# ENERGIEWENDE UND LÄRMSCHUTZ

## ALD-Schriftenreihe Band 2 (2016)

ALD
ARBEITSRING LÄRM DER DEGA

Impressum

**ENERGIEWENDE UND LÄRMSCHUTZ**

**HERAUSGEBER**
Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA)
Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD)
Voltastraße 5, Gebäude 10-6, 13355 Berlin
Tel.: 030 / 340 60 38 02
E-Mail: ald@ald-laerm.de
www.ald-laerm.de

**REDAKTION**
Evelin Baumer
Thomas Beckenbauer
Christian Burkhart
Christoph Fritzsche
Regina Heinecke-Schmitt
Michael Jäcker-Cüppers
Christin Peschel
Dirk Schreckenberg

**AUTORIN**
Monika Agatz

**REFERENTEN DES SYMPOSIUMS „ENERGIEWENDE UND LÄRMSCHUTZ“**
Thomas Beckenbauer
Stefan Becker
Armin Brauns
Christian Burkhart
Carl-Christian Hantschk
Christian Hettig
Sven Kersten
Detlef Krahé
Detlef Piorr
Sven-Oliver Wessolowski

**GRAFISCHE GESTALTUNG**
Lena Kohlhof
Friedrich Karas

**GEFÖRDERT VON**
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Umweltbundesamt

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 5
Energiewende 6
Technische Akustik 8
Tieffrequente Geräusche und Infraschall 9
Planungsrechtliche Steuerung von Windenergieanlagen 14
Planungsrechtliche Steuerung von Anlagen in Wohngebieten 19
Rechtslage, Bundes-Immissionsschutzgesetz und TA Lärm 22
Umgang mit Kleinanlagen der Erneuerbaren Energien in Wohngebieten 24
Umweltauswirkungen der Erneuerbaren Energien 26
Wirkung durch Schallimmissionen der Erneuerbaren Energien 27
Windenergieanlagen 32
Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen 32
Emissionsmessungen und Immissionsprognosen 37
Genehmigung und Überwachung 40
Kleinwindanlagen 40
Fazit und Ausblick 41
Biogasanlagen 44
Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen 44
Genehmigung und Überwachung 48
Fazit und Ausblick 49
Wasserkraft 52
Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen 52
Fazit und Ausblick 54
Geothermieanlagen 56
Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen 56
Genehmigung und Bewertung der Immissionen 59
Fazit und Ausblick 60
Luftwärmepumpen 62
Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen 62
Genehmigung und Bewertung der Immissionen 65
Fazit und Ausblick 67

# INHALT

Hochspannungsfreileitungen 70
Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen 70
Immissionsprognosen und -messungen 72
Fazit und Ausblick 75
Zusammenfassung 76
Abbildungsverzeichnis 78
Abkürzungsverzeichnis 80
Literaturverzeichnis 82

# Vorwort

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

ENERGIE

# 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 20 Jahre lag der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2015 bei 30,1 % (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 2050 anvisiert.

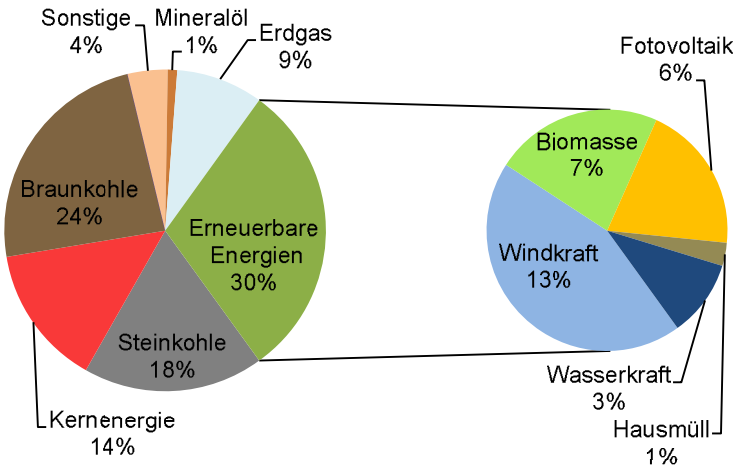



Abb.1: Bruttostromerzeugung in Deutschland 2015

Konventionelle Kraftwerke sind großindustrielle Projekte. Die an einem Standort installierte Leistung liegt etwa zwischen 200 MW und 4000 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 2015 ein Anteil von 13,2 % auf Erneuerbare Energien umgestellt. Da es sich dabei überwiegend um die Beheizung und Warmwasserversorgung von Gebäuden handelt, befinden sich diese Anlagen in oder in unmittelbarer Nähe der Häuser, ihre Leistung ist entsprechend klein und ihre Zahl groß. Statt klassischer Heizkessel kommen nun Wärmepumpen, Mini-Blockheizkraftwerke (BHKW) oder Solarthermie zum Einsatz. Mit den Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) [2] und des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) [3], die die Nutzung Erneuerbarer Energien fordern, sowie diversen Förderprogrammen wird auch die Zahl 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.

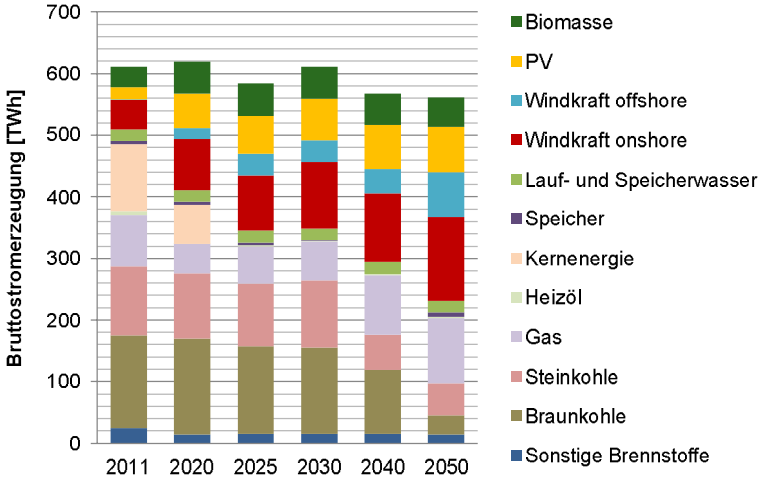



Abb. 2: Strommix im Ausbauszenario 2050

AKUSTIK

# Technische Akustik

Die technische Akustik geht an Anlagen der Erneuerbaren Energien genauso heran wie an jede andere technische Anlage. 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 bildet allerdings die Windenergie, da Windenergieanlagen als Gesamtkonstrukt eine neuartige Schallquelle darstellen, für die man zwar auf Basiswissen ähnlicher Schallquellen zurückgreifen kann, aber auch viele neue Aspekte zu bearbeiten sind. Hierzu wurde in den vergangenen 20 Jahren bereits umfangreiches Wissen aufgebaut und in akustische und rechtliche 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 hierzu 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.

## Tieffrequente Geräusche und Infraschall

Als tieffrequente Geräusche bezeichnet die Technische Anleitung (TA) Lärm [5] Schall unterhalb einer Frequenz von 90 Hz (siehe TA Lärm, Nr. 7.3; die obere Grenzfrequenz der 80 Hz-Terz liegt bei 89 Hz), differenziert davon wird nochmals der sogenannte Infraschall unterhalb einer Frequenz von 20 Hz. 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 zwischen 25 und 100 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. Die TA Lärm nennt unter Ziffer A.1.5 beispielhaft einige klassische technische Aggregate als typische Quellen tieffrequenter Geräusche. Mit dem Straßenverkehr

und PKW-Innengeräuschen (siehe Abb. 3), 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. Aus akustischer Sicht sind daher auch die tieffrequenten 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

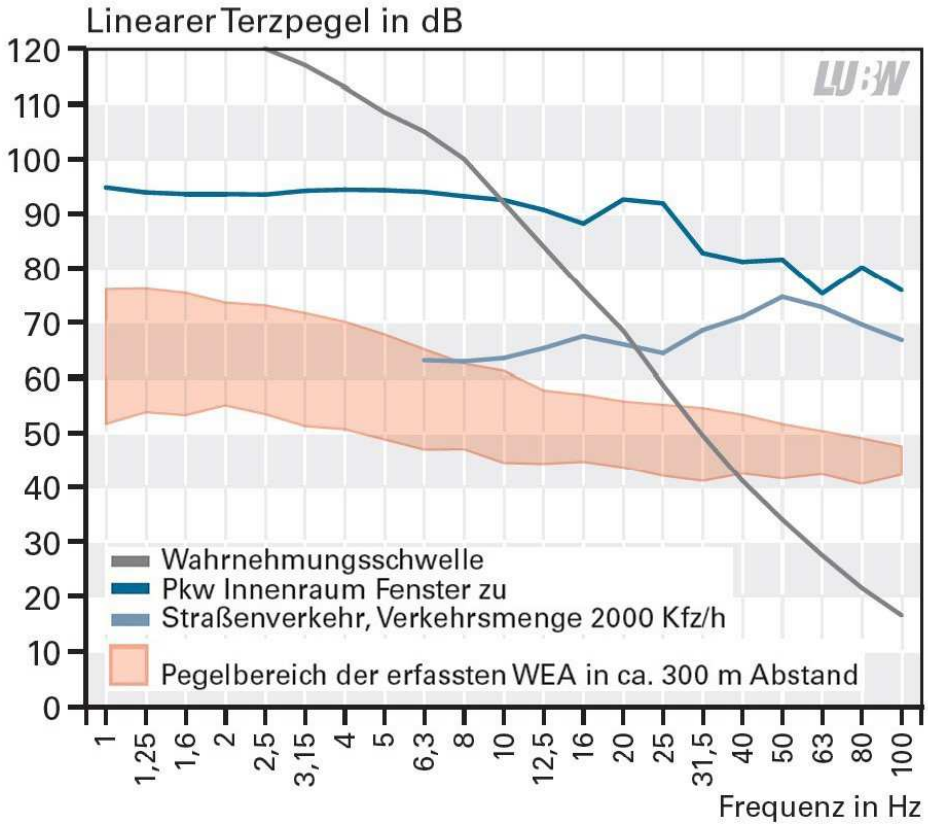



Abb. 3: Infraschall und tieffrequente Geräusche von Windkraftanlagen und Straßenverkehr

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. Die TA Lärm gibt vor, wann welches Bewertungsverfahren einzusetzen ist. Im normalen Frequenzbereich erfolgt eine summarische Bewertung aller Frequenzen des Geräusches. Dabei trägt die sogenannte A-Bewertung der frequenzabhängigen Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs durch Zu- und Abschläge auf die Pegel der einzelnen Terzen Rechnung, so dass der Summenpegel dem menschlichen Höreindruck angenähert wird. Die einzuhaltenden Richtwerte der TA Lärm sind dann auf diesen Summenpegel bezogen und liegen weit oberhalb der Hörschwelle. Für tieffrequente Geräusche gilt ein gesondertes Bewertungsverfahren nach DIN 45680 (mit Beiblatt 1) [7], das für jede Terz eine Analyse auf die Überschreitung der Hörschwelle und auf das Hervortreten von Einzeltönen durchführt. 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, es wurden bisher mehrere Entwurfsfassungen veröffentlicht und diskutiert. 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 nur noch wenig 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 prognostisch berechnen, so dass die DIN 45680 hier eine messtechnische Ermittlung innerhalb des Raumes vorsieht.

Für einen Anlagenbetreiber ergibt sich daraus das Dilemma, dass die Wirkung der Schallimmissionen seiner Anlage von vielen Faktoren abhängt, die er nicht beeinflussen kann. Daher müssen Schallminderungsmaßnahmen für tieffrequente Geräusche bereits an der Quelle ansetzen. Auch 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, es stehen in der Akustik jedoch ausreichende spezielle Schalldämpfer für tiefe Frequenzen zur Verfügung. Jedermann bekannt sind sie z.B. als Endschalldämpfer im Auspuff von PKW – dieselbe Technik kann der Akustiker z.B. auch bei Abgaskaminen von Blockheizkraftwerken, die nichts anderes als ein großer Verbrennungsmotor sind, anwenden.

Das Bauplanungsrecht regelt die Flächennutzung und die Bebauung verschiedener Flächen mit baulichen Anlagen. Gebaut wird in der Regel auf der Basis von Bauleitplänen, die festlegen, was wo und in welcher Form gebaut werden darf. Auf diese Weise

kann nicht nur eine geordnete städtebauliche Entwicklung sichergestellt, sondern auch ein vorbeugender Immissionsschutz z.B. durch räumliche Trennung von emittierenden Anlagen und schutzwürdiger Bebauung oder durch baubezogene Anforderungen an die baulichen Anlagen umgesetzt werden.

Abb. 4: Kulissenschalldämpfer für große Kühltürme

PLANUNG

# Planungsrechtliche Steuerung von Windenergieanlagen

Windenergieanlagen (WEA) sind im Außenbereich, also außerhalb des geschlossenen Siedlungsbereichs, seit 1996 nach den Regelungen des Baugesetzbuches (BauGB) [8] (§ 35 Abs. 1 Nr. 5 BauGB) „privilegiert“, d.h. sie sind dort bauplanungsrechtlich überall zulässig, ohne dass es notwendig wäre, zuvor einen Bebauungsplan aufzustellen. Um die Windenergienutzung dennoch planerisch steuern zu können und eine ungeordnete Entwicklung der Windenergie (Verspargelung der Landschaft) zu vermeiden, hat der Gesetzgeber in § 35 Abs. 3 Satz 3 BauGB gleichzeitig die Möglichkeit eröffnet, Windenergieanlagen auf bestimmte Flächen zu konzentrieren. Diese „Konzentrationsplanung“ hat zur Folge, dass auf den anderen Flächen WEA unzulässig werden. Je nach Bundesland kann die Konzentrationsplanung auf der Ebene der Gemeinden, von Planungsgemeinschaften oder der Regionalplanung erfolgen.

Eine solche Steuerung der Windenergie muss bestimmte Anforderungen erfüllen, um rechtswirksam zu sein: Der Planungsträger hat zunächst Flächen auszuschließen, auf denen WEA aus rechtlichen Gründen auch unter Auflagen oder Einschränkungen nicht möglich sind (sog. „harte Tabuzonen“). Harte Tabuzonen sind einer Abwägung nicht zugänglich. In Hinsicht auf den Schallimmissionsschutz sind dies Standorte, an denen WEA die Richtwerte der TA Lärm [5] auch unter Berücksichtigung von Schallreduzierungen überschreiten würden. In einem zweiten Schritt können Flächen ausgeschlossen werden, die nach planerischem Willen von WEA freigehalten werden sollen. Diese sogenannte „weichen Tabuzonen“ gehören zu den Flächen, die einer Abwägung zugänglich sind. Der Plangeber muss gemäß Rechtsprechung des BVerwG die Entscheidung für eine weiche Tabuzone rechtfertigen und aufzeigen, wie er die eigenen Ausschlussgründe bewertet. Dies können z.B. auch Flächen im Umfeld von Wohnsiedlungen sein, die aus Vorsorgegründen in Bezug auf Schallimmissionen von WEA freigehalten werden sollen. Das heißt, dass Planungsträger prinzipiell einen größeren Abstand von Wohngebieten

und Einzelwohnhäusern vorsehen können, als er minimal zur Einhaltung der Richtwerte der TA Lärm zwingend erforderlich ist. Allerdings steht diese Vergrößerung des Abstands unter der Prämisse, dass auch mit diesen größeren Ausschlussflächen schlussendlich für WEA ausreichend Flächen übrig bleiben. Nach der Rechtsprechung des BVerwG bedarf es zur Herbeiführung der Steuerungswirkung des § 35 Abs. 3 Satz 3 des BauGB eines schlüssigen Gesamträumlichen Konzeptes. Eine Konzentrationsplanung – und damit der Ausschluss von WEA außerhalb der Konzentrationszonen – ist nur dann möglich, wenn der Windenergienutzung an geeigneten Standorten so substantiell Raum verschafft wird, dass es ihrer Privilegierung nach § 35 Abs. 1 Nr. 5 BauGB gerecht wird. Im Einzelfall kann es daher erforderlich sein, dass der Planungsträger den lediglich aus Vorsorgegründen gewählten Abstand so weit verkleinert, bis ausreichende Flächen für WEA verbleiben oder komplett auf die Steuerung der Windenergie verzichtet. Der

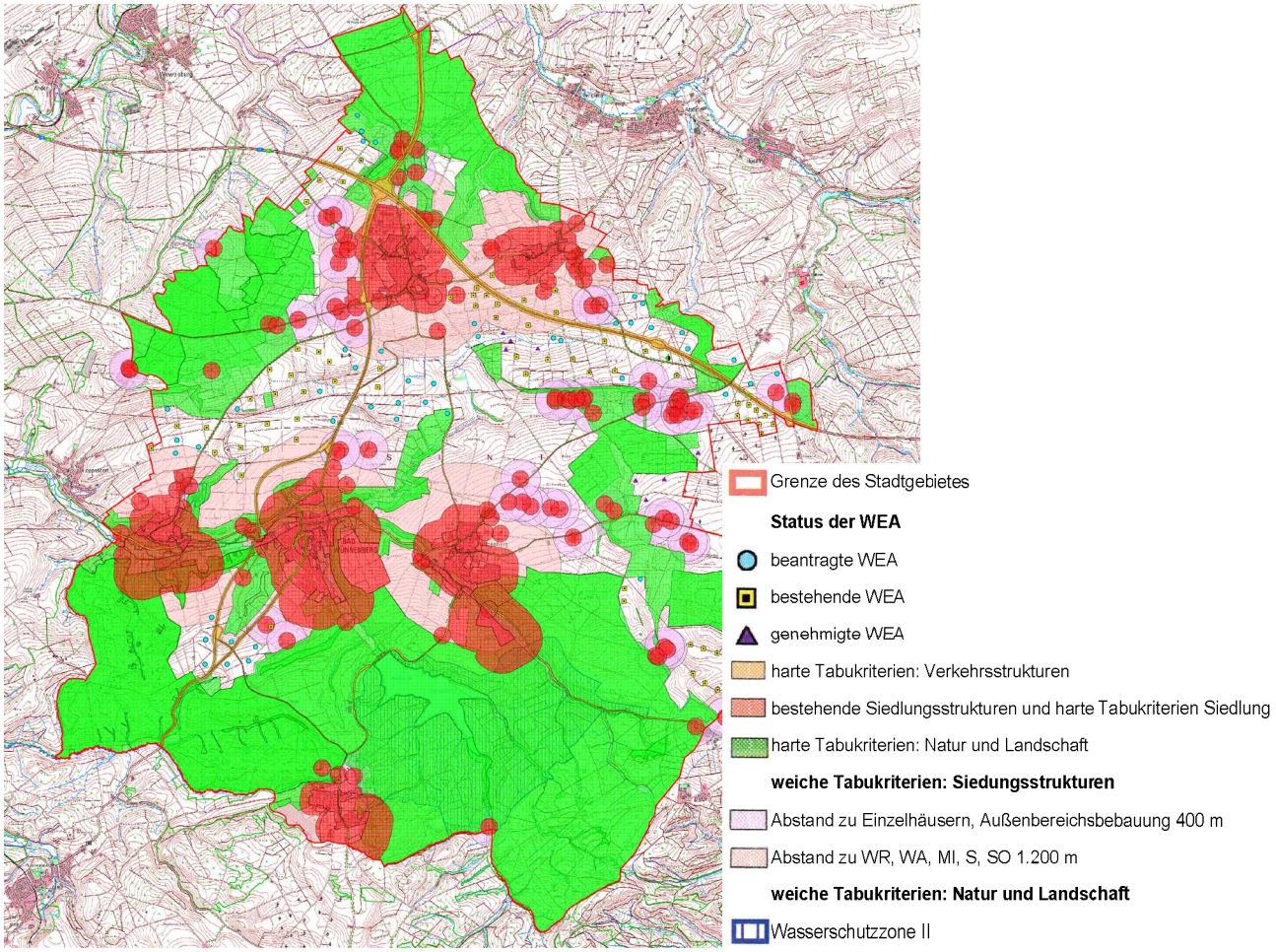



Abb. 5: Beispiel für eine Tabuflächenuntersuchung zur Ausweisung von Windenergiekonzentrationszonen im Flächennutzungsplan

Planungsträger muss hier also die richtige Balance zwischen der baurechtlichen Privilegierung und dem öffentlichen Interesse an WEA und zahlreichen anderen Interessen finden, von denen der Schallimmissionsschutz nur ein Aspekt unter vielen ist. Sind geeignete Flächen für Windenergie knapp, da viele Nutzungen und Schutzgebiete vorhanden sind, stellt sich für die Gemeinden oft die Frage, welche planerisch gewählten Abstände oder Freihaltungsinteressen, also welche „weichen Tabuzonen“ reduziert werden sollen, um ausreichende Flächen für WEA zur Verfügung stellen zu können (siehe Abb. 5). Der Schallschutz steht hier also in Konkurrenz zu anderen Schutzinteressen. Manche Planungsträger bewerten dabei den Schallimmissionsschutz und die allgemeine Zumutbarkeit für die Menschen höher als den oft gegenläufigen Naturschutz und behalten große bis sehr große Abstände von 1.000 m und mehr von Wohnsiedlungen bei. Andere hingegen verhalten sich genau umgekehrt und reduzieren die Abstände zur Wohnbebauung, um Natur- und Landschaftsschutzgebiete, historische Kulturlandschaften oder Tourismusgebiete ggf. einschließlich eines Pufferbereichs freizuhalten. Die Bundesländer geben hierzu unterschiedliche Empfehlungen an die Planungsträger; letztere entscheiden aber schlussendlich in eigener Planungshoheit.

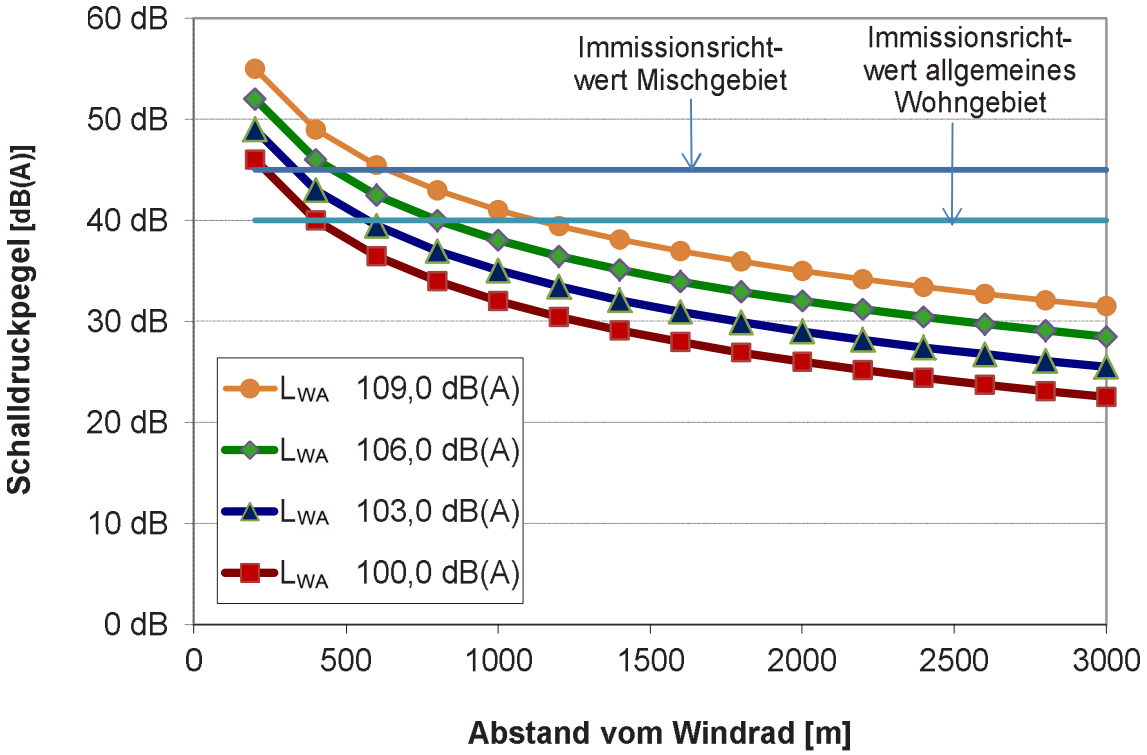



Abb. 6: Schallausbreitung in Abhängigkeit vom Schalleistungspegel des Windrades

Bei der Berücksichtigung des Schallimmissionsschutzes stellt sich zunächst die Frage, welcher Abstand von der Wohnbebauung als „harte“ Tabuzone zu klassifizieren ist, weil er zwingend erforderlich ist, um die Richtwerte der TA Lärm einzuhalten, und welchen Abstand man mit Schallimmissionsvorsorge als „weiche“ Tabuzone begründen kann. Da in dieser Phase der Planung noch nicht bekannt ist, wie groß die später resultierenden Konzentrationszonen sind und wie viele WEA dort in welchem Aufstellungsmuster aufgestellt werden können, kann auch kein exakter Mindestabstand als „harte Tabuzone“ berechnet werden. Einige Oberverwaltungsgerichte haben daher anerkannt, dass man die für den Schallschutz erforderlichen harten Tabuzonen an Hand allgemeiner Erfahrungswerte, abgestuft nach den gebietsabhängig gestaffelten Immissionsrichtwerten der TA Lärm, abschätzen darf (siehe Abb. 7), während das Oberverwaltungsgericht Nordrhein-Westfalen Mindestabstände als ungeeignet für die Beurteilung des harten Tabubereichs des Schallimmissionsschutzes ansieht. Die weiche Tabuzone soll nach der Vorstellung der Gerichte einen zusätzlichen Abstand gewähren, der über die Einhaltung der Richtwerte der TA Lärm hinaus eine gewisse schallimmissionsschutzrechtliche Vorsorge gewährt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass größere Abstände zunächst dazu führen, dass die später errichteten WEA nachts nicht im schallreduzierten Betriebsmodus, sondern im Volllastbetrieb gefahren werden, da der größere Abstand auch zur Nachtzeit höhere Schallleistungspegel zulässt. Erst wenn der Abstand noch weiter vergrößert wird, tritt eine Unterschreitung der Immissionsrichtwerte und damit Vorsorge

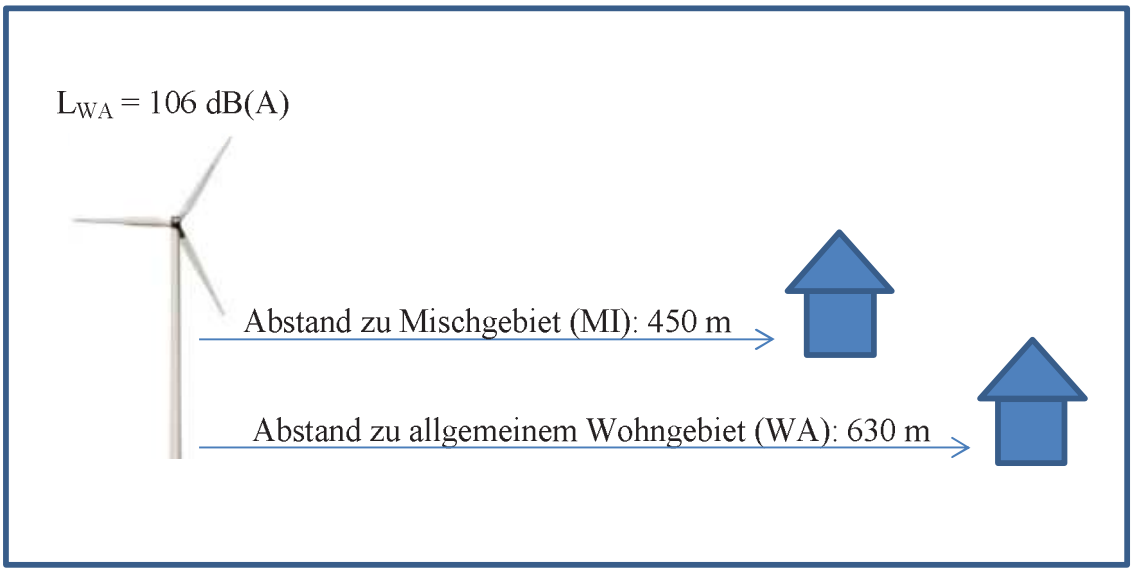



Abb. 7: Gebietsabhängige Immissionsrichtwerte der TA Lärm als Grundlage für „harte Tabuzonen“

ein. In welchem Abstandsbereich lediglich eine stufenweise Erhöhung des Nachtbetriebs erfolgt – und eine Differenzierung des Abstands daher schallimmissionsschutztechnisch unerheblich ist, da stets der Richtwert der TA Lärm vollständig ausgeschöpft wird – und ab wann ein Abstand tatsächlich Vorsorge bietet, hängt wiederum von der Zahl und dem Aufstellungsraster der WEA ab und lässt sich somit nicht von vornherein bei der Bestimmung eines pauschalen weichen Tabukriteriums festlegen. Faktisch bleibt für den Planungsträger daher nur die Möglichkeit, einen allgemeinen Erfahrungswert für den Schallimmissionsschutz als weiche Tabuzone zu wählen. Dieser wird umso kleiner sein, je mehr andere Aspekte bereits Flächen für WEA ausschließen. Während ein Regional- oder Flächennutzungsplan also im Wesentlichen steuert, wo WEA errichtet werden dürfen, können mit einem Bebauungsplan nähere Bestimmungen für die Errichtung der WEA innerhalb einer Konzentrationszone festgelegt werden. Bei Industrie- und Gewerbegebieten gehört hierzu die Festlegung von flächenbezogenen immissionswirksamen Schallleistungspegeln, die einerseits die Einhaltung der Immissionsrichtwerte sicherstellen und andererseits eine Kontingentierung der zulässigen Emissionen für die einzelnen Betriebe vornehmen. Da bei WEA heute standardmäßig in jedem Genehmigungsverfahren die Gesamtbelastung im Sinne der TA Lärm bestimmt und auf Einhaltung der Immissionsrichtwerte überprüft wird, entfällt für WEA die erstgenannte Funktion schalltechnischer Regelungen im Bebauungsplan und es verbleibt lediglich die Funktion einer gleichmäßigen Verteilung der Emissionskontingente auf alle WEA. Diese ist zwar für den Immissionsschutz nicht erforderlich, liegt aber mitunter im Interesse der Gemeinde, um die Konkurrenz der WEA-Betreiber um Immissionskontingente und damit Streitigkeiten zu unterbinden oder aber im öffentlichen Interesse, um den Stromertrag des Windparks zu optimieren. Da WEA nur eine geringe Grundfläche in Anspruch nehmen, kann jedoch die bekannte Kontingentierungssystematik von (grund-)flächenbezogenen Schallleistungspegeln nicht angewendet werden. Die bisher praktizierte Lösung besteht in der Festlegung von Standorten und einem zugehörigen maximal zulässigen Schallleistungspegel. Die Auswahl der Standorte auf spezifischen Grundstücken ist für die Gemeinde jedoch konfliktbelastet, und für WEA-Investoren ist die festgelegte Aufstellungskonfiguration oft zu unflexibel. Derartige Bebauungspläne sind daher eher selten. Alternative praxiserprobte Schemata für schallimmissionsschutzrechtliche Regelungen in Bebauungsplänen für WEA gibt es derzeit nicht.

## 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) [9] 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 [8], 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 Nrn. 2, 24 BauGB erlauben 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 Situation 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.

Abb. 8: Stationäres Gerät im Wohngebiet

Die Anwendung dieser Werkzeuge auf das neuartige Problem 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 derzeitigen Stand noch keine Gewähr für immissionsschutztechnisch und bauplanungsrechtlich sichere Lösungen geben.

IMMISSION

# Rechtslage, Bundes-Immissionsschutzgesetz und TA Lärm

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [10] 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 privat, 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 4. BImSchV (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen) [11] aufgelistet und bedürfen einer Genehmigung nach dem BImSchG, bei der die Prüfung der Umwelteinwirkungen im Zentrum steht. Windenergieanlagen ab 50 m Gesamthöhe, Biogasanlagen ab 1,3 Mio. m³ 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 geprüft. 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, also auch für alle Anlagen der Erneuerbaren Energien, auch wenn diese privat zu Heizzwecken genutzt werden. Die Schutzanforderung wird durch die Einhaltung von Immissionsrichtwerten, die nach der Schutzwürdigkeit des betroffenen Gebietes und nach Tag- und Nachtzeiträumen abgestuft sind, gewährleistet. Die Immissionsrichtwerte gelten grundsätzlich gleichermaßen für genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen, sie sind stets in Summe aller einwirkenden Anlagen einzuhalten. Für genehmigungsbedürftige Anlagen kann auch bei Einhaltung der Richtwerte eine darüber hinausgehende Schallminderung gefordert werden, wenn diese dem Stand der Technik entspricht und in Abhängigkeit von der Immissionssituation und der erzielbaren Schallreduzierung verhältnismäßig ist. Bei Vorliegen von Gemengelagen oder an den Randbereichen von Wohngebieten (z.B. zum Außenbereich), kann es zulässig sein, höhere Immissionsrichtwerte anzusetzen, als sie die TA Lärm für die jeweilige Gebietsart eigentlich vorsieht.

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 BImSchG-Genehmigungsverfahren 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 [10] 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 vorhandenem, sozial akzeptierten, verhaltensbezogenen Nachbarschaftslärm und dem auf einige Nachtstunden beschränkten Gastronomiebetrieb stellt ein möglicherweise stattfindender 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 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 durch einen andauernden Nachtbetrieb und störende Schaltvorgänge der Anlagen ebenso wie

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 32. BImSchV (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung) [12] 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 1. BImSchV (Kleinfeuerungsanlagenverordnung) [13] 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 des VAwS-Sachverständigen (Sachverständige gemäß der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen – VAwS [14]) bei Heizölverbraucheranlagen in Erwägung gezogen werden. Da eine bundesgesetzliche Regelung im Rahmen der 32. BImSchV noch weitergehender Diskussion bedarf, entstand im Ergebnis eines Auftrags der Umweltministerkonferenz an die Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) 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“ [15] soll die unteren Immissionsschutzbehörden bei der Einzelfallbeurteilung von Geräuscheinwirkungen durch Klimageräte, Kühlgeräte, Lüftungsgeräte, Luft-Wärme-Pumpen und Mini-Blockheizkraftwerke unterstützen, die in Gebieten stationär aufgestellt sind oder aufgestellt werden sollen, die dem Wohnen dienen. Er ist im Internet verfügbar [15].

WIRKUNG

# Umweltauswirkungen der Erneuerbaren Energien

Im Gegensatz zu den Großkraftwerken der konventionellen Energie entstehen durch den dezentralen und flächenhaften Charakter der Erneuerbaren Energien nun auch in Wohngebieten und ländlichen Regionen Stromerzeugungsanlagen und rücken damit erstmals in das Bewusstsein der dortigen Bevölkerung. Die häusliche Wärmeversorgung wird von Feuerungsanlagen, die mit den menschlichen Sinnen meist nicht erfassbare Luftschadstoffe emittieren, auf schallrelevante Anlagentypen, die vom menschlichen Gehör wahrnehmbare Schallimmissionen verursachen, umgestellt. Die Energiewende bringt es also mit sich, dass die Bürger sich intensiv und unmittelbar mit den Umweltfolgen ihres Energiekonsums auseinandersetzen müssen. Der Transformationsprozess Energiewende löst damit auch einen intensiven gesellschaftlichen Diskussionsprozess aus.

Energiekonsum ohne jegliche Umweltauswirkung ist nicht möglich. Ziel des Umweltschutzes ist es, 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 andere 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, fachlich zentriert zu betrachten und so weit möglich 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 WHO (2011) [16] zählen zu den gesundheitsbezogenen Beeinträchtigungen durch Umgebungslärm, zu dem auch der Lärm von Anlagen Erneuerbarer Energien gehört:

- Herz-Kreislauf-Erkrankungen,
- kognitive Beeinträchtigung, insbesondere von Kindern,
- Schlafstörung,
- Tinnitus und
- Lärmbelästigung.

Im Zusammenhang mit Lärmwirkungen von 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 [17], 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 unangenehmen Schallsituation nicht bzw. kaum abwenden zu können.

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

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. 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 mitunter auf Grund einer negativen Erwartungshaltung mitunter Geräusche den Erneuerbare-Energien-Anlagen 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 Erneuerbaren Energie 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 Windrädern eher der spezifischen Geräuschcharakteristika zugeschrieben werden, als dem Schallpegel. Geräusche von Windrädern variieren unregelmäßig, sind nicht vorhersagbar und werden bestimmt von der Windgeschwindigkeit und -richtung.

Von Industrieanlagen ist der „nicht-vor-meiner-Haustür“-Effekt (St.-Florian-Prinzip) bekannt, der die Abwehrhaltung von Menschen bezeichnet, unerwünschte Anlagen nicht in ihrem eigenen Umfeld haben zu wollen. Im Gegensatz zu vielen Industrieanlagen sind Anlagen der Erneuerbaren Energien grundsätzlich gesellschaftlich zwar positiv bewertet, jedoch tritt auch bei ihnen der genannte Effekt auf, so dass die Anlagen im persönlichen Umfeld unerwünscht sind und Bürger wechselseitig darauf verweisen, dass der jeweils andere Standort „besser geeignet“ wäre als der bei ihnen liegende, obwohl sich dies meist nicht durch objektive Kriterien belegen lässt.

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 Erneuerbaren Energien werden sehr hohe Erwartungen gestellt, die

deutlich über denen konventioneller Industrieanlagen liegen.

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 der Erneuerbaren 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 Verordnungen Ihrer Anlage.
- 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.

WIND

# Windenergieanlagen

Im Jahr 2015 waren in Deutschland etwa 26.000 Windenergieanlagen (WEA) mit einer Gesamtleistung von 41,6 GW installiert. Verschiedene Ausbauszenarien sehen bis 2050 eine Steigerung auf etwa 50 bis 60 GW Windenergie an Land voraus. Dies ist jedoch nicht gleichbedeutend mit einer Verdoppelung der Anlagenzahl bzw. Standorte, denn ein bedeutender Teil der Leistungssteigerung wird durch das Repowering, d.h. den Austausch bestehender leistungsschwacher durch neue leistungsstarke WEA erzielt.

## Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen

Bei 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 den aerodynamischen Geräuschen 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 Tonhaltigkeiten von Getrieben, aber auch nicht ausreichend 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.

Abb. 9: Dominierende Schallquellen einer WEA in einer Aufnahme der Original Akustischen Kamera der gfai tech GmbH

Bei Windenergieanlagen dominiert das Strömungsgeräusch an den Rotorblättern (siehe Abb. 9). 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 Blattoberseite 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 ein Impulszuschlag für das typische Rotorblattschlagen in der Regel nicht zu vergeben ist. Eine fundierte psychoakustische Bewertung der Lästigkeit der differenzierten Formen des modulierten WEA-Geräusches steht noch aus. Ebenso gibt es zur

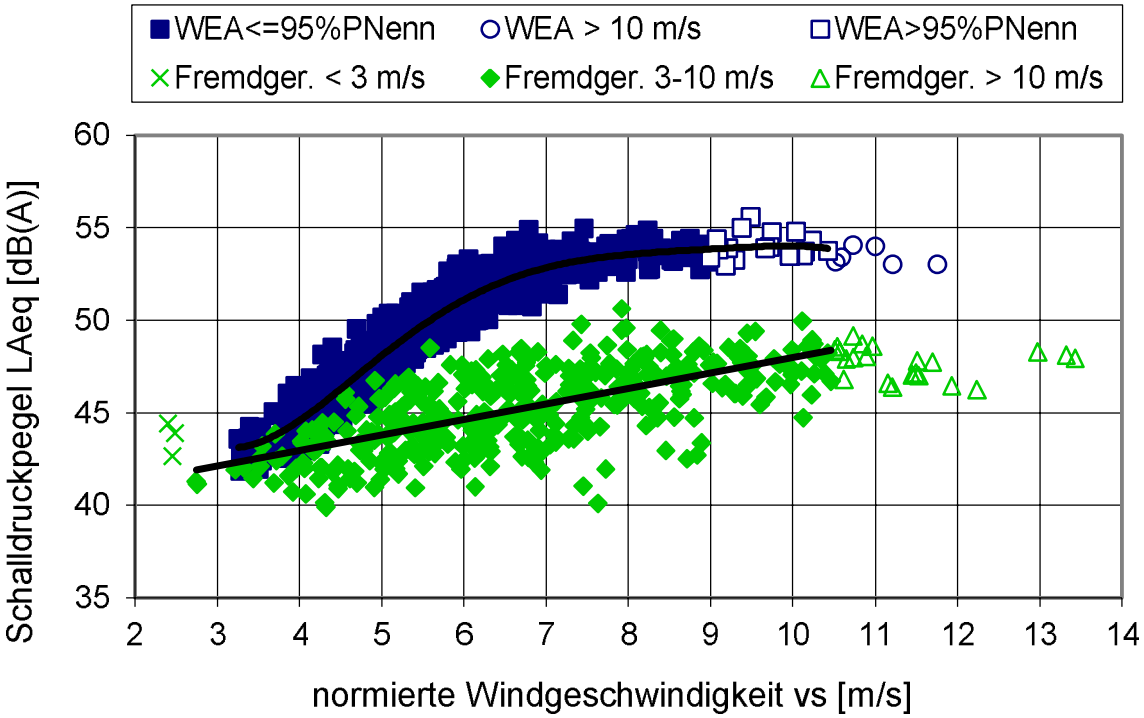



Abb. 10: Schalldruckpegel einer WEA in ca. 130 m Abstand sowie Hintergrundgeräusch in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

physikalischen Erklärung dieser akustischen Charakteristik verschiedene Ansätze, die in Forschung und Entwicklung noch eingehender zu betrachten sind.

Im Gegensatz 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 (siehe Abb. 10). Bei modernen pitch-gesteuerten WEA wird die Leistung durch das Verdrehen der Rotorblätter geregelt. 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 (Abb. 10). 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 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.

Strömungstheoretisch haben nicht nur die Windgeschwindigkeit und die Drehzahl, sondern auch die Anströmbedingungen Auswirkungen auf die aerodynamischen Schallentstehungsmechanismen. Bei realen Messungen konnte aber bisher kein Einfluss von kleinräumigen Standortbedingungen oder meteorologischen Besonderheiten wie z.B. der Windscherung, der Temperaturschichtung oder der Turbulenzintensität auf die Schallemission von WEA beobachtet werden. Anwohner nehmen hohe WEA subjektiv oft als „lauter“ wahr als kleinere WEA. Dies resultiert jedoch weder aus einer faktisch höheren Schallemission noch -immission dieser WEA, sondern lässt sich daraus erklären, dass in größerer Höhe höhere Windgeschwindigkeiten auch dann vorliegen, wenn in Bodennähe kaum Wind

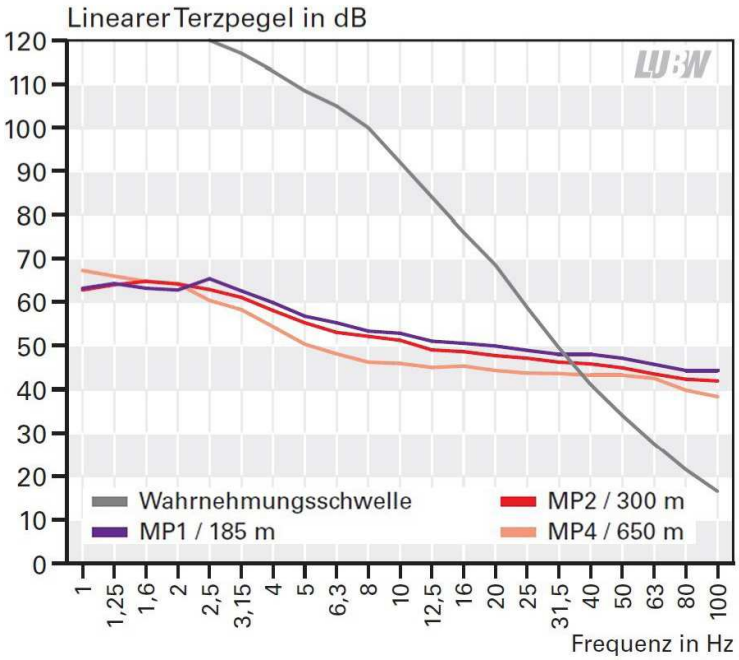



Abb. 11: Schalldruckpegelverlauf von WEA im Infraschall- und tieffrequenten Bereich im Vergleich zur Wahrnehmungsschwelle gemäß DIN 45680

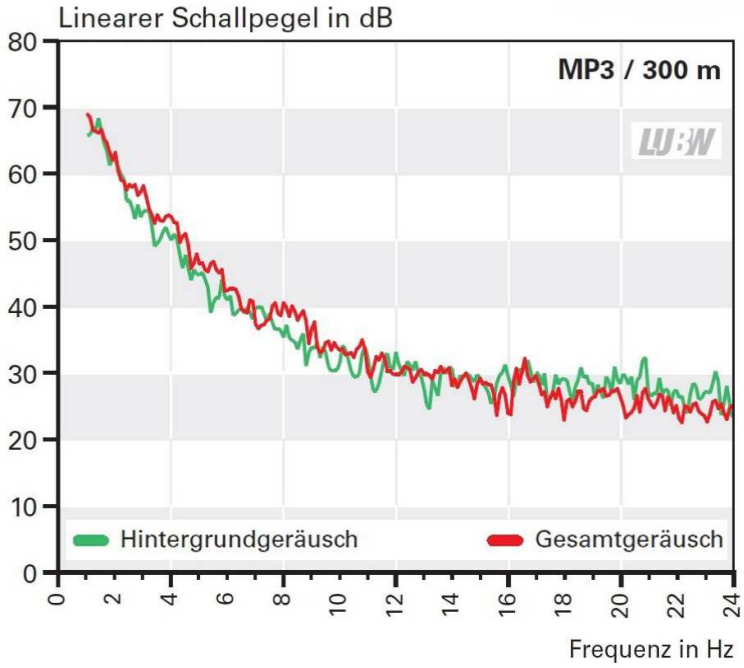



Abb. 12: Hintergrundgeräusch und Gesamtgeräusch im Frequenzbereich des Infraschalls bei einer Entfernung von 300 m zur WEA

vorhanden ist. Hohe WEA laufen daher häufiger mit hoher Leistung und damit höherer Schallemission als niedrige WEA und gleichzeitig fehlen in Bodennähe windinduzierte Geräusche, die WEA-Geräusche verdecken könnten.

Beide Effekte verändern nicht die Höhe des Schallpegels der WEA, sondern nur die subjektive Wahrnehmung des Geräusches. WEA emittieren auch tieffrequenten Schall und Infraschall. Eine Vielzahl an Messungen an WEA aller Leistungsklassen hat belegt, dass die Schallimmissionen von WEA in diesem Bereich deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle liegen (Abb. 11), in vielen Situationen konnte sogar zwischen den Messwerten bei an- und ausgeschalteter WEA kein Unterschied in diesem Frequenzbereich festgestellt werden (Abb. 12). Bei Messungen innerhalb von Gebäuden lag der Hintergrundpegel in diesem Frequenzbereich, der von haushaltsüblichen Quellen ausgeht, oft über dem der WEA. Der Wind selbst verursacht bereits hohe Schallpegel im tieffrequenten Bereich, diese werden von Anwohnern oft fälschlicherweise der WEA zugeschrieben. Die bekannten Tonhaltigkeiten von WEA liegen meist oberhalb dieses Frequenzbereichs zwischen etwa 120 und 400 Hz und wirken damit zwar belästigend, sind aber kein Infraschallproblem. Die Wirkungsforschung hat bisher keine negativen

Wirkungen im Bereich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle feststellen können, weist jedoch darauf hin, dass etwa 2 bis 5 % der Bevölkerung eine um etwa 10 dB niedrigere Wahrnehmungsschwelle haben und daher auch bei niedrigeren Schallpegeln – aber stets oberhalb der individuellen Wahrnehmungsschwelle – reagieren. Die Schallimmissionen von WEA sind im tieffrequenten und Infraschallbereich jedoch in den meisten Fällen so gering, dass sie auch eine um 10 dB abgesenkte Wahrnehmungsschwelle unterschreiten.

## Emissionsmessungen und Immissionsprognosen

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 18) [18] auf der Grundlage des Messverfahrens nach IEC 61400-11 ed. 2 (DIN EN 61400-11:2007-03) [19]. Die Messungen erstrecken sich über mehrere Windgeschwindigkeitsklassen, so dass sowohl der Teillast- als auch der Volllastbetrieb erfasst werden. Neben den A-bewerteten Schallleistungspegeln der einzelnen Windgeschwindigkeitsklassen und bei 95 % der Nennleistung ist auch das Terzspektrum des Schallleistungspegels für die Terzbänder mit den Mittenfrequenzen von 50 Hz bis 10 kHz zu ermitteln wie auch eventuelle Ton- und Impulshaltigkeitszuschläge für den Nahbereich der Anlage. Das Terzspektrum deckt den Bereich der tieffrequenten Geräusche teilweise ab. Die Tonhaltigkeitswerte werden mithilfe von Schmalbandspektren (FFT-Spektren) ermittelt, wobei die Geräte den relevanten Anforderungen nach IEC 61672-1:2013 für Messgeräte der Klasse 1 [21] im Frequenzbereich von 20 Hz bis 11.200 Hz genügen müssen. In diesem Frequenzbereich werden tonale Komponenten ermittelt. Bei der Emissionsmessung müssen auch eventuell auftretende Impulse erfasst und berücksichtigt werden. 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 Messstellen vermessen lassen. Die Ergebnisse dieser Typvermessungen stehen dann als Eingangsdaten für Immissionsprognosen konkreter Windparkprojekte zur Verfügung. Auch für WEA wird konform zur TA Lärm [5] die Ausbreitungsrechnung nach der ISO 9613-2 [22] durchgeführt. Im Gegensatz zur Schallemission ist die Schallimmission von einer Vielzahl meteorologischer Parameter abhängig, die die Schallausbreitung von einer Quelle zum Empfänger beeinflussen. Das Modell der ISO 9613-2 berechnet daher den Immissionspegel bei meteorologischen Bedingungen, die günstig für die Schallausbreitung sind. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass diese Norm nicht für derartig hoch liegende Schallquellen gedacht ist. Es wird diskutiert, ob das Ausbreitungsmodell der ISO 9613-2 für WEA als besonders hoch liegende Schallquelle angepasst werden sollte. Im Gegensatz zur standardisierten und praktikablen Emissionsmessung von WEA sind Immissionsmessungen von WEA problematisch. 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 Einfallrichtung unterscheiden und somit aus einer Geräuschkulisse heraushören kann, während ein Mikrofon diese Differenzierung nicht vornehmen und lediglich die Höhe des Schalldruckpegels messen kann. Des Weiteren kann eine Immissionsmessung unpraktikabel 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, und somit lange Wartezeiten bis zur Durchführung der Messung eintreten. Sofern überhaupt Immissionsmessungen durchgeführt werden, werden sie daher meist an Ersatzimmissionsorten, die nach guten Messbedingungen ausgewählt werden, durchgeführt. In manchen Messsituationen kann der Einsatz einer schallharten Platte als Abschirmung des Mikrofons gegenüber Störgeräuschquellen hilfreich sein (vgl. Windenergie-Erlass Brandenburg). 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 zu dieser Zeit 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.

In den letzten Jahren wurden in Deutschland durch zahlreiche schalltechnisch sachverständige Stellen und mehrere Landesumweltbehörden wiederholt Messungen der Infraschallemissionen und -immissionen von Windenergieanlagen durchgeführt.

Infraschall kann bei hohen Schalldruckpegeln oberhalb der Wahrnehmungsschwelle grundsätzlich negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben. Alle bisherigen Untersuchungen ergaben jedoch übereinstimmend, 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 600 bis 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.

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. Das Umweltbundesamt hat aktuell eine weitere Studie zur Wirkung von Infraschall in Auftrag gegeben, deren Ergebnisse 2018 vorliegen werden.

## Genehmigung und Überwachung

Große Windenergieanlagen unterliegen der Genehmigungspflicht nach dem BImSchG [10]. Dieses Verfahren stellt eine umfassende Prüfung der Umweltauswirkungen, also auch der Schallimmissionen, sicher. Eine Immissionsprognose, die auf Typvermessungen beruht und stets den gesamten Windpark sowie ggf. andere 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 häufiger Tonhaltigkeiten aufweist, dann ist die Durchführung einer Abnahmemessung indiziert. 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 im Rahmen von Abnahmemessungen 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 [10] genehmigungsbedürftigen WEA als Groß-WEA mit mehr als 50 m Gesamthöhe und baugenehmigungspflichtigen 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

Abb. 13: Kleinwindenergieanlage

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 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.

## Fazit und Ausblick

Die Schallimmissionen von WEA 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 WEA im Wald, Verbesserungsmöglichkeiten für Ausbreitungsrechnungen oder Ursachenanalyse und Betrachtung der Belästigungswirkung der modulierten Geräuschcharakteristik will der Schallimmissionsschutz weiterhin zur akustischen Optimierung und damit auch zur Erhöhung der Akzeptanz von WEA beitragen. Schalltechnische Aspekte sind jedoch inzwischen bei der gesellschaftlichen Bewertung von WEA gegenüber Landschafts- und Naturschutzaspekten und Fragen der Verteilungsgerechtigkeit in den Hintergrund getreten.

**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 unbedingt im Baugenehmigungsverfahren von Kleinwindanlagen die Immissionsschutzbehörde.

**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.

BIOGAS

## Biogasanlagen

Im Jahr 2015 waren in Deutschland etwa 8.000 Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 4.000 MW installiert. 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 bis 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] sind die Schallimmissionen der Fahrzeugbewegungen in aller Regel irrelevant. 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 Regel-Richtwerte 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 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 Reflexionsschalldämpfer, aber auch spezielle

Abb. 14: BHKW „Marke Eigenbau“ mit Komponenten geringer Qualität und offenen Wanddurchbrüchen

Abb. 15: Professionelles Biogas-Containermodul mit hochwertigem Lüfter und wirksamen Schalldämpfern an Zu- und Abluftöffnungen

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 (Abb. 15). 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 (Abb. 14). 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.

## 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 [10] 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 deutlich oberflächlicheren immissionsschutzrechtlichen Prüfung 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 eine schalltechnische Abnahmeprüfung mit Kontrolle der korrekten Ausführung der Schallschutzmaßnahmen bzw. eine Abnahmemessung erfolgen. 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. 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. 16: 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.

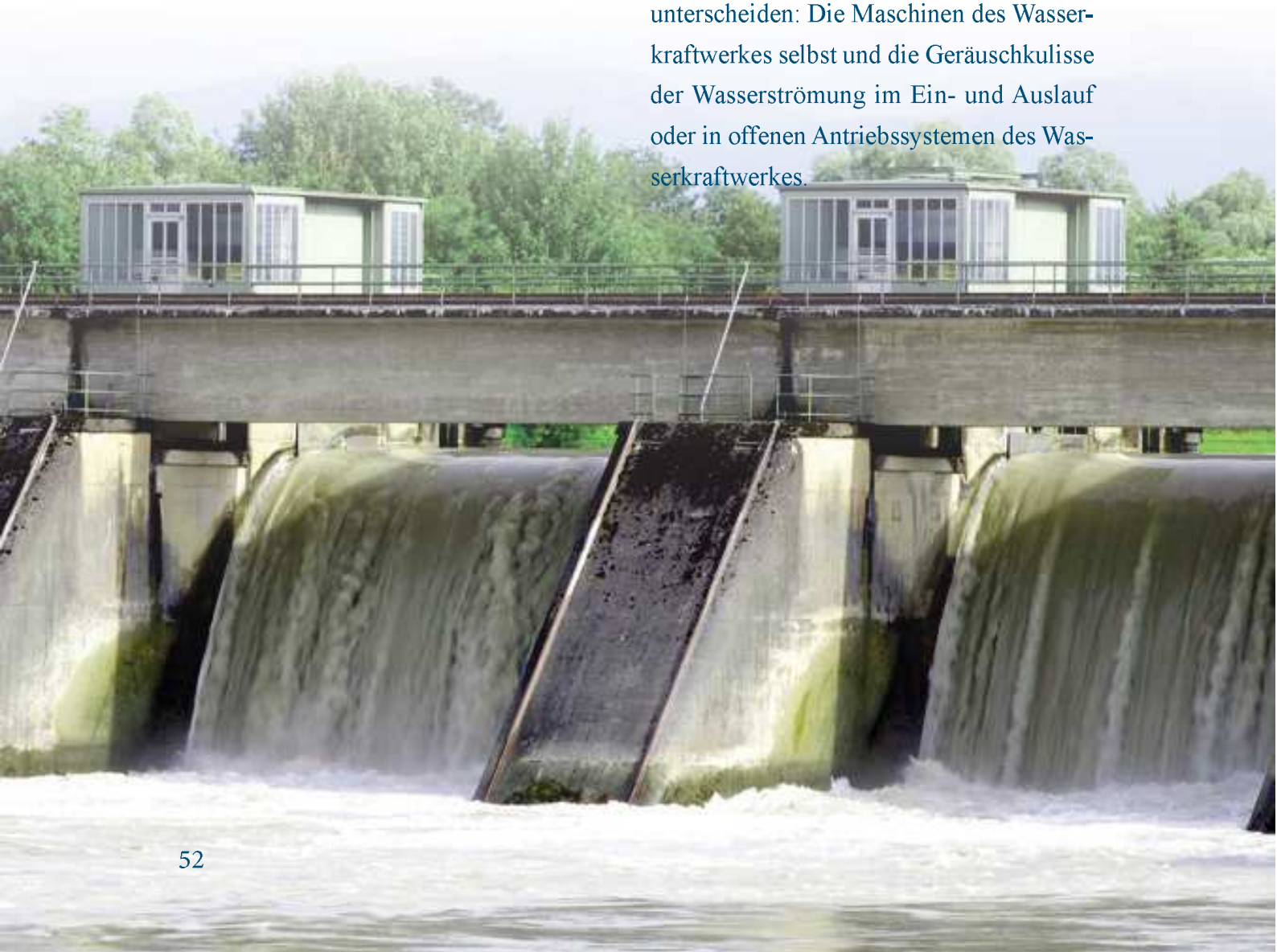
WASSER

# Wasserkraft

Derzeit gibt es etwa 7.600 Wasserkraftanlagen in Deutschland, von denen lediglich gut 300 Anlagen mittlere und große Wasserkraft 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 sind.

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. 17: 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 sollten jedoch die heutigen Schallschutzstandards beachtet werden.

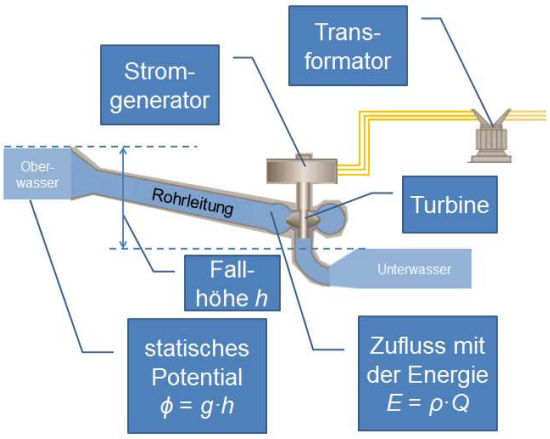



Abb. 18: Schema Wasserkraftnutzung

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

| | | |
|---|---|---|
| $P_{el}$ | elektr. Leistung | [W] |
| $\eta$ | Wirkungsgrad | [-] |
| $g$ | Erdbeschleunigung | [m/s²] |
| $\rho$ | 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

Das Potenzial für Geothermiekraftwerke in Deutschland ist begrenzt und durch die geologische Situation regional gebunden. Für die Wärmebereitstellung von einzelnen Gebäuden kann jedoch die oberflächennahe Geothermie nahezu überall genutzt werden. Von ihr gibt es bereits heute fast 300.000 Anlagen mit mehr als 3.000 MW Leistung.

## 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. Um eine Akzeptanz für die vorübergehende Schall- und sonstige Belästigung der Bohrungsbaustelle zu erzielen, ist eine frühzeitige und umfassende Kommunikation mit den Anwohnern wichtig.

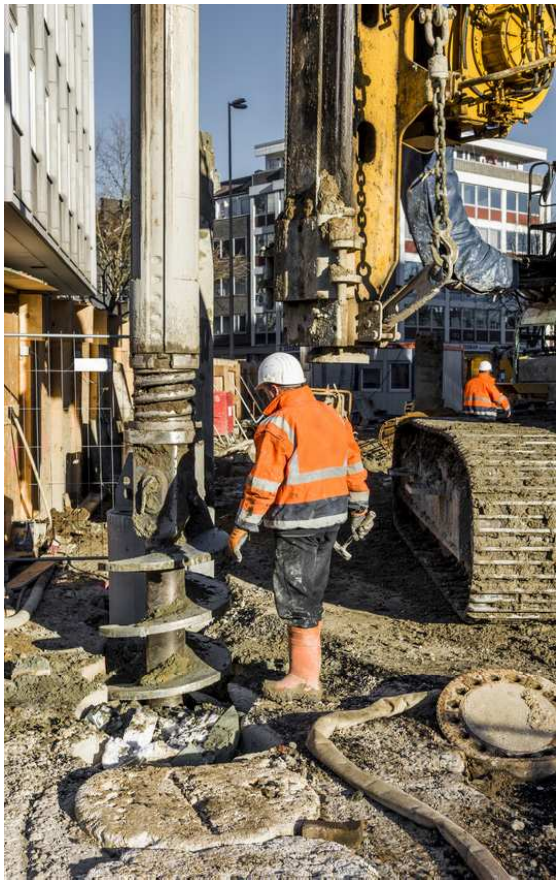


Abb. 19: Geothermiebohrung

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 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 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 dann eine betrieblich-schalltechnische Optimierung der Aufstellung der einzelnen Aggregate auf dem Gelände, allein hierdurch kann die Schallimmission oft deutlich – in realen Fällen um 3 bis 10 dB – gemindert werden. Die technischen Aggregate werden bereits seit Jahrzehnten in konventionellen Kraftwerken eingesetzt. Über diesen Zeitraum sind umfangreiche

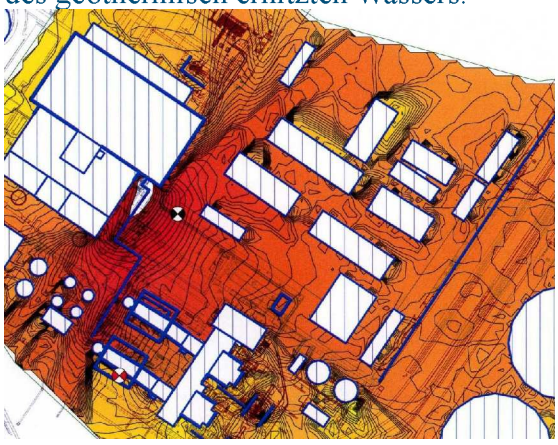


Abb. 20: Geothermiekraftwerk: Schallschutz an geräuschintensiven Dampfleitungen in Kraftwerken, Dampfleitungen ohne Schallschutz

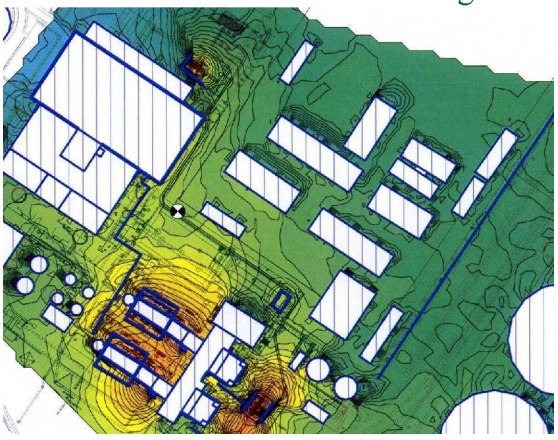


Abb. 21: Geothermiekraftwerk: Schallschutz an geräuschintensiven Dampfleitungen in Kraftwerken, Dampfleitungen mit Schallschutz

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 hocheffiziente Schallisolierung der Rohrleitungen kann Pegelminderungen von bis zu 25 dB 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 Hallen 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 [10], 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 [23] 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

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.

Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Form von Erdwärmepumpen zur Beheizung von Gebäuden ist von der Anwendung des Bergrechts freigestellt. Hier kommt es also zur Anwendung des normalen Genehmigungs- und Umweltrechtes. Erdwärmepumpen unterliegen somit den Anforderungen an nicht genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 22 BImSchG i.V.m. der TA Lärm sowie der AVV Baulärm und der Zuständigkeit der üblichen Immissionsschutzbehörde.

## Fazit und Ausblick

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] und der ISO 9613-2 [22] ausreichende Bewertungsmethoden 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 am Gesamtmarkt für Wärmeerzeuger liegt seit einigen Jahren um die 10 %, im Neubaumarkt sogar bei knapp 30 %. Jährlich kommen damit etwa 30.000 Luftwärmepumpen hinzu, bis zum Jahr 2020 könnten so mehr als 1 Mio. Luftwärmepumpen installiert sein – dies entspricht etwa 5 % der Wärmeerzeuger.

## Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen

Eine Wärmepumpe nimmt thermische Energie aus einem Reservoir mit niedriger Temperatur auf und überträgt diese als Nutzwärme auf ein zu beheizendes System mit höherer Temperatur (Abb. 22). Luftwärmepumpen nutzen die Umgebungsluft als Wärmequelle. Da die Luft nur eine vergleichsweise geringe Energiedichte hat, ist ein hoher Luftdurchsatz erforderlich, um eine zufriedenstellende Temperaturaufnahme 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

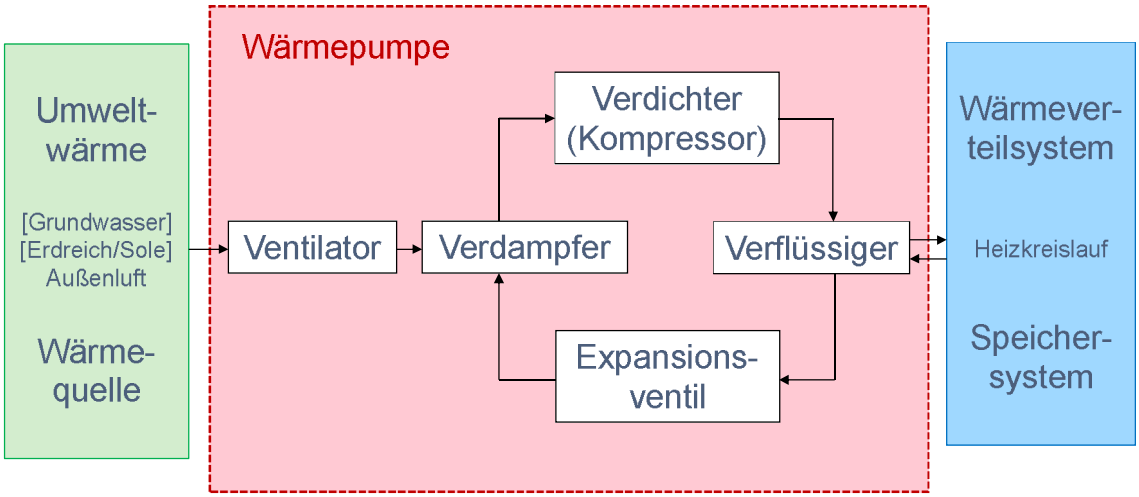



Abb. 22: Schema Luft/Wasser-Wärmepumpe

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. Durch Mehrfachreflexionen und die Richtcharakteristik der Anlagen können in der Praxis Immissionspegel entstehen, die deutlich oberhalb der prognostizierten Pegel liegen. Der LAI-Leitfaden [15] enthält entsprechende Hinweise für eine sachgerechte Planung und der Aufstellung von Anlagen.

Maßnahmen zur Schallreduzierung beginnen zunächst mit primären Maßnahmen zur Reduzierung des Schallleistungspegels der einzelnen Aggregate durch konstruktive und steuerungstechnische Maßnahmen. Die Spannbreite der Herstellerangaben zu Schallleistungspegeln der Lüftereinheit reicht von etwa 50 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 jedoch noch im Bereich oberhalb von 60 dB(A), da es einerseits den Herstellern mitunter an Bewusstsein und Know-how für schalltechnische Aspekte ihrer Anlagen fehlt und andererseits auch Kostenaspekte begrenzend wirken. 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. 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. Pufferspeicher können 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.

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

Eine weitere Reduzierung der immissionsrelevanten 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 denen nur der Lüfter oder Lüfter und Kompressor mit Verdampfer außen und die restlichen Aggregate innen installiert werden. 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 geschlossenem Gehäuse. Dieses sollte nicht nur als Witterungsschutz, sondern auch als Schallschutzkapselung 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; 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 (siehe Abbildung 23). Standorte in Gebäudewinkeln sollten vermieden werden.

## Genehmigung und Bewertung der Immissionen

Wärmepumpen sind nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des BImSchG [10] und unterliegen auch als nicht gewerblich, sondern privat betriebene Anlagen vollumfänglich den immissionsschutzrechtlichen Anforderungen in Bezug auf Geräuscheinwirkungen. Die Bewertung kann in Ermangelung anderer Quellen als so genanntes antizipiertes Sachverständigengutachten auf Basis der TA Lärm [5] erfolgen, da sie auch auf private Anlagen angewendet werden kann und in der Praxis angewendet wird. 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 nachbessern, 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 Einplanen von Schallminderungsmaßnahmen ermöglicht so auch einen realistischen Kostenvergleich mit anderen Heizungssystemen.

Akustisch gesehen sind die Immissionsrichtwerte der TA Lärm und das Ausbreitungsmodell der ISO 9613-2 [22] auch 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 und der Geräuschcharakteristik oftmals störender als die von außen und oftmals aus einer Richtung einwirkenden 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. Der

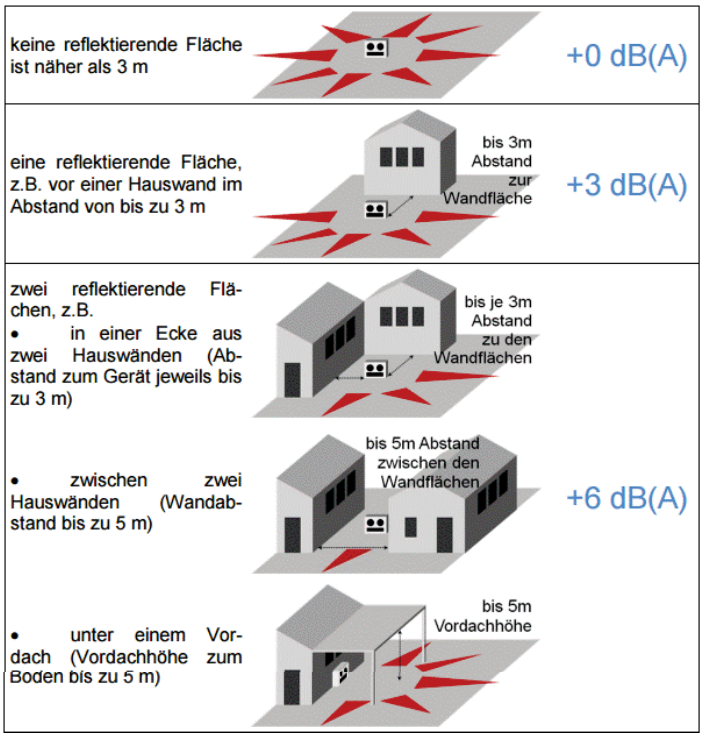



Abb. 23: Pegelerhöhungen durch unterschiedliche Aufstellszenarien von stationären Anlagen im Wohngebiet

## Fazit und Ausblick

Abb. 24: Bsp. für eine nicht optimale Standortwahl einer Luft-Wärmepumpe

Leitfaden „Tieffrequente Geräusche bei Biogasanlagen und Luftwärmepumpen“ des Bayerisches Landesamtes für Umwelt [24] fordert aus schalltechnischer Sicht daher in Abschnitt 14.1.2 einen um mindestens 6 dB reduzierten Immissionsrichtwert. Mit der Vergabe von Immissionskontingenten und einer Berücksichtigung in der Bauleitplanung stehen geeignete Instrumente zur Vorsorge gegenüber Schallemission 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. Leider gibt es hierzu bisher kaum 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. 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. Ob die Bauleitplanung einen eigenen Beitrag zum Umgang mit Wärmepumpen in Wohngebieten leisten kann und muss, ist derzeit noch offen.

**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**

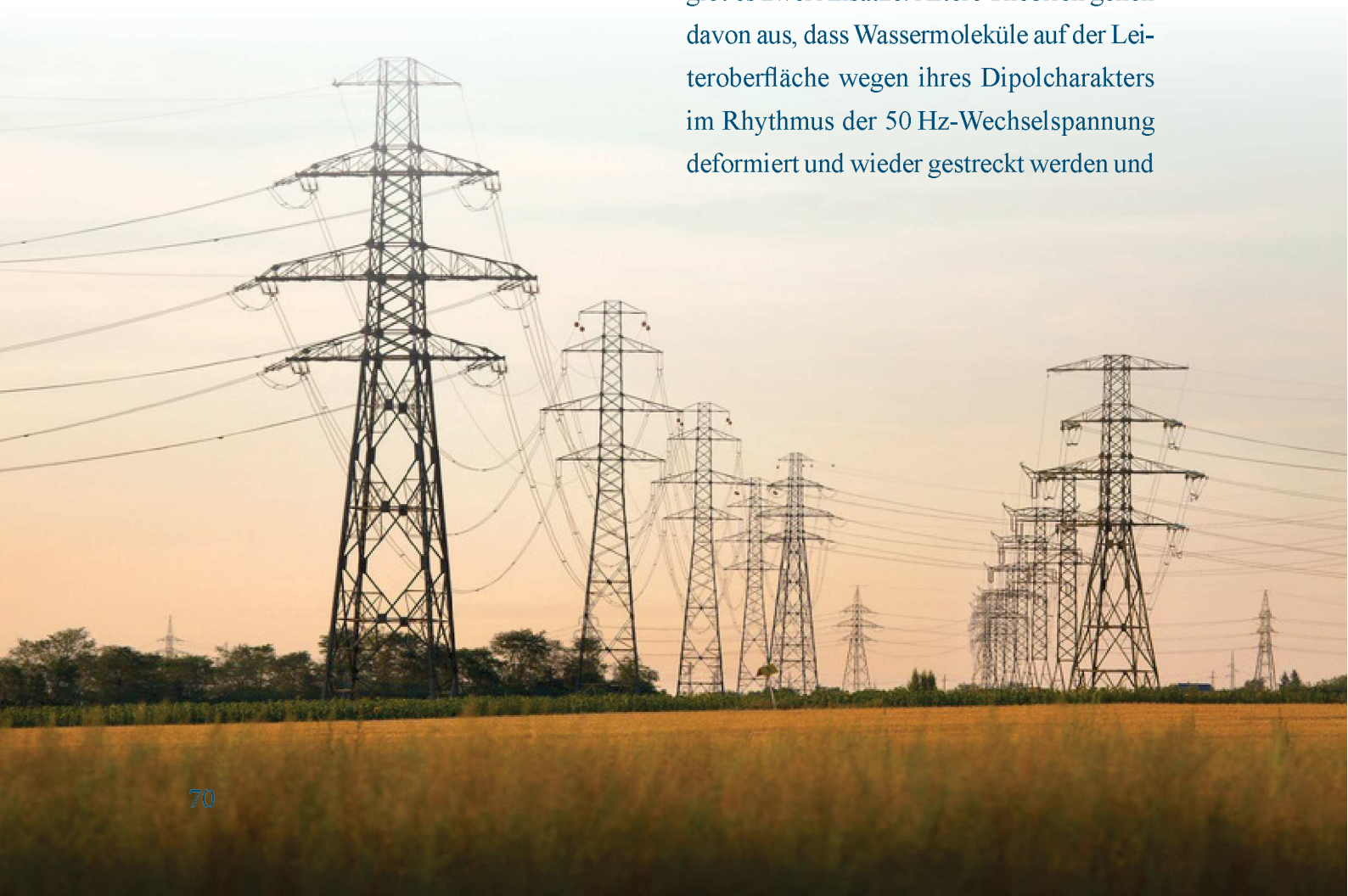
- Anlagen zur Innenaufstellung sind in Bezug auf den Nachbarschutz besser als außen aufgestellte Anlagen.
- Verlangen Sie für den Schutz Ihrer Nachbarn und für Ihren eigenen Schutz eine schallgedämmte Installation der Anlage.
- Fragen Sie Ihren Installateur nach seinen Kenntnissen über Akustik. Welches 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 „Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz [15] vom 28.08.2013 und der Leitfaden „Tieffrequente Geräusche bei Biogasanlagen und Luftwärmepumpen“ des Bayerischen Landsamtes für Umwelt aus Februar 2011 [24].

## Hochspannungsfreileitungen

Das Hoch- und Höchstspannungsnetz in Deutschland besteht derzeit aus Leitungstrassen von mehr als 110.000 km. Zum Transport der Erneuerbaren Energien von der Küste in die südlichen Binnenländer und zum Ausgleich von Schwankungen der fluktuativen Stromerzeugung wird ein Ausbau dieses Netzes erforderlich, der mehrere 1.000 km umfassen wird. Dabei werden zunächst bestehende Trassen optimiert und verstärkt und erst wenn diese Maßnahmen nicht ausreichen, neue Leitungstrassen gebaut.

## Geräuschentstehung und Minderungsmaßnahmen

Bedingt durch die an einer Freileitung anliegende elektrische Spannung ist der Leiter von einem elektrischen Feld umgeben. 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, prasselnden oder knisternden Geräusch verbunden. Daneben lässt sich an Leitungstrassen mitunter ein Brummton mit einer Frequenz von 100 Hz wahrnehmen. Zur Erklärung dieses tonalen Phänomens gibt es zwei Ansätze. Ältere Theorien gehen davon aus, dass Wassermoleküle auf der Leiteroberfläche wegen ihres Dipolcharakters im Rhythmus der 50 Hz-Wechselspannung deformiert und wieder gestreckt werden und



dadurch einen 100 Hz-Ton verursachen. Nach neueren Theorien driften Ionen im elektrischen Feld mit der doppelten Frequenz der Wechselspannung hin und her und regen somit die Luft zu einer tonalen Schwingung mit 100 Hz an. Die physikalischen Vorgänge, die zu Geräuschimmissionen von Freileitungen führen, sind sehr komplex und können daher bisher nur empirisch behandelt werden.

Um das Auftreten dieser Geräuscherscheinungen zu vermeiden, helfen alle Maßnahmen, die die elektrische Randfeldstärke am Leiter reduzieren. Die Randfeldstärke ist zunächst abhängig von der Betriebsspannung der Freileitung; um Übertragungsverluste zu vermindern, muss die Spannung jedoch hoch sein. 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 spielt die Oberflächenbeschaffenheit der Leiter.

Wasser, neben Regen auch in Form von Schnee, Eis, Raureif oder Nebel, und Schmutzpartikel erhöhen die elektrische Feldstärke.

Deshalb treten Geräuscherscheinungen meist bei entsprechenden Witterungsverhältnissen auf. Hier können Oberflächenbehandlungen, die hydrophile Eigenschaften erzeugen, Wassertropfen auf

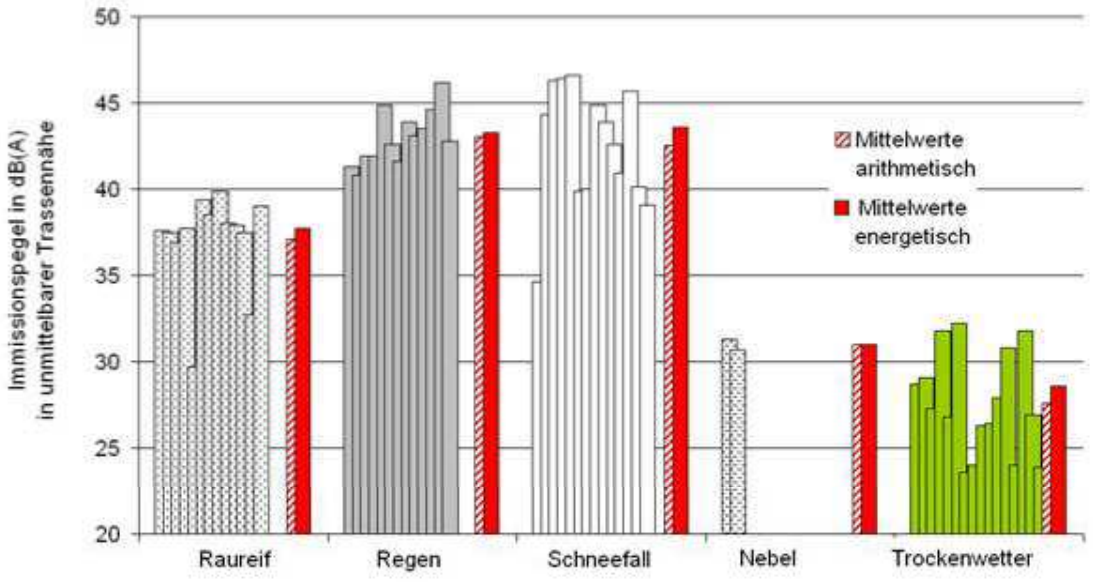



Abb. 25: Messwerte für Geräuschimmissionen an einer 380 kV-Leitung in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen

einer hydrophoben Oberfläche verhindern. 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. Da der individuelle Zustand der Leiterseile für die Schallemission im trockenen Zustand maßgeblich ist, streuen die Schallleistungspegel verschiedener existierender Leitungen bei Trockenheit breiter als bei Regenereignissen. Grundsätzlich sind aber die Emissionen bei Trockenheit deutlich geringer als die bei feuchter Witterung.

Bei Hochspannungsgleichstromübertragungsleitungen (HGÜ) würde der aktuellen Theorie nach der Wechselspannungseffekt entfallen, jedoch gleichzeitig die Betriebsspannung höher liegen. Reale Messkampagnen zu Geräuschimmissionen von HGÜ-Leitungen liegen noch nicht vor. Erdkabel sind auf der Höchstspannungsebene mit 220 kV und mehr derzeit regulär noch nicht zulässig. Erdkabel und HGÜ erfordern die Errichtung von Übergabe-, Kontroll- und Konverterstationen, die ihrerseits wiederum Schallquellen darstellen können. Sowohl mit HGÜ als auch mit Erdkabeln gibt es bisher wenig Erfahrungen, es sind noch technische Probleme zu lösen und auch die Gesamtbilanzierung aller Umwelteinwirkungen dieser beiden Alternativen im Vergleich zu Freileitungen wird weiter diskutiert.

## Immissionsprognosen und -messungen

Hochspannungsfreileitungen sind nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des BImSchG [10], die Bewertung ihrer Schallimmissionen ergibt sich daher aus der TA Lärm [5] i.V.m. der ISO 9613-2 [22]. Da Geräuschemissionen an Hochspannungsfreileitungen überwiegend bei Regen oder feuchter Witterung auftreten, müssen die meteorologischen Parameter der Ausbreitungsrechnung nach ISO 9613-2 gegenüber den Standardwerten anders gewählt werden, insbesondere muss die Luftfeuchtigkeit deutlich höher angesetzt werden. Hinsichtlich einer möglichen Dämpfung der Schallausbreitung durch einen Regen- oder Nebelschleier liegen keine gesicherten quantitativen Erkenntnisse vor, so dass dieser Effekt nicht berechnet werden kann. Zur Bestimmung des Langzeitbeurteilungspegels sieht die ISO 9613-2 die

Berücksichtigung der Windrichtungsverteilung über die Größe cmet vor. Es gibt bisher keine Analysen, die die Windrichtungsverteilung mit dem Auftreten von Regenereignissen verschneidet, so dass keine Daten dazu verfügbar sind, wie häufig die verschiedenen Windrichtungsklassen bei Regen und somit während der Geräuschemission auftreten. Formal gesehen fordert weder die TA Lärm noch die ISO 9613-2 eine solche Zuordnung der Einwirkzeiten von Schallquellen zu der in diesen spezifischen Zeiträumen auftretenden Windrichtungsverteilung, die Normen gehen also von einer zufälligen Verteilung der Einwirkzeiten auf die verschiedenen Windrichtungen aus. Da der Zeitpunkt des Auftretens der Geräusche von Freileitungen jedoch genauso wie die Windrichtung eine von meteorologischen Bedingungen abhängige Größe ist, muss davon ausgegangen werden, dass die Verteilung der Einwirkzeiten bei Freileitungen nicht statistisch unabhängig

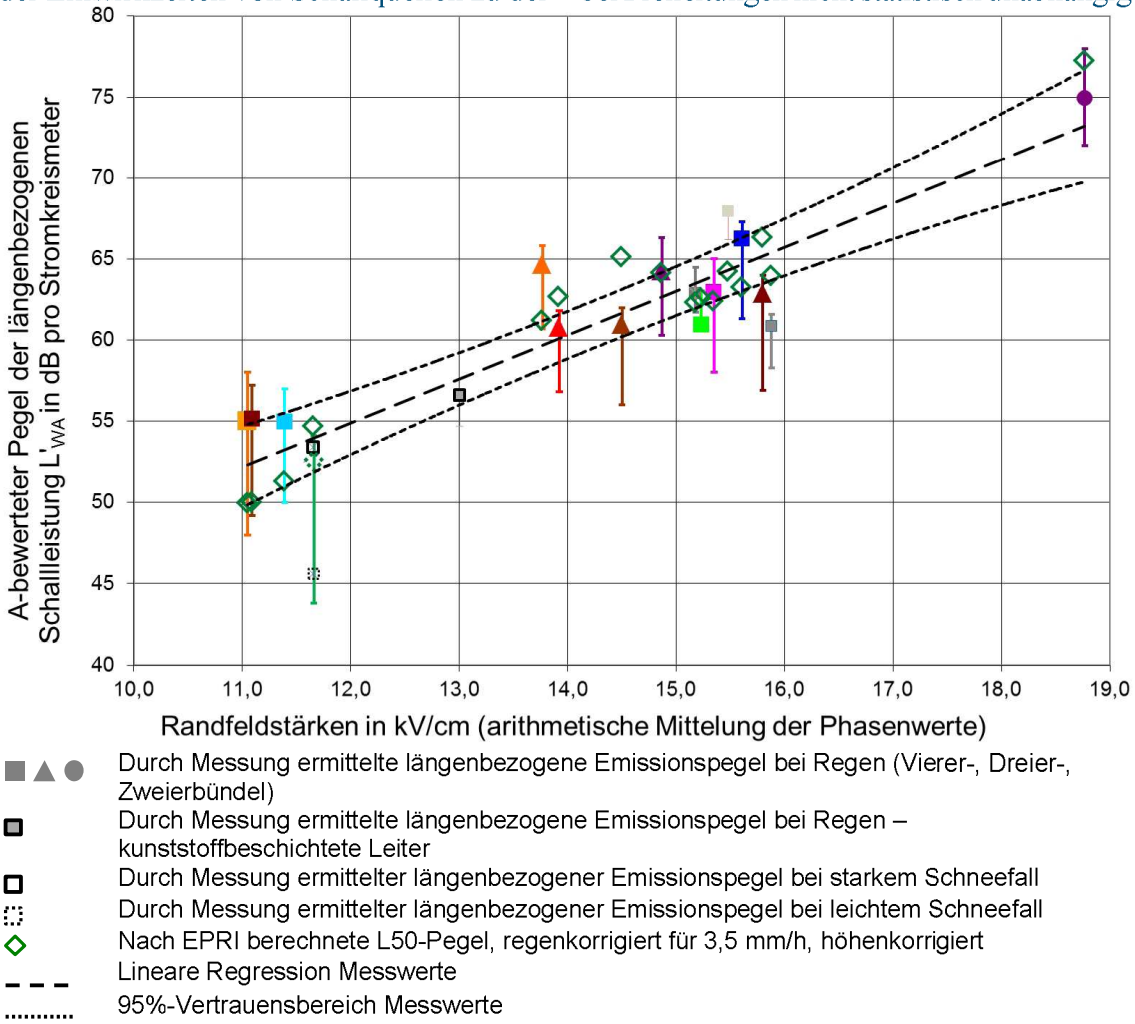



Abb. 26: Schallleistungen verschiedener Leitungsanordnungen in Abhängigkeit von den Randfeldstärken der Leiter, Vergleich Rechnung – Messung

von der Windrichtungsverteilung ist und damit die unmodifizierte Anwendung von cmet in Frage zu stellen ist und für eine konservative Berechnung eher unberücksichtigt bleiben sollte.

Die Höhe der in die Ausbreitungsrechnung einzubringenden Schallemission ist von den Witterungsbedingungen abhängig. Sie liegt bei Regenereignissen um etwa 5 bis 10 dB höher als bei Nebel oder Raureif und steigt mit der Niederschlagsrate an. 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 (entwickelt z.B. vom Electric Power Research Institute (EPRI), oder Electricité de France (EDF)). Genormte Standards gibt es hierzu noch nicht. Typische Werte für den längenbezogenen Schallleistungspegel liegen etwa im Bereich von 50 bis 65 dB(A). 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 1 h oder länger auftreten können. Daher muss von einer Einwirkzeit von 1 h zur Nachtzeit, also der vollen Beurteilungszeit nach TA Lärm, ausgegangen werden. Ebenso belegen die Wetterstatistiken, dass Landregenereignisse in mehr als 10 Nächten pro Jahr vorkommen können, so dass sie nicht als „seltenes Ereignis“ im Sinne der Ziffer 7.2 der TA Lärm eingestuft werden können. Somit sind die regulären Immissionsrichtwerte der Ziffer 6.1 der TA Lärm für die lauteste Nachtstunde einzuhalten – auch wenn diese nur gelegentlich auftritt.

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

In den vergangenen Jahren sind diverse Anstrengungen zur empirischen und theoretischen Beschreibung der Geräuschereignisse von Hochspannungsfreileitungen unternommen worden. Es gibt verschiedene Vorschläge für Methoden zur Ermittlung des längenbezogenen Schallleistungspegels und der Berechnung des (Langzeit-)Beurteilungspegels.

Standardisierte und verbindliche Normen wären wünschenswert, um die Vergleichbarkeit und Rechtssicherheit von rechnerischer und messtechnischer Immissionsermittlung zu gewährleisten. Dies könnte – vergleichbar zum Umgang mit den schalltechnischen Besonderheiten bei WEA – durch spezifische technische Normen und ergänzende Regelungen zur TA Lärm [5] erfolgen (vgl. FGW-Richtlinie [18], LAI-Hinweise [20] und Windenergie-Erlasse).

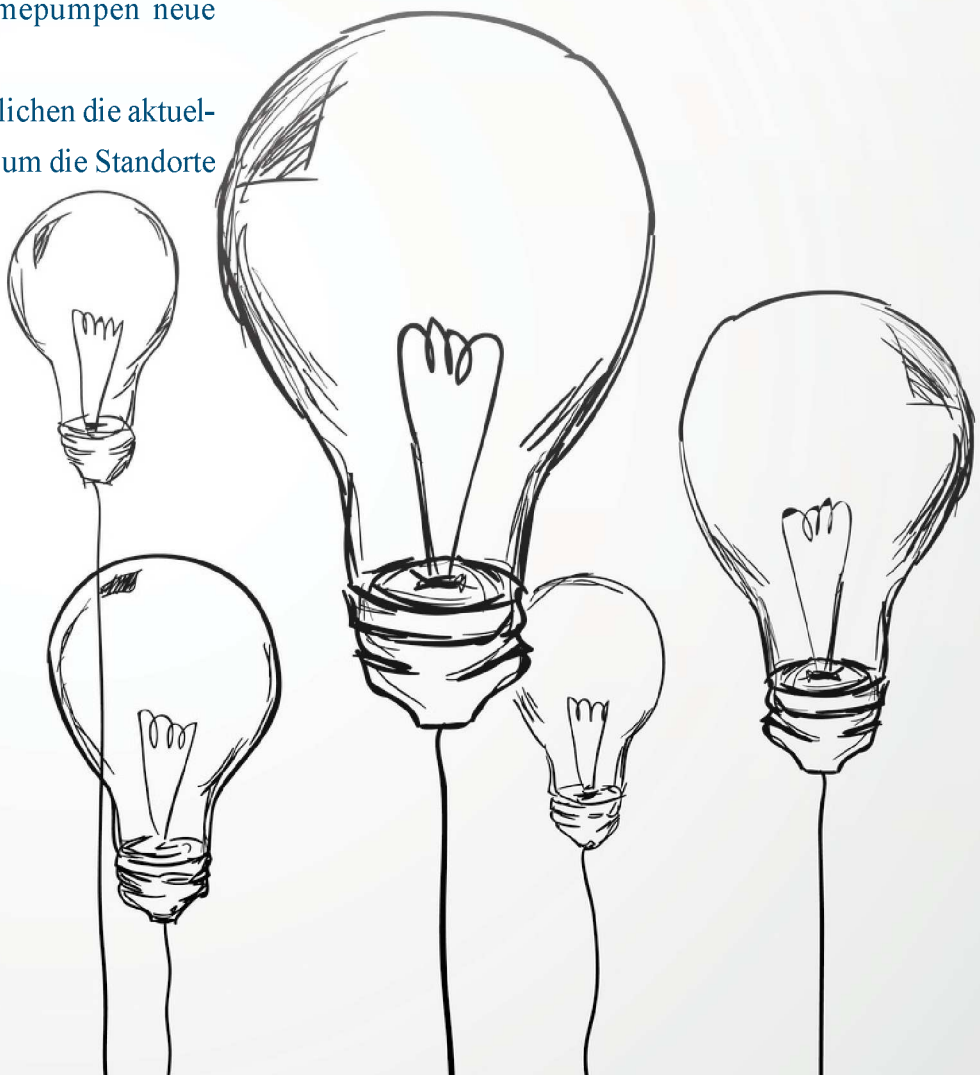
FAZIT

# Zusammenfassung

Die Staaten der Welt haben in Paris im Dezember 2015 beschlossen, die Erderwärmung infolge der menschlichen Aktivitäten auf deutlich unter 2° C 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.

Erneuerbare Energie wird überwiegend in kleineren und dezentralisierten Anlagen erzeugt, die sich in oder in der Nähe von Wohngebieten befinden. Damit entstehen bei einigen Anlageformen wie Windenergieanlagen und Luftwärmepumpen neue Lärmkonflikte.

Darüber hinaus verdeutlichen die aktuellen Auseinandersetzungen um die Standorte von Windenergieanlagen, die auch in der Diskussion auf dem Symposium zu hören waren, dass vor allem Bürger in bislang ruhigen ländlichen Gebieten das bisherige Schutzniveau nicht ausreicht und die Prognoseverfahren zur Immissionsberechnung in Frage gestellt werden (z.B. zur Berücksichtigung tieffrequenter oder anderweitig auffälliger Geräusche, Ausbreitungsberechnung). Die Prognoseverfahren zur Ermittlung der Geräuschbelastung sind deshalb zu überprüfen. Das Problem des Schutzniveaus ist allerdings nur durch einen neuen gesellschaftlichen Konsens über anspruchsvollere Ziele des Lärmschutzes lösbar.



# FAZIT

Lärmschutzkonflikte auf der Basis des aktuellen Schutzniveaus lassen sich vermeiden, wenn der Stand der Technik bei den Anlagen eingehalten, eine sorgfältige Standortplanung betrieben, Anlagen gut gewartet werden und ggf. das Instrument der Betriebsbeschränkungen eingesetzt wird. Dies gilt besonders für Maschinen und Geräte, die in Wohngebieten aufgestellt werden, wie Luftwärmepumpen. 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. Der „Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten“ der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) vom 28.08.2013 [15] sollte bei der Planung von Klima-, Kühl-, Lüftungsgeräten, Luft-Wärme-Pumpen und Mini-Blockheizkraftwerken beachtet werden.

Die Aufklärung und Information aller Akteure der Energiewende zur Sensibilisierung in Bezug auf die Lärmkonflikte ist fortzuentwickeln. Die Hersteller der Anlagen sind aufgefordert, bessere Produktinformationen zu den Geräuschemissionen und zu den Möglichkeiten eines leiseren Betriebs bereit zu stellen. Die Fortentwicklung des Stands der Lärmminderungstechnik ist geboten, auch im eigenen Interesse der Hersteller. Seitens des Immissionsschutzes sind die gesetzlichen Regelungen zu überprüfen und weiterzuentwickeln. Vor allem die 32. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung) [12] ist hinsichtlich der neuen Entwicklungen zu überarbeiten. Die für die Geräuschemissionsgrenzwerte zuständige Europäische Union sollte entsprechende Vorschriften auch für die neuen Anlagen der Energiewende erlassen, beispielsweise im Rahmen der Outdoor-Richtlinie 2000/14/ EG [26].

Das Symposium „Energiewende und Lärmschutz“ 2013 in Düsseldorf [1] hat gezeigt, dass Lärmkonflikte mit Anlagen der Erneuerbaren Energien grundsätzlich lösbar sind. Auch Anlagen der Energietechnik können so geplant und betrieben werden, dass schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche (z. B. Vermeidung von erheblichen Belästigungen) vermieden werden. Die notwendige Energiewende und der Lärmschutz lassen sich vereinen.

# Abbildungsverzeichnis

Titelbild Broschüre, Quelle: Michael Köhl (Müller-BBM GmbH, Gelsenkirchen)
Andreas Süß (Visuelle Kommunikation. Berlin)
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
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
Bild S. 39 „Windenergieanlagen“, Quelle: C.-C. Hantschk (Müller-BBM GmbH, Planegg)
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)
Titelbild Kapitel „Luftwärmepumpen“, Quelle: © ElasticComputerFarm - pixabay.com CC0
Titelbild Kapitel „Hochspannungsfreileitungen“, Quelle: © Gudellaphoto - fotolia.com
Bild S. 75 „Freileitung“, Quelle: Christian Hettig (Kurz und Fischer, Winnenden)
Titelbild Kapitel „Zusammenfassung“, Quelle: © natanaelginting - fotolia.com

Abb. 1: Bruttostromerzeugung in Deutschland 2015, Quelle: AG Energiebilanzen
Abb. 2: Strommix im Ausbauszenario 2050, Quelle: Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose, Projekt Nr. 57/12, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, 2014
Abb. 3: Infraschall und tieffrequente Geräusche von Windkraftanlagen und Straßenverkehr, Quelle: [6], 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: Beispiel für eine Tabuflächenuntersuchung, Quelle: Stadt Bad Wünnenberg
Abb. 6: Schallausbreitung in Abhängigkeit vom Schallleistungspegel des Windrades, Quelle: Akustikbüro Schwartzenberger und Burkhart, Pöcking

Abb. 7: Gebietsabhängige Immissionsrichtwerte der TA Lärm als Grundlage für „harte Tabuzonen“, Quelle: ALD
Abb. 8: Stationäre Luft-Wärmepumpe im Wohngebiet, Quelle: Regina Heinecke-Schmitt
Abb. 9: Dominierende Schallquellen einer WEA, Quelle: Original Akustische Kamera der gfai tech GmbH Berlin
Abb. 10: Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit bei WEA, Quelle: KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG
Abb. 11: Schallpegelverlauf von WEA im Infraschall- und tieffrequenten Bereich im Vergleich zur Wahrnehmungsschwelle gemäß DIN 45680, Quelle: [6], Abb. 4.6-7, LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2016
Abb. 12: Hintergrundgeräusch und Gesamtgeräusch im Frequenzbereich des Infraschalls bei einer Entfernung von 300 m zur WEA , Quelle: [6], Abb. 4.4-3, LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2016
Abb. 13: Kleinwindenergieanlage, Quelle: © Kara - fotolia.com
Abb. 14: BHKW „Marke Eigenbau“, Quelle: [24], Abb. 4, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg 2011
Abb. 15: Professionell hergestelltes Biogas-Containermodul, Quelle: [25], Abb.1, Landesamt f. Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG), Güstrow 2014
Abb. 16: Biogasanlage; Quelle: Akustikbüro Schwartzenberger und Burkhart, Pöcking
Abb. 17: Wasserkraftwerk, Quelle: Akustikbüro Schwartzenberger und Burkhart, Pöcking
Abb. 18: Schema Wasserkraft, Quelle: Thomas Beckenbauer (Müller-BBM GmbH, Planegg)
Abb. 19: Geothermiebohrung, Quelle: © davis - fotolia.com
Abb. 20: Dampfleitung o. Schallschutz, Quelle: C.-C. Hantschk (Müller-BBM GmbH, Planegg)
Abb. 21: Dampfleitung m. Schallschutz, Quelle: C.-C. Hantschk (Müller-BBM GmbH, Planegg)
Abb. 22: Schema Luft-Wärmepumpe, Quelle: Akustikbüro Schwartzenberger u. Burkhart, Pöcking
Abb. 23: Pegelerhöhungen durch unterschiedliche Aufstellszenarien von stationären Anlagen im Wohngebiet, Quelle: [15], Abb. 2
Abb. 24: Luft-Wärmepumpe, Quelle: Carl-Christan Hantschk (Müller-BBM GmbH, Planegg)
Abb. 25: Messwerte Geräuschimmissionen, Quelle: Hettig, Zeitschrift für Lärmbekämpfung (ZfL) Band 6 (2012) Nr. 4
Abb. 26: Schallleistungen verschiedener Leitungsanordnungen in Abhängigkeit von den Randfeldstärken der Leiter, Vergleich Rechnung – Messung, Quelle: W. Tausend (TransnetBW)

# Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| ALD | Arbeitsring Lärm der Deutschen Gesellschaft für Akustik e.V. |
| AVV | Allgemeine Verwaltungsvorschrift |
| BauGB | Baugesetzbuch [8] |
| BauNVO | Baunutzungsverordnung [9] |
| BGBl | Bundesgesetzblatt |
| BHKW | Blockheizkraftwerk |
| BImSchG | Bundes-Immissionsschutzgesetz [10] |
| BImSchV | Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz |
| BVerwG | Bundesverwaltungsgericht |
| 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] Internetauftritt des ALD: http://www.ald-laerm.de/ald/projekte-des-ald/2013/symposium-energiewende-und-laermschutz/

[2] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 24. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1789)

[3] Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658), zuletzt geändert durch Artikel 9 des Gesetzes vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1722)

[4] Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2014) zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 10 des Gesetzes vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2498)

[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)

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

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

[8] Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S. 2414), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1722)

[9] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990 (BGBl. I S. 132), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 11. Juni 2013 (BGBl. I S. 1548)

[10] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) i. d. Fassung der Bekanntmachung vom 17.05.2013 (BGBl. I S. 1274) zuletzt geändert durch Artikel 76 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

[11] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) 4. BImSchV vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973, 3756), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 28. April 2015 (BGBl. I S. 670)

[12] 32. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung – 32. BImSchV) vom 29. August 2002 (BGBl. I S. 3478), zuletzt geändert durch Artikel 83 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

[13] Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV) vom 26. Januar 2010 (BGBl. I S. 38), zuletzt geändert durch Artikel 77 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

[14] Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen – VAwS vom 31. März 2010 (BGBl. I S. 377)

[15] LAI-Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten vom 28.08.2013, http://www.lai-immissionsschutz.de/servlet/is/20170/Leitfaden%2028.08.2013n.pdf?-command=downloadContent&filename=Leitfaden%2028.08.2013n.pdf

[16] Burden of disease from environmental noise. World Health Organization [WHO], Copenhagen 2011

[17] Infraschall und tieffrequenter Schall – ein Thema für den umweltbezogenen Gesundheitsschutz in Deutschland? Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2007, 50:1582–1589, DOI 10.1007/s00103-007-0407-3, Online publiziert: 30. November 2007, © Springer Medizin Verlag 2007

[18] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte, Revision 18, Stand 01.02.2008, FGW e.V.-Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien

[19] DIN EN 61400-11:2013-09; VDE 0127-11:2013-09 Windenergieanlagen - Teil 11: Schallmess-verfahren, Berlin: Beuth-Verlag 2013

[20] LAI-Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windenergieanlagen

[21] DIN EN 61672-1:2014-07 Elektroakustik - Schallpegelmesser - Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1:2013); Berlin: Beuth-Verlag 2014

[22] 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

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

[24] Tieffrequente Geräusche bei Biogasanlagen und Luftwärmepumpen, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg 2011. https://www.lfu.bayern.de/laerm/luftwaermepumpen/doc/tieffre-quente_geraeusche_teil3_luftwaermepumpen.pdf

[25] Stand der Lärmminderung bei Biogasanlagen, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG), Güstrow 2014

[26] Richtlinie 2000/14/ EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2000 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen

ENERGIEWENDE UND LÄRMSCHUTZ

ALD
ARBEITSRING LÄRM
DER DEGA