuerbarer Energien, sondern auch die Interessen der von den Schallimmissionen Betroffenen, die

ebenfalls in die Abwägung eingestellt werden. Eine solche Planänderung muss aber bereits frühzeitig vor Errichtung einer Vielzahl von Anlagen erfolgen, denn bereits bestehende Anlagen genießen bauplanungsrechtlichen Bestandsschutz, so dass bestehende Anlagen auch nach einer Planänderung weiterbetrieben werden dürfen. Zukünftige Erneuerungen dieser bestehenden Anlagen müssen allerdings dem geänderten Plan entsprechen, so dass langfristig Planänderungen auch bei bestehenden Anlagen greifen.

Grundsätzlich bietet das Bauplanungsrecht also diverse Werkzeuge, mögliche Immissionskonflikte, die durch die Nutzung Erneuerbarer Energien in Wohngebieten entstehen können, zu bearbeiten. Die Anwendung dieser Werkzeuge auf mögliche Probleme mit Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien muss jedoch noch entwickelt werden und ihre Praxistauglichkeit, immissionsschutztechnische Wirksamkeit und Rechtssicherheit erst noch zeigen.

Die aufgezeigten Möglichkeiten sind daher als Ansätze für die zu leistende methodische Entwicklungsarbeit zu verstehen, können aber nach derzeitigem Stand noch keine Gewähr für immissionsschutztechnisch und bauplanungsrechtlich sichere Lösungen geben.

Abb. 7: Stationäre Luftwärmepumpe im Wohngebiet

Rechtslage, Bundes-Immissionsschutzgesetz und TA Lärm

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [12] dient dem Schutz und der Vorsorge vor schädlichen Umwelteinwirkungen, die durch die Errichtung und den Betrieb von Anlagen hervorgerufen werden können. Der Anlagenbegriff des BImSchG ist sehr weit gefasst und reicht von großindustriellen Anlagen über Kleingewerbe bis hin zu privaten Anlagen. Alle Anlagenarten der Erneuerbaren Energien, egal ob gewerblich oder nicht gewerblich, zur Strom- oder Wärmeerzeugung genutzt, werden somit durch das BImSchG erfasst. Anlagen, die in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Umwelteinwirkungen zu verursachen, sind in der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV [13] aufgelistet und bedürfen einer Genehmigung nach dem BImSchG, bei der die Prüfung der Umwelteinwirkungen im Zentrum steht. Windenergieanlagen (WEA) ab 50 m Gesamthöhe, Biogasanlagen ab 1,3 Mio. m^3 jährlicher Biogasproduktion und BHKW mit mehr als 1 MW Feuerungswärmeleistung sind als derartige genehmigungsbedürftige Anlagen eingestuft. Kleinanlagen der Erneuerbaren Energie, wie z.B. Wärmepumpen, Kleinwindanlagen und Wasserkraftanlagen, sind nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des BImSchG, können aber nach anderen Vorschriften, insbesondere nach Baurecht, einer Genehmigung bedürfen. Im Rahmen dieser anderen Genehmigungen werden in unterschiedlichem Umfang auch immissionsschutzrechtliche Anforderungen durch die Einholung einer Stellungnahme der Immissionsschutzbehörde berücksichtigt. Bei völlig genehmigungsfreien Anlagen erfolgt keine behördliche Präventivkontrolle des Immissionsschutzes – das heißt aber nicht, dass die materiellen Anforderungen des BImSchG nicht gelten, eine sachgerechte Anlagenplanung wie auch ein rechtskonformer Betrieb liegen dann in der Eigenverantwortung des Betreibers.

Unabhängig von einer Vorab-Prüfung im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens greift stets die Überwachungskompetenz der Immissionsschutzbehörde. Die Immissionsschutzbehörde kann jederzeit die Emissionen und Immissionen und die Einhaltung der Anforderungen des BImSchG überprüfen. Nachbarn haben die Möglichkeit, sich bei der Immissionsschutzbehörde über Schallimmissionen zu beschweren und haben einen Anspruch auf sachgerechte Überprüfung durch die Behörde. Stellt die Behörde bei ihrer Überwachungstätigkeit schädliche Umwelteinwirkungen fest, kann sie unter Prüfung der Verhältnismäßigkeit nachträgliche Anordnungen treffen. Die Verhältnismäßigkeitsprüfung muss zwar die Kosten ins Verhältnis zur erzielten Schallminderung setzen, dies schließt aber nicht von vorn herein Anordnungen aus, die mit erheblichen Kosten oder Ertragseinbußen verbunden sind oder Privatleute betreffen.

Nach dem BImSchG ist der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen die zentrale Pflicht der Anlagenbetreiber. Für genehmigungsbedürftige Anlagen besteht darüber hinaus die Verpflichtung, Vorsorge gegen das Entstehen von schädlichen Umwelteinwirkungen durch Einhalten des Standes der Technik zu treffen. In Bezug auf den Schallschutz konkretisiert die TA Lärm [5] diese Betreiberpflichten. Sie gelten für alle Anlagen der Erneuerbaren Energien, auch wenn diese nicht gewerblich, z.B. zu Heizzwecken im privaten Bereich, genutzt werden. Der Schutz vor erheblichen Belästigungen durch Geräusche wird durch die Einhaltung von Immissionsrichtwerten gewährleistet, die nach der Schutzwürdigkeit des betroffenen Gebietes und nach Tag- und Nachtzeiträumen abgestuft sind. Die Immissionsrichtwerte gelten grundsätzlich gleichermaßen für genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen, sie sind stets in Summe aller einwirkenden Anlagen einzuhalten. Für genehmigungsbedürftige Anlagen greift über die Einhaltung der Richtwerte hinaus der Vorsorgegrundsatz insbesondere durch die dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen. Bei Vorliegen von Gemengelagen können die für die dem Wohnen dienenden Gebiete geltenden Immissionsrichtwerte auf einen geeigneten Zwischenwert der für die aneinandergrenzenden Gebietskategorien geltenden Werte erhöht werden (siehe Ziffer 6.7 der TA Lärm).

Bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen kann bei gegebener Richtwerteinhaltung keine weitergehende Schallminderung gefordert werden. Vielmehr sind schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche nur insoweit zu verhindern, wie sie nach dem Stand der Technik vermeidbar sind und nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß zu beschränken. Besonders wichtig für Kleinanlagen der Erneuerbaren Energien sind die in Ziffer 4.3 der TA Lärm aufgezeigten organisatorischen Maßnahmen, mit denen Schallimmissionen gemindert werden können: Ein gut gewählter Aufstellungsort der Anlage und Betriebsbeschränkungen zur Nachtzeit können wesentlich zum Schallimmissionsschutz beitragen.

BImSchG und TA Lärm bieten also grundsätzlich die maßgebliche Rechts- und Bewertungsgrundlage auch für Anlagen der Erneuerbaren Energien. Bei WEA sowie genehmigungsbedürftigen Biogasanlagen und BHKW sind eine umfassende schalltechnische Prüfung im Genehmigungsverfahren nach Bundes-Immissionsschutzgesetz und eine lückenlose Erfassung ihrer Schallimmissionen sichergestellt. Für Kleinanlagen gibt es eine abgestufte Prüfintensität.

Umgang mit Kleinanlagen der Erneuerbaren Energien in Wohngebieten

Sowohl die Lage der Quellen im Wohngebiet als auch die kumulierende Wirkung vieler kleiner Anlagen lassen sich, wie oben aufgezeigt, prinzipiell mit den rechtlichen Werkzeugen des BImSchG [12] und der TA Lärm [5] bearbeiten. Vergleichbare Situationen gibt es insbesondere in Mischgebieten, in denen es eine Vielzahl von gewerblichen Kleinbetrieben in geringen Abständen zur Wohnnutzung gibt. Daher kennt das Immissionsschutzrecht Abschichtungen in der Prüfintensität, nicht jedoch in den materiellen Anforderungen, um einen Weg zwischen berechtigten Schutzinteressen und übermäßiger bürokratischer Kontrolle zu finden. Die Klimaanlage der Arztpraxis, die Frühanlieferung der Bäckerei, die Stellplätze des Versicherungsbüros und die Waschtrommeln der Reinigung unterliegen zwar auf Grund ihres gewerblichen Bezugs in der Regel im Baugenehmigungsverfahren einer systematischen schallimmissionsschutzrechtlichen Präventivkontrolle und Erfassung, diese ist jedoch weder lückenlos noch schließt sie Veränderungen dauerhaft aus, für privat betriebene Anlagen fehlt sie völlig. Die Kritik, dass bei kleinen, privat betriebenen Anlagen der Erneuerbaren Energien der Schallimmissionsschutz oft nur auf eine Beschwerde der Nachbarn hin eingehend geprüft wird, ist also zwar berechtigt, aber kein Spezifikum der Erneuerbaren Energien, sondern trifft genauso auf eine Vielzahl anderer Kleinanlagen zu. Eine Besonderheit einiger Anlagen der Erneuerbaren Energien (und Klimaanlagen) gegenüber dem in Wohngebieten zur Nachtzeit vorhandenen, sozial akzeptierten, verhaltensbezogenen Nachbarschaftslärm und dem auf einige Nachtstunden beschränkten Gastronomiebetrieb stellt ein möglicherweise durchgehender Nachtbetrieb bei unmittelbarer räumlicher Nähe dar. Die Einführung einer Genehmigungspflicht für Wärmepumpen erscheint trotzdem sowohl aus organisatorischen Gründen als auch aus Gründen der Gleichbehandlung mit vergleichbaren Schallquellen kein geeigneter Lösungsansatz.

Hinzu kommt, dass die derzeit anzuwendenden Beurteilungskriterien (die Regelungen der TA Lärm) für derartige Anlagen nicht geeignet erscheinen, um einen ausreichenden Schutz vor Geräuschbelastungen zu bieten. So werden Geräuschpegel durch entsprechende Geräte auch als störend beschrieben, wenn diese unterhalb des Nacht-Immissionsrichtwerts der TA Lärm für Allgemeine Wohngebiete (40 dB(A)) liegen. Die direkte Nähe und die Vielzahl der Anlagen, die aus verschiedenen Richtungen einwirken, dürften hierbei ebenso eine Rolle spielen, wie die Geräuschcharakteristik, die eventuell durch einen andauernden Nachtbetrieb und störende Schaltvorgänge der Anlagen sowie durch tonale und tieffrequente Geräuschanteile gekennzeichnet ist.

Das Immissionsschutzrecht kennt neben der Kontrolle einer individuellen Anlagenplanung das Instrument der Emissionsbegrenzung von in Serie hergestellten Maschinen und Anlagen. Dieses Instrument wird z.B. in der Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung – 32. BImSchV [14] verwendet. Es umfasst die Kennzeichnung des Gerätes mit der Angabe des maximalen Schallleistungspegels sowie – je nach Einstufung der Geräuschrelevanz – die Begrenzung des maximalen Schallleistungspegels für bestimmte Aggregate sowie die Begrenzung der zulässigen Betriebszeiten in Wohngebieten. Die Aufnahme von Wärmepumpen, Mini-BHKW und Kleinwindanlagen in die 32. BImSchV oder die Schaffung einer vergleichbaren Regelung würde daher einen großen Schritt bei der verbindlichen Fixierung des Standes der Lärmminderungstechnik für diese Anlagen bedeuten und Installateuren und Betreibern eine Vergleichsmöglichkeit verschiedener angebotener Anlagen ermöglichen. Über die reine Festlegung von Schallleistungspegeln und Betriebszeitenbeschränkungen hinaus könnten ähnlich wie in der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV [15] Anforderungen an die Beschaffenheit und den Betrieb der Anlagen und auch Übergangsregelungen zum Umgang und zu Austauschpflichten von bestehenden Altanlagen getroffen werden. Sollten diese Regelungen allein nicht ausreichen, könnte – um auch eine sachgerechte Installation und Wartung sicherzustellen – eine schalltechnische Prüfpflicht für diese schallrelevanten Anlagen in Analogie zur Prüfung des Schornsteinfegers bei Heizungssystemen mit Feuerungsanlagen oder zum Vorgehen von Sachverständigen gemäß der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen [16] bei Heizölverbraucheranlagen in Erwägung gezogen werden. Da eine bundesgesetzliche Regelung beispielsweise im Rahmen der 32. BImSchV trotz einer Bitte der Umweltministerkonferenz noch immer fehlt, entstand im Ergebnis eines Auftrags der Umweltministerkonferenz an die Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz kurzfristig ein Leitfaden zur Anwendung der TA Lärm, um damit zur Verbesserung der Vollzugspraxis bei der Einzelfallbeurteilung von stationären Geräten beizutragen. Der „LAI-Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten“ [17] soll die unteren Immissionsschutzbehörden bei der Einzelfallbeurteilung von Geräuscheinwirkungen durch Klimageräte, Kühlgeräte, Lüftungsgeräte, Luft-Wärme-Pumpen und Mini-Blockheizkraftwerke im Wohnumfeld unterstützen. Er ist im Internet verfügbar. Vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt wurde der Leitfaden in eine App umgesetzt [18].

Umweltauswirkungen der Erneuerbaren Energien

Im Unterschied zu den konventionellen Großkraftwerken entstehen durch den dezentralen und flächenhaften Charakter der Anlagen für Erneuerbare Energien nun auch in Wohngebieten und ländlichen Regionen Stromerzeugungsanlagen. Die von ihnen ausgehenden Umweltbelastungen rücken damit in das Bewusstsein der dortigen Bevölkerung. Auch wird die häusliche Wärmeversorgung durch Feuerungsanlagen auf Anlagentypen umgestellt, die vom menschlichen Gehör wahrnehmbare Schallimmissionen verursachen. Die Energiewende bringt es also mit sich, dass sich die Bürger intensiv und unmittelbar mit den Umweltfolgen ihres Energiekonsums auseinandersetzen müssen. Der mit der Energiewende verbundene Transformationsprozess löst damit auch eine intensive gesellschaftliche Diskussion aus.

Energiekonsum ohne jegliche Umweltauswirkung ist nicht möglich. Ziel der Umweltpolitik muss es sein, die Umweltauswirkungen zu minimieren und dabei alle Umweltaspekte systemisch zu betrachten. Eine Einengung der Bewertung der Erneuerbaren Energien auf Einzelaspekte, wie die CO_2-Bilanz einerseits oder die Schallimmissionen andererseits, wird daher dem Umweltschutzgedanken nicht gerecht. Die großflächige Ausbreitung von Luftschadstoffen durch fossile Kraftwerke steht einer großflächigeren Schallbelastung durch WEA und anderen Anlagen der Erneuerbaren Energien gegenüber. Auf der kleineren, durch die Schallimmissionen konventioneller Kraftwerke betroffenen Fläche wohnen in dichter städtischer Bebauung mehr Menschen als auf der großen ländlichen Fläche, die von Schallimmissionen von Windparks betroffen ist. Umfassende, fundierte Umweltbilanzen sind also komplex und in der öffentlichen Diskussion um die Energiewende noch zu wenig präsent.

Unabhängig davon, dass die Schallimmissionen von Anlagen der Erneuerbaren Energien im gesamten Umweltschutzkontext bewertet werden müssen, ist es selbstverständlich stets wichtig und richtig, jede einzelne Umwelteinwirkung, also auch die Schallimmission, zu betrachten und zu minimieren.

Wirkung durch Schallimmissionen der Erneuerbaren Energien

In den vergangenen 20 Jahren haben sowohl die Wirkungsforschung als auch die Immissionsschutzpraxis Erkenntnisse über wesentliche Faktoren der Wirkung von Schallimmissionen der Erneuerbaren Energien sammeln können.

Gemäß der WHO-Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region [19], veröffentlicht im Jahr 2018, zählen zu den entscheidenden (critical) gesundheitsbezogenen Beeinträchtigungen durch Umgebungslärm, zu dem auch der Lärm von Anlagen Erneuerbarer Energien gehört:

- Herz-Kreislauf-Erkrankungen,
- Beeinträchtigung kognitiver Leistung, insbesondere von Kindern,
- erhebliche Schlafstörung,
- Hörschäden, Tinnitus und
- erhebliche Lärmbelästigung.

Im Zusammenhang mit Lärmwirkungen von Windenergieanlagen (WEA) wird zudem auch von Kopfschmerzen, Übelkeit und Schwindel berichtet, die dem von WEA ausgehendem Infraschall zugeschrieben werden. Allerdings zeigen systematische Reviews von Lärmwirkungsstudien zum WEA-Lärm [20, 21], dass die Befundlage zu Assoziationen zwischen WEA-Lärm und Erkrankungsrisiken bzw. physischer Gesundheit von Anwohnern nach wie vor inkonsistent ist. Konsistent dagegen erweisen sich Untersuchungsergebnisse, wonach der WEA-Lärm unter Anwohnern im Umfeld dieser Anlagen eine deutliche Lärmbelästigung hervorruft und zwar im stärkeren Maße als es z.B. der Verkehrslärm vermag.

Lärmbelästigung meint hier eine komplexe, graduelle Reaktion lärmbetroffener Menschen, die oftmals wiederholte Störungen durch den Lärm erleben, verbunden mit Anstrengungen, diese Störungen zu minimieren, die mit negativen Gefühlen und Bewertungen der Schallquelle gegenüber reagieren und den Eindruck haben, die unangenehme Schallsituation nicht bzw. kaum abwenden zu können.

Soweit Studien über Schlafstörungen und eine Beeinträchtigung der selbstberichteten Lebensqualität durch den WEA-Lärm berichten, wird angenommen, dass diese Beeinträchtigungen durch die Lärmbelästigung der Anwohnenden vermittelt wird, sich hier also eine indirekte gesundheitsbezogene Wirkung des WEA-Lärms einstellt.

Die WHO hat in ihren Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region auf Basis des bis dahin zusammengetragenen Forschungsstands zur Wirkung von Umgebungslärm erstmals einen Leitlinienwert auch für Geräusche von Windenergieanlagen empfohlen. Die Empfehlung lautet, dass der WEA-Lärm einen Tag-Abend-Nachtpegel (L_{den}) in Höhe von 45 dB(A) nicht überschreiten sollte. Das Schutzniveau, welches im Rahmen des Genehmigungsverfahren für WEA durch den Nachweis der Einhaltung des nächtlichen Immissionsrichtwertes der TA Lärm für Kern-, Dorf- und Mischgebiete von 45 dB(A) sichergestellt wird, entspricht

praktisch der WHO-Empfehlung [22]. Für den Nachtzeitraum werden keine Empfehlungen ausgesprochen, da die Erkenntnisse zur Wirkung nächtlicher WEA-Geräusche zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Leitlinien zu inkonsistent sind. Die Empfehlungsstärke für den Leitlinienwert zum WEA-Lärm wird als „bedingt“ eingestuft, was der zum Veröffentlichungszeitpunkt der WHO-Leitlinien bestehenden Inkonsistenz des wissenschaftlichen Erkenntnisstands zur Gesundheitswirkung von WEA-Lärm geschuldet ist.

In Lärmwirkungsstudien wird immer wieder davon berichtet, dass die Lärmbelästigung von nicht-akustischen Kontextfaktoren beeinflusst wird, diese liegen

- in der Person (z.B. Alter, individuelle Lärmempfindlichkeit),
- in der Situation (z.B. verfügbare Schalldämmung am Wohngebäude, Rückzugsmöglichkeiten, Erholungsmöglichkeit im nahen Wohnumfeld, Grünanteil) oder auch
- in der sozialen Beziehung zwischen Lärmbetroffenen und Lärmverursachern oder für den Lärmschutz verantwortlichen Akteuren.

Damit verbunden sind Faktoren, wie z.B. Informiertheit von Lärmbetroffenen, Vertrauen in das Bemühen von Verantwortlichen, den Lärm zu verringern oder die Möglichkeit der Teilhabe von Lärmbetroffenen an Entscheidungsprozessen.

Bezogen auf Anlagen erneuerbarer Energien zeigen Studien zum WEA-Lärm, dass Personen höhere Lärmbelästigungen durch den WEA-Lärm angeben, deren Zuhause sich in direktem Blickkontakt zu einer Windenergieanlage befindet [23]. Im Gegenzug dazu fühlen sich Personen weniger belästigt, die einen finanziellen Vorteil aus einer Windenergieanlage ziehen. Dies entspricht auch früheren Untersuchungen zu Verkehrs- und Industrielärm, wobei ein finanzieller Vorteil nicht nur entsteht, wenn eine Person finanziell an der Anlage beteiligt ist, sondern auch dann, wenn sie einer Beschäftigung bei der Lärmquelle nachgeht. Dies führt zu einem weiteren wichtigen nicht-akustischen Einflussfaktor für die Bewertung des Lärms von Anlagen Erneuerbarer Energien: der Einstellung gegenüber der lärmverursachenden Quelle unabhängig von der physikalischen Höhe des Schallpegels.

Zum Beispiel kann man die abendliche Party des Nachbarn, mit dem man sich gut versteht, gut akzeptieren, während die gleiche Party eines Nachbarn, mit dem man im Streit liegt, unerträglichen Lärm verursacht.
Da über die Schallimmissionen von Anlagen der Erneuerbaren Energien zahlreiche Thesen im Internet, den Medien und der Öffentlichkeit kursieren, kommt neben der Einstellungsfrage noch ein weiterer wichtiger Aspekt hinzu: die Erwartungshaltung einer negativen Wirkung, der sogenannte „Nocebo-Effekt“. In gleicher Weise, wie ein Scheinmedikament, dem eine positive Wirkung zugeschrieben

wird (Placebo), diese positive Wirkung auch tatsächlich auslösen kann, obwohl das Medikament keinerlei Wirkstoff enthält, kann ein Scheinmedikament oder eine andere Intervention, denen eine negative Wirkung zugeschrieben wird (Nocebo), allein bereits auf Grund dieser mitgelieferten Information die negative Wirkung auslösen.

Es kommt auch vor, dass Anwohner auf Grund einer negativen Erwartungshaltung mitunter Geräusche den Anlagen für Erneuerbare Energien zuordnen, obwohl diese nicht von ihnen ausgehen.

Eine intensive Öffentlichkeits- und Aufklärungsarbeit, verbunden mit anschaulichen Vergleichen, praktischen Demonstrationen (wie die Überprüfung des Vorhandenseins eines Geräuschs nach Abschalten der kritisierten Anlage) und Hörversuchen, können zu einer Minderung der Lärmbelästigung beitragen.

Die Belästigungswirkung von Schallimmissionen der Anlagen für Erneuerbare Energien ist außerdem weniger durch die absolute Höhe des Schallpegels bedingt, sondern durch die relative Veränderung der Schallimmission. Die klassische, zentralisierte Energieerzeugungsanlage betrifft meist großstädtische Wohnflächen, die – nicht zuletzt durch die Schallimmissionen der Kraftwerke – als schlechte Wohnlagen gelten und mit denen daher eine erhöhte Schallimmissionsbelastung als normal verknüpft ist. Dahingegen werden Wärmepumpen in Neubaugebieten mit Einfamilienhäusern gebaut, Windparks betreffen Menschen im Außenbereich, die „im Grünen wohnen“ und in denen Industrielärm nicht erwartet wird. Einerseits bedeutet dies, dass in diesen Wohnlagen der Hintergrundpegel deutlich niedriger als in Ballungsräumen ist und daher die WEA-Geräusche leichter identifiziert und als störend erlebt werden können, andererseits ist das Wohnen „im Grünen“ oftmals mit einem höheren Ruheanspruch verknüpft. Weiterhin kann die Belästigungswirkung von WEA eher der spezifischen Geräuschcharakteristika zugeschrieben werden, als dem Schallpegel. Geräusche von WEA variieren unregelmäßig, sind nicht vorhersagbar und werden von der Windgeschwindigkeit und -richtung bestimmt.

Schließlich kommt hinzu, dass die Akzeptanz von Großanlagen der Erneuerbaren Energien wie Windparks, Biogasanlagen und Großwasserkraft, von vielen anderen Umwelteinwirkungen und sozialen Aspekten abhängt, so dass eine Verbesserung des Schallimmissionsschutzes allein keine umfassende Akzeptanz der Anlagen erzielen kann. Stattdessen kann sogar der umgekehrte Fall eintreten, dass die fehlende Akzeptanz für andersartige Beeinträchtigungen auch auf die für sich gesehen unkritische Schallimmission übertragen wird. An den Umweltschutzstandard der Anlagen für Erneuerbare Energien werden sehr hohe Erwartungen gestellt, die deutlich über denen konventioneller Industrieanlagen liegen.

WIRKUNG

Die aufgezeigten psychoakustischen und gesellschaftlichen Aspekte sind wichtige Wirkmechanismen, denen Beachtung gewidmet werden muss. Trotzdem darf natürlich der physikalische Schallschutz nicht vernachlässigt werden, eine weitgehende Reduzierung der faktischen Schallimmissionen ist und bleibt eine Kernaufgabe des Umweltschutzes. In den folgenden Kapiteln werden daher die akustischen Eigenschaften und Schallminderungsmöglichkeiten der verschiedenen Anlagentypen für Erneuerbare Energien eingehend betrachtet.

Das sollten Sie als Betreiber einer Anlage der Erneuerbaren Energie wissen:

- Auch bei Anlagen der Erneuerbaren Energien muss auf die Umwelteinwirkungen geachtet werden. Das zentrale Element sind meist die Schallimmissionen.
- Widmen Sie den Schallimmissionen Aufmerksamkeit bei der Auswahl und Planung Ihrer Anlage.
- Praktizieren Sie eine intensive Öffentlichkeitsarbeit und informieren Sie Anwohner Ihrer Anlage bereits vor dem Bau über alle relevanten technischen Fakten und rechtlichen Anforderungen.
- Denken Sie über Möglichkeiten der Teilhabe der betroffenen Bevölkerung an Entscheidungsprozessen zu den WEA-Anlagen oder an finanziellen Vorteilen durch die Anlagen nach.
- Seien Sie jederzeit für die Anwohner Ihrer Anlage ansprechbar, wenn diese Fragen haben oder sich belästigt fühlen.
- Die schalltechnischen Anforderungen richten sich nach dem BImSchG und der TA Lärm sowie ggf. weiteren anlagenspezifischen Regelwerken.
- Als Betreiber stehen Sie in der Verantwortung für die Schallimmissionen Ihrer Anlage und zwar nicht nur dann, wenn Sie ein professioneller Betreiber sind, sondern auch, wenn Sie einen Bürgerwindpark oder eine private Wärmepumpe betreiben. Die Immissionsschutzbehörde wird daher alle ggf. erforderlichen Maßnahmen oder Ahndungen an Sie richten.

Das sollten Sie als Anwohner einer Anlage der Erneuerbaren Energie wissen

- Gehen Sie mit einer offenen Einstellung an ein Erneuerbare Energien Projekt in Ihrer Nachbarschaft heran.
- Informieren Sie sich über die Schallimmissionen, die grundsätzlich von dem betreffenden Anlagentyp ausgehen. Achten Sie dabei unbedingt auf seriöse Quellen!
- Erfragen Sie Details zur Anlage vom Betreiber.
- Behalten Sie auch bei auftretenden Problemen eine sachliche Einstellung. Mit einer sachlichen Herangehensweise können Sie nicht nur zielgerichtet an einer Problemlösung arbeiten, sondern tragen auch zu Ihrem eigenen Wohlbefinden bei.
- Die bestehenden schallimmissionsschutzrechtlichen und -technischen Bewertungsmaßstäbe sind auch für Anlagen der Erneuerbaren Energien geeignet. Konzentrieren Sie sich daher zur Problemlösung auf die konkreten anlagentechnischen Mängel der in Ihrer Nachbarschaft errichteten Anlage. Grundsatzdiskussionen über Bewertungsmaßstäbe sind eine langfristige und von Einzelprojekten unabhängige Aufgabe und bringen für Ihr konkretes Problem kurzfristig keinerlei Erfolg.
- Ist Ihr Nachbar Betreiber der Anlage, wenden Sie sich zunächst an ihn, wenn Sie sich von der Anlage belästigt fühlen. Im direkten Kontakt lässt sich in guter Nachbarschaft meist eine schnellere, passendere und mitunter weitergehende Lösung finden als über das Einschalten der Immissionsschutzbehörde.
- Rechtlich gesehen haben Sie grundsätzlich Anspruch auf Einhaltung der Immissionsrichtwerte der TA Lärm, wobei im Einzelfall je nach örtlicher Situation behördlicherseits höhere Immissionsrichtwerte angesetzt werden können, als dies die TA Lärm im Regelfall für die konkrete Gebietsart vorsieht.
- Sie haben jederzeit die Möglichkeit, sich bei der zuständigen Immissionsschutzbehörde über die Schallimmissionen zu beschweren. Die Behördenzuständigkeiten sind in den Bundesländern unterschiedlich geregelt, oft sind für genehmigungsbedürftige Anlagen die Kreisverwaltung/das Landratsamt zuständig, für nicht genehmigungsbedürftige privat betriebene Anlagen die Gemeinde- oder Gemeindeverbandsverwaltung. Ihre Ortsgemeinde oder Stadtverwaltung leitet Sie mit Sicherheit gerne an die jeweils zuständige Immissionsschutzbehörde weiter.

Windenergieanlagen

Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen

Im Jahr 2021 waren in Deutschland an Land Windenergieanlagen (WEA) mit einer Gesamtleistung von rund 56 GW installiert [24]. Nach dem aktuellen Erneuerbare-Energien-Gesetz [4] sollen in Deutschland bis 2030 71 Gigawatt (GW) Windenergie an Land installiert sein. Ein höheres Ziel setzen die Langfristszenarien des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) mit 80 GW bis 2030 [25]. Mit dem Windflächenbedarfsgesetz [9] wird das Ziel, auf 2 Prozent der Fläche der Bundesrepublik Deutschland Standorte für Windenergieanlagen auszuweisen, mit Werten für ein Gesamtziel Ende 2032 und einem Zwischenziel 2026 für die Länder vorgegeben. Bis Mitte 2024 haben die Länder mit der Umsetzung durch Planfeststellungsbeschlüsse oder ein Herunterbrechen der Ziele auf die nachfolgende Planungsebene zu beginnen.

Bei Windenergieanlagen (WEA) sind zwei grundlegende Schallquellenarten zu unterscheiden. Generator, Getriebe, Umrichter, Azimutantriebe, Transformatoren und Lüfter verursachen als Maschinenbauteile Schallemissionen. Der Rotor erzeugt aeroakustische Schallemissionen.

Die Schallemissionen der Maschinenbauteile können mit den bewährten Methoden des konstruktiven Schallschutzes bearbeitet werden. Eine Schalldämmung der Gondel wirkt ergänzend als sekundäre Minderungsmaßnahme. Der Turm einer WEA kann wegen seiner großen Oberfläche zu einer relevanten sekundären Körperschallquelle werden, was durch konstruktive Maßnahmen verhindert wird, die eine Weiterleitung des Schalls der Maschinenbauteile in den

Turm unterbinden. Der Schallleistungspegel der Maschinenbauteile tritt an modernen WEA daher hinter die aerodynamischen Geräusche des Rotors zurück. Qualitativ minderwertige, defekte oder schlecht justierte Anlagenteile können jedoch zu Schallemissionen führen, die durch ihre auffällige Charakteristik besonders belästigend wirken können. Das bekannteste Beispiel hierfür sind tonale Komponenten von Getrieben. Aber auch nicht ausreichend

Abb. 8: Dominierende Schallquellen einer WEA in einer Aufnahme der Original Akustischen Kamera der gfai tech GmbH. Die Aufnahme der akustischen Kamera zeigt die Gondel mit den Maschinen und den Rotor als Schallquellen einer WEA. Die Farben und die Schalldaten des Diagramms verdeutlichen, dass die Schallemission der Gondel gegenüber derjenigen des Rotors zurücktritt.

justierte Bremsen, schlecht gewartete Azimutantriebe oder falsch montierte Verkleidungen können quietschende, schleifende oder schlagende Geräusche verursachen. Auf Grund der speziellen Charakteristik der Geräusche lässt sich die Ursache gezielt ermitteln und durch Wartung, Reparatur oder Tausch des betroffenen Teils beheben.

Bei Windenergieanlagen dominiert das Strömungsgeräusch an den Rotorblättern. Sowohl an der Vorder- als auch an der Hinterkante des Rotorblattes entsteht durch die Luftströmung Schall. Löst sich die Luftströmung von der Blattoberfläche ab, verursacht dies ebenfalls Schallemissionen, genauso wie die Strömungswirbel, die durch das Aufeinandertreffen der Strömungen der Blattober- und -unterseite an der Blattspitze entstehen. Zur Minderung der aerodynamischen Geräusche kann auf Basiswissen aus der Flugzeugtechnik zurückgegriffen werden, jedoch haben inzwischen die Hersteller von WEA und verschiedene öffentliche Forschungseinrichtungen umfangreiches Know-how, speziell für die Akustik von WEA-Rotoren aufgebaut. Der Schallleistungspegel von WEA hat sich zu einem zentralen Qualitätsmerkmal und somit Verkaufsargument eines WEA-Typs entwickelt, so dass Herstellerfirmen ein originäres Interesse an „leisen“ WEA haben und sich daher intensiv mit der Akustik ihrer

Anlagen in Entwicklung und Betreuung des Betriebs beschäftigen. Um die Forschung und Entwicklung methodisch zu verbessern, werden neben Untersuchungen von Modellen im Windkanal und Prototypen im Freifeld verstärkt numerische Verfahren eingesetzt, die eine frühzeitige Berücksichtigung der Akustik bei der Entwicklung neuer Rotorblätter ermöglichen. Dabei ist festzustellen, dass die strömungsmechanische und die akustische Optimierung nicht miteinander einhergehen, sondern oft sogar gegenläufig sind.

Die Drehbewegung der drei Rotorblätter erzeugt eine für WEA typische modulierte Geräuschcharakteristik, die als Rotorblattschlagen, „swish“, Amplitudenmodulation oder periodischer Schall diskutiert wird. Die Begrifflichkeiten werden derzeit noch nicht klar definiert verwendet, auch beginnt erst eine Feindifferenzierung der verschiedenen Varianten dieser Geräuschcharakteristik, die zukünftig ggf. zu einer Unterscheidung zwischen einem typischen, unauffälligen Rotorblattrauschen und einer auffälligen, auf besondere Verhältnisse hinweisenden Modulation führen könnte. Das modulierte Rotorblattgeräusch stellt keine klassische Impulshaltigkeit im Sinne der TA Lärm [5] dar, so dass dafür in der Regel kein

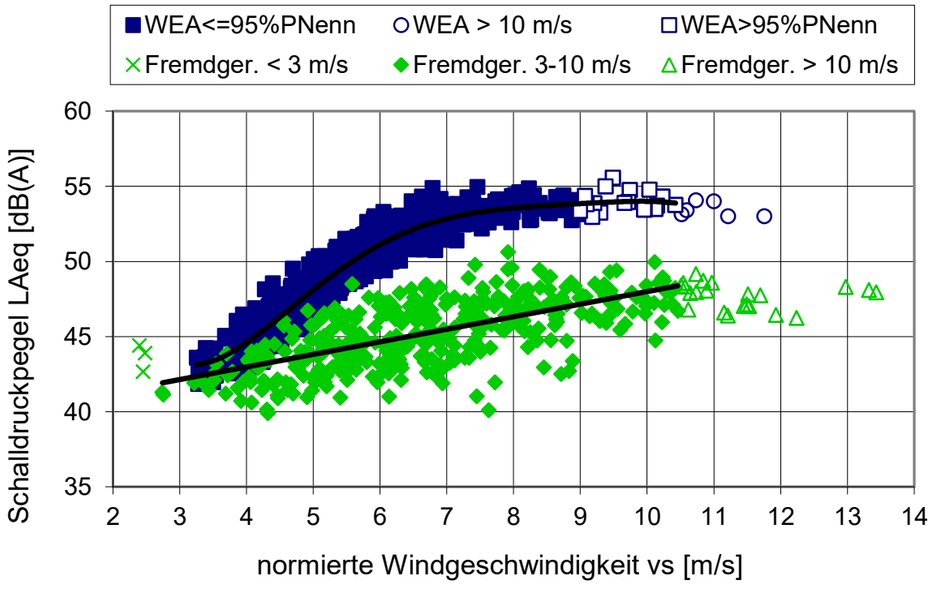


Abb. 9: Schalldruckpegel einer WEA in ca. 130 m Abstand sowie Hintergrundgeräusch in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

Impulszuschlag anzuwenden ist. Die Entstehung amplitudenmodulierter Geräusche von Windenergieanlagen und deren Einfluss auf die Geräuschwahrnehmung der Anwohnerinnen und Anwohner wurden in einem vom Umweltbundesamt beauftragten Forschungsvorhaben mit dem Titel „Geräuschwirkungen bei der Nutzung von Windenergie an Land“ untersucht [23].

Im Unterschied zu den Schallemissionen der Maschinenbauteile, die mit steigender Leistungsabgabe einer WEA nur wenig steigen, nehmen die aerodynamischen Geräusche stark mit steigender Drehzahl und damit steigender Leistung der WEA zu. Da die Drehzahl von der Windgeschwindigkeit abhängt, ergibt sich somit auch eine mittelbare Abhängigkeit der Schallemission einer WEA von der Windgeschwindigkeit. Bei modernen WEA wird die Leistung durch das Verdrehen der Rotorblätter geregelt (englisch: pitch). Diese Anlagen erreichen ihre maximale Schallemission im Bereich der Nenndrehzahl (und damit Nennleistung), die ab diesem Punkt auch bei weiter steigender Windgeschwindigkeit nicht weiter zunimmt. In der Abhängigkeit der Schallemission von der Drehzahl liegt daher eine steuerungstechnische Möglichkeit der Schallreduzierung von WEA. In speziell programmierten schallreduzierten Betriebsmodi wird die Drehzahl einer WEA bei einem definierten Wert unterhalb der Nenndrehzahl festgehalten, so dass sie auch bei weiter zunehmendem Wind nicht weiter ansteigt. Somit steigt auch die Schallemission nicht weiter an – allerdings auch nicht die elektrische Leistung. Schallreduzierte Betriebsmodi sind somit immer mit Energieertragseinbußen verbunden. Durch schallreduzierte Betriebsmodi lassen sich Schallreduzierungen zwischen 2 und etwa 8 dB(A) erzielen, wobei gilt: Je stärker die Schallreduzierung desto stärker die Energieertragseinbuße. Windparks können durch geschickte Verteilung der Schallreduzierungen auf die einzelnen WEA eines Parks, sowie die Wahl des für diese Konfiguration ertragreichsten WEA-Typs akustisch-wirtschaftlich optimiert werden.

Nicht nur die Windgeschwindigkeit und die Drehzahl, sondern auch die Anströmbedingungen haben Auswirkungen auf die aerodynamische Schallentstehung. Hier spielen die Windscherung, Temperaturschichtung oder Turbulenzintensität eine Rolle. An manchen Immissionsorten in bestimmten örtlichen und meteorologischen Situationen kommt es vor, dass in großer Höhe starker Wind herrscht, während in Bodennähe kaum Wind spürbar ist. Dort sind die WEA-Geräusche häufig gut hörbar, da die WEA mit hoher Leistung laufen und verdeckende Windgeräusche kaum vorhanden sind.

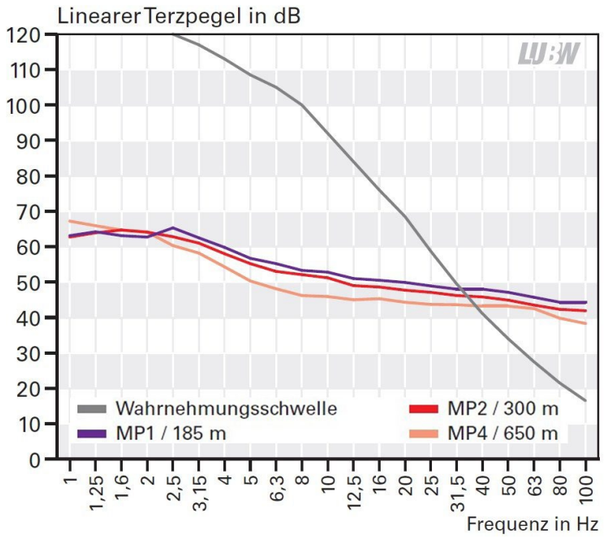


Abb. 10: Infraschall und trieffrequente Geräusche von WEA: Infraschallimmissionen von WEA liegen deutlich unter der Wahrnehmungsschwelle und heben sich meist kaum vom Hintergrundpegel durch Wind- und Vegetationsgeräusche oder vom Geräuschen der Wohnumgebung ab

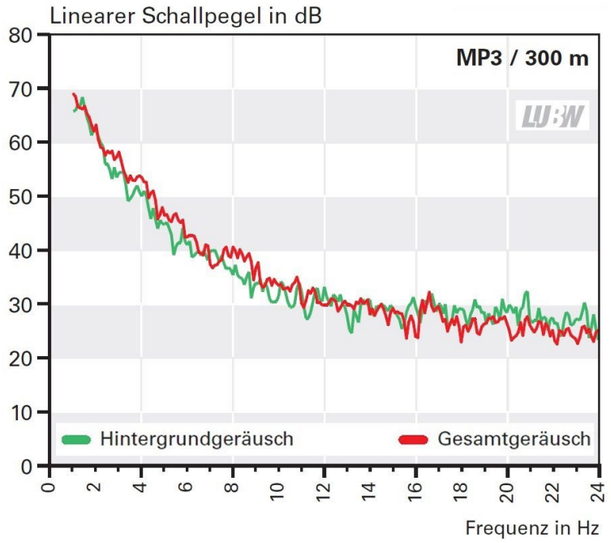


Abb. 11: Hintergrundgeräusch und Gesamtgeräusch im Frequenzbereich des Infraschalls bei einer Entfernung von 300 m zur WEA

Infraschall bei Windenergieanlagen

WEA emittieren auch tieffrequenten Schall und Infraschall mit Pegeln unterhalb der Wahrnehmungsschwelle. Bereits der Wind selbst verursacht hohe Schallpegel im tieffrequenten Bereich, welche oft fälschlicherweise den WEA zugeschrieben werden. Die Wirkungsforschung hat bisher keine negativen Wirkungen bei tieffrequenten Geräuschen unterhalb der Wahrnehmungsschwelle feststellen können, weist jedoch darauf hin, dass etwa 2–5 % der Bevölkerung eine um etwa 10 dB niedrigere Wahrnehmungsschwelle haben und daher auch bei niedrigeren Schallpegeln – aber stets oberhalb der individuellen Wahrnehmungsschwelle – reagieren. Messungen der letzten Jahre bestätigen Pegel für Schallimmissionen von WEA im Infraschallbereich, die so gering sind, dass sie auch eine um 10 dB abgesenkte Wahrnehmungsschwelle weit unterschreiten [26, 27]. Dem folgt auch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) nach der Korrektur von Fehlern bei der Auswertung [28, 29].

Negative Auswirkungen von reinem Infraschall auf den Menschen konnten bisher nur wissenschaftlich abgesichert belegt werden, wenn die Hör- bzw. Wahrnehmungsschwelle bei den jeweiligen Frequenzen überschritten wurde. In Studien, in denen ausschließlich Infraschall unterhalb der Hörschwelle vorlag, konnten keine gesundheitsschädlichen Wirkungen auf den Menschen beobachtet werden [30].

Für die Praxis folgt daraus, dass die sich aus den Anforderungen der TA Lärm [5] ergebenden Mindestabstände für WEA so groß sind, dass der von den Anlagen ausgehende Infraschall in den Ortslagen weit unterhalb der menschlichen Wahrnehmungsschwelle liegt. Auch messtechnisch ist ab etwa 700 m der Infraschall, der von der Windenergieanlage ausgeht, in der Regel nicht mehr vom Hintergrundschall zu unterscheiden. Das heißt, der gemessene Infraschall stammt oberhalb dieser Entfernungen überwiegend vom Wind und anderen Quellen und nicht vom Betrieb der Windenergieanlagen.

Emissions- und Immissionsmessungen

Die Messung des Schallleistungspegels von WEA erfolgt gemäß den Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte (Richtlinie der Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (FGW), derzeit in der Revision 19 [31], auf der Grundlage des Messverfahrens nach DIN EN 61400-11 [32]). Die Messungen decken den für die Schallemission maßgeblichen Windgeschwindigkeitsbereich vom Teillast- bis zum Volllastbetrieb ab. Neben den A-bewerteten, immissionsrelevanten Schallleistungspegeln in den einzelnen Windgeschwindigkeitsklassen sind auch die Terzspektren des Schallleistungspegels für die Terzbänder mit den Mittenfrequenzen von 10 Hz bis 10 kHz zu ermitteln, wie auch eventuelle Ton- und Impulszuschläge für den Nahbereich der Anlage. Die dabei eingesetzten Messgeräte müssen die Anforderungen nach DIN EN 61672 [33] für Messgeräte der Klasse 1 erfüllen. Die Tonhaltigkeitswerte werden mithilfe von Schmalbandspektren (FFT-Spektren) bestimmt. Auch eventuell auftretende Impulse werden bei der Emissionsmessung erfasst und berücksichtigt. Messungen des Schallleistungspegels können unabhängig von der Windrichtung jederzeit durchgeführt werden, sofern der Referenzmesspunkt (in Windrichtung hinter der WEA) zugänglich und geeignet ist und ein ausreichender Störgeräuschabstand vorliegt. Das Messverfahren nach DIN EN 61400-11 hat sich inzwischen in langjähriger Praxis bewährt. Es hat eine geringe Wiederholstandardabweichung und bietet mit der Vielzahl an ermittelten anlagen- und schalltechnischen Daten eine gute und umfassende Beurteilungsgrundlage.

Es ist inzwischen etablierter Standard, dass WEA-Hersteller an den ersten errichteten Anlagen eines neuen WEA-Typs den Schallleistungspegel der WEA nach dem dargestellten Verfahren von akkreditierten Messinstituten vermessen lassen. Die Ergebnisse dieser

WIND

Typvermessungen stehen dann als Eingangsdaten für Immissionsprognosen konkreter Windparkprojekte zur Verfügung.

In größeren Entfernungen ist der Schalldruckpegel der WEA oft bereits so weit abgesunken, dass windinduzierte Geräusche oder andere Störgeräusche, wie Straßenverkehr u.ä., genauso laut oder sogar lauter sind als das WEA-Geräusch, das somit messtechnisch nicht mehr sicher erfasst werden kann. Immissionsmessungen auf einen Immissionsrichtwert von 35 oder 40 dB(A) sind daher i.d.R. nur in ruhigen Wohnlagen möglich. Dies steht nicht im Widerspruch dazu, dass Anwohner und Messingenieure die WEA-Geräusche am Immissionsort noch klar erkennen können, da das menschliche Gehör Geräusche auf Grund ihrer Charakteristik und der Einfallsrichtung unterscheiden und somit aus einer Geräuschkulisse heraushören kann, während ein einzelnes Messmikrofon die Einfallsrichtung eines Signals nicht differenziert. Des Weiteren kann eine Immissionsmessung erschwert oder ganz unmöglich sein, wenn die örtlichen Bedingungen am Immissionsort keinen geeigneten Messplatz bieten oder der Immissionsort in einer Windrichtung von der WEA liegt, die nur selten auftritt, so dass sehr lange Wartezeiten entstehen können, bis eine ordentliche Messung möglich ist. Sofern überhaupt Immissionsmessungen durchgeführt werden, werden sie daher meist an Ersatzmessorten und als Langzeitmessung über mehrere Tage oder Wochen durchgeführt. Eine schallharte Platte kann als Abschirmung des Mikrofons gegenüber Störgeräuschquellen hilfreich sein. Auch bei Immissionsmessungen sollte in Analogie zur Emissionsmessung das Fremdgeräusch durch Messung während des Stillstandes der WEA ermittelt und vom Gesamtgeräuschpegel subtrahiert werden. Ebenso sollte, soweit möglich, der Betriebszustand der WEA während der Messung an Hand der Daten aus der Anlagensteuerung dokumentiert werden. Da zur Nachtzeit meist besonders ausbreitungsgünstige Bedingungen und weniger Störgeräusche vorliegen, sollten Immissionsmessungen unbedingt auch nach Sonnenuntergang durchgeführt werden.

Dauermessstationen bieten die Möglichkeit, lange Messzeiträume zu realisieren und so Auffälligkeiten der Geräuschcharakteristik, die nur zeitweise auftreten, zu erfassen. Windinduzierte Fremdgeräusche lassen sich jedoch meist nicht ausreichend korrigieren, so dass auf Basis des mit einer Dauermessstation ermittelten Schalldruckpegels meist nicht rechtssicher über eine Überschreitung des Immissionsrichtwertes entschieden werden kann.

Ausbreitungsrechnung

WEA mit einer Gesamthöhe ab 50 m benötigen eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung nach dem BImSchG [12]. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist nachzuweisen, dass von dem Betrieb der Anlagen keine schädlichen Umwelteinwirkungen ausgehen werden. Bestandteil der Genehmigungsanträge ist daher immer eine Schallimmissionsprognose, die auf Typvermessungen beruht und stets den gesamten Windpark sowie ggf. andere gewerbliche Anlagen also Vor-, Zusatz- und Gesamtbelastung erfasst und den Anforderungen der TA Lärm [5] entspricht.

Die Prognosen müssen nachvollziehbar und nachprüfbar sein. Beurteilungsrelevant ist nach Abschnitt A.1.2 a der TA Lärm diejenige Betriebsart und diejenige Betriebsphase, die zu dem höchsten Beurteilungspegel führt. Die TA Lärm verweist bezüglich der Schallausbreitungsrechnung auf den Entwurf der DIN ISO 9613-2 [34]. Der Anwendungsbereich dieser Norm ist jedoch auf „bodennahe" Schallquellen beschränkt. Diese Voraussetzung ist bei WEA nicht gegeben, wie umfangreiche messtechnische und theoretische akustische Untersuchungen belegen.

Diese Untersuchungsergebnisse sowie zusätzlich theoretische Schallausbreitungsberechnungen mit nicht-genormten Expertenmodellen im Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS) des DIN führten zur Entwicklung und im Jahr 2015 zur Veröffentlichung der Dokumentation zur Schallausbreitung [35].

Das Interimsverfahren erweitert den Anwendungsbereich der DIN ISO 9613-2, indem die Besonderheiten der Schallausbreitung hochliegender Quellen Berücksichtigung finden. Damit führt der Verweis der TA Lärm auf die DIN ISO 9613-2 auch bei WEA zu einem geeigneten Prognosemodell. Die Bodendämpfung wird zukünftig nicht berücksichtigt, da sie bei den üblichen Quellen-Empfänger-Konfigurationen nur in einem für den A-bewerteten Gesamtschallpegel nicht relevanten Frequenzbereich wirksam ist.

Bei der Schallausbreitung ist die atmosphärische Dämpfung durch die Luftabsorption stark frequenzabhängig. Die hohen Geräuschanteile werden stärker gedämpft als die tieferen. Das Interimsverfahren berücksichtigt, wie sich das Spektrum der Geräusche von Windenergieanlagen während der Ausbreitung verändert.

Die LAI hat den Ländern auf ihrer 134. Sitzung die überarbeiteten Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen [36] zur Anwendung empfohlen. In den Bundesländern wird die Anwendung dieser Hinweise in der Regel mittels Erlasses für ihre nachgeordneten Behörden verbindlich vorgeschrieben. Damit wird unter anderem die Verwendung des Interimsverfahrens zur Prognose der Geräuschimmissionen von Windkraftanlagen, Fassung 2015-05.1 (Interimsverfahren) verbindlich eingeführt.

Das Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG [12] stellt eine umfassende Prüfung der Umweltauswirkungen, also auch der Schallimmission, sicher. Eine Immissionsprognose, die auf Typvermessungen beruht und stets den gesamten Windpark sowie ggf. andere

WIND

gewerbliche Anlagen also Vor-, Zusatz- und Gesamtbelastung nach TA Lärm [5] erfasst, ist zum Standard geworden. Viele Behörden fordern darüber hinaus die Berücksichtigung der Unsicherheit der Immissionsprognose zu Lasten des Antragstellers und lassen den Nachtbetrieb erst nach Vorlage einer Typvermessung zu. In einigen Bundesländern ist diese Vorgehensweise auch in speziellen Windenergie-Erlassen festgeschrieben. WEA sind in Serie hergestellte Anlagen, so dass Typvermessungen eine Stichprobe aus dieser Serie herausgreifen. Liegen noch wenige Vermessungsberichte vor oder ist bereits bekannt, dass ein bestimmter Anlagentyp eine große Serienstreuung oder häufig Tonhaltigkeiten aufweist, dann ist die Durchführung einer Messung indiziert, mit der der Anlagenbetreiber die Einhaltung der Werte für die Schallpegel aus dem Genehmigungsbescheid nachweist. Daher ist es für WEA-Hersteller nicht sinnvoll, Typvermessungsberichte auf Berichte mit besonders niedrigen, für die Serie aber nicht repräsentativen Schallleistungspegeln zu selektieren, da dies beim messtechnischen Nachweis auffallen und den Anlagenbetreibern – als Kunden des Herstellers mit Garantieansprüchen – Probleme bereiten wird.

Die Steuerungseinheiten von WEA schreiben in regelmäßigen Zeittakten die aktuellen Betriebsdaten, zu denen auch die elektrische Leistung, die Drehzahl und die Windgeschwindigkeit gehören, mit. Die Überwachung der Einhaltung einer schallreduzierten Betriebsweise zur Nachtzeit lässt sich daher über die Kontrolle der registrierten Betriebsdaten einfach und sicher gewährleisten.

Kleinwindanlagen

Eine allgemeingültige Definition, die Kleinwindenergieanlagen (KWEA) von großen WEA abgrenzt, gibt es derzeit noch nicht. Aus technischer Sicht werden KWEA an Hand ihrer Größe oder Leistung klassifiziert, während Behörden meist zwischen nach BImSchG [12] genehmigungsbedürftigen WEA als Groß-WEA mit mehr als 50 m Gesamthöhe und baugenehmigungspflichtigen als KWEA mit 50 m oder weniger Gesamthöhe unterscheiden. In einigen Bundesländern sind darüber hinaus KWEA mit maximal 10 m Anlagenhöhe baugenehmigungsfrei.

Die Schallentstehungs- und Minderungsmechanismen sind bei KWEA prinzipiell dieselben wie bei großen WEA. Die gegenüber großen WEA noch kaum erfolgte konstruktive Optimierung sowie die deutlich geringere Material- und Fertigungsqualität sowie die Kostenlimitierung führen jedoch dazu, dass KWEA im Verhältnis zu der von ihnen erzeugten elektrischen Leistung überproportional hohe Schallleistungspegel emittieren. Bei KWEA existiert eine Vielzahl von Bauformen, neben den Horizontalachsenanlagen mit 2 bis 10 Rotorblättern gibt es auch die

Abb. 12: Kleinwindenergieanlage

verschiedensten Anlagentypen mit vertikaler Achse. Vertikalachsenanlagen sind tendenziell etwas leiser, womit allerdings auch ein geringerer Leistungsbeiwert, also ein geringerer Wirkungsgrad, verbunden ist. Nach bisherigem Erfahrungsstand liegen die Schallleistungspegel von KWEA meist bei 75 bis 95 dB(A) und sind daher derzeit für den Einsatz in Wohngebieten mit kurzen Abständen und strengen Immissionsrichtwerten noch zu laut, können jedoch in Gewerbe- und Industriegebieten sowie im Außenbereich und eingeschränkt auch in Mischgebieten eingesetzt werden.

Wenn KWEA nachts betrieben werden sollen, so kann der Nachweis der Richtwerteinhaltung nach TA Lärm nur auf Basis eines belastbaren Emissionsmessberichts (z.B. auf Grundlage von Anhang F aus [31]) und einer darauf basierenden Ausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613-2 geführt werden.

Fazit und Ausblick

Die Schallimmissionen von Windenergieanlagen sind bereits mit Beginn der ersten Ausbauwelle in der Mitte der 1990er Jahre ins Blickfeld gerückt. Hersteller, Forschungsinstitute und Behörden haben seitdem an diesem Thema gearbeitet, so dass heute ein guter und gesicherter technischer und rechtlicher Standard des Schallschutzes bei großen Windenergieanlagen erreicht ist, der in mancher Hinsicht sogar über dem Niveau der klassischen Industrieanlagen liegt. Durch fortgesetzte Bearbeitung neuer oder noch verbleibender Fragestellungen wie z.B. Messkonzepte für Windenergieanlagen im Wald, Verbesserungsmöglichkeiten für Ausbreitungsrechnungen oder Ursachenanalyse und Betrachtung der Belästigungswirkung der modulierten Geräuschcharakteristik trägt der Schallimmissionsschutz auch weiterhin zur Erhöhung der Akzeptanz von Windenergieanlagen bei. Auch wenn schalltechnische Aspekte inzwischen bei der gesellschaftlichen Bewertung von Windenergieanlagen gegenüber Landschafts- und Naturschutzaspekten und Fragen der Verteilungsgerechtigkeit in den Hintergrund getreten sein mögen, so lassen sich die Erfolge bei der Geräuschminderung nur dann fortsetzen, wenn das erreichte Niveau des Schutzes der Nachbarschaft und Allgemeinheit vor Geräuschen beibehalten wird und ingenieurtechnische Innovationen, die zur Geräuschminderung an Windenergieanlagen beitragen, zügig umgesetzt werden.

Das sollten Sie als Betreiber einer Windenergieanlage wissen:

- Die Schallimmissionen Ihrer WEA sind ein zentraler Aspekt des Projektes.
- Sparen Sie weder an der Schallimmissionsprognose noch bei der Wahl des Messinstitutes für eine Abnahmemessung. Da die Schallemission eng mit der Leistung Ihrer WEA verknüpft ist, haben Fehler hierbei unmittelbare Konsequenzen für die Wirtschaftlichkeit Ihrer Anlage. Der Akzeptanzverlust bei den Anwohnern kommt dann noch hinzu.
- Die Minimierung des prognostizierten Beurteilungspegels durch Ausschöpfung von Sonderregelungen und ggf. Reduzierung oder Verzicht auf Sicherheitszuschläge kann bereits bei der Prüfung der Immissionsschutzbehörde oder aber im Rahmen einer gerichtlichen Nachbarklage scheitern und erhöht das Risiko, bei einer Abnahmemessung die Einhaltung der Genehmigungsauflagen nicht nachweisen zu können und nicht einkalkulierte Nachbesserungen vornehmen zu müssen.
- Lassen Sie sich nach Möglichkeit den in der Genehmigung Ihrer WEA festgelegten maximalen Schallleistungspegel durch den Anlagenhersteller garantieren.
- Kontrollieren Sie direkt bei Inbetriebnahme der WEA und nach Wartungsarbeiten, ob der ggf. erforderliche schallreduzierte Betriebsmodus zur Nachtzeit eingerichtet ist.
- Kontrollieren Sie Ihre WEA regelmäßig auf eine auffällige Geräuschcharakteristik (pfeifen, quietschen, rattern, tonale Komponenten) und lassen Sie Auffälligkeiten umgehend vom technischen Service überprüfen.

Das sollten Sie als Behörde über Windenergieanlagen wissen:

Als Baubehörde:
- Beteiligen Sie bei WEA, die der Baugenehmigungspflicht unterliegen, die Immissionsschutzbehörde am Genehmigungsverfahren.

Als Immissionsschutzbehörde:
- Die schalltechnische Beurteilung von WEA basiert grundsätzlich auf der TA Lärm, weist jedoch diverse Besonderheiten auf. Hierzu gibt es umfangreiche Informationen und Regelungen in Form von Normen, Erlassen, Rechtsprechung und Fachliteratur. Tauschen Sie sich mit erfahrenen Kollegen aus.
- Leiten Sie sich aus diesen Informationen eine einheitliche Vorgehensweise und einen Anforderungskatalog für WEA ab und machen Sie diese für alle Beteiligten transparent.
- Akzeptieren Sie keine WEA ohne Typvermessung. Akzeptieren Sie nur qualifizierte Schallprognosen und Abnahmemessungen von anerkannten Messstellen, die nachweislich Erfahrungen mit der Messung von WEA haben.
- Legen Sie die wichtigsten schalltechnischen Merkmale der WEA in der Genehmigung fest (Betriebsweise zur Nachtzeit, maximaler Schallleistungspegel, Freisein von Ton- und Impulshaltigkeit).
- Richtwertüberschreitungen zur Nachzeit kann wirksam mit einer (weitergehenden) Abregelung des Betriebs der WEA zur Nachtzeit begegnet werden.

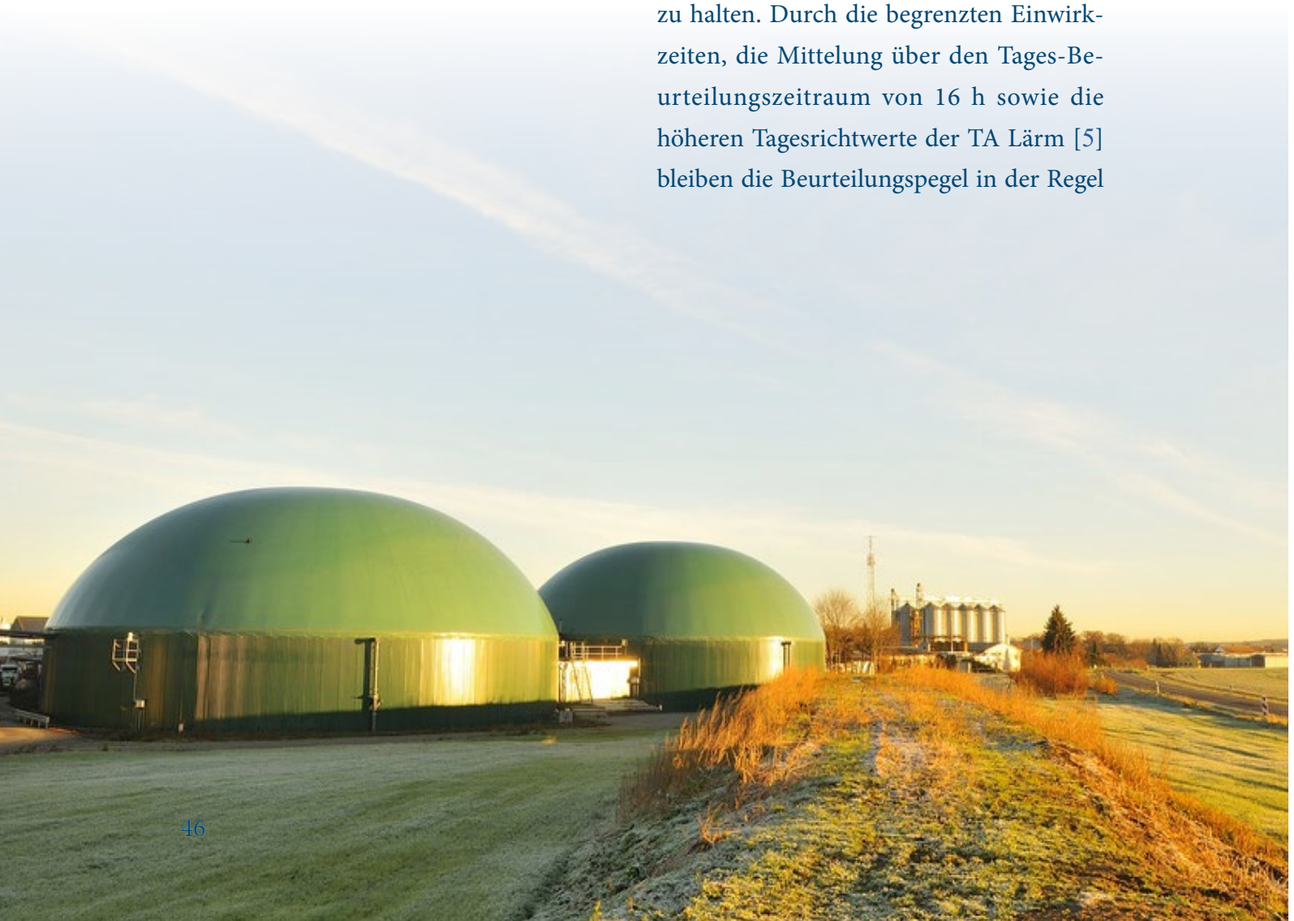
Biogasanlagen

Im Jahr 2022 waren in Deutschland etwa 9 800 Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 5 800 MW installiert [37]. Entsprechend der jeweiligen Agrarstrukturen sind die Anlagen unterschiedlich über das Bundesgebiet verteilt. Aktuell ist der weitere Ausbau der Biogasanlagen gering, insgesamt sehen viele Ausbauszenarien das weitere Ausbaupotenzial als begrenzt an.

Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen

Schallemissionen von Biogasanlagen lassen sich in Fahrzeugbewegungen und anlagenbedingte Schallemissionen unterteilen.

Fahrzeugbewegungen finden üblicherweise nur zur Tageszeit statt. Sie umfassen stets die Rangiertätigkeit mit einem Schlepper oder einem Radlader für die tägliche Befüllung der Biogasanlage, die etwa 30–60 min dauert. Je nach den eingesetzten Gärsubstraten und der betrieblichen Organisation kommen tägliche Anlieferungen von Gärsubstraten und Abtransporte von Gärresten hinzu. Eine gute Anlagenplanung hilft, Fahrtstrecken möglichst kurz zu halten. Durch die begrenzten Einwirkzeiten, die Mittelung über den Tages-Beurteilungszeitraum von 16 h sowie die höheren Tagesrichtwerte der TA Lärm [5] bleiben die Beurteilungspegel in der Regel



deutlich unter dem Immissionsrichtwert. Bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen wird der Großteil der nachwachsenden Rohstoffe (NawaRo) einmal im Jahr zur Erntezeit angeliefert und siliert, was mit intensiven Fahrzeugbewegungen und Tätigkeiten auf dem Betriebsgelände und somit erhöhten Schallimmissionen verbunden ist. An vielen Standorten können trotzdem auch zur Erntezeit die Immissionsrichtwerte nach Nr. 6.1 der TA Lärm eingehalten werden. Ist die Einhaltung nicht möglich, greift Nr. 7.2 der TA Lärm, nach der eine Überschreitung der Immissionsrichtwerte an wenigen Tagen im Jahr durch Erntearbeiten als sog. „seltenes Ereignis“ zulässig ist. Die Beurteilung des Fahrzeugverkehrs außerhalb des Anlagengrundstücks auf öffentlichen Verkehrswegen erfolgt nach Nr. 7.4 der TA Lärm nur in Dorf-, Misch- und Wohngebieten, nicht jedoch im Außenbereich oder in Gewerbe- und Industriegebieten. Eine Erhöhung der vorhandenen Verkehrsgeräusche um mindestens 3 dB(A) wird selbst von den täglichen Transporten zu großen, industriellen Biogasanlagen regelmäßig nicht erreicht, so dass diese Fahrzeugbewegungen nach TA Lärm unbeachtlich sind. Von Rührwerksantrieben, Pumpen, Feststoffeintragssystemen und ähnlichen Kleinaggregaten gehen anlagenbedingte Schallemissionen aus. Sie werden jedoch ebenfalls nicht durchgehend, sondern nur intervallweise betrieben.

Die an die Biogasanlage angeschlossenen Blockheizkraftwerke (BHKW) laufen hingegen im Dauerbetrieb auch während der Nachtzeit und stellen somit das zentrale schalltechnisch relevante Aggregat von Biogasanlagen dar. Verbrennungsmotoren einschließlich Generator erreichen Schallleistungspegel von über 100 dB(A). Motor und Generator werden jedoch stets in geschlossenen Räumen aufgestellt, so dass die Schallimmission wirksam durch Schalldämmung und -dämpfung begrenzt werden kann. Gebäude mit massivem Mauerwerk bieten grundsätzlich eine bessere Schalldämmung als Container. Werden nicht mehr benötigte Wirtschafts- oder Stallgebäude mit angegriffener Bausubstanz oder Leichtbauweise als BHKW-Raum umgenutzt, gibt es jedoch kaum noch Vorteile gegenüber schalltechnisch hochwertig ausgeführten BHKW-Containern. Die Zu- und Abluftöffnungen der Zwangslüftung des BHKW-Raumes stellen sowohl durch das Strömungsgeräusch als auch als Auslass für das Motorengeräusch Schwachstellen in der schalldämmenden Wirkung des Raumes dar und müssen daher mit Schalldämpfern ausgestattet werden. In räumlich engen Lagen zum nächsten maßgeblichen Immissionsort sollten die Zu- und Abluftöffnungen nach Möglichkeit auf der vom Immissionsort abgewandten Gebäudeseite angeordnet werden. Schallkritisch sind meist die Anlagenteile des BHKW,

die sich außerhalb des Aufstellungsraums befinden. Der Abluftkamin erzeugt hohe Schallleistungspegel und kann tonhaltig sein, so dass der Einbau eines gezielt an das Frequenzspektrum angepassten Schalldämpfers unerlässlich ist. Kühler stellen ebenfalls relevante Schallquellen dar, so dass sie in schalltechnisch kritischen Lagen nach Möglichkeit an einem durch Gebäude oder die Fermenter abgeschirmten Ort anstatt auf dem Dach des BHKW-Raumes aufgestellt werden sollten. Darüber hinaus kann die Schallemission der Kühler durch konstruktive Maßnahmen, Drehzahlregelung und ggf. zusätzlich aufgesetzte Schalldämpfer reduziert werden. Generell sollte auf einen guten Wartungszustand geachtet werden, da schlecht gewartete Aggregate oft erhöhte Schallemissionen verursachen und Schalldämpfer im Motorenabgas eine begrenzte Lebensdauer haben.

Von BHKW können typischerweise tieffrequente Geräusche ausgehen. Verbrennungsmotoren können bedingt durch die Taktung und Drehzahl des Motors auch Tonalitäten im tieffrequenten Bereich aufweisen. Neben Maßnahmen des konstruktiven Schallschutzes sind hierbei vor allem eine schwingungsentkoppelte Aufstellung des Motors und ggf. der Kühler sowie eine akustische Entkopplung des Abgaskamins unerlässlich. Bei Kühlern kann eine geschickte Drehzahlregelung hilfreich sein. Die eingesetzten Schalldämpfer sollten daher – besonders in schallkritischen Lagen – auch im tieffrequenten Bereich ausreichend wirksam sein. Hierzu stehen sowohl für den Abgaskamin als auch für die Zu- und Abluftöffnungen akustische Lösungen durch spezielle Tieftonschalldämpfer (z.B. Resonanz- oder

Abb. 13: BHKW „Marke Eigenbau“ mit Komponenten geringer Qualität und offenen Wanddurchbrüchen

Abb. 14: Professionelles Biogas-Containermodul mit hochwertigem Lüfter und wirksamen Schalldämpfern an Zu- und Abluftöffnungen

Reflexionsschalldämpfer, aber auch spezielle Absorptionsschalldämpfer) zur Verfügung.

Mit einer schalltechnisch hochwertigen, qualifiziert ausgelegten und ausgeführten Schalldämmung und Schalldämpfung lassen sich die Schallimmissionen von BHKW also stark reduzieren, so dass selbst in kurzen Abständen Wohngebietswerte zur Nachtzeit eingehalten werden und somit sowohl Biogasanlagen in Dorfgebieten als auch über Biogasnetze versorgte Satelliten-BHKW im Siedlungsbereich möglich sind. BHKW werden heute von spezialisierten Fachfirmen als komplettes Container-Gesamtmodul mit allen technischen Aggregaten und Schallschutzausrüstung angeboten. Dabei sind die Komponenten aufeinander abgestimmt und es existieren qualifizierte Herstellerangaben zur Schallemission des Moduls. Oft werden die Komplettmodule in verschiedenen Varianten mit abgestufter Schallschutzausrüstung angeboten, so dass für schallkritische Standorte die besonders leise Ausführungsvariante gewählt werden kann. Die eigene, individuelle Zusammenstellung eines BHKWs aus den einzelnen Komponenten erfordert eine qualifizierte schalltechnische Planung. Unzureichend ausgelegte Systeme oder sogar eine rein zufällige Zusammenstellung von zueinander unpassenden Aggregaten, selbstgebaute Schalldämpfer, aus anderen Anwendungen übrig gebliebene Lüfter, nicht verschlossene Wanddurchbrüche und ähnliche Unzulänglichkeiten führen in der Praxis zu Problemen. Derartige Anlagen spiegeln jedoch nicht den Stand der Lärmminderungstechnik von BHKW wider und rechtfertigen daher nicht die Forderung von großen Mindestabständen von Biogasanlagen oder Satelliten-BHKW als einzig mögliche Lösung des Schallschutzes.

Notfackeln haben hohe Schallleistungspegel und somit ein erhebliches Belästigungspotenzial. Sie gehören jedoch nicht zum Regelbetrieb der Anlage, sondern werden nur in Notsituationen für begrenzte Zeitintervalle betrieben und sind somit gemäß der generellen Ausnahmeklausel der Nr. 7.1 der TA Lärm zur Abwehr von Gefahren in betrieblichen Notsituationen grundsätzlich zulässig. Zwar kann der Schallleistungspegel von Notfackeln durch konstruktive Maßnahmen in gewissem Umfang reduziert werden, die wichtigste Maßnahme zur Begrenzung der Schallimmission ist aber eine gute verfahrenstechnische Auslegung der Biogasanlage, so dass die Notfackel gar nicht erst zum Einsatz kommen muss.

In [38] wurde der Stand der Lärmminderungstechnik von Biogasanlagen gemäß Nr. 2.5 der TA Lärm vor allem im Hinblick auf die jeweilige Anlagengröße ermittelt. Dabei werden die wesentlichen Geräuschquellen und deren Besonderheiten detailliert untersucht und Möglichkeiten zu Schallschutzmaßnahmen genannt.

Genehmigung und Überwachung

Je nach Einsatzstoffen, Größe und Zuordnung der Biogasanlage zu einem landwirtschaftlichen Betrieb können Biogasanlagen genehmigungsbedürftige oder nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des BImSchG [12] darstellen. Beide Anlagenkategorien werden einer behördlichen Vorabkontrolle im BImSchG- oder Baugenehmigungsverfahren unterzogen und müssen die Anforderungen der TA Lärm [5] einhalten. Da es sich bei Biogasanlagen um modular aufgebaute Anlagen handelt und größere Biogasanlagen oft aus einer Vielzahl an Modulen bestehen, die auch in kleineren Biogasanlagen eingesetzt werden, kann ein einheitlicher Stand der Lärmminderungstechnik weitgehend unabhängig von der Anlagengröße vorausgesetzt werden. Auch einzelne Module zeigen keine eindeutige Abhängigkeit des immissionsrelevanten Schallleistungspegels von der Leistung des Moduls.

Die Erfahrungsberichte mit Schallimmissionen von Biogasanlagen zeigen deutliche bundeslandspezifische Unterschiede. In Süddeutschland dominieren kleine Biogasanlagen, die häufig von Landwirten in Eigenleistung geplant und gebaut werden und nicht über ausreichenden Schallschutz verfügen. Daraus resultiert eine Vielzahl von Beschwerden in den südlichen Bundesländern. In anderen Regionen liegt der Schwerpunkt der Anlagen in deutlich höheren Leistungsbereichen, was meist eine Professionalisierung mit sich bringt. Ein regional ansässiger, namhafter BHKW- oder Biogasanlagenhersteller trägt ebenfalls zur Verbreitung eines einheitlich höheren Qualitätsniveaus bei. Darüber hinaus werden Biogasanlagen in einigen Bundesländern in Baugenehmigungsverfahren nur einer immissionsschutzrechtlichen Prüfung mit geringerer Prüftiefe unterzogen als in BImSchG-Genehmigungsverfahren. Die reale stark divergierende Immissionssituation ist bei Biogasanlagen daher weniger von noch ungelösten schalltechnischen Problemen bestimmt, sondern eher von der Umsetzung der zur Verfügung stehenden schalltechnischen Möglichkeiten durch Behörden, Errichter und Betreiber der Anlagen.

Da auch in der nicht fachgerechten Installation von gut geplanten Schallminderungseinrichtungen Ursachen für Immissionsschutzprobleme liegen, sollte in immissionskritischen Fällen nach Inbetriebnahme der Anlage vom Anlagenbetreiber der messtechnische Nachweis der Einhaltung der Geräuschimmissionswerte des Genehmigungsbescheides gefordert werden. Bestehende Altanlagen mit unzureichendem schalltechnischem Standard sind eine nicht zu unterschätzende Aufgabe für die Überwachungstätigkeit der Immissionsschutzbehörden.

Fazit und Ausblick

Die Schallimmissionen von Biogasanlagen sind im Außenbereich mit den üblichen großen Abständen von mehr als 100 m zum nächstgelegenen fremden Wohnhaus nur wenig problematisch. Immissionskritische Lagen wie z.B. Drubbellagen, Dorfgebiete, Nähe zum Ortsrand oder auch Satelliten-BHKW im Siedlungsbereich mit kurzen Abständen zu den maßgeblichen Immissionsorten erfordern eine anspruchsvolle schallschutztechnische Planung und Ausführung der Anlage, für die der Stand der Lärmminderungstechnik ausreichende Werkzeuge bietet. Der wesentliche Schritt zur Verbesserung der realen Schallimmissionssituation liegt in der konsequenten Anwendung der schalltechnischen Möglichkeiten durch Behörden, Anlagenhersteller und Betreiber, sowohl im Rahmen der Planung und Genehmigung als auch des Betriebs und der Überwachung von Biogasanlagen.

Abb. 15: Biogasanlage

Das sollten Sie als Betreiber einer Biogasanlage wissen:

- Wenn Ihr nächster Nachbar weniger als 150 m von Ihnen entfernt wohnt, ist ihre Anlage in Hinsicht auf die Schallimmissionen genauer zu untersuchen.
- Holen Sie sich dazu Rat von Fachleuten ein. Anlagenhersteller und Fachplaner sollten Grundwissen im Schallschutz haben und in kritischen Fällen mit spezialisierten Ingenieurbüros für Schallschutz zusammenarbeiten. Auch Ihre Immissionsschutzbehörde unterstützt Sie bei Fragen des Schallschutzes.
- Wählen Sie den Standort des BHKW möglichst auf der vom Nachbar abgewandten Seite der Biogasanlage bzw. Ihrer Hofstelle.
- Verzichten Sie auf selbst zusammengebaute oder umgerüstete BHKW. Später erforderliche Nachbesserungen sind meist viel teurer und aufwändiger, als der Kauf eines Moduls oder die Errichtung von einem namhaften Hersteller. Lassen Sie sich die immissionsrelevanten Schallleistungspegel vom Hersteller garantieren – damit sind Sie viele Sorgen los.
- Einfach „irgendeinen Schalldämpfer“ von der Stange zu kaufen und einzubauen bringt oft nicht die erhoffte Wirkung und kann schlimmstenfalls völlig wirkungslos bleiben. Lassen Sie sich auch hier qualifiziert beraten und wählen Sie einen speziell auf Ihre Anlage und die aufgetretenen schalltechnischen Probleme abgestimmten Schalldämpfer.
- Achten Sie unbedingt auf eine schwingungsentkoppelte Aufstellung des Motors und die Entkopplung weiterer Bauteile. Auch diese Entkoppelung muss fachgerecht ausgeführt werden.

Das sollten Sie als Behörde über Biogasanlagen wissen:

Als Baubehörde:
- Beteiligen Sie unbedingt im Baugenehmigungsverfahren jeder Biogasanlage die Immissionsschutzbehörde.

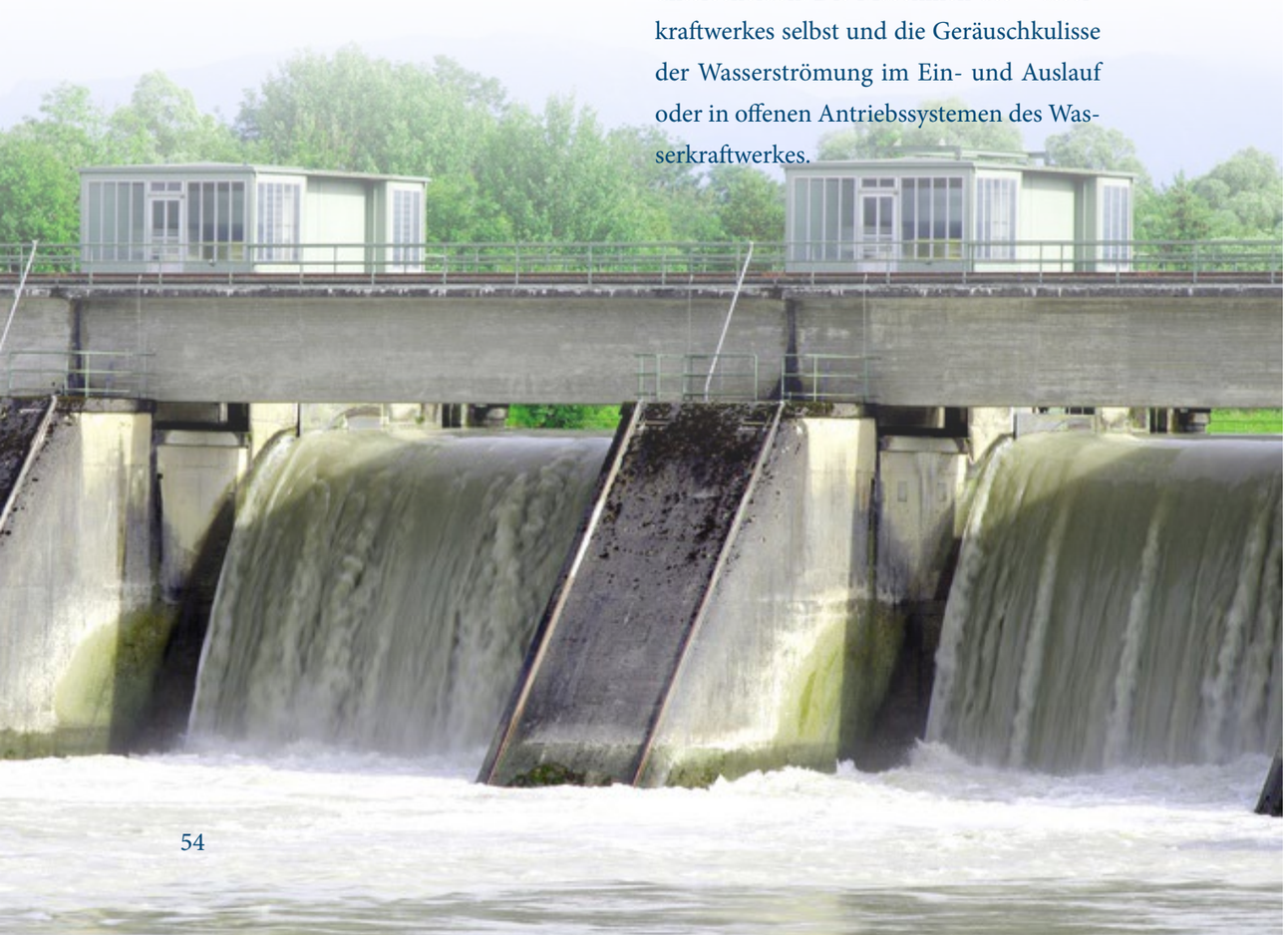
Als Immissionsschutzbehörde:
- Begrenzen Sie Fahrzeugbewegungen an der Biogasanlage auf die Tagzeit.
- Das BHKW ist das zentrale schalltechnische Aggregat der Biogasanlage. Lassen Sie sich hierzu technische Datenblätter des Herstellers vorlegen, die auch die immissionsrelevanten Schallleistungspegel und die Ausrüstung des BHKW mit Schallminderungsmaßnahmen umfasst.
- Über Immissionsprognosen lassen sich in schallkritischen Lagen maximal zulässige Schallleistungspegel und Mindestdämmaße von Bauteilen ermitteln.
- Akzeptieren Sie – auch bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen – keine BHKW, die den Stand der Lärmminderungstechnik nicht einhalten. Staffeln Sie die Anforderungen ggf. nach dem Abstand zum nächsten Immissionsaufpunkt.

Wasserkraft

Derzeit gibt es etwa 7 600 Wasserkraftanlagen in Deutschland, von denen lediglich gut 300 Anlagen mittlere und große Wasserkraftanlagen sind und der Rest auf Kleinanlagen mit weniger als 100 kW Leistung entfällt. Mit 80 % der installierten Leistung befindet sich der Schwerpunkt der Wasserkraftnutzung in Baden-Württemberg und Bayern. Weitere Ausbaupotenziale werden in erster Linie in der Modernisierung und Reaktivierung bestehender Anlagen sowie in der Nutzung bestehender Querbauwerke gesehen.

Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen

Die Geräuschentstehungsmechanismen bei Groß- und Kleinwasserkraftwerken sind prinzipiell vergleichbar. Da Großwasserkraftwerke in großen Entfernungen zu Siedlungsgebieten liegen, sind sie aus Sicht des Schallschutzes unkritisch. Kleinwasserkraftwerke und ggf. auch Kraftwerke bis in den Leistungsbereich von einigen Megawatt hinein befinden sich jedoch auch in unmittelbarer Nähe oder sogar innerhalb von Siedlungsgebieten und können Anlass zu Beschwerden geben Bei der Wasserkraft sind zwei verschiedene Geräuschquellen zu unterscheiden: Die Maschinen des Wasserkraftwerkes selbst und die Geräuschkulisse der Wasserströmung im Ein- und Auslauf oder in offenen Antriebssystemen des Wasserkraftwerkes.



Wasserkraftwerke bestehen aus einer Turbine oder einem anderen Antriebssystem, wie z.B. einem Wasserrad, einem Rotor oder einer Wasserschnecke, die einen Generator mit oder ohne Getriebe antreiben. Hohe Drehzahlen und schwere bewegte Massen bei Turbinen, Antriebssystemen und Generatoren (und Getrieben) verursachen Schallemissionen, die auch tonale Frequenzen enthalten können. Die Luftschallausbreitung kann wirksam mit den bekannten Methoden der Abdeckung, Kapselung und Einhausung unterbunden werden. Die Einhausung von Turbinenkraftwerken ist generell üblich, während Wasserschnecken und Wasserräder meist offen ausgeführt werden und somit im Einzelfall die Erforderlichkeit einer Kapselung zu prüfen ist.

Das Hauptproblem bei Kleinwasserkraftwerken bildet die Schallausbreitung in Form von Körperschall, bei dem sich der Schall über den Boden des Aufstellungsraums oder andere feste Körper, wie z.B. Rohrleitungen, ausbreitet und dann in baulich verbundenen oder benachbarten Wohnhäusern wieder als sekundärer Luftschall abgestrahlt wird. Daher ist die Unterbrechung der Körperschallausbreitung bei Wasserkraftwerken von großer Wichtigkeit. Klassischerweise wird dies durch eine Schwingungsentkopplung des Aggregats von anderen Bauteilen erreicht. Je nach Bauart der Turbine oder des Antriebssystems ist eine unmittelbare Schwingungsentkopplung des Aggregats allerdings nicht möglich. Stattdessen kann an schallkritischen Standorten die elastische Lagerung des Fundaments des Maschinenraums erfolgen, ggf. ergänzt um eine Entkopplung der aufgehenden Wände. Hiermit kann für den Maschinenraum ein hoher Isolierungsgrad, auch für tiefe Frequenzen, erzielt werden. Ist weder eine Entkopplung der Aggregate noch des Maschinenraums möglich – z.B. dann, wenn das Wasserkraftwerk schon besteht – kann die Körperschallausbreitung auch auf dem Ausbreitungsweg unterbrochen oder aber das betroffene Wohnhaus entkoppelt werden. Letzteres bietet sich insbesondere dann an, wenn die Immissionsprobleme nicht durch ein neu geplantes Wasserkraftwerk, sondern durch neue Wohneinheiten, die nah an ein bestehendes Wasserkraftwerk heranrücken sollen, erzeugt werden.

Abb. 16: Wasserkraftwerk (Kleinanlage)

Neben den Maschinen ist das Wasser selbst eine Geräuschquelle. Wie belästigend die Wassergeräusche empfunden werden, hängt oft davon ab, wie laut diese vor Installation

des Wasserkraftwerkes bereits waren. Gab es bereits ein Querbauwerk, Wasserstufen oder einen durch natürliche Gegebenheiten unruhigen Wasserlauf, ist die wahrgenommene Veränderung gering, während bei zuvor ruhigem und gleichmäßigem Strömungsverlauf durch ein Wasserkraftwerk erstmalig rauschende oder platschende Geräusche entstehen. Ein- und Ausläufe von Wasserkraftwerken sollten daher strömungstechnisch so gestaltet werden, dass wenig Verwirbelungen des Wassers mit Luft erzeugt werden. Fallhöhen am Auslauf sollten minimiert werden. Ebenso sollte ein schwallartiger, ungleichmäßiger Wasserauslauf, der durch das rhythmische Geräusch besonders störend wirkt, vermieden werden. Bei Wasserrädern und Wasserschnecken kann eine Modifizierung der Schaufelform eine Schallreduzierung erbringen. Dabei kann durch die Anpassung des Anstellwinkels der Schaufel vermieden werden, dass die Schaufeln im Unterwasser mit ihrer Fläche auf die Wasseroberfläche schlagen und so ein rhythmisches patschendes Geräusch verursachen. Wasserschnecken können darüber hinaus problemlos gekapselt werden.

Eine Abdeckung von Ein- und Auslaufbauwerken hilft jedoch nur, wenn diese so gestaltet werden kann, dass keine pegelerhöhenden Schallreflexionen auftreten. Können die maschinen- und wasserbedingten Geräusche durch die aufgezeigten Maßnahmen nicht ausreichend gemindert werden, bleibt als letzte Möglichkeit eine Leistungsreduzierung oder vollständige Abschaltung der Wasserkraftanlage zur Nachtzeit.

Fazit und Ausblick

Bei Wasserkraftanlagen fokussiert sich die Betrachtung der Umwelteinwirkungen auf die Aspekte des Gewässer- und Naturschutzes, Schallschutzaspekte treten dagegen in den Hintergrund. Wasserkraftanlagen sind oft historische Anlagen, die daher eine Akzeptanz genießen, die unabhängig von der Einhaltung der Richtwerte der TA Lärm [5] ist. Bei Veränderungen der bestehenden Situation durch Ertüchtigung brachliegender Anlagen, Leistungssteigerungen oder Neueinrichtungen von Wohneinheiten müssen jedoch die heutigen Schallschutzstandards beachtet werden.

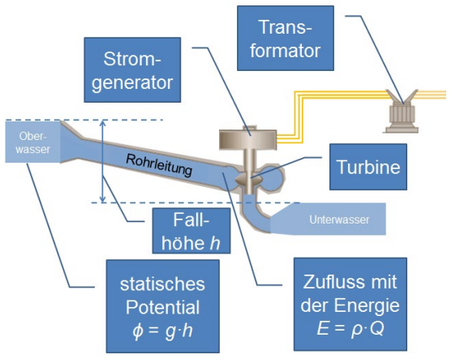


Abb. 17: Schema Wasserkraftnutzung

$$P_{el} = \eta\, g\, h\, \varrho\, Q$$

P_{el}	elektr. Leistung	[W]
η	Wirkungsgrad	[-]
g	Erdbeschleunigung	[m/s²]
ρ	Dichte des Wassers	[kg/m³]
Q	Wasservolumenstrom	[m³/s]

Das sollten Sie als Betreiber einer Kleinwasserkraftanlage wissen:

- Machen Sie sich bewusst, dass nachträgliche Schallschutzmaßnahmen an einer Wasserkraftanlage nur begrenzt möglich sind. Deshalb kommt es entscheidend auf eine gute schalltechnische Planung im Vorfeld der Errichtung der Anlage an.
- Falls Sie eine Flexibilität hinsichtlich des Standortes haben, wählen Sie den Standort möglichst weit entfernt von der nächstgelegenen Wohnbebauung aus.
- Wenn Sie hinsichtlich des Standortes keine Wahlmöglichkeiten haben, prüfen Sie alternative Anlagentypen von Wasserkraftanlagen – verschiedene Bauweisen und Techniken sind unterschiedlich schallrelevant.
- Sorgen Sie für eine umfassende, möglichst vollständige schalltechnische Entkoppelung der einzelnen Aggregate oder der gesamten baulichen Anlage.
- Denken Sie auch an den Einlauf und Auslauf der Anlage, denn auch verwirbeltes und herabfallendes Wasser kann laut sein.
- Verzichten Sie auf die Wohnnutzung in baulich verbundenen und sehr nahe stehenden Gebäuden. Schalten Sie sich frühzeitig in Bebauungsplanverfahren oder Baugenehmigungsverfahren ein, mit denen fremde Wohnbebauung an Ihre Wasserkraftanlagen heranrücken soll und weisen Sie auf den möglichen Immissionskonflikt hin.

Geothermieanlagen

Geothermieanlagen werden unterschieden nach Anlagen der tiefen Geothermie und Anlagen für die oberflächennahe Geothermie. Letztere sind allgemein bekannt unter der Bezeichnung Erdwärmepumpen.

Im August 2021 waren in Deutschland 42 Kraftwerke der tiefen Geothermie mit insgesamt 359 MW Leistung zur Wärmeversorgung und 45 MW elektrischer Leistung in Betrieb. 4 Anlagen waren in Bau, 34 weitere in Planung [39].

Ende 2021 waren in Deutschland etwa 435 000 Erdwärmepumpen installiert, die rund 10 TWh Wärmeenergie jährlich zur Verfügung stellen. Der Absatz hatte 2021 eine Zahl von 150 000 neuer Anlagen pro Jahr erreicht. Die Absatzzahlen für neue Anlagen der oberflächennahen Geothermie beginnen seit 2022 jedoch wieder zu sinken, weil sich der Wärmepumpenmarkt zu den Luftwärmepumpen hin verlagert [40].

Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen

Bei Geothermieanlagen ist zwischen Geräuschen, die durch die Bohrungstätigkeit beim Bau der Anlage entstehen, und Geräuschen im Anlagenbetrieb zu unterscheiden.

Der Umfang der Bohrtätigkeit hängt entscheidend von der zu erreichenden Tiefe und der Zahl der erforderlichen Bohrungen ab. Die weit verbreitete oberflächennahe Geothermie erfordert Tiefen von wenigen Metern bis etwa 100 m, während die tiefe Geothermie je nach den geologischen Gegebenheiten und der angestrebten Nutzung bis in Tiefen von mehreren tausend Metern vordringt. Dementsprechend unterschiedlich ist auch die Geräuschbelastung durch die Bohrtätigkeit, die sich sowohl hinsichtlich des eingesetzten Geräts als auch der Dauer der Bohrung deutlich unterscheidet. Bohrungen für Erdwärmepumpen zur Versorgung von Wohnhäusern sind üblicherweise innerhalb eines oder weniger Tage abgeschlossen, während Bohrungen für die tiefe Geothermie mehrere Wochen oder sogar Monate beanspruchen. Bei Baustellen für Erdwärmepumpen ist daher i.d.R. kein erhöhter Schallschutz erforderlich, sofern die Bohrtätigkeit auf die Tageszeit beschränkt bleibt. Bei Tiefenbohrungen an schallkritischen Standorten gehören der Einsatz von lärmarmen Maschinen und die Einrichtung von mobilen Lärmschutzwänden zu einer sorgfältigen Baustellenplanung. Der Verzicht auf Bohrarbeiten zur Nachtzeit muss gegen die damit verbundene Verlängerung der Bauzeit zur Tageszeit abgewogen werden. Sofern ein Zeitraum von wenigen Tagen und Nächten ausreicht und nur eine überschaubare Anzahl von Anwohnern betroffen ist, kann diesen angeboten werden, für diesen Zeitraum in ein Hotel umzusiedeln. Insgesamt ist eine frühzeitige und umfassende Kommunikation mit den Anwohnern wichtig, um eine Akzeptanz für die vorübergehende Schall- und sonstige Belästigung der Bohrungsbaustelle zu erzielen.

In der Betriebsphase sind rein geothermische Anlagen als schalltechnisch unkritisch anzusehen. Bei Erdwärmepumpen zur Wärmeversorgung von Gebäuden verursachen

der Kompressor und das Entspannungsventil Schallemissionen. Diese werden innerhalb von Gebäuden aufgestellt, schallkritische Außenbauteile sind technisch nicht erforderlich. Auch bei der rein thermischen Nutzung der oberflächennahen oder Tiefengeothermie – z.B. in Form von natürlichen Thermalquellen oder anderen hydrothermalen Nutzungsformen – befinden sich die oberirdischen Anlagenteile, z.B. Pumpen und Steuerungseinheiten, in der Regel innerhalb von Gebäuden, ggf. verlaufen Rohrleitungen außerhalb der Gebäude. Die genutzten Bauteile sind aus dem klassischen Maschinenbau bekannt und können daher hinsichtlich ihrer Schallemission grundsätzlich mit den bekannten Mitteln des konstruktiven Schallschutzes optimiert werden. Ergänzend dazu können sekundäre Schallschutzmaßnahmen durch Kapselung der Aggregate und schwingungsentkoppelte Aufstellung in ggf. noch zusätzlich schallgedämmten Räumen erfolgen. Damit stehen umfassende Werkzeuge zur Verfügung, mit denen auch die Einhaltung strenger Immissionsrichtwerte bei der Nutzung von Erdwärmepumpen in Wohngebieten und anderen innerstädtischen geothermischen Anlagen gewährleistet werden kann. Soll die Geothermie zur Stromerzeugung genutzt werden, entsteht

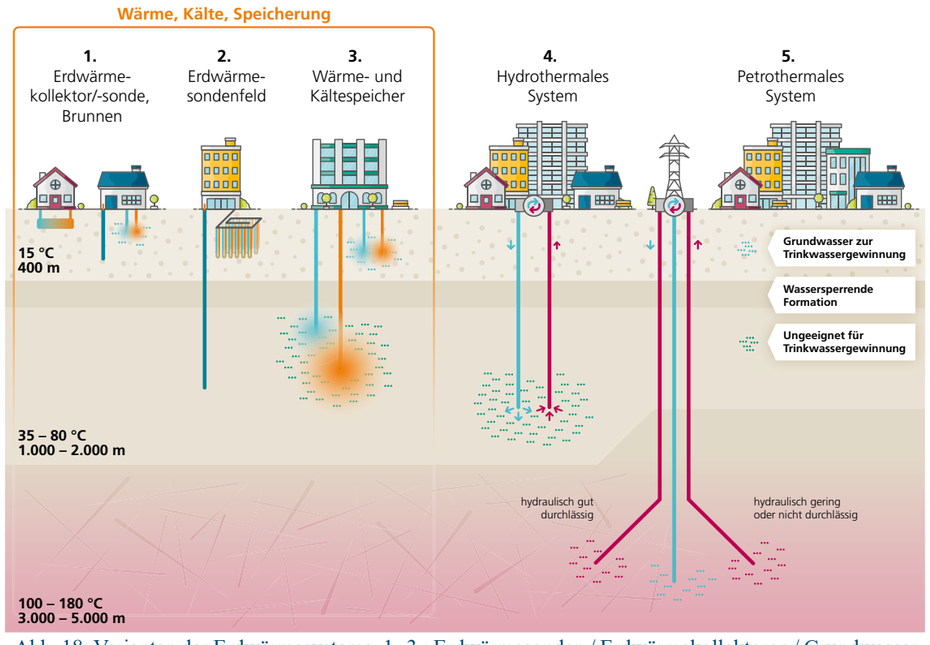


Abb. 18: Varianten der Erdwärmesysteme. 1.-3.: Erdwärmesonden / Erdwärmekollektoren / Grundwasserbrunnen zur Gewinnung und Speicherung Wärme und Kälte aus oberflächennahen geologischen Formationen bis 400 m. 4., 5.: Tiefengeothermische Anlagen bis 5000 m Tiefe.

oberirdisch ein Geothermiekraftwerk. Dieses ist vom Prinzip – jedoch nicht in den Dimensionen – vergleichbar mit konventionellen Kraftwerken: Die geothermisch gewonnene Wärme wird auf ein Arbeitsmittel übertragen, das weiter überhitzt wird, eine Turbine antreibt und danach wieder heruntergekühlt wird, um erneut den Kreislauf zu durchlaufen. An die Stelle der fossil befeuerten Verbrennungseinheit tritt der Förder- und Injektionskreislauf des geothermisch erhitzten Wassers.

Da es sich bei Geothermiekraftwerken (Anlagen der tiefen Geothermie) um industrielle Anlagen handelt, die bauplanungsrechtlich reglementiert sind, greift hier als erste Stufe des Schallschutzes der vorbeugende Immissionsschutz in der Bauleitplanung. Geothermiekraftwerke werden daher in Industriegebieten oder in speziellen Bereichen außerhalb des geschlossenen Siedlungsbereichs errichtet. Die Wahl eines nicht nur geologisch, sondern auch schallimmissionsschutztechnisch geeigneten Standortes bildet somit die Grundlage einer guten Planung. Die daran anschließende Anlagenplanung umfasst eine betrieblich-schalltechnische Optimierung der

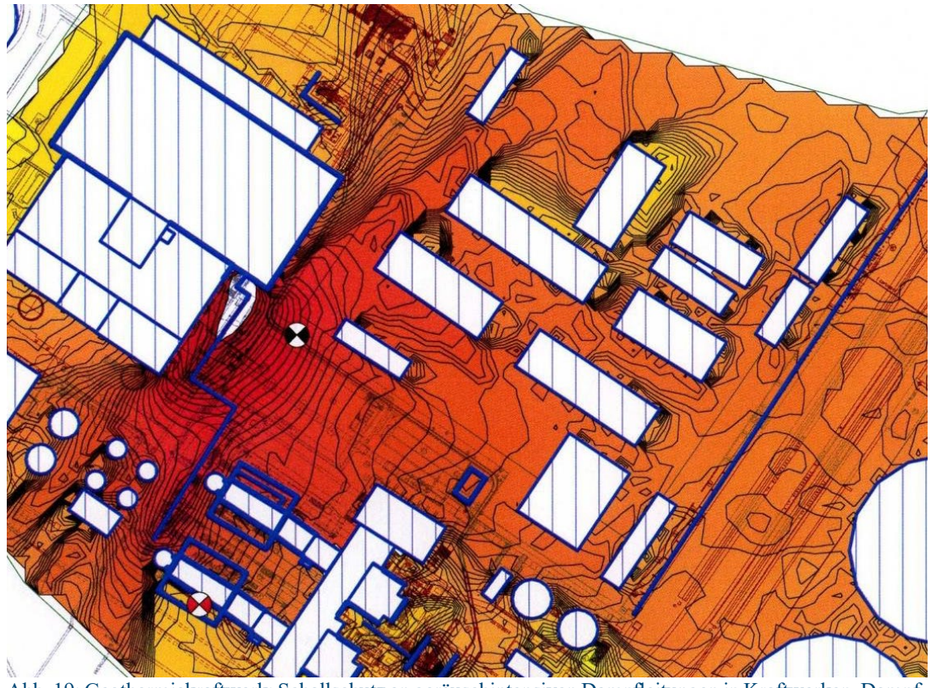


Abb. 19: Geothermiekraftwerk: Schallschutz an geräuschintensiven Dampfleitungen in Kraftwerken, Dampfleitungen ohne Schallschutz

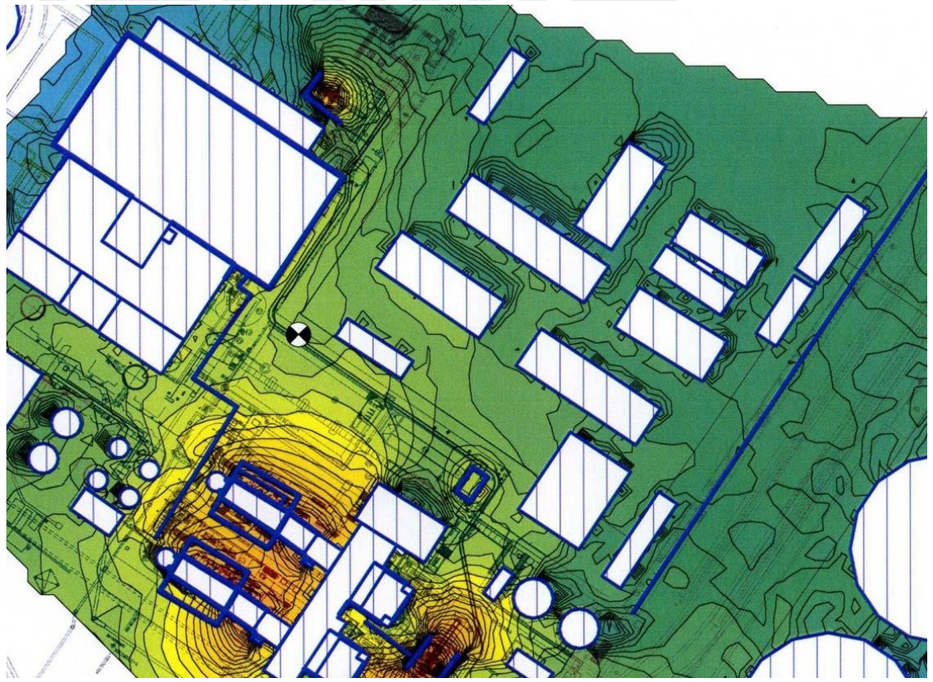


Abb. 20: Geothermiekraftwerk: Schallschutz an geräuschintensiven Dampfleitungen in Kraftwerken, Dampfleitungen mit Schallschutz

Aufstellung der einzelnen Aggregate auf dem Gelände, allein hierdurch kann die Schallimmission oft deutlich – in realen Fällen um 3 bis 10 dB(A) – gemindert werden. Die technischen Aggregate sind bereits seit Jahrzehnten aus dem Bau und Betrieb konventioneller Kraftwerke bekannt. Über diesen Zeitraum sind umfangreiche Fortschritte beim Stand der Lärmminderungstechnik erreicht worden. So konnte beispielsweise der Schallleistungspegel von Lüftern, die zur Rückkühlung benötigt werden, um mehr als 15 dB gesenkt werden. Auch bei der Nasskühlung über Kühltürme konnten deutliche Verbesserungen erzielt werden, Kulissenschalldämpfer reduzieren den Gesamtschallleistungspegel um 10 bis 20 dB. Sofern Schallminderungsmaßnahmen an Kühltürmen nicht ausreichen, kann heute auf leistungsfähige Trockenkühlung, bei der das Wasserverrieselungsgeräusch entfällt, zurückgegriffen werden. Auch die Strömungsgeräusche des Arbeitsmittels dürfen nicht vergessen werden. Eine hochwirksame Schallisolierung der Rohrleitungen kann Pegelminderungen von bis zu 25 dB

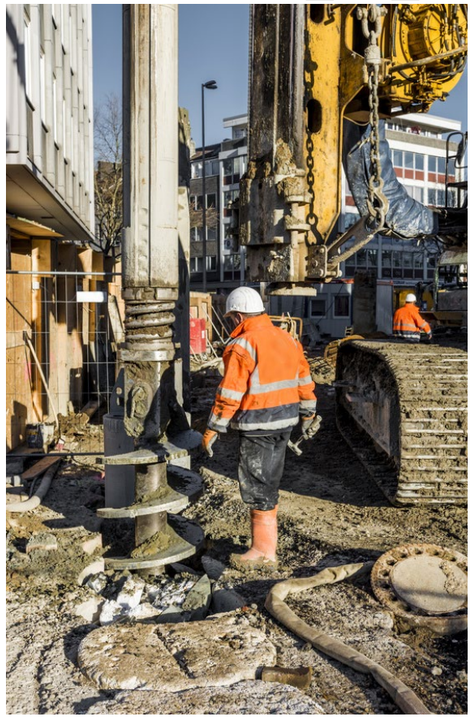


Abb. 21: Geothermiebohrung

bewirken und Schalldämpfer an Abblasventilen verhindern hohe Geräuschspitzen. Dieser im Zusammenhang mit konventionellen Kraftwerken erarbeitete technische Standard kommt nun auch Geothermiekraftwerken zu Gute. Neben diesen Aggregaten, die im Freien aufgestellt werden müssen und daher besonders schallkritisch sind, werden alle anderen Bauteile (Turbine, Generator, Pumpen, Wärmetauscher u.a.) weitestgehend in geschlossenen Räumen untergebracht, um die sekundäre Schallminderung durch die schalldämmende Wirkung der Einhausung nutzen zu können.

Genehmigung und Bewertung der Immissionen

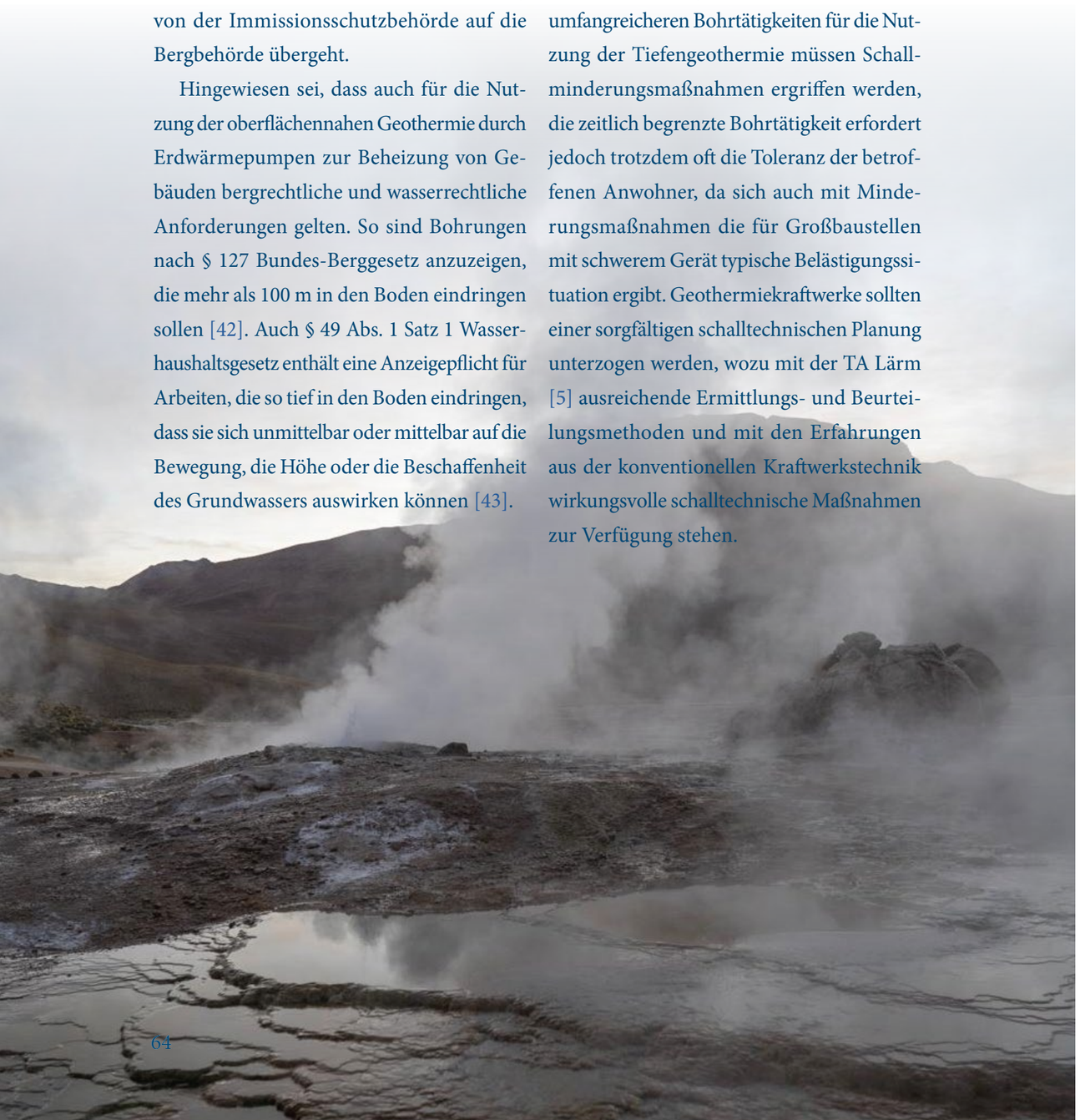
Geothermische Kraftwerke sind keine genehmigungsbedürftigen Anlagen im Sinne des BImSchG [12], da die Genehmigungspflicht von Kraftwerken an die Feuerungsanlagen gebunden ist, die bei geothermischen Kraftwerken entfällt. Geothermische Kraftwerke unterliegen somit als nicht genehmigungsbedürftige Anlagen den Anforderungen des § 22 BImSchG i.V.m. der TA Lärm [5]. Erdwärme gilt grundsätzlich als „bergfreier Bodenschatz“ im Sinne des Bergrechtes, so dass die Nutzung der Tiefengeothermie dem Bergrecht unterliegt, und somit hinsichtlich der schallimmissionsschutzrechtlichen Bewertung einige Besonderheiten zu beachten sind. So ist die Bohrtätigkeit gemäß Ziffer 2.3 der AVV Baulärm [41] nicht als „Baustelle“ im Sinne der AVV Baulärm zu betrachten, so dass diese Vorschrift nicht zur Anwendung kommt. Die TA Lärm gilt grundsätzlich nicht für Baustellen, so dass auch diese Norm formal nicht greift. Die konkreten schalltechnischen Anforderungen an die Errichtungsphase einer tiefengeothermischen Anlage muss die Immissionsschutzbehörde daher selbst aus den grundsätzlichen Betreibergrundpflichten nach § 22 BImSchG zur Vermeidung von schädlichen Umwelteinwirkungen ableiten. Hierzu kann sie wiederum als Orientierungshilfe auf die TA Lärm oder die AVV Baulärm zurückgreifen, allerdings eben nicht als fixierte, ungeprüft anwendbare

Fazit und Ausblick

Norm. Neben diesen Fragen zur Anwendung der Rechtsnormen ist zu beachten, dass in einigen Bundesländern die Zuständigkeit für die immissionsschutzrechtliche Bearbeitung von der Immissionsschutzbehörde auf die Bergbehörde übergeht.

Hingewiesen sei, dass auch für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie durch Erdwärmepumpen zur Beheizung von Gebäuden bergrechtliche und wasserrechtliche Anforderungen gelten. So sind Bohrungen nach § 127 Bundes-Berggesetz anzuzeigen, die mehr als 100 m in den Boden eindringen sollen [42]. Auch § 49 Abs. 1 Satz 1 Wasserhaushaltsgesetz enthält eine Anzeigepflicht für Arbeiten, die so tief in den Boden eindringen, dass sie sich unmittelbar oder mittelbar auf die Bewegung, die Höhe oder die Beschaffenheit des Grundwassers auswirken können [43].

Erdwärmepumpen sind trotz ihrer weiten Verbreitung in Hinblick auf den Schallschutz sowohl in der Bau- als auch in der Betriebsphase in der Regel unproblematisch. Bei umfangreicheren Bohrtätigkeiten für die Nutzung der Tiefengeothermie müssen Schallminderungsmaßnahmen ergriffen werden, die zeitlich begrenzte Bohrtätigkeit erfordert jedoch trotzdem oft die Toleranz der betroffenen Anwohner, da sich auch mit Minderungsmaßnahmen die für Großbaustellen mit schwerem Gerät typische Belästigungssituation ergibt. Geothermiekraftwerke sollten einer sorgfältigen schalltechnischen Planung unterzogen werden, wozu mit der TA Lärm [5] ausreichende Ermittlungs- und Beurteilungsmethoden und mit den Erfahrungen aus der konventionellen Kraftwerkstechnik wirkungsvolle schalltechnische Maßnahmen zur Verfügung stehen.



Das sollten Sie als Betreiber einer Geothermieanlage wissen:

- Sorgen Sie für eine gute Organisation der Bohrungsbaustelle. Informieren Sie Ihre Nachbarn vorab über Zeitpunkt und Dauer der Bohrarbeiten. Bei Tiefengeothermie sind Schallschutzmaßnahmen während der Bohrungen notwendig.
- Für Geothermiekraftwerke ist eine frühzeitige Einbindung der schalltechnischen Aspekte in die Anlagenplanung wichtig. Die Anordnung der einzelnen Aggregate auf dem Gelände, die Wahl leiser Aggregate und Schalldämpfungsmaßnahmen sind die wesentlichen Elemente einer guten schalltechnischen Planung.

Luftwärmepumpen

Der Marktanteil der Luftwärmepumpen lag bei Neubauten bei ca. 30 %. Das hat sich bereits Anfang der 2020er Jahre und durch die gestiegenen Energiekosten noch einmal deutlich gesteigert. Im Neubaubereich liegt der Anteil heute bei ca. 50 %. Am Gesamtmarkt für Wärmeerzeuger liegt heute die Luftwärmepumpe um die 15 %. Jährlich kommen aktuell etwa 200 000 Luftwärmepumpen hinzu, eine Menge, die von der Industrie kaum geliefert und montiert werden kann.

Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen

Luftwärmepumpen nutzen die Umgebungsluft als Wärmequelle. Da die Luft nur eine vergleichsweise geringe Energiedichte hat, ist ein hoher Luftdurchsatz erforderlich, um eine zufriedenstellende Wärmeaufnahme des Kältemittels zu erreichen. Der hierzu erforderliche Lüfter (Ventilator) wird daher zum zentralen schallkritischen Teil einer Luftwärmepumpe. Daneben spielen der Verdichter (Kompressor), das Expansionsventil und ggf. erforderliche Umwälzpumpen eine Rolle. Je nach Aufstellung und Bauweise können auch Strömungsgeräusche in Rohrleitungen oder Luftkanälen auftreten. Bei der schalltechnischen Bewertung von Luftwärmepumpen sind jedoch nicht nur der Schallleistungspegel der Anlagenteile von Bedeutung, sondern auch Aufstellungsort und -art sowie die in Wohngebieten oft komplexe Lagegeometrie von schallabschirmenden und schallreflektierenden Flächen. Sowohl Schallquelle als auch Schallausbreitung bieten daher viele Verbesserungsmöglichkeiten – aber gleichzeitig auch Fehlermöglichkeiten bei nicht sachgerechter Planung.

Maßnahmen zur Schallreduzierung beginnen zunächst mit primären Maßnahmen

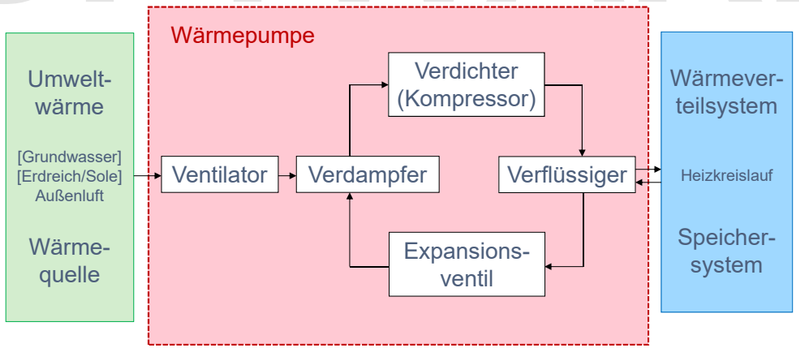


Abb. 22: Schema Luft/Wasser-Wärmepumpe

zur Reduzierung des Schallleistungspegels der einzelnen Aggregate durch konstruktive und steuerungstechnische Maßnahmen. Die Spannbreite der Herstellerangaben zu Schallleistungspegeln der Lüftereinheit reicht von etwa 40 bis 70 dB(A) und zeigt damit die Möglichkeiten, bereits an der Quelle die Grundlage für einen guten Schallschutz zu legen. Der Großteil der installierten Anlagen bewegt sich heute im Bereich oberhalb von 50 dB(A). Gegenüber früheren Jahren haben sich inzwischen schalltechnisches Wissen und lärmarme Konstruktionen zunehmend verbreitet, sodass heute bei den Herstellern überwiegend Bewusstsein und Know-how für schalltechnische Aspekte vorhanden sind. Hersteller mit vormals lauten Anlagen gehören heute teilweise zu den leisesten auf dem Markt. Wichtige Einflussfaktoren für die Schallemission einer Lüftereinheit sind in einem komplexen Zusammenspiel die Drehzahl, die Schaufelspitzengeschwindigkeit des Ventilators, die Form der Schaufeln und die Größe und Form der Ansaug- und Ausblasöffnung sowie des dazwischen liegenden Luftkanals. Eine Halbierung der Drehzahl bringt eine Schallreduzierung um etwa 15 dB(A). Einige Hersteller bieten daher heute bereits steuerungstechnische Lösungen an, mit der für die Nachtzeit ein geräuschreduzierter Betriebsmodus der Lüfter durch Absenken der Drehzahl gefahren werden kann – dieser ist allerdings mit einer Leistungseinbuße der Wärmepumpe verbunden. Wird für größere Wohnhäuser eine hohe Leistung benötigt, kann diese durch einen Lüfter mit hohen Drehzahlen erbracht werden; akustisch günstiger sind jedoch zwei (oder mehrere) Lüfter mit niedrigen Drehzahlen.

Der Kompressor erzeugt ein summendes oder brummendes Geräusch. Sowohl der Kompressor als auch der rotierende Ventilator können typischerweise tonale Emissionen verursachen, die sich zwar reduzieren, meist aber nicht komplett aus dem Emissionsspektrum entfernen lassen. Daher ist es wichtig, diese Bauteile schalltechnisch von anderen Bauteilen, insbesondere von großflächigen

Luftkanalschächten oder Gehäusen zu entkoppeln, um eine immissionsrelevante Abstrahlung der tonhaltigen Geräusche über diese Flächen zu unterbinden.

Wärmepumpen wechseln häufig zwischen verschiedenen Betriebszuständen: Der Kompressor springt dann an, wenn das Temperaturniveau im Heizkreislauf zu weit absinkt, die Lüfter laufen in unterschiedlichen Betriebsmodi und in regelmäßigen Abständen muss ein Abtauvorgang des Wärmetauschers durchgeführt werden. Diese Betriebszustände sind durch unterschiedliche Schallemissionen charakterisiert, auch die Schaltvorgänge selbst verursachen mitunter zusätzliche Geräusche. Bei nicht modulierenden Anlagen können Pufferspeicher die Häufigkeit des Anspringens der Wärmepumpe reduzieren, was nicht nur den Schaltvorgang selbst, sondern auch die Laufzeit von Kompressor und Ventilator reduziert. Pufferspeicher sind daher besonders zur Reduzierung der Betriebszeiten während der Nachtzeit sinnvoll, optimal wäre aus schalltechnischer Sicht zumindest in den Sommermonaten eine vollständige Überbrückung der Nachtzeit durch Pufferspeicher. Inzwischen werden überwiegend modulierende Anlagen verbaut, die dann eher mit kleineren Pufferspeichern betrieben werden. Hier gilt es, ein optimales Zusammenspiel der Komponenten zu finden. Die Optimierung schließt eine sachgerechte Taktung für die Befüllung des Pufferspeichers und die Zeitabschnitte der Ruhemodi ein. Je nach Abständen zur Nachbarschaft sollen die Ruhemodi die vollständige Nacht oder zumindest die Morgen- und Abendstunden abdecken.

Pufferspeicher können sinnvoll tagsüber befüllt werden. Zum einen ist tagsüber das Störpotential deutlich geringer und zum anderen ist der Wirkungsgrad der Wärmepumpen bei höheren Außentemperaturen größer. Wenn die Wärmepumpe dann auch noch mit (eigenem) Solarstrom betrieben werden kann, sind alle nachbarschaftlichen und ökologischen Aspekte berücksichtigt.

Es sollte stets ein guter Wartungszustand der Anlage sichergestellt sein, da schlecht gewartete oder eingestellte Aggregate oft erhöhte Schallemissionen verursachen.

Eine weitere Reduzierung der Schallabstrahlung kann durch Maßnahmen der Schalldämmung und -dämpfung erreicht werden. Luftwärmepumpen werden in drei verschiedenen Varianten angeboten: als komplett außen oder komplett innen aufgestellte Module oder als Splitanlagen. Bei Letzteren sind in der Regel nur der Lüfter mit Verdampfer außen und die restlichen Aggregate, insbesondere die Verdichter innen installiert. Eine komplette Innenaufstellung ist wegen der Dämmeigenschaften eines massiven Gebäudes zu bevorzugen. Jedoch verbleibt stets eine Zu- und Abluftöffnung nach außen, die bei nicht sachgerechter akustischer Ausführung zu einem Ausfallstor der Schallemissionen aus

dem Innenraum werden können oder Strömungsgeräusche erzeugen können. Um eine Geräuschübertragung innerhalb des Gebäudes zu unterbinden, ist eine schwingungsentkoppelte Aufstellung wichtig. Außenaggregate sind Module mit teilweise geschlossenem Gehäuse. Dieses sollte nicht nur als Witterungsschutz, sondern auch als Schallschutzkapselung der lauten Komponenten konzipiert sein. Hier ist insbesondere eine Bedämpfung von großflächigen Blechen erforderlich, um Schallreflexionen und Dröhneffekte zu unterbinden.

Besonders wichtig hinsichtlich des Schallschutzes bei Luftwärmepumpen ist die Wahl des Aufstellungsortes der Geräteteile im Freien. Dieser ist entscheidend für die Schallausbreitung der nach den primären und sekundären Minderungsmaßnahmen verbleibenden Schallemission und hat somit großen Einfluss auf den Schallimmissionspegel an den umliegenden, meist nur in geringem Abstand befindlichen, schutzwürdigen Räumen. Einfache Grundregeln sind zunächst ein größtmöglicher Abstand zum Nachbarwohnhaus sowie nach Möglichkeit die Aufstellung auf der vom Nachbarwohnhaus abgewandten Gebäudeseite, um die Abschirmwirkung des Gebäudes zu nutzen. Bei Aufstellung zur Straßenseite lässt sich mitunter eine direkte Betroffenheit besonders schutzwürdiger Räume vermeiden. Lüfter haben meist eine Richtwirkung, d.h. die Schallabstrahlung ist auf einer Seite des Moduls höher als an den anderen; seitlich ist die Schallabstrahlung meist geringer. Eine richtig orientierte Aufstellung mindert daher ebenfalls den Immissionspegel am Nachbarhaus. Des Weiteren dürfen die Aggregate nicht ohne akustische Entkoppelung an Gebäudewänden oder auf befestigten Flächen aufgestellt werden, da diese Flächen sonst zur großflächigen Schallabstrahlung angeregt werden können. Auch die Aufstellung in unmittelbarer Nähe zu derartigen schallharten Flächen ist kritisch, da die Schallemission des Aggregats durch Reflexionen an diesen Flächen verstärkt werden kann. Standorte in Gebäudewinkeln (Innenecken) sollten vermieden werden.

Ausführliche Hinweise zum Aufstellort und den akustischen Auswirkungen sind in Leitfäden des Bayerischen Landesamtes für Umwelt [44] und der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [17] enthalten.

Immissionsbeurteilung

Wärmepumpen sind nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des BImSchG [12] und unterliegen auch als nicht gewerblich, sondern privat betriebene Anlagen vollumfänglich den immissionsschutzrechtlichen Anforderungen in Bezug auf Geräuscheinwirkungen, d.h. sie fallen in den Anwendungsbereich der TA Lärm [5]. Somit müssen Wärmepumpen ebenfalls die Richtwerte der TA Lärm einhalten. Da Wärmepumpen baugenehmigungsfrei sind, erfolgt keine Vorabkontrolle durch

die Immissionsschutzbehörde, so dass die Einhaltung der Schallschutzanforderungen zunächst in der Verantwortung des Betreibers liegt. Dies schließt jedoch die Überwachungszuständigkeit und Anordnungsbefugnis der Immissionsschutzbehörde in Bezug auf die errichtete Anlage nicht aus. Behörden sollten im berechtigten Beschwerdefall ihre Anordnungsbefugnisse nutzen, viele der aufgezeigten Minderungsmaßnahmen lassen sich auch nachträglich noch realisieren, wenn auch mit erhöhtem Aufwand und Kosten.

Betreiber einer Wärmepumpe sollten von Anfang an bereits bei der Errichtung der Anlage ihre Betreiberverantwortung ernst nehmen, um kostenintensive und langwierige privatrechtliche Auseinandersetzungen zwischen Nachbarn zu vermeiden. Das geschieht leider noch immer zu selten, sodass Streitigkeiten über zu laute oder akustisch schlecht positionierte Außenanlagen regelmäßig auftreten. Das Einplanen von Schallminderungsmaßnahmen ermöglicht so auch einen realistischen Kostenvergleich mit anderen Heizungssystemen.

Akustisch gesehen ist die TA Lärm für die Beurteilung von Wärmepumpen in Wohngebieten geeignet, da es sich um technische Aggregate handelt, wie sie auch regelmäßig im gewerblich-industriellen Bereich vorkommen. Tatsächlich wirken die Geräusche dieser Anlagen aufgrund ihrer Vielzahl, der unmittelbaren Nähe zur Nachbarschaft und der Geräuschcharakteristik oftmals störender als die gewerblichen oder industriellen Anlagen. In rechtlicher Hinsicht wird auf Grund der zunehmenden Zahl an Wärmepumpen in manchen Neubau-Wohngebieten zudem verschiedentlich die Frage einer Immissionskontingentierung aufgeworfen. Eine vorausschauende Planung im Hinblick auf weitere mögliche Wärmepumpen in der Umgebung und deren Berücksichtigung ist aus technischer Sicht zwingend notwendig, auch wenn sie sich möglicherweise aus dem BImSchG nicht direkt ableiten lässt. Die Leitfäden [17] und [44] gehen davon aus, dass eine Berücksichtigung der Vorbelastung, insbesondere durch weitere Luftwärmepumpen in der Nachbarschaft, erforderlich ist, da ein

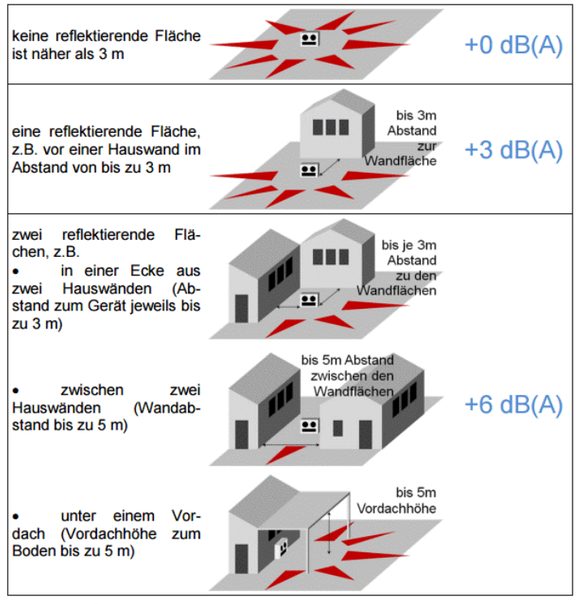


Abb. 23: Pegelerhöhungen durch unterschiedliche Aufstellszenarien von stationären Anlagen im Wohngebiet

Fazit und Ausblick

Abb. 24: Bsp. für eine nicht optimale Standortwahl einer Luftwärmepumpe

Ziel der Energiewende die forcierte Verbreitung derartiger Geräte ist. Um Aufwand bei schalltechnischen Prognosen zu vermeiden wird pauschal ein gegenüber den Immissionsrichtwerten der TA Lärm um 6 dB reduzierter Immissionswert für die zu installierende Luftwärmepumpe angesetzt. Mit der Vergabe von Immissionskontingenten und einer Berücksichtigung in der Bauleitplanung stehen geeignete Instrumente zur Vorsorge gegenüber Schallimmissionen von Luft-Wärmepumpen u.ä. zur Verfügung. Die aus anderen Bereichen bekannten Werkzeuge des vorbeugenden Schallschutzes in der Bauleitplanung lassen sich sehr unkompliziert auch auf die Problematik von Wärmepumpen in Wohngebieten anwenden. Erste Festsetzungen in Bebauungsplänen sind erfolgt, aber letztlich gibt es hierzu leider noch immer sehr wenige Praxisbeispiele.

Eine einheitliche schalltechnische Bewertung von Luftwärmepumpen ist auf Grund der Vielzahl von Herstellern, Ausführungsvarianten und Qualitätsspannbreiten sowie des großen Einflusses der örtlichen Gegebenheiten am Aufstellungsort kaum möglich. Der Markt ist aktuell in großer Bewegung, weil die Lärmproblematik inzwischen bei nahezu allen Herstellern angekommen ist. Aus akustischer Sicht bestehen ebenso viele Ansatzpunkte, Verbesserungen zu erzielen, wie auch Fehler zu begehen. Eine aufwändige, individuelle akustische Planung jeder Einzelanlage wird sowohl wegen der Vielzahl der Anlagen als auch aus Kostengründen nicht zu realisieren sein. Die Anlagenhersteller haben jedoch die Wichtigkeit der Schallemission erkannt, so dass in den letzten Jahren deutliche akustische Verbesserungen zu beobachten sind. Standardisierungen der Anlagenauslegung durch technische Regeln oder rechtliche Normen wären hilfreich bei der verbindlichen Fixierung eines Standes der Lärmminderungstechnik für Luftwärmepumpen. Durch Anpassung der Konditionen von Förderprogrammen können für Kunden Anreize zur Auswahl besonders leiser Luftwärmepumpen gesetzt werden; Hersteller könnten bei der Entwicklung von lärmarmen Aggregaten gefördert werden.

Das sollten Sie als Betreiber einer Wärmepumpe wissen: Teil 1

- Machen Sie sich bewusst, dass Wärmepumpen Lärm verursachen können und dass Sie rechtlich in der Verantwortung für diesen Lärm sind.
- Achten Sie bei der Auswahl der Wärmepumpe darauf, welchen Schallleistungspegel der Hersteller für seine Anlage angibt und ob die Einhaltung dieses Wertes von der Garantie erfasst wird. Wählen Sie eine Anlage mit möglichst geringem Schallleistungspegel aus.
- Lassen Sie sich Referenzkunden benennen und hören Sie sich die Wärmepumpe dort unter realen Bedingungen und in verschiedenen Betriebszuständen an.
- Wählen Sie eine Anlage, die Ihnen Möglichkeiten zur Schallreduzierung während der Nachtzeit bietet: Eine Drehzahlregelung des Lüfters reduziert den Schallpegel der Anlage, ein großer Pufferspeicher die Laufzeit während der Nachtzeit.
- Denken Sie bei der Wahl des Aufstellungsortes zuerst an den Schallschutz ihrer Nachbarn, danach erst an Ihren eigenen.

Das sollten Sie als Betreiber einer Wärmepumpe wissen: Teil 2

- Anlagen zur Innenaufstellung sind in Bezug auf den Nachbarschutz besser als außen aufgestellte Anlagen.
- Verlangen Sie für den Schutz Ihrer Nachbarn und für Ihren eigenen Schutz eine schallgedämmte Installation der Anlage.
- Fragen Sie Ihren Installateur nach seinen Kenntnissen über Akustik. Welches Wissen hat er in Bezug auf die schallrelevanten Aspekte der Aufstellung und Installation der Anlage, führt er eine Beratung dazu durch? Welche Möglichkeiten haben Sie, sich bei auftretenden Schallproblemen wieder an den Installateur zu wenden, um Nachbesserungen durchzuführen?
- Sprechen Sie mit Ihren Nachbarn über Ihre neue Wärmepumpe.
- Eine Hilfestellung für die Anschaffung und Aufstellung von Wärmepumpen bietet der „LAI-Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten" [17] vom 28.03.2020 und der Leitfaden „Tieffrequente Geräusche bei Biogasanlagen und Luftwärmepumpen“ des Bayerischen Landsamtes für Umwelt vom Februar 2011 [44].

Hochspannungsfreileitungen

Das Hoch- und Höchstspannungsnetz in Deutschland besteht derzeit aus Leitungstrassen mit einer Gesamtlänge von mehr als 130 000 km [45]. Beim Ausbau werden zunächst bestehende Trassen optimiert und verstärkt und erst, wenn diese Maßnahmen nicht ausreichen, neue Leitungstrassen gebaut („Netz-Optimierung vor Verstärkung vor Ausbau“, NOVA-Prinzip).

Techniken der elektrischen Energieübertragung

Aus Gründen der Effizienz ist es sinnvoll, für den Transport von elektrischer Energie über Stromleitungen möglichst niedrige Stromstärken zu verwenden, da bei höherer Stromstärke größere Wärmeverluste auftreten. Da die transportierte elektrische Energie proportional zu der anliegenden elektrischen Spannung und der Stromstärke ist, erfordert die Verwendung einer niedrigeren Stromstärke bei gleicher Leistungsübertragung eine höhere Spannung, die wiederum maßgeblich für die Geräuschentstehung ist. Größtenteils erfolgt der Transport über Freileitungen bei der typischen Netzfrequenz von 50 Hz als Dreiphasenwechselstrom (Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung, HDÜ). Bei Transporten über große Distanzen (ab ca. 500 km bei Freileitungen an Land, ab ca. 50 km bei Seekabeln) kann es sinnvoll sein, die Übertragung mittels Gleichstrom (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung, HGÜ) zu vollziehen, da hierbei weniger dielektrische Verluste auftreten als bei Wechselstromübertragung [46].

Der derzeitige Stromnetzausbau an Land sieht im Wesentlichen einen gesetzlichen Erdkabelvorrang für HGÜ-Leitungen vor [47]. Da der Erdkabelvorrang aber nicht ausnahmslos gilt, werden auf bestimmten Stromtransportabschnitten zukünftig HDÜ- und HGÜ-Leitungen parallel auf derselben Freileitungstrasse verwendet werden.
Seit einigen Jahren wird vermehrt das Konzept der witterungsabhängigen Betriebsparameteranpassung beim Freileitungsbetrieb angewendet. Die Vorgaben zur Bestimmung der Dauerstrombelastbarkeit von Leiterseilen gehen von einer Hochsommerwetterlage aus. Beim witterungsabhängigen Freileitungsbetrieb werden abhängig von den tatsächlich vorhandenen Witterungsbedingungen Freileitungen hinsichtlich des Stromflusses höher ausgelastet, ohne dass die thermische Belastbarkeit der Leiterseile überschritten wird. Damit lässt sich die Übertragungskapazität der Freileitungen optimal auszunutzen, ohne dass bauliche Veränderungen vorgenommen werden müssen. Da hierbei lediglich die Stromstärke, nicht jedoch die elektrische Spannung erhöht wird, ergibt sich durch das Verfahren in der Regel kein maßgeblicher Einfluss auf die Geräuschemission.

Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen

Bedingt durch die an einer Freileitung anliegende elektrische Spannung ist der Leiter von einem elektrischen Feld umgeben.

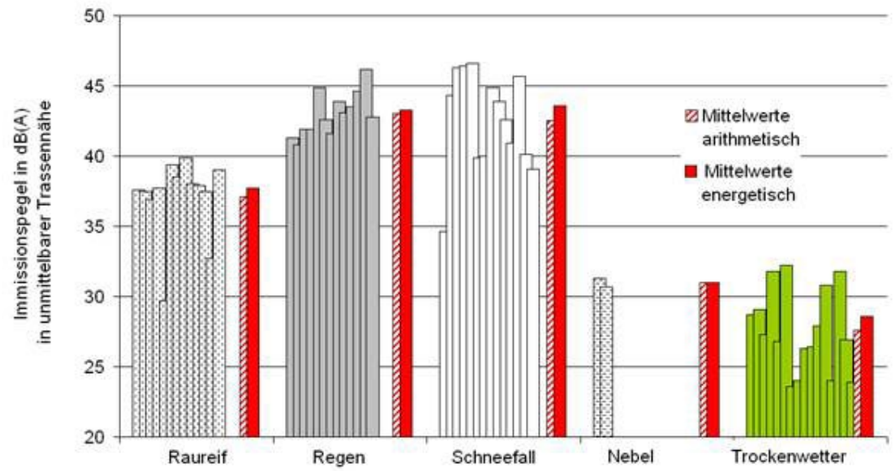


Abb. 25: Messwerte für Geräuschimmissionen an einer 380 kV-Leitung in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen

FREILEITUNG

Überschreitet die elektrische Feldstärke einen bestimmten Wert, kommt es zur Stoßionisation von Luftmolekülen und daraus folgenden Entladungsvorgängen (Ladungsausgleich zwischen Leiteroberfläche und ionisierten Luftmolekülen). Diese sogenannte Koronaentladung ist mit einem breitbandigen Geräusch verbunden, das häufig als prasselnd oder knisternd wahrgenommen wird. Daneben tritt an HDÜ-Leitungstrassen mitunter ein tonales Geräusch auf, das als Brummton mit einer dominanten Frequenz von 100 Hz wahrnehmbar ist. Dieses Geräusch entsteht durch die Energieübertragung der Ionen in der Umgebung des Leiterseils durch elastische Stöße auf die ungeladenen Moleküle der Umgebungsluft. Dies führt zu einer periodischen Erwärmung der Luft, welche sich in der Folge im Wechsel ausdehnt und wieder zusammenzieht und so tonale Schallemissionen in Form eines 100-Hz-Brummens erzeugt [48, 49].

Um das Auftreten dieser Geräuscherscheinungen zu vermeiden, helfen alle Maßnahmen, die die elektrische Randfeldstärke am Leiter reduzieren. Die Randfeldstärke ist zunächst abhängig von der jeweiligen Betriebsspannung der Freileitung. Je größer die Leiteroberfläche ist, desto geringer ist die dort vorliegende Randfeldstärke. Daher werden bei Hochspannungsleitungen der Leiterquerschnitt vergrößert und Leitungen zu Dreier- oder Viererbündeln zusammengefasst. Auch der Abstand der einzelnen Phasen eines Freileitungssystems und die Anzahl der Stromkreise pro Trasse sind für die Randfeldstärke von Bedeutung. Eine wichtige Rolle spielen zudem die Oberflächenbeschaffenheit der Leiter, z.B. auch auf der Leiteroberfläche befindliche Schmutzpartikel, sowie meteorologische Umgebungsbedingungen wie Feuchtigkeit durch Regen, Schnee, Nebel, Raureif oder Eis. Geräuscherscheinungen bei HDÜ-Leitungen treten witterungsabhängig auf. Spezielle Oberflächenbehandlungen der Leiterseile können der Erhöhung der Geräuschemission bei Feuchtigkeit entgegenwirken. Wird bspw. durch die Behandlung eine hydrophile Oberfläche erzeugt, so wird die Bildung von Wassertropfen auf der Oberfläche vermindert. Die Feuchtigkeit verteilt sich gleichmäßiger, so dass eine Art Wasserfilm entsteht. Dies führt zu einer weniger stark ausgeprägten Erhöhung der elektrischen Randfeldstärke als bei der Bildung von Wassertropfen und damit zu geringerer Geräuschemission. Auch Störstellen des Leitermaterials können lokal hohe Randfeldstärken verursachen. Grate und ähnliche Ungleichmäßigkeiten aus der Leiterseilproduktion und anhaftende Schmutzpartikel von Transport und Montage führen dazu, dass neue Leiterseile häufiger und intensiver Koronaentladungen zeigen, bis die Oberfläche durch Verwitterung gealtert ist. Der Alterungsprozess erhöht auch die hydrophilen Eigenschaften der Leiterseile. Hier kann eine gezielte Vorbehandlung der Leiterseile diesen Alterungsprozess vorwegnehmen und die Schallemission neuer Leitungen deutlich mindern. Grundsätzlich sind aber die Emissionen von HDÜ-Leitungen bei Trockenheit deutlich geringer als bei feuchter Witterung, bei schlechten Wetterbedingungen (Regen, Feuchte, Schnee) können die Geräuschemissionen von HDÜ-Leitungen um 10–15 dB höher liegen als bei guten Wetterbedingungen [50], siehe auch Abbildung 25.

Bei HGÜ-Leitungen entfällt der das tonale Geräusch verursachende Wechselspannungseffekt. Es ist grundsätzlich nur der positive HGÜ-Leiter relevant für die Geräuschentstehung, denn der Geräuschpegel wird in erster Linie durch die Höhe der Entladungsamplitude bestimmt, die beim positiven Leiter deutlich höher ausfällt als beim negativen Leiter [51]. Die Koronaaktivität hängt auch hier von der Oberflächenspannung ab. Bei trockener Witterung und im Sommer können sich an HGÜ-Leitungen durch elektrostatische Anziehungen mehr Schmutzpartikel und Insekten anlagern als unter feuchten Witterungsbedingungen und in den kalten Jahreszeiten. Daher sind die Geräuschemissionen, die von (positiven) HGÜ-Leitern ausgehen, grundsätzlich bei trockenem Wetter und in den warmen Jahreszeiten am stärksten ausgeprägt. Die durch die Gleichspannung aufgebauten Ionenwolken sind vergleichsweise stabil, da sie nicht durch periodischen Ladungswechsel neutralisiert werden. Das ist insofern relevant für die Geräuschentstehung, als die Ionenwolken den Leiter abschirmen und dadurch die Entladungen hemmen und damit die Geräuschemission reduziert wird. Gemäß einer einjährigen Messstudie an einer 500 kV bipolaren HGÜ-Testleitung ergaben sich für die gemessenen Immissionen im Jahresschnitt zwischen Schlecht- und Schönwetterverhältnissen jedoch lediglich Geräuschpegeldifferenzen von 1–2 dB [52].

Grundsätzlich entstehen relevante Geräusche lediglich bei Freileitungen im Hoch- und Höchstspannungsbereich ab 220 kV. Wegen der Überdeckung des Leiterlärms durch Regengeräusche wird deren Geräusch bei gutem Wetter in der Regel schneller als störend wahrgenommen [51, und Verweise darin]. Der überwiegende Teil des Verteilernetzes innerhalb von Kommunen wird im Mittel- und Niederspannungsbereich betrieben und ist daher lärmschutzfachlich als unproblematisch zu bewerten.

Immissionsermittlung und -beurteilung

Hochspannungsfreileitungen sind nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des BImSchG [12]. Die Beurteilung ihrer Schallimmissionen ergibt sich daher aus der TA Lärm [5].

P R O G N O S E

Im Genehmigungsverfahren (z.B. Planfeststellungsverfahren) erfolgt im Rahmen der immissionsschutzfachlichen Bewertung u.a. auch eine Schallimmissionsprognose. Da Geräuschemissionen an HDÜ-Freileitungen überwiegend bei feuchter Witterung auftreten, müssen die meteorologischen Parameter der Ausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613-2 [34] gegenüber den Standardwerten anders gewählt werden, insbesondere muss die Luftfeuchtigkeit deutlich höher angesetzt werden. Auch die Höhe der in die Ausbreitungsrechnung einzubringenden Schallemission ist von den Witterungsbedingungen abhängig. Da Starkniederschläge selbst eine Geräuschkulisse bilden und darüber hinaus noch oft mit Begleiterscheinungen, wie Gewitter oder starkem Wind einhergehen, die die Geräusche von Freileitungen verdecken, wird meist ein „Landregenereignis“ mit 3–4 l/m²h als die belästigungsrelevante Immissionssituation herangezogen. Der bei diesen meteorologischen Bedingungen in Abhängigkeit von den charakteristischen Leitungsdaten vorliegende Schallleistungspegel wird entweder aus Messserien an bestehenden Leitungen abgeleitet oder aber mit speziellen Berechnungsmodellen ermittelt. Freileitungen sind üblicherweise als spektrale Linienschallquelle mit spektraler Dämpfung und nicht als Einzahlwert zu modellieren. Sofern der 100 Hz-Brummton markant hervortritt, ist ein Tonhaltigkeitszuschlag zu vergeben. Das prasselnde und knisternde Koronaentladungsgeräusch rechtfertigt keinen Impulshaltigkeitszuschlag. Die Nachtzeit stellt auf Grund der geringeren Immissionsrichtwerte und der kürzeren Beurteilungszeit von lediglich einer Stunde die immissionskritische Zeit dar. Wetterstatistiken belegen für beispielhafte Standorte in Deutschland, dass die o.g. Landregenereignisse mit einer Dauer von einer Stunde oder länger auftreten können. Daher muss von einer Einwirkzeit von einer Stunde zur Nachtzeit, also der vollen Beurteilungszeit nach TA Lärm, ausgegangen werden.

Durch Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes im Jahr 2022 werden nunmehr witterungsbedingte Anlagengeräusche von Höchstspannungsnetzen unabhängig von der Häufigkeit und Zeitdauer der sie verursachenden Wetter- und insbesondere Niederschlagsgeschehen bei der Beurteilung des Vorliegens schädlicher Umwelteinwirkungen generell als seltene Ereignisse im Sinne der TA Lärm angesehen [53]. In der Konsequenz gelten für die Anlagengeräusche von Höchstspannungsnetzen nunmehr die deutlich höheren Immissionsrichtwerte der Ziffer 6.3 TA Lärm (70 dB(A) tags, 55 dB(A) nachts).

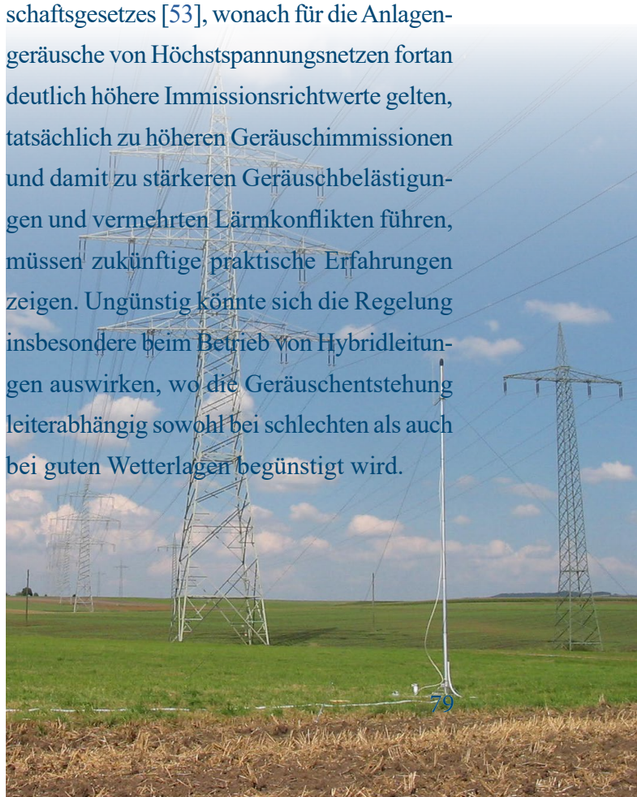
Die LAI-Handlungsempfehlungen für EMF- und Schallgutachten zu Hoch- und Höchstspannungstrassen in Bundesfachplanungs-, Raumordnungs- und Planfeststellungsverfahren liefern Hinweise, welche Kriterien bei der Erstellung von Schallgutachten für Freileitungen zu berücksichtigen sind [54].

M E S S U N G E N

Schallimmissionsmessungen sollen bei maximaler Immission, aber nicht bei ungeeigneten messtechnischen Bedingungen, wie starkem Regen, durchgeführt werden. Bei schalltechnischen Messungen an Freileitungen ergibt sich aus diesen beiden Faktoren ein Zielkonflikt, da der Zustand höchster Emission bei Regenereignissen vorliegt. Für Messungen bei Regen ist daher zunächst ein erhöhter apparativer Aufwand zu betreiben und ein geeigneter Messort zu wählen, an dem regen- und windbedingte Fremdgeräusche möglichst gering sind. Die durch Regen und Wind verursachten Fremdgeräusche erreichen bereits bei leichtem Regen Werte um etwa 35 dB(A) für typische Siedlungs- oder Hofstellensituationen und steigen bei „Landregen“ auf etwa 45 dB(A) an. Die Durchführung von Immissionsmessungen in größeren Entfernungen ist daher problematisch, die meisten Messprojekte wurden daher in geringen Entfernungen oder sogar im unmittelbaren Nahbereich der Leitungstrasse durchgeführt; auch hier ist meist noch eine Fremdgeräuschkorrektur erforderlich. Hinzu kommt, dass der Zeitpunkt der höchsten Immission unbekannt ist und daher mit Einzelmessungen der maßgebliche Schallpegel nicht sicher erfasst werden kann. Daher sind i.d.R. eine Vielzahl von Einzelmessungen oder Langzeitmessungen mit Dauermessstationen erforderlich. Insgesamt ist der messtechnische Aufwand, der erforderlich ist, um valide Daten zu gewinnen, als sehr hoch zu bewerten.

Fazit und Ausblick

Trotz der hohen Komplexität der Geräuschentstehungsprozesse an Hoch- und Höchstspannungsleitungen im Vergleich zu anderen Anlagengeräuschen und der stark ausgeprägten Abhängigkeit der Geräuschentstehung und -ausbreitung von den meteorologischen Umgebungsbedingungen haben sich die etablierten Verfahren zur Geräuschbeurteilung beim Betrieb von Hoch- und Höchstspannungsnetzen weitestgehend bewährt. Inwieweit die Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes [53], wonach für die Anlagengeräusche von Höchstspannungsnetzen fortan deutlich höhere Immissionsrichtwerte gelten, tatsächlich zu höheren Geräuschimmissionen und damit zu stärkeren Geräuschbelästigungen und vermehrten Lärmkonflikten führen, müssen zukünftige praktische Erfahrungen zeigen. Ungünstig könnte sich die Regelung insbesondere beim Betrieb von Hybridleitungen auswirken, wo die Geräuschentstehung leiterabhängig sowohl bei schlechten als auch bei guten Wetterlagen begünstigt wird.



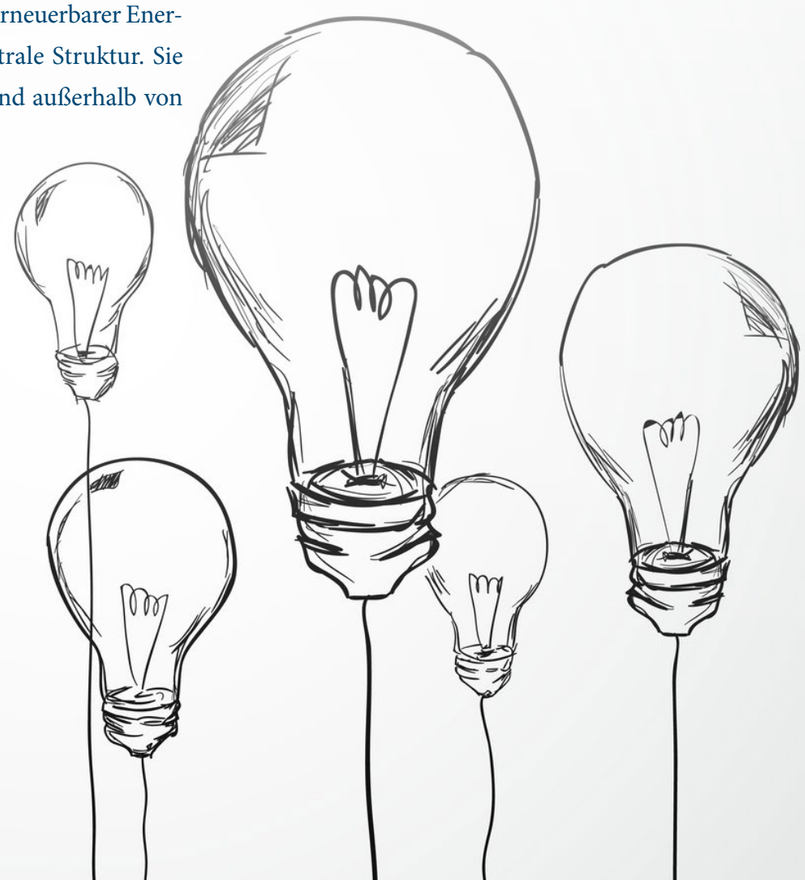
FAZIT

Zusammenfassung

Die Staaten der Welt haben in Paris im Dezember 2015 beschlossen, die Erderwärmung infolge der menschlichen Aktivitäten auf deutlich unter 2 Grad zu beschränken, um die gravierenden Folgen des Klimawandels noch beherrschbar zu machen. Dazu sind ein sparsamerer Verbrauch von Energie, eine größere Energieeffizienz und der Übergang von der fossilen Energieerzeugung auf die erneuerbaren Energien unabdingbar. Dieses Ziel wurde 2022 von der UN-Klimakonferenz in Sharm El-Sheikh spezifiziert, wonach die Treibhausgasemissionen zu senken sind, um eine Klimaerwärmung über 1,5 Grad zu verhindern.

Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energie verlangen eine dezentrale Struktur. Sie befinden sich überwiegend außerhalb von Gewerbe- und Industriegebieten und damit oft in oder in der Nähe von Gebieten, die dem Wohnen dienen. Damit entstehen bei einigen Anlagenformen, wie Windenergieanlagen und Luftwärmepumpen, neue Lärmkonflikte.

Anlagen der Energietechnik können so geplant und betrieben werden, dass schädliche Umwelteinwirkungen, insbesondere erhebliche Belästigungen durch Geräusche nicht auftreten.. Die aktuellen Auseinandersetzungen um die Standorte von Windenergieanlagen machen aber deutlich, dass vor allem Bürgerinnen und Bürgern in bislang ruhigen ländlichen Gebieten das bisherige



FAZIT

Schutzniveau nicht ausreicht und die Prognoseverfahren zur Immissionsberechnung in Frage gestellt werden (z.B. zur Berücksichtigung tieffrequenter oder anderweitig auffälliger Geräusche). In der Broschüre wird die Frage nach Änderungen der rechtlichen Anforderungen zum Schutz gegen Lärm nicht vertieft.

Das geltende Schutzniveau lässt sich einhalten, wenn die Anlagen und Geräte dem Stand der Lärmminderungstechnik entsprechen, eine sorgfältige Standortplanung betrieben und ggf. das Instrument der Betriebsbeschränkungen eingesetzt wird. Dies gilt besonders für Geräte, wie beispielsweise Luftwärmepumpen, die in Wohngebieten aufgestellt werden. Hier sollte frühzeitig der akustische Sachverstand genutzt und das potenzielle Zusammenwirken mehrerer Anlagen beachtet werden. Planungsfehler führen oft zu vermeidbaren und aufwändigen Streitigkeiten vor Gericht und sind im Nachhinein in der Regel nur mit hohem Aufwand zu lösen. Dazu bietet der „Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten“ der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) vom 24.03.2020 [17] eine praktische Hilfestellung für die Aufstellung von Klima-, Kühl-, Lüftungsgeräten, Luftwärmepumpen und Mini-Blockheizkraftwerken.

Bereits das Symposium „Energiewende und Lärmschutz“ 2013 in Düsseldorf [1] hatte gezeigt, dass diese Konflikte grundsätzlich lösbar sind. Bei dem DEGA-Symposium „Erneuerbare Energien und Lärmschutz“ 2022 in Berlin wurde deutlich, welche Fortschritte bei der Konstruktion geräuschärmer Anlagen und beim Verständnis der Geräuschausbreitung von Windenergieanlagen sowie bei der Lärmwirkungsforschung von Anlagen für erneuerbare Energien inzwischen gewonnen und umgesetzt wurden [55]. Fazit ist, dass sich die notwendige Energiewende und der Schutz gegen Lärm vereinen lassen, ohne das Schutzniveau abzusenken.

Abbildungsverzeichnis

Titelbilder der Broschüre, Quelle: Müller-BBM Industry Solutions GmbH, Planegg
Titelbild Kapitel „Energiewende“, Quelle: © ericsan - fotolia.com
Titelbild Kapitel „Technische Akustik“, Schallpegelmessung, Quelle: Uwe Wollmann
Titelbild Kapitel „Planungsrechtliche Steuerung von Windenergieanlagen“, Quelle: © BillionPhotos.com - fotolia.com
Bild S. 17 „Aufbauplan Dresden 1969“, Quelle: Historische Straßen und Plätze heute, VEB Verlag f. Bauwesen, Berlin, 1976
Bild S. 20 „Plan von Dresden mit den Vorstädten 1849“, Quelle: Historische Straßen und Plätze heute, VEB Verlag f. Bauwesen, Berlin, 1976
Titelbild Kapitel „Rechtslage, Bundes-Immissionsschutzgesetz und TA Lärm“, Quelle: © animaflora - fotolia.com
Titelbild Kapitel „Umweltauswirkungen der Erneuerbaren Energien“, Quelle: © Marco2811 - fotolia.com
Titelbild Kapitel „Windenergieanlagen“, Quelle: Thomas Schmitt
Titelbild Kapitel „Biogasanlagen“, Quelle: © Karin Jähne - fotolia.com
Titelbild Kapitel „Wasserkraft“, © megakunstfoto - fotolia.com
Titelbild Kapitel „Geothermieanlagen“, Quelle: C.-C. Hantschk (Müller-BBM GmbH, Planegg)
Bild S. 59 „El Tatio zum Sonnenaufgang“, Quelle: Falk Morus
Bild S. 64 „Das höchstgelegene Geysirfeld der Welt“, Quelle: Falk Morus
Titelbild Kapitel „Luftwärmepumpen“, Quelle: © ElasticComputerFarm - pixabay.com CC0
Titelbild Kapitel „Hochspannungsfreileitungen“, Quelle: © Gudellaphoto - fotolia.com
Bild S. 79 „Freileitung“, Quelle: Christian Hettig (Kurz und Fischer, Winnenden)
Titelbild Kapitel „Zusammenfassung“, Quelle: © natanaelginting - fotolia.com

Abb. 1: Bruttostromerzeugung in Deutschland 2021, Quelle: AG Energiebilanzen
Abb. 2: Ausbauszenario 2045 für Stromerzeugung in Deutschland, Quelle: Kiefer, Christoph; Sensfuß, Frank; Deac, Gerda (2022): Langfristszenarien 3 T45 Szenarien. https://enertile-explorer.isi.fraunhofer.de:8443/open-view/48610/5a23ce0d09361a2dcd5d8a72e34cfe58
Abb. 3: Infraschall und tieffrequente Geräusche von Windkraftanlagen und Straßenverkehr, Quelle: [7], Abb. 2-3, LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2016
Abb. 4: Kullissenschalldämpfer, Quelle: C.-C. Hantschk (Müller-BBM GmbH, Planegg)
Abb. 5: Schallausbreitung in Abhängigkeit vom Schalleistungspegel der Windenergieanlage, Quelle: Akustikbüro Schwartzenberger und Burkhart, Pöcking
Abb. 6: Mindestabstände für die Einhaltung gebietsabhängiger Immissionsrichtwerte der TA Lärm, Quelle: ALD
Abb. 7: Stationäre Luftwärmepumpe im Wohngebiet, Quelle: Regina Heinecke-Schmitt
Abb. 8: Dominierende Schallquellen einer WEA, Quelle: Original Akustische Kamera der gfai tech GmbH Berlin
Abb. 9: Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit bei WEA, Quelle: KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG
Abb. 10: Infraschall und trieffrequente Geräusche von WEA, Quelle: [7], Abb. 4.6-7, LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2016
Abb. 11: Hintergrundgeräusch und Gesamtgeräusch im Frequenzbereich des Infraschalls bei einer Entfernung von 300 m zur WEA , Quelle: [7], Abb. 4.4-3, LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2016
Abb. 12: Kleinwindenergieanlage, Quelle: © Kara - fotolia.com
Abb. 13: BHKW „Marke Eigenbau“, Quelle: [44], Abb. 4, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg 2011
Abb. 14: Professionell hergestelltes Biogas-Containermodul, Quelle: Stand der Lärmminderung bei Biogasanlagen, Abb.1; Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG), Güstrow 2014
Abb. 15: Biogasanlage; Quelle: Akustikbüro Schwartzenberger und Burkhart, Pöcking
Abb. 16: Wasserkraftwerk, Quelle: Akustikbüro Schwartzenberger und Burkhart, Pöcking
Abb. 17: Schema Wasserkraft, Quelle: Thomas Beckenbauer (Müller-BBM GmbH, Planegg)
Abb. 18: Varianten der Erdwärmesysteme, Quelle: Roadmap Oberflächennahe Geothermie, Fraunhofer IEG, 2022, Holger Born et al.
Abb. 19: Dampfleitung o. Schallschutz, Quelle: C.-C. Hantschk (Müller-BBM GmbH, Planegg)
Abb. 20: Dampfleitung m. Schallschutz, Quelle: C.-C. Hantschk (Müller-BBM GmbH, Planegg)
Abb. 21: Geothermiebohrung, Quelle: © davis - fotolia.com
Abb. 22: Luft/Wasser-Wärmepumpe, Quelle: Akustikbüro Schwartzenberger u. Burkhart, Pöcking
Abb. 23: Pegelerhöhungen durch unterschiedliche Aufstellszenarien von stationären Anlagen im Wohngebiet, Quelle: [17], Abb. 2
Abb. 24: Luftwärmepumpe, Quelle: [44], Abb. 32, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg 2011
Abb. 25: Messwerte Geräuschimmissionen, Quelle: Hettig, Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL) Band 6 (2012) Nr. 4

Abkürzungsverzeichnis

ALD	Arbeitsring Lärm der Deutschen Gesellschaft für Akustik e.V.
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift
BauGB	Baugesetzbuch [10]
BauNVO	Baunutzungsverordnung [11]
BGBl	Bundesgesetzblatt
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz [12]
BImSchV	Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
EE	Erneuerbare Energie(n)
FGW	Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien e.V.
HGÜ	Hochspannungsgleichstromübertragungsleitungen
ISO	International Organization for Standardization
KWEA	Kleinwindanlagen
LAI	Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
NawaRo	nachwachsende Rohstoffe
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm, siehe [5]
WEA	Windenergieanlage
WHO	World Health Organization – Weltgesundheitsorganisation

Literaturverzeichnis

[1] DEGA-Symposium „Energiewende und Lärmschutz“: http://www.ald-laerm.de/ald/projekte-des-ald/2013/symposium-energiewende-und-laermschutz/ (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[2] Umweltbundesamt: Erneuerbare Energien in Deutschland. Daten zur Entwicklung im Jahr 2021. Hintergrund. Dessau-Roßlau. März 2022. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/hg_erneuerbareenergien_dt.pdf (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[3] Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728)

[4] Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 20. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2512)

[5] Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) – Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 26.08.1998 (GMBl. Nr. 26/1998, S. 503) geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5)

[6] DIN 45680:1997-03, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft, Beuth-Verlag

[7] Messbericht „Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen“, LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe 2016

[8] DIN 45680:2020-06 - Entwurf Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen (22.05.2020), siehe https://www.beuth.de/de/norm-entwurf/din-45680/321484067 (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[9] Gesetz zur Erhöhung und Beschleunigung des Ausbaus von Windenergieanlagen an Land vom 20.07.2022 (BGBl. L S. 1353)

[10] Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. I Nr. 6)

[11] Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. I Nr. 6)

[12] Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 3 des Gesetzes vom 19. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1792) geändert worden ist

[13] Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Mai 2017 (BGBl. I S. 1440), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1799)

[14] Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung – 32. BImSchV vom 29. August 2002 (BGBl. I S. 3478), zuletzt geändert durch Artikel 14 des Gesetzes vom 27. Juli 2021 (BGBl. I S. 3146)

[15] Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV vom 26. Januar 2010 (BGBl. I S. 38), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Oktober 2021 (BGBl. I S. 4676)

[16] Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 905), zuletzt geändert durch Artikel 256 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328)

[17] LAI-Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten“ vom 28.03.2020; https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/leitfaden_verbesserung_schutz_gegen_laerm_bei_stat_geraete_1588594414.pdf (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[18] http://lwpapp.webyte.de/#/einfuehrung (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[19] World Health Organization (WHO) (2018): Environmental noise guidelines for the European region. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe. 2018. https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563 (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[20] Freiberg, A.; Schefter, C.; Girbig, M.; Murta, V.C. & Seidler, A. (2019): Health effects of wind turbines on humans in residential settings: Results of a scoping review. In: Environmental Research, 2019, 169, 446–463.

[21] Van Kamp, I. & Van den Berg, G.P. (2020): Health effects related to wind turbine sound: an update. RIVM report 2020-0150, Bilthoven, The Netherlands. DOI:10.21945/RIVM-2020-0150

[22] Piorr, D. (2019): Windenergieanlagen und WHO-Umgebungslärm-Leitlinien. In: Fortschritte der Akustik – DAGA 2019, 45. Jahrestagung für Akustik, Rostock, S. 716–719.

[23] Schmitter, S.; Alaimo Di Loro, A.; Hemmer, D.; Schreckenberg, D.; Großarth, S.; Pörschmann, C. & Kühner, T. (2022): Geräuschwirkungen bei der Nutzung von Windenergie an Land. Texte 69/2022. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. 2022. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/geraeuschwirkungen-bei-der-nutzung-von-windenergie (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[24] https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erneuerbare-energien-in-deutschland-0 (S. 9; letzter Aufruf: 31.01.2023)

[25] Langfrist- und Klimaszenarien BMWK 2022 https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/langfrist-und-klimaszenarien.html (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[26] https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Erdbeben-Gefaehrdungsanalysen/Seismologie/Kernwaffenteststopp/Projekte/laufend/infraschall_WEA.html (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[27] Kudella, P. (2020): Objektive Kriterien zu Erschütterungs- und Schallemissionen durch Windenergieanlagen im Binnenland: Zusammenfassender Schlussbericht zum Gesamtvorhaben. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie. https://fachagentur-windenergie.de/aktuelles/detail/schwaecher-als-ein-beben-in-alaska/ (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[28] Pilger, C. & Ceranna, L.: The influence of periodic wind turbine noise on infrasound array measurements. In: Journal of Sound and Vibration, Vol. 388, pp. 188–200, 2017. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2016.10.027 (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[29] https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Erdbeben-Gefaehrdungsanalysen/Seismologie/Downloads/infraschall_WEA_FactSheet.pdf;jsessionid=DCC1F06199F853A18B278C069C6F6CD6.2_cid284?__blob=publicationFile&v=10 (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[30] Krahé, D.; Alaimo Di Loro, A.; Müller, U.; Elmenhorst, E.-M.; De Gioannis, R.; Schmitt, S.; Belke, C.; Benz, S.; Großarth, S.; Schreckenberg, D.; Eulitz, C.; Wiercinski, B. & Möhler, U.: Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen. Texte 163/2020, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. 2020. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/laermwirkungen-von-infraschallimmissionen (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[31] FGW e.V. - Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien: Bestimmung der Schallemissionswerte, Revision 19, Stand 01.03.2021.

[32] DIN EN 61400-11 (VDE 0127-11):2019-05 Windenergieanlagen – Teil 11: Schallmessverfahren. Berlin, Beuth Verlag 2019.

[33] DIN EN 61672-1:2014-07 Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen. Berlin, Beuth Verlag 2014.

[34] DIN ISO 9613-2:1999-10: Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien – Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO 9613-2:1996). Berlin, Beuth Verlag 1999.

[35] Dokumentation zur Schallausbreitung – Interimsverfahren zur Prognose der Geräuschimmissionen von Windkraftanlagen, Fassung 2015-05.1. Ergänzung zu DIN ISO 9613-2 und DIN EN 61400-11. https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nals/dokumentation-zur-schallausbreitung-interimsverfahren-zur-prognose-der-geraeuschimmissionen-von-windkraftanlagen-fassung-2015-05-1-85310 (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[36] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI): LAI-Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen, Stand 30.06.2016. https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/20171201-top09_1_anlage_lai_hinweise_wka-_stand_2016_06_30_veroeffentlicht_2_1512116255.pdf (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[37] Fachverband Biogas e.V.: Pressemitteilung „Trotz großer Nachfrage nach Biogaswärme nur wenig Zubau – Fachverband BIOGAS“ vom 06.10.2022. https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE-Grosse-Nachfrage--wenig-Zubau?open&ccm=050 (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[38] Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG MV): Stand der Technik zur Lärmminderung bei Biogasanlagen: schalltechnische Analysen, Recherchen, Untersuchungen. Materialien zur Umwelt, Heft 1, 2014.

[39] Bundesverband Geothermie: Tiefe Geothermie-Projekte in Deutschland 2021/22. Berlin, August 2021.

[40] Born, H.; Bracke, R.; Eicker, T. & Rath, M.: Roadmap Oberflächennahe Geothermie, Erdwärmepumpen für die Energiewende – Potenziale, Hemmnisse und Handlungsempfehlungen. Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG, Bochum, Juni 2022.

[41] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – vom 19. August 1970.

[42] Bundesberggesetz vom 13. August 1980 (BGBl. I S. 1310), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 14. Juni 2021 (BGBl. I S. 1760).

[43] Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. I Nr. 5).

[44] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Tieffrequente Geräusche bei Biogasanlagen und Luftwärmepumpen (Auszug Teil III). Augsburg (2011). https://www.lfu.bayern.de/laerm/gewerbe_anlagen/luftwaermepumpen/doc/tieffrequente_geraeusche_teil3_luftwaermepumpen.pdf (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[45] Arbeitsgruppe Energie-Monitoring der Bundesnetzagentur und des Bundeskartellamts: Monitoringbericht 2022 gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/MonitoringberichtEnergie2022.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[46] Jovcic, D.: High Voltage Direct Current Transmission – Converters, Systems and DC Grids. 2. Auflage. John Wiley & Sons, 2019.

[47] Bundesbedarfsplangesetz vom 23. Juli 2013 (BGBl. I S. 2543; 2014 I S. 148, 271), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 8. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1726). https://www.gesetze-im-internet.de/bbplg/ (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[48] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Messtechnische Felduntersuchungen zu Koronageräuschen. Umwelt und Geologie – Lärmschutz in Hessen, Heft 5. 2015. https://www.hlnug.de/fileadmin/shop/files/Schriften_Laerm_587.pdf (letzter Aufruf: 31.01.2023)

88

[49] Semmler , M., Straumann , U., Roero , C., & Teich , T. H. (2005): Tonale Schallemissionen von Hochspannungsfreileitungen. Bulletin SEV/VSE Ausgabe 15, S. 13–17.

[50] Heutschi, K.: Untersuchungsbericht Nr. 452‘574, int. 561.2436, Aufarbeitung der CONOR Forschungsergebnisse für den Vollzug. Dübendorf, Empa, 2010. http://www.laerm.ch/dokumente/Hochspannungl_Laerm_CONOR-Ergebnisse.pdf (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[51] Dürrenberger, G.; Fröhlich, J. & Röösli, M.: Gesundheitliche Wirkungen von Hybridleitungen – Literaturanalyse zum Stand der Forschung. Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation, 2020. https://mkuem.rlp.de/fileadmin/14/Themen/Umweltschutz/Nichtionisierende_Strahlung/Studie_Gesundheitliche_Wirkungen_von_Hybridleitungen.pdf (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[52] Shin, K. Y.; Oh, J. A.; Kwon, G. M.; Ju, M. N. & Woo, J. M.: Long-term evaluation of HVDC transmission line audible noise and its correlation with background noise. In: AIP Advances Vol. 9, Issue 9, 095014, 2019. https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5111434 (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[53] Energiewirtschaftsgesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 25. November 2022 (BGBl. I S. 2102). https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/ (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[54] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI): LAI- Handlungsempfehlungen für EMF- und Schallgutachten zu Hoch- und Höchstspannungstrassen in Bundesfachplanungs-, Raumordnungs- und Planfeststellungsverfahren. UMK Umlaufverfahren Nr. 14/2022. https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/lai-handlungsempfehlungen-fuer-emf-und-schallgutachten-zu-hoch-und-hoechstspannungstrassen_2_3_1654006906.pdf (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[55] Newsletter des ALD: https://www.ald-laerm.de/fileadmin/ald-laerm.de/Newsletter/Newsletter-Archiv/ALD-Newsletter_4_2022.pdf (Punkt 1.2) (letzter Aufruf: 31.01.2023)

[56] Windenergieflächenbedarfsgesetz vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1353). https://www.gesetze-im-internet.de/windbg/ (letzter Aufruf: 31.01.2023)

89

ENERGIEWENDE UND LÄRMSCHUTZ

ALD
ARBEITSRING LÄRM
DER DEGA