



**POSITION // NOVEMBER 2016**

# **Mögliche gesundheitliche Effekte von Windenergieanlagen**

Für Mensch & Umwelt

**Umwelt  Bundesamt**

# Impressum

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Fachgebiet I 2.3, I 3.4, II 1.5 und II 1.6  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
info@umweltbundesamt.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Autoren:**

M. Bunz, I. Lütkehus, T. Myck, D. Plaß, W. Straff

**Satz und Layout:**

Atelier Hauer + Dörfler GmbH, Berlin

**Publikationen als pdf:**

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

**Bildquellen:**

shutterstock

Stand: November 2016

ISSN 2363-829X

# Inhalt

Einleitung .....	2
Hörbarer Schall .....	2
Tieffrequenter Schall (einschließlich Infraschall).....	3
Schattenwurf.....	4
Lichtemissionen durch Hinderniskennzeichnung.....	4
Eiswurf .....	5
Belästigungseffekte aufgrund der Wahrnehmung von Windenergieanlagen und weitere beeinflussende Faktoren.....	5
Fazit/Position .....	6
Quellenverzeichnis.....	8

## Einleitung

Der kontinuierliche technologische Fortschritt führt dazu, dass immer mehr neue Technologien entwickelt und eingesetzt werden. Grundsätzlich kann die Einführung neuer Technologien potenzielle Gefahren, auch für die Gesundheit, bergen. Auch im Rahmen der Energiewende werden neue Technologien eingesetzt, weshalb eine kritische Auseinandersetzung mit möglichen gesundheitlichen Effekten notwendig ist.

Die Energiewende ist zum Erreichen der nationalen wie internationalen Klimaschutzziele dringend erforderlich. Neben der Einsparung und effizienteren Nutzung von Energie gehört zu dem Prozess vor allem der kontinuierliche Ausbau der Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien, um eine nahezu treibhausgasneutrale Energieversorgung im Jahr 2050 zu erreichen. Die Windenergienutzung an Land hat neben der Photovoltaik das größte, kostengünstigste und hinsichtlich der Flächeninanspruchnahme effizienteste Ausbaupotenzial unter den erneuerbaren Energien in Deutschland. Moderne Schwachwindanlagen ermöglichen auch im Binnenland eine hohe Auslastung und damit eine immer kontinuierlichere Stromerzeugung aus Windenergie. Für das Gelingen der Energiewende ist der weitere Ausbau der Windenergienutzung an Land daher besonders wichtig. Beim Ausbau sollte jedoch darauf geachtet werden, dass neben der Bewahrung der Schutzgüter Umwelt und Natur auch die Bewahrung des Schutzguts Gesundheit berücksichtigt wird.

Im Jahr 2014 deckten Windenergieanlagen (WEA) an Land in Deutschland bereits einen Anteil von 9,4 % des Bruttostromverbrauchs, wodurch rund 40 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente vermieden wurden [1]. Damit leisten WEA an Land bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien den größten Beitrag zum Klimaschutz.

Wie von den meisten technischen Anlagen gehen aber auch von WEA Belastungen aus, die sich möglicherweise auf die Gesundheit auswirken können. Im Hinblick auf die menschliche Gesundheit werden folgende Belastungsarten mit dem Betrieb von WEA an Land in Verbindung gebracht:

- ▶ Hörbarer Schall
- ▶ Tieffrequenter Schall (einschließlich Infraschall)
- ▶ Schattenwurf und Stroboskopeffekt
- ▶ Lichtemissionen durch Hinderniskennzeichnung
- ▶ Eiswurf
- ▶ Indirekte Wirkungen (Belästigung), die durch eine subjektive Bewertung von WEA oder der durch sie verursachten Effekte entstehen

Nachfolgend wird im Einzelnen auf diese Belastungsarten und deren potenzielle gesundheitliche Wirkungen eingegangen und hierbei der aktuelle Stand der Evidenz aus nationalen sowie internationalen wissenschaftlichen Studien zu diesem Themenfeld berücksichtigt.

## Hörbarer Schall

Hörbare Geräuschimmissionen, die von WEA ausgehen, spielen als eine Belastungsquelle eine bedeutende Rolle. Die Beurteilung der Geräuschsituation bei Planung und Betrieb von WEA erfolgt immer im Einzelfall und nach der „Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm“, die sowohl das Beurteilungsverfahren als auch Immissionsrichtwerte für einen wirksamen Schutz der Bevölkerung vor Lärm durch technische Anlagen enthält [2]. Die Werte hängen von der jeweiligen Gebietsnutzung ab und müssen auch von WEA eingehalten werden (siehe Tabelle 1).

Einige Bundesländer empfehlen in sogenannten Windenergie-Erlassen bestimmte Abstände zwischen WEA und Wohnbebauung (pauschale Abstände oder solche, die sich aus dem Mehrfachen der Höhe der WEA ergeben). Jeweilige Einzelfallentscheidungen nach der TA Lärm sind pauschalen Abstandsempfehlungen oder -vorgaben aus Sicht des Umweltbundesamtes jedoch vorzuziehen, da pauschale Empfehlungen die örtlichen Gegebenheiten unzureichend berücksichtigen und das mögliche Ausbaupotenzial für WEA erheblich reduzieren (siehe auch [3, 4]).

Die Lärmauswirkungen von WEA sind in mehreren Studien untersucht worden [5–8]. Dabei ergaben sich Zusammenhänge zwischen den durch WEA verursachten Geräuschimmissionen und der empfundenen Lärmbelästigung der Bevölkerung, die im weiteren Verlauf zum Beispiel zu Störungen des Nachtschlafs führen können.

Tabelle 1

**Immissionsrichtwerte gemäß TA Lärm**

Gebietsart	Tag	Nacht
Industriegebiete	70 dB(A)	70 dB(A)
Gewerbegebiete	65 dB(A)	50 dB(A)
Kern-, Dorf-, Mischgebiete	60 dB(A)	45 dB(A)
Allgemeine Wohngebiete	55 dB(A)	40 dB(A)
Reine Wohngebiete	50 dB(A)	35 dB(A)
Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten	45 dB(A)	35 dB(A)

Quelle: Bundesministerium des Inneren, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm. 6. AVV vom 26. August 1998 zum BImSchG, Gemeinsames Ministerialblatt. 1998.

Es gibt bislang keine Hinweise aus wissenschaftlichen Studien, dass die Immissionsschallpegel in der Umgebung von WEA eine negative Wirkung, in Form von auralen<sup>1</sup> Effekten, auf das Gehör haben. Extra-aurale<sup>2</sup> Gesundheitsbeeinträchtigungen als Folge von stressvermittelten Körperreaktionen können jedoch nicht ausgeschlossen werden. Eine groß angelegte Langzeitstudie, die aktuell in Dänemark durchgeführt wird, beschäftigt sich mit den Gesundheitsauswirkungen der Geräuschimmissionen von WEA; erste Ergebnisse werden 2017 erwartet.

### Tieffrequenter Schall (einschließlich Infraschall)

Die Wahrnehmungsschwelle von tieffrequenten Geräuschen (Frequenz < 100 Hz), einschließlich Infraschall, variiert individuell sehr stark. Empfindliche Menschen können bereits dann schon eine akustische Wahrnehmung haben, wenn andere noch nichts hören. Obwohl unterhalb von 20 Hz eine Tonhöhenwahrnehmung physiologisch nicht gegeben ist, werden Schallemissionen in diesem Frequenzbereich, sogenannter Infraschall, mit hinreichender Intensität als Pulsation oder Druckgefühl wahrgenommen. Es ist aus Laboruntersuchungen bekannt, dass Infraschall bei kurzer Exposition mit hohen Schallpegeln zum Beispiel Benommenheit, Ohrendruck und Übelkeit (verbunden mit Nystagmus<sup>3</sup>) hervorrufen und auch das Atemzentrum beeinflussen kann (Absenkung der Respirationsfrequenz) [9–11]. Als weitere Symptome wurden in Studien Erschöpfung/Müdigkeit, Herzklopfen, Kopfschmerzen, Schlaflosigkeit, Kurzatmigkeit, depres-

sive Stimmungen und Ängstlichkeit als Folge von kurz- und langfristiger Exposition mit Infraschall identifiziert [9, 10, 12].

Bei der Interpretation von Infraschallmessergebnissen ist generell zu beachten, dass je tiefer die Frequenz ist, umso höher der Schalldruckpegel sein muss, um vom Menschen wahrgenommen zu werden. Viele der Untersuchungen zu gesundheitlichen Effekten von Infraschall betrachten jedoch hohe Schallpegel, die von WEA im Regelbetrieb nicht erzeugt werden. Bei den üblichen Abständen zwischen WEA und Wohnbebauung, aber auch im direkten Umfeld der Anlagen, wird sowohl die Hörschwelle nach der gültigen DIN 45680 [13] als auch die niedrigere Hör- und Wahrnehmungsschwelle nach dem Entwurf dieser Norm von 2013 [14] im Infraschallbereich nicht erreicht. Dies bestätigen auch umfangreiche Geräuschimmissionsmessungen an WEA in Bayern und Baden-Württemberg. Diese Untersuchungen kamen des Weiteren zu dem Ergebnis, dass die Infraschallbelastung in Entfernungen über 700 m kaum davon beeinflusst wird, ob eine WEA in Betrieb ist oder nicht [15, 16].

Es ist wichtig festzuhalten, dass WEA nur eine unter einer Vielzahl von natürlichen und anthropogenen Infraschallquellen sind und einen Teil zur Gesamtbelastung beitragen, der den Ergebnissen der erwähnten Geräuschimmissionsmessungen nach vergleichbar klein ist [17]. Im natürlichen Umfeld können zum Beispiel starke Winde oder die Meeresbrandung tieffrequente Geräusche – einschließlich Infraschall –

1 Unter auralen Wirkungen versteht man direkte, physiologische Auswirkungen von Lärm mit hohen Schallpegeln auf das menschliche Ohr (zum Beispiel Schädigungen des Hörnervs, der Haarzellen oder des Trommelfells).

2 Unter extra-auralen Wirkungen versteht man indirekte Auswirkungen von Lärm mit niedrigen Schallpegeln (zum Beispiel Belästigung, Befindlichkeitsstörungen, Schlafstörungen, Wirkungen auf das Herz-Kreislaufsystem).

3 Unwillkürliche Augenbewegungen

verursachen. Darüber hinaus gibt es zahlreiche anthropogene Geräuschquellen mit ähnlichem Charakter, darunter auch viele in Wohnungen oder in direkter Umgebung von Wohngebäuden. Hierzu gehören beispielsweise Heizungs- und Klimaanlage, Pumpen sowie Stanzen in Industriebetrieben oder auch Emissionen aus dem Verkehr.

Bisher gibt es keine konsistente Evidenz dafür, dass gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Infraschallemissionen von WEA verursacht werden. Amerikanische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Massachusetts Institute of Technology in Cambridge kamen nach einer umfangreichen Literaturstudie zu den möglichen Gesundheitsauswirkungen von WEA zu dem Schluss, dass keine besonderen Gesundheitsbeeinträchtigungen von WEA durch Infraschall zu erwarten sind [18]. Hierbei ist allerdings einschränkend anzumerken, dass nur die Ergebnisse von Querschnitts- beziehungsweise experimentellen Studien zusammengefasst wurden.

Derzeit fehlen noch Langzeitstudien, die über chronische Effekte nach langjähriger niederschwelliger Infraschallbelastung Aufschluss geben könnten. Nach aktueller Studienlage liegen dem Umweltbundesamt keine Hinweise über chronische Schädigungen vor, die vor dem Hintergrund einer tragfähigen Wirkungshypothese in einen Zusammenhang mit einer Infraschallemission von Windenergieanlagen gebracht werden könnten. Nach Einschätzung des Umweltbundesamtes stehen daher die derzeit vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Infraschall einer Nutzung der Windenergie nicht entgegen.

### Schattenwurf

Durch die Bewegung der Rotorblätter von WEA können bei ungünstigen Sonnenlichtkonditionen bewegte und periodische Schattenwurfeffekte (Schlagschatten) entstehen.

Im Rahmen des Genehmigungsantrages ist gutachterlich nachzuweisen, dass zum Schutz der Gesundheit die zulässige Beschattungsdauer von 30 Minuten pro Tag beziehungsweise maximal acht Stunden pro Jahr nicht überschritten wird. Bei Bedarf kann zur Einhaltung dieser Grenzwerte die Installation einer Abschaltautomatik vorgeschrieben werden [19]. Somit kann davon ausgegangen werden, dass bei

technisch einwandfreier Funktion der Abschaltautomatik keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch den von WEA ausgehenden Schattenwurf zu erwarten sind.

Auch die entstehenden Reflexionen der Sonne an den Rotorblättern können belastende Effekte, wie den Stroboskop-Effekt (sogenannter Diskoeffekt), auslösen. Diesbezüglich wurde auch der mögliche Zusammenhang von epileptischen Anfällen und dem Flackern durch WEA untersucht [20, 21]. Moderne, große WEA drehen sich jedoch mit einer Rotationsgeschwindigkeit, die weit unter der Grenze der Frequenz liegt, bei der ein potenzielles Risiko für photosensitive Anfälle besteht [22]. Durch die Verwendung mittelreflektierender Farben und matter Glanzgrade kann der Stroboskop-Effekt zudem erheblich reduziert werden.

### Lichtemissionen durch Hinderniskennzeichnung

Zur Vermeidung von Kollisionen mit Luftfahrzeugen ist bei baulichen Anlagen, also auch WEA, mit einer Gesamthöhe von mehr als 100 m eine Hinderniskennzeichnung – nachts in Form eines Leuchtfeuers – vorgeschrieben. Diese Leuchtfeuer können sich auf Menschen belästigend auswirken, worauf eine zu dieser Fragestellung von der Universität Halle-Wittenberg durchgeführte Studie hindeutet. Eine Befeu-erung durch Xenon-Licht wird laut Ergebnissen der Studie als deutlich stärker belästigend empfunden als eine LED-Hinderniskennzeichnung. Auch zeigte sich, dass gerade bei Windparks mit mehreren WEA eine synchronisierte Befeu-erung als deutlich weniger belästigend empfunden wurde, als unterschiedliche Befeu-erungszeitpunkte einzelner WEA. Ebenso wurde die Maßnahme der Sichtweitenregulierung als hilfreich zur Belästigungsvermeidung angesehen, hierbei wird je nach Sichtweite die Stärke der Beleuchtung angepasst [23].

Eine LED-Hinderniskennzeichnung mit Sichtweitenregulierung kann somit die Belästigung stark reduzieren. Eine sichtweitenregulierte sowie synchronisierte Befeu-erung von Windparks wird daher regelmäßig im Rahmen der Genehmigung vorgeschrieben.

Infolge der Änderung der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen“ im Jahr 2015 wurden darüber hinaus weitere Verbesserungen erwirkt. So ist die Synchronisierung

der Befuerung nunmehr vorgeschrieben und eine Reduzierung der Anzahl der erforderlichen Leuchtleuchten in Windparks möglich. Eine wichtige Neuerung ist die Zulassung eines Systems zur bedarfsgerechten Befuerung, so dass die Befuerung nur aktiviert wird, wenn sich ein Luftfahrzeug der WEA beziehungsweise dem Windpark nähert. Durch die Änderung der Verwaltungsvorschrift wurde ein wichtiger Schritt zur Reduktion der Lichtemissionen von WEA erwirkt.

### Eiswurf

Bei ungünstigen Wetterbedingungen (hohe Luftfeuchtigkeit, Nebel oder Regen zusammen mit Temperaturen um den Gefrierpunkt oder darunter) kann es zu Eisbildung an den Rotorblättern kommen. Dieses Eis kann sich durch die Rotationsbewegung ablösen, so dass es zu Eiswurf kommen kann. Eiswurf tritt nur in wenigen Stunden im Jahr, in Deutschland vor allem bei WEA in den Mittelgebirgen und alpinen Regionen, auf und ist flächenmäßig auf den unmittelbaren Umkreis der WEA begrenzt. Zur Beseitigung dieses Problems werden WEA bei Bedarf entweder mit Eiserkennungssystemen, die im Falle der Eisbildung zu einem Abschalten der WEA führen, oder mit Enteisungssystemen (beheizbare Rotorblätter), die eine Eisbildung verhindern, ausgerüstet. Durch die beschriebenen Maßnahmen kann das Eintreten von Eiswurf weitestgehend vermieden werden.

### Belästigungseffekte aufgrund der Wahrnehmung von Windenergieanlagen und weitere beeinflussende Faktoren

Forschungsprojekte gehen vermehrt der Frage nach, welche Faktoren, die in Zusammenhang mit WEA stehen, Belästigungsempfindungen bei den exponierten Personen<sup>4</sup> auslösen. Akustische Geräuschbelastungen erklärten in den Modellen der bislang durchgeführten Studien nur bis zu einem Viertel des Belästigungsempfindens. In die Belästigungsbeurteilung gehen zahlreiche weitere Faktoren ein. Hierzu gehören zum Beispiel die persönliche Einstellung gegenüber WEA, die individuelle Disposition, das subjektive Lärmbewältigungsvermögen, aber auch eine mögliche finanzielle Beteiligung an dem Gewinn, der durch die Stromerzeugung erwirtschaftet wird, sowie die Sichtbarkeit von WEA [23–26].

Studien zeigen zudem, dass es trotz der Einhaltung der in der TA Lärm festgeschriebenen Immissionsrichtwerte durch eine unregelmäßige Geräuschentwicklung (Periodizität der Geräusche) zu Belästigungs- und Belastungseffekten kommen kann. Dieser als Amplitudenmodulation beschriebene Effekt beruht auf unregelmäßigen und unerwarteten Lautstärkenveränderungen. Diese ziehen verstärkt die Aufmerksamkeit auf sich und werden dadurch als belästigend empfunden. Eine solche dauerhafte belästigende Wahrnehmung kann bei den Betroffenen Stressreaktionen auslösen, die sich langfristig entsprechend negativ auf die psychische und physische Gesundheit auswirken können [5]. Die beschriebenen Belästigungs- und Belastungseffekte werden jedoch häufig durch weitere Faktoren moderiert. Pohl mit Kolleginnen und Kollegen zeigte in einer Studie mit Anwohnerinnen und Anwohnern in der Nähe des Windparks Wilstedt in Niedersachsen, dass die Sichtbarkeit von WEA sowie die grundsätzliche Einstellung gegenüber WEA wichtige Moderatoren für die persönliche Beurteilung der empfundenen Geräuschbelastung waren. Auch die Belastungen der Personen während der Planungs- und Bauphase können sich auf die Bewertung der Geräusche auswirken [8].

Die Belästigungs- und Belastungssituation von Personen, die gegenüber WEA exponiert sind, ist somit komplex. Sie wird bestimmt durch objektiv messbare Expositionsfaktoren, wie Schallpegel, Schattenwurf und Lichtemissionen, sowie durch subjektive Einflussfaktoren. Letztere sind schwierig zu beurteilen und können zeitlichen Schwankungen unterliegen. Zudem sind diese Einflussfaktoren sowohl inter<sup>5</sup> als auch intraindividuell<sup>6</sup> variabel, wie zum Beispiel die persönliche Einstellung gegenüber WEA oder die Wahrnehmungsschwelle für Geräusche.

Ein häufig beschriebenes Phänomen in diesem Zusammenhang ist der sogenannte „Nocebo-Effekt“. So kann, bezogen auf die Geräuschentwicklung von WEA, eine negative Einstellung gegenüber solchen Anlagen dazu führen, dass Personen sich durch WEA stärker belästigt fühlen als Personen mit einer positiven Einstellung [22, 27]. Crichton und Kolleginnen

<sup>4</sup> Unter exponierten Personen versteht man Menschen, die zum Beispiel in der Nähe von WEA leben und dadurch möglichen Belastungen ausgesetzt sind.

<sup>5</sup> Unter interindividuell versteht man Unterschiede zwischen verschiedenen Personen.

<sup>6</sup> Unter intraindividuell versteht man Unterschiede bei ein und derselben Person zum Beispiel zu unterschiedlichen Tageszeiten, zwischen Tag und Nacht oder an unterschiedlichen Wochentagen.

und Kollegen fanden in einem Sham-Experiment<sup>7</sup> heraus, dass die Erwartung negativer Symptome durch Infraschall auch zur Wahrnehmung solcher Symptome führt, unabhängig davon, ob die Probanden tatsächlich Infraschall ausgesetzt waren oder dies im Rahmen des Versuchs nur vorgetäuscht wurde [28]. Gleichmaßen berichteten Probanden mit positiver Erwartungshaltung gegenüber Infraschall in einer weiteren Studie über eine Verbesserung physischer Symptome (zum Beispiel Kopfschmerzen, Müdigkeit) und der Stimmung [29].

Nicht alle der persönlich als belästigend empfundenen Faktoren können zum jetzigen Zeitpunkt wissenschaftlich erklärt werden, weil für dieses Forschungsfeld, insbesondere im Bereich der Langzeitforschung, sowohl national wie international weiterhin großer Forschungsbedarf besteht.

### Fazit/Position

Der technische Standard von WEA hat sich in den letzten Jahren stark verbessert. WEA sind nicht nur leistungsfähiger geworden, sondern auch im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit verbessert worden. Problematische und für die Gesundheit mit Risiken behaftete Aspekte, wie Eis- und Schattenwurf, sowie der Stroboskopeffekt wurden durch technisch-bauliche Maßnahmen reduziert beziehungsweise vollständig beseitigt, so dass bei Einhaltung der Vorschriften die gesundheitlichen Gefährdungspotenziale sehr gering sind.

Im Hinblick auf akustische Effekte kann für die Infraschallbelastung durch WEA nach heutigem Stand der Forschung davon ausgegangen werden, dass diese im Vergleich mit anderen (natürlichen und anthropogenen) Quellen sehr gering ist, so dass es hierbei nicht zu negativen Auswirkungen auf die Gesundheit kommt.

Hinsichtlich des hörbaren Schalls spielt vor allem die Amplitudenmodulation eine wichtige Rolle. Es wird zwar bereits nach der Ursache für diese Problematik gesucht, jedoch konnte bislang keine technische Lösung gefunden werden. Hier sollte weiterhin intensiv an der Ursachenfindung und Beseitigung dieses Phänomens gearbeitet werden.

Optische Belastungen aufgrund der Hinderniskennzeichnung wurden und werden durch technische Weiterentwicklungen und Verankerung dieser in gesetzlichen Vorschriften erheblich reduziert.

Insgesamt gesehen wurden zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor möglichen negativen Auswirkungen bereits für viele Probleme (technische) Lösungen entwickelt. Technische Maßnahmen an WEA reichen jedoch allein nicht aus, um die Akzeptanz der WEA zu steigern, da neben physikalischen Geräuschbelastungen zahlreiche nicht-akustische Faktoren in die Belästigungsbeurteilung eingehen, die entscheiden, ob Personen sich von WEA belästigt fühlen oder nicht.

Zusätzlich bestehen oftmals, trotz klarer wissenschaftlicher Befunde, Ängste und Bedenken bei Anwohnerinnen und Anwohnern von WEA bezüglich potenzieller gesundheitlicher Risiken. Auch existieren Bedenken gegenüber WEA, für die es keine ausreichend stützenden wissenschaftlichen Befunde gibt. Um möglichen einstellungsbezogenen Effekten, aber auch Ängsten und Vorurteilen zu begegnen, empfiehlt es sich, die Anwohnerinnen und Anwohner von WEA frühzeitig in die Planungs- und Genehmigungsphase einzubeziehen und zudem die Bauphase möglichst wenig belästigend zu gestalten (zum Beispiel Vermeidung unnötigen Lärms, möglichst geringe Belastung des Alltags). Darüber hinaus ist es wichtig, die Personen adäquat zu informieren und sie nicht mit ihren Bedenken alleine zu lassen.

Zudem sollten in der Umgebung von ausgewählten Windparks wohnende Personen in umweltepidemiologischen Studien im Kohortendesign<sup>8</sup> langfristig beobachtet werden, um mögliche, bislang nicht erkannte physiologische und psychologische Langzeiteffekte zu identifizieren und diesen entgegenzuwirken. In jedem Fall muss bei der Untersuchung von Belastungen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch WEA und ihrer Interpretation stets berücksichtigt werden, dass die jeweilige Bedeutung einzelner Belastungsfaktoren für die Gesundheit unter Realbedingungen schwer voneinander abgrenzbar ist und häufig entsprechend mehrere Faktoren

<sup>7</sup> Bei Sham-Experimenten werden Probanden zu Versuchszwecken „schein-exponiert“. In dem Fall der vorliegenden Studie gibt man vor, die Personen mit Infraschall zu exponieren, was tatsächlich jedoch nicht passiert.

<sup>8</sup> Unter Studien im Kohortendesign versteht man Untersuchung an einer Bevölkerungsgruppe, die über die Zeit abläuft und bei der man in regelmäßigen Abständen dieselbe Personengruppe untersucht. Mit einer solchen Studie können Veränderung über die Zeit erfasst werden und mögliche Ursachenzusammenhänge zwischen Belastungen und gesundheitlichen Auswirkungen identifiziert werden.



die Gesundheit negativ beeinflussen. Es handelt sich somit immer um ein Zusammenspiel verschiedener modifizierender Faktoren, die auf die menschliche Gesundheit einwirken.

Bei der Betrachtung möglicher gesundheitlicher Risiken von WEA im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung (zum Beispiel Verbrennung fossiler Brennstoffe) ist festzuhalten, dass neben geringeren Treibhausgasemissionen im Betrieb keine weiteren Luftschadstoffemissionen entstehen. Somit ergibt sich zum Beispiel im Vergleich zur Stromerzeugung durch Braun- beziehungsweise Steinkohlekraftwerke, die durch die verursachten Emissionen nachweislich Gesundheitsgefahren birgt, ein wichtiger positiver Nutzen nicht nur für die Umwelt, sondern auch für die Gesundheit.

Energie ist für die in Deutschland lebende Bevölkerung ein wichtiges und unverzichtbares Gut. Wo möglich sollten Energiesparmaßnahmen angewandt werden, um diese Ressource effizient einzusetzen. Der Verzicht auf Energie ist jedoch keine Option. Daher muss zwischen unterschiedlichen Energieträgern und Technologien zur Energiegewinnung abgewogen werden. Die Nutzung der Windenergie ist nach derzeitigem Wissensstand auch nach Einbezug gesundheitlicher Aspekte eine geeignete Alternative. Nichtsdestotrotz sollte der Ausbau der Windenergie wissenschaftlich kritisch begleitet werden, um bei Erkennung möglicher Risiken frühzeitig und adäquat reagieren zu können.



## Quellenverzeichnis

- [1] **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)**, Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). 2015. (Stand: Februar 2015).
- [2] **Bundesministerium des Inneren**, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm. 6. AVwV vom 26. August 1998 zum BImSchG, Gemeinsames Ministerialblatt. 1998.
- [3] **Lütkehus, I., H. Salecker, and K. Adlunger**, Potenzial der Windenergie an Land – Studie zur Ermittlung des bundesweiten Flächen- und Leistungspotenzials der Windenergienutzung an Land. 2013, Umweltbundesamt.
- [4] **Umweltbundesamt**, Mindestabstände zwischen Windenergieanlagen und Wohnnutzungen (Stellungnahme des Umweltbundesamtes). Schriftliche Stellungnahme zur Drucksache 17/1973 – Anhörung im Niedersächsischen Landtag am 2. März 2015, 2015.
- [5] **Bakker, R.H., et al.**, Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress. *Sci Total Environ*, 2012. **425**: p. 42–51.
- [6] **Janssen, S.A., et al.**, A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. *J Acoust Soc Am*, 2011. **130**(6): p. 3746–53.
- [7] **Pedersen, E., et al.**, Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *J Acoust Soc Am*, 2009. **126**(2): p. 634–43.
- [8] **Pohl, J., J. Gabriel, and G. Hübner**, Untersuchung der Beeinträchtigung von Anwohnern durch Geräuschemissionen von Windenergieanlagen und Ableitung übertragbarer Interventionsstrategien zur Verminderung dieser. (Abschlussbericht). 2014: Halle (Saale).
- [9] **Karpova, N.I., et al.**, Early response of the organism to low-frequency acoustical oscillations. *Noise and Vibration Bulletin*, 1970. **11**(65): p. 100–103.
- [10] **Evans, M.J. and W. Tempest**, Some effects of infrasonic noise in transportation. *Journal of Sound and Vibration*, 1972. **22**(1): p. 19–24.
- [11] **Ising, H., B. Markert, and F. Shenoda**, Infraschallwirkungen auf den Menschen, in Schriftenreihe Humanisierung des Arbeitslebens; 27. 1982, Institut für Wasser-, Boden-, und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes Berlin.
- [12] **Ising, H. and C. Wittke**, Auswirkungen mehrstündiger Infraschallexposition auf Versuchspersonen. *Forum Städte Hygiene*, 1979. **30**: p. 49–52.
- [13] **DIN 45680:1997-03**, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft. Beuth-Verlag, Berlin, 1997.
- [14] **E DIN 45680:2013-09**, Entwurf – Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen. Beuth-Verlag, Berlin, 2013.
- [15] **Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)**, Windenergieanlagen – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit? 2014.
- [16] **LUBW Landesanstalt für Umwelt Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg**, Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen – Bericht über Ergebnisse des Messprojekts 2013–2015. 2016.
- [17] **Krahé, D., et al.**, Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall – Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Ermittlung der Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen. 2014.
- [18] **McCunney, R.J., et al.**, Wind turbines and health: a critical review of the scientific literature. *J Occup Environ Med*, 2014. **56**(11): p. e108–30.
- [19] **Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)**, Hinweise zur Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise). 2002.
- [20] **Smedley, A.R., A.R. Webb, and A.J. Wilkins**, Potential of wind turbines to elicit seizures under various meteorological conditions. *Epilepsia*, 2010. **51**(7): p. 1146–51.
- [21] **Harding, G., P. Harding, and A. Wilkins**, Wind turbines, flicker, and photosensitive epilepsy: characterizing the flashing that may precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them. *Epilepsia*, 2008. **49**(6): p. 1095–8.
- [22] **Knopper, L.D., et al.**, Wind turbines and human health. *Front Public Health*, 2014. **2**: p. 63.
- [23] **Hübner, G. and J. Pohl**, Akzeptanz und Umweltverträglichkeit der Hinderniskennzeichnung von Windenergieanlagen, in Abschlussbericht zum BMU-Forschungsvorhaben (FKZ: 03MAP134). 2010.
- [24] **Knopper, L.D. and C.A. Ollson**, Health effects and wind turbines: a review of the literature. *Environ Health*, 2011. **10**: p. 78.
- [25] **Pedersen, E., et al.**, Can road traffic mask sound from wind turbines? Response to wind turbine sound at different levels of road traffic sound. *Energy Policy*, 2010. **38**(5): p. 2520–2527.
- [26] **Pedersen, E. and K. Persson Waye**, Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occup Environ Med*, 2007. **64**(7): p. 480–6.
- [27] **Chapman, S., A. St George, and W. K.**, Spatio-temporal differences in the history of health and noise complaints about Australian wind farms: evidence for the psychogenic, “communicated disease” hypothesis. 2006, Sydney School of Public Health: Sydney, Australia.
- [28] **Crichton, F., et al.**, Can expectations produce symptoms from infrasound associated with wind turbines? *Health Psychol*, 2014. **33**(4): p. 360–4.
- [29] **Crichton, F., et al.**, The power of positive and negative expectations to influence reported symptoms and mood during exposure to wind farm sound. *Health Psychol*, 2014. **33**(12): p. 1588–92.





► **Diese Broschüre als Download**  
<http://bit.ly/2dowYYI>

 [www.facebook.com/umweltbundesamt.de](http://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
 [www.twitter.com/umweltbundesamt](http://www.twitter.com/umweltbundesamt)