



Wirkung von Windenergieanlagen auf Akzeptanz,
Gesundheit und Wohlbefinden von Anwohner/innen –
zentrale Ergebnisse einer Feldstudie und zum aktuellen
Forschungsstand

Impressum

Die Verantwortung für die Broschüre liegt bei den Autor/innen und muss nicht mit der Auffassung des Fördermittelgebers übereinstimmen.

Autor/innen

Dr. Johannes Pohl & Prof. Dr. Gundula Hübner
Institut für Psychologie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU),
Arbeitsgruppe Umwelt- und Gesundheitspsychologie,
MSH Medical School Hamburg



Dr. Michaela Liebig-Gonglach & Prof. Dr. Claudia Hornberg
Fakultät für Gesundheitswissenschaften, Arbeitsgruppe 7 Umwelt & Gesundheit,
Universität Bielefeld (UBI)



Diese Broschüre und der Abschlussbericht zu diesem Projekt sind verfügbar unter:
<https://www.psych.uni-halle.de/tremac/>

Stand
Februar 2022

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FKZ: 0325839F und 0325839E

1 TremAc – Analyse von Geräuschbelästigung

Über den notwendigen Ausbau der Windenergienutzung besteht politisch wie gesellschaftlich mehrheitlich Konsens (AEE, 2018; FA Wind, 2021; IASS, 2018). Neben Veränderungen im Landschaftsbild werden aber auf lokaler Ebene teilweise massive Bedenken und Beschwerden über Geräusche von Windenergieanlagen an Land (WEA) vorgebracht – auch zu tieffrequentem Schall und Infraschall, obwohl die vorgegebenen Richtwerte (TA Lärm) für Geräuschimmissionen eingehalten werden.

Zum Ausmaß und zu den Ursachen der Geräuschbelästigung fehlten bislang Analysen, die vor Ort Erfahrungen von Anwohner/innen erfassen, kombiniert mit Messungen von hörbarem, tieffrequentem Schall und dem nicht hörbaren Infraschall sowie Bodenbewegungen. Diese vertiefte Analyse wurde durch das interdisziplinäre Forschungsvorhaben „Objektive Kriterien zu Erschütterungs- und Schallemissionen durch Windenergieanlagen im Binnenland (TremAc)“ ermöglicht, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Insgesamt waren neun Teilvorhaben beteiligt, sämtliche Ergebnisberichte sind frei verfügbar (<https://fachagentur-windenergie.de/aktuelles/detail/schwaecher-als-ein-beben-in-alaska/>). Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf zentrale Ergebnisse der umweltpsychologischen wie umweltmedizinischen Analysen. Diese Analysen wurden gemeinsam durch die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU), die Universität Bielefeld (UBI), den Kooperationspartnern vom Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik (IBF) und dem Geophysikalisches Institut (GPI) vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie vom Stuttgarter Lehrstuhl für Windenergie (SWE) durchgeführt. Zudem war auch die Unterstützung des Vorhabens durch die Wobben Research and Development GmbH (WRD) sowie durch die lokalen Anlagen-Betreiber, der Energiegenossenschaft Ingersheim und wpd in Wilstedt Voraussetzung für die erfolgreiche Projektdurchführung.

Bevor zentrale Ergebnisse vorgestellt und in die aktuelle Forschung eingeordnet werden, kurz zur Methode der Untersuchungen: Im Mittelpunkt stand die Befragung von insgesamt 260 Anwohner/innen, je 130 von einer WEA in Ingersheim (Enercon E-82, 2 MW Leistung; Landkreis Ludwigsburg) und eines Windparks in Wilstedt (9 WEA, Enercon E-82, je 2 MW Leistung; Landkreis Rotenburg an der Wümme) im Frühjahr und Herbst 2018.

Bei jeweils zwei Haushalten beider Untersuchungsregionen führte das GPI akustische und seismische Messungen durch. An der Befragung konnten Interessierte im Umkreis von bis zu 3 km der WEA teilnehmen. Diese

Befragungsstichprobe ist vergleichbar mit der anderer Studien, die Ergebnisse daher übertragbar (Pohl et al., 2020). Über einen standardisierten Fragebogen wurden umfangreich Akzeptanz- und Stressindikatoren erfasst, inkl. Stresssymptomen. Um die Übertragbarkeit der Befunde zu prüfen, wurden die Daten aus Ingersheim und Wilstedt mit den Daten einer Referenzstichprobe verglichen. Diese setzt sich zusammen aus 890 Anwohnern/innen von 13 deutschen und 7 schweizerischen Windparks, die in vorhergehenden Studien befragt wurden (s. Hübner et al., 2019; Pohl et al., 2012; Pohl et al., 2020). Für 45 % der Wilstedter Stichprobe war es die dritte Befragung innerhalb von 6 Jahren. Die Gewinnung der 2018er Stichprobe geschah nach den gleichen Kriterien wie 2012 und 2014 (zu den Befragungen 2012 und 2014 s. Pohl et al., 2014; Pohl et al., 2018). Ermöglicht wird damit eine bisher einzigartige, systematische Belästigungsanalyse über einen längeren Zeitraum.

Parallel wurde eine umweltmedizinische Befragung durchgeführt, erfasst wurden gesundheitliche Beschwerden und spezifische Symptome, die Anwohner/innen auf Schallimmissionen der WEA zurückführen. Zudem sollten mögliche (gesundheitliche) Ursachen für eine Vulnerabilität bei den Betroffenen herausgestellt werden.

2 Akzeptanz vor Ort

Verschiedene Studien zeigen übereinstimmend vor Ort durchschnittlich positive Einstellungen gegenüber WEA auf, national (z. B. AEE, 2018; FA Wind, 2021; Hübner et al., 2020; IASS, 2018) wie international (z. B. Hoen et al., 2019). Diese mehrheitlich positive Einstellung zeigte sich auch unter den Befragten in Ingersheim und Wilstedt, zu WEA allgemein, wie auch zu den örtlichen, laufenden WEA. Eine klare Mehrheit hatte bereits deren Bau befürwortet, wobei nur relativ wenige den Bau aktiv unterstützten, z. B. durch Flyer-Verteilung (Abbildung 2/1). Während in Wilstedt der Anteil der aktiven Gegnerschaft (z. B. Teilnahme an Demonstration) den der aktiven Unterstützung überwog, fiel das Verhältnis in Ingersheim umgekehrt aus – was sich wahrscheinlich durch eine genossenschaftliche Beteiligungsmöglichkeit an der WEA erklärt. Auch in der Referenzstichprobe gab es relativ wenige aktive oder passive Gegner/innen.

Dem Planungs- und Bauprozess kommt eine wichtige Rolle zu – je fairer und gerechter dieser gestaltet und erlebt wird, desto eher kann ein WEA-Projekt akzeptabel werden (s. Hübner et al., 2019; Hübner et al., 2020; Local Energy Consulting, 2020). Dass eigenen sowie den Interessen der Gemeinde gerecht geworden sei, sahen die Befragten nur eingeschränkt, am stärksten noch in

Ingersheim. Gleichzeitig wurde aber die Belastung durch die Planung, den Bau und Streit wegen der WEA durchschnittlich in den drei Stichproben als sehr gering bis gering eingestuft. Für vertiefende Ergebnisse sei auf den Projektbericht und weiterführende Literatur verwiesen (s. Seite 10–12).

Ob im Betrieb befindliche WEA von ihren Anwohner/innen akzeptiert werden, hängt auch von erlebten Belästigungen ab. Um mögliche Zusammenhänge zwischen Stresseffekten, gesundheitlichen Beschwerden und tieffrequenten Schall-Expositionen prüfen zu können, wurden im Rahmen von TremAc Schallemissionen und Bodenbewegungen im Umfeld der WEA messtechnisch erfasst sowie Immissionen in vier (Wohn-)Gebäuden von Anwohnern/innen. Der nächste Abschnitt gibt Einblick in die durchgeführten physikalischen Messungen. Anschließend folgen zentrale Ergebnisse zu den von Anwohner/innen berichteten Belästigungen (differenzierte Ergebnisse s. Projektbericht).

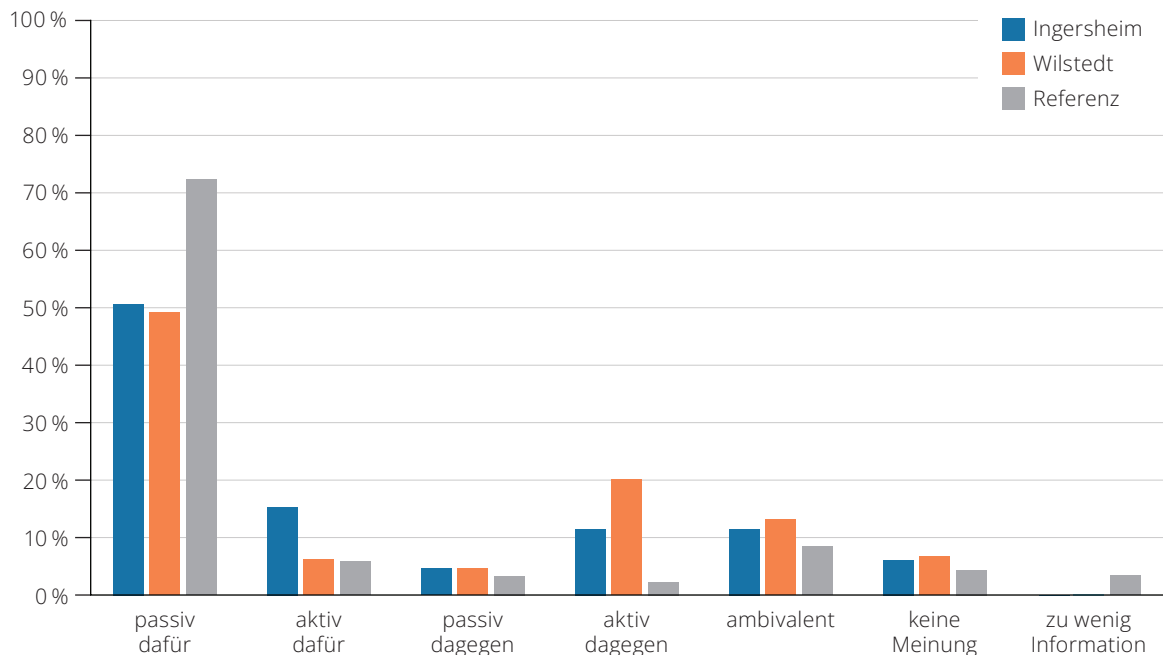


Abb. 2/1: Aktivitäten für oder gegen die lokalen WEA in der Planungsphase (%)

3 Seismische und akustische Messungen

Seismische Messungen: WEA können über das Fundament mechanische Schwingungen auf den Boden übertragen. In Ingersheim und Wilstedt wurde mit Seismometern diese Bodenschwingungen an mehreren Messpunkten im Frequenzbereich von 0.5–25 Hz (Hertz) aufgenommen. Im Bereich der nächsten Anwohner/innen wurden Schwingungsstärken gefunden, die ca. zwei Größenordnungen unterhalb der Grenzwerte der DIN4150-2 lagen. Dieser grundlegende Befund wird durch eine aktuell laufende Studie an anderen Orten in Süddeutschland erneut bestätigt (Gaßner et al., 2021). Eine Spürbarkeit oder Belästigung durch WEA bedingte Bodenerschütterungen können bei den Anwohner/innen demnach ausgeschlossen werden.

Luftschallmessungen: Es gab zwei Messkampagnen, in Ingersheim im August 2018 und Februar 2019, in Wilstedt von November 2018 bis Januar 2019. Ausgewertet wurden Frequenzspektren für den Bereich von 0.1–200 Hz im Anlagenbetrieb und bei stillstehenden WEA. Es zeigte sich, dass sich Frequenzen von 0–10 Hz bei entsprechenden Windbedingungen messtechnisch deutlich von den Geräuschen abheben, die vorhanden sind, wenn die WEA nicht laufen (Hintergrundgeräusche). Diese tiefen Frequenzen entstehen beim Vorbeistreichen der Flügel am Turm. Allerdings lagen die unbewerteten Schalldruckpegel im Frequenzbereich unter 100 Hz (also auch im Bereich von 0–10 Hz), nach/gemäß der DIN 45680 bereits im näheren Umfeld der WEA (Ingersheim: 140 m, Wilstedt: 237 m) unterhalb der menschlichen Hörschwelle (zu vergleichbaren Messkampagnen s. LEA, 2021; LUBW, 2016).

Messungen in Gebäuden: Vom KIT wurden kombinierte mikroseismische und akustische Messungen im Inneren von Gebäuden in der Nähe der WEA durchgeführt (s. Blumendeller et al., 2020; Kudella, 2020). Die Messungen im Frequenzbereich 1–150 Hz erfolgten an vier unterschiedlichen Standorten, je zwei im Bereich WEA Ingersheim (Einzelanlage) und zwei im Bereich Windpark Wilstedt (neun Anlagen), welche sich hinsichtlich der Entfernung zu den Anlagen, der Gebäudesubstanz und -struktur sowie der Geologie unterscheiden. Sehr empfindliche Messgeräte oder seismische Beobachtungsstationen können selbst diese schwachen Schwingungen erfassen, für Anwohner/innen sind sie jedoch nicht wahrnehmbar. So zeigten die Messungen, dass bis zu einer Entfernung von mindestens 2.5 km zu einer WEA oder einem Windpark seismische und akustische Emissionen erfassbar sind. Sowohl in den Daten von Erschütterungen als auch im Luftschall konnten insbesondere niederfrequente Anteile unter

20 Hz infolge des WEA-Betriebs messtechnisch festgestellt werden. Es zeigte sich auch in den Gebäuden eine typische Frequenzcharakteristik von WEA, die hauptsächlich auf den Durchgang der Rotorblätter am Turm zurückführbar ist. Zudem liegen wiederum die Amplituden der gemessenen Bodenschwingungen deutlich unterhalb der menschlichen Wahrnehmungsschwelle. Zum Beispiel konnte durch die Seismometer in Wilstedt ein in Alaska aufgetretenes Erdbeben aufgezeichnet werden – für Menschen ist es jedoch unmöglich, diese feinen Schwingungen zu spüren.

Fazit: Laufende WEA können im Innern von Gebäuden zu hören sein. Aber unsere Befunde zeigen, dass Infraschall zwar mit sensiblen Geräten messbar ist, die Schalldruckpegel liegen aber weit unterhalb der menschlichen Wahrnehmungsschwelle (s. auch Krahé et al., 2020).

4 Belästigung durch WEA-Geräusche und weitere Immissionen

Wahrgenommene Immissionen: In ihrer Wohnung nahmen 9.2 % (n = 12) der Befragten in Ingersheim, 23.8 % (n = 31) der Wilstedter und 18.0 % (n = 160) der Referenzstichprobe hörbare WEA-Geräusche wahr. Periodischen Schattenwurf der WEA sahen 5.7 % (n = 7) der Ingersheimer und 9.7 % (n = 13) Wilstedter auf ihrem Grundstück. Zur Hinderniskennzeichnung und zur Veränderung des Landschaftsbilds wurden alle Teilnehmer/innen befragt.

Belästigung durch WEA-Geräusche, weitere WEA-Immissionen und Straßenverkehrsgeräusche: Die Befragten, die WEA-Geräusche wahrnahmen, fühlten sich durchschnittlich wenig bis mittelstark durch WEA-Geräusche belästigt (Abbildung 4/1), in Wilstedt am geringsten. In Ingersheim wurde die Belästigung durch die WEA-Geräusche und den Verkehrslärm im Mittel nahezu gleichstark empfunden. Für die Wilstedter dagegen fiel die Belästigung durch WEA-Geräusche etwas geringer aus als durch Verkehrslärm. Die Belästigungen durch weitere WEA-Immissionen lagen bei den drei Stichproben im Mittel in einem Bereich zwischen sehr gering und gering. Auch dieses Ergebnis deckt sich mit weiteren Studienergebnissen (Hübner et al., 2019)

Symptome: Wenige Befragte berichteten von psychischen oder körperlichen Symptomen, die sie auf die WEA-Geräusche zurückführten und mindestens einmal pro Monat erlebten. Am häufigsten wurden Symptome (5–9 %) in Zusammenhang mit verminderter Leistungsfähigkeit und gestörtem Schlaf berichtet. Typische Symptome in Zusammenhang mit tieffrequentem Schall wie Schwindel und Druckgefühle berichteten nur 5 von insgesamt 260 befragten Personen (1.9 %) (s. Krahé, et al., 2014 zu typischen Symptomen von Infraschall).

Stark Belästigte: Als stark belästigt können Personen gelten, die sich mindestens mittelstark belästigt fühlen und mindestens ein psychisches oder körperliches Symptom erleben, mindestens einmal pro Monat und bezogen auf die WEA-Geräusche (Abbildung 4/2). 6.2 % der Befragten in Ingersheim und 4.6 % der Teilnehmenden aus Wilstedt gaben an, stark durch WEA-Geräusche belästigt zu sein, vergleichbar niedrig wie in der Referenzstichprobe (4.9 %). Andere Immissionen, z. B. Schattenwurf, führten bei keiner der befragten Personen oder bei einer verschwindend geringen Anzahl (max. 0.8 %) zu starker Belästigung. Im Vergleich waren deutlich mehr

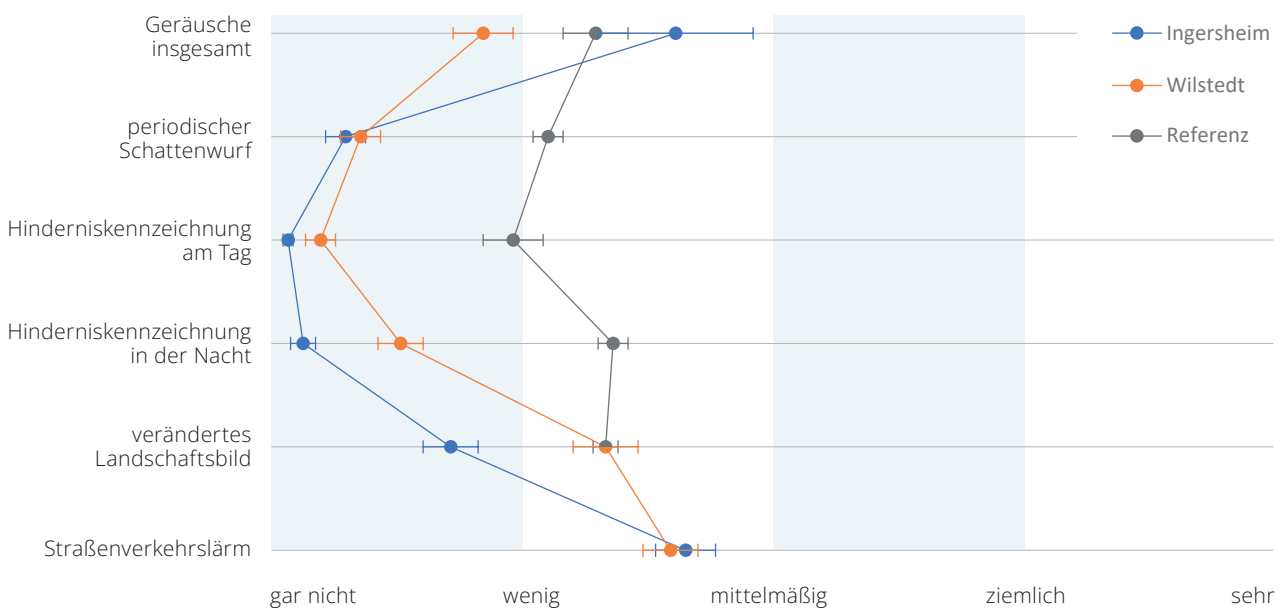


Abb. 4/1: Belästigung durch WEA-Immissionen und den Verkehrslärm (M, SEM, Skala gar nicht 0–4 sehr belästigt)

Belästigung	keine Geräusch- wahrnehmung	gar nicht (0)	wenig (1)	mittelmäßig, ziemlich oder sehr (2-4)	mittelmäßig, ziemlich oder sehr (2-4)
Symptom- häufigkeit	nicht anwendbar	keine Symptome	keine Symptome	keine Symptome	monatlich, wöchentlich oder täglich
Geräuschestress- Skalenwert	keine Geräusch- wahrnehmung (0)	gar nicht (1)	wenig (2)	mittelmäßig (3)	stark (4)

Abb. 4/2 Geräuschestress-Skala

Befragte stark durch Verkehrslärm stark belästigt; 18.5 % in Ingersheim, 10.0 % in Wilstedt.

Die in dieser und in anderen Studien gefundene geringe Anzahl stark Belästigter durch den Schattenwurf ist sicherlich darauf zurückzuführen, dass WEA abgeschaltet werden müssen, wenn eine bestimmte Dauer an Schattenwurf am Immissionsort überschritten wird.

Die Angaben der stark Belästigten zu WEA-Geräuschen wiesen klare Muster einer Stressreaktion auf (negative Einstellungen und Bewertung der Geräuschquelle, typische Symptome einer Lärmwirkung, ungünstigere kognitive Bewältigung, Durchführen von Minderungsmaßnahmen, erhöhte Geräuschempfindlichkeit).

Hervorzuheben: In Wilstedt reduzierte sich der Anteil stark belästigter Personen um die Hälfte, von 9.9 % im Jahre 2012, 6.8 % in 2014, auf 4.6 % im Jahr 2018. In dieser bislang einzigartigen Verlaufsstudie waren die Anwohner/innen 2012 als lokale Experten an der Analyse belästigender Geräusche beteiligt. Die Partizipation und spätere Minderungsmaßnahmen im Jahr 2017 durch den Einsatz von Hinterkantenprofilen scheinen für den Rückgang stark Belästigter mitverantwortlich gewesen zu sein.

Die Belästigungen durch WEA-Geräusche stehen in Zusammenhang mit Akzeptanzfaktoren. Je negativer die Einstellung, je höher die Belästigung durch WEA in der Landschaft, je höher die Belastung in der Planungs- und Bauphase, je weniger den eigenen Interessen bei der Planung gerecht geworden war, desto stärker war die Stressreaktion. Weitere Gesundheitsvariablen (z. B. aktueller Gesundheitszustand, sonstige Belastungen) sowie physikalische (wie z. B. Abstand und Schalldruckpegel) und soziodemografische Variablen zeigten dagegen keinen bedeutsamen Zusammenhang zum WEA-Geräusch-

stress – immer vorausgesetzt, die Immissionsschutzanforderungen wurden eingehalten (s. Hübner et al., 2019; Pohl et al., 2018).

5 Umweltmedizinische Befragung

Als Kernziel der umweltmedizinischen Befragung sollten bei Anwohner/innen mit subjektiven, durch (tieffrequente) WEA-Schallimmissionen verursachte Gesundheitsbeschwerden, mögliche Ursachen für eine Vulnerabilität analysiert werden. Dafür wurden neben den subjektiven, WEA-assoziierten Symptomen auch allgemeine körperliche Beschwerden sowie der Beschwerdedruck (Gießener Beschwerdebogen GBB-24; Brähler et al., 2008), die Schlafqualität der letzten 4 Wochen (Pittsburgh Schlafqualitätsindex – PSQI; Buysse et al., 1989), die somatoforme (Mit-)Bedingtheit von Körperbeschwerden (Somatic Symptoms Experiences Questionnaire – SSEQ; Herzog et al., 2014) und die Lärmempfindlichkeit (Weinstein-Lärmempfindlichkeitsskala; Weinstein, 1978) analysiert. Ergänzend wurden andere potentielle Einflussfaktoren aus dem Lebens- bzw. Wohnumfeld erhoben, z. B. (tieffrequente) Geräuschquellen im Wohnumfeld sowie die allgemeine Zufriedenheit mit der Wohnsituation. Insbesondere die akustischen (tieffrequenter Schall) und seismischen Messungen im Wohnumfeld sollten als wichtige objektive Bewertungsfaktoren in die Analysen einfließen.

Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass insgesamt 12 der befragten Personen (n = 170) diverse unspezifische Gesundheitsbeschwerden direkt auf die WEA zurückführen. Die am häufigsten genannten subjektiven Symptome waren *Schlafstörungen* und *Druckempfinden* sowie *Unruhezustände* und *Kopfschmerzen*.

Eine Gegenüberstellung der erfassten Daten von Personen mit WEA-assoziierten Beschwerden ergab keine klaren Hinweise auf gesundheitsbezogene Gemeinsamkeiten, wie beispielsweise bestehende (Vor-)Erkrankungen oder besondere körperliche Merkmale wie eine erhöhte Lärmempfindlichkeit, die eine Vulnerabilität bei den Betroffenen begünstigen könnte.

Im vorgegebenen Zeitrahmen des TremAc-Vorhabens war es nicht möglich, bei allen gesundheitlich betroffenen Anwohner/innen Immissionsmessungen im Wohnumfeld durchzuführen. Im Wohnumfeld von vier Haushalten wurden objektive akustische und seismische Messdaten gewonnen, wovon nur zwei eine gesundheitliche Betroffenheit im Rahmen der umweltmedizinischen Befragung angaben. Im betrachteten Zeitraum konnten dabei aber keine besondere Belastung durch tieffrequenten Schall aufgezeigt werden. Für die anderen identifizierten Anwohner/innen mit subjektiven Gesundheitsbeschwerden standen nach Abschluss des Projektes keine Daten zur Verfügung, um den möglichen Zusammenhang zwischen den beschriebenen Symptomen und der lokalen Exposition durch tieffrequente Schallimmissionen auf Plausibilität zu prüfen.

Es lässt sich hier anhand der Befragungsdaten von nur wenigen Betroffenen und den einzelnen akustischen Messdaten nicht feststellen, ob die beschriebenen Beschwerden der Betroffenen tatsächlich auf hörbare oder auf vom Gehör unabhängige Effekte des tieffrequenten Schalls der WEA zurückzuführen sind.

Aktuelle Studien deuten darauf hin, dass ein Zusammenhang von körperlichen Beschwerden mit einer Infraschall-Exposition von WEA unwahrscheinlich ist (Krahé et al., 2020; Majjala et al., 2020).

In den bisherigen Studien, die gesundheitliche Aspekte durch WEA untersuchten, wurde eine Vielzahl körperlicher Beschwerden erfasst, die von Betroffenen subjektiv auf den Betrieb von WEA im Wohnumfeld zurückgeführt werden. Prinzipiell können diese genannten, meist unspezifischen Beschwerden allerdings auch Stress-assoziiert auftreten und beispielsweise aus einer allgemeinen (Geräusch-) Belästigung durch die WEA oder aus einer Ablehnung der WEA resultieren (Rand & Hoen, 2017).

Es gibt derzeit keine epidemiologischen Studien, die kausale Zusammenhänge zwischen dem Betrieb von WEA und körperlichen Beschwerden eindeutig belegen konnten (Michaud et al., 2016; van Kamp & van den Berg, 2018). Die aktuelle Studienlage gibt zudem keine eindeutigen Hinweise darauf, dass Menschen, die im Umfeld von WEA leben, insgesamt stärker gesundheitlich belastet sind oder ein erhöhtes Risiko für bestimmte Erkrankungen besitzen (Poulsen et al., 2018a, b, c).

6 Fazit und Empfehlungen

Tieffrequenter Schall und Infraschall: Seit einigen Jahren wird die Frage diskutiert, ob von WEA ausgehender Infraschall Stress, körperliche, psychische Symptome und gesundheitliche Beeinträchtigungen bei Anwohner/innen auslösen kann. Diese und auch weitere neuere Studien legen nahe, dass dies sehr unwahrscheinlich ist. Die Evidenz beruht auf der Zusammenschau von a) Messungen bei und Befragungen von Windpark-Anwohner/innen (BAYCEER, 2021; Majjala et al., 2020), b) experimentellen Studien mit der Darbietung von Infraschall (Ascone et al., 2021; Krahé et al., 2020; Majjala et al., 2020) und c) Auswertungen von Krankheitsregistern (Poulsen et al., 2018a, b, c). Die bei Anwohner/innen gemessenen bzw. zu erwartenden Infraschallpegel sind zu gering, um zu Belästigungswirkungen zu führen. Im Gegensatz dazu kann hörbarer Schall, auch im tieffrequenten Bereich, als Belästigung erlebbar sein.

1. Empfehlung: Die Gesamtschau der vorliegenden Forschungsergebnisse zum Infraschall und tieffrequenten Schall für alle Interessierten nachvollziehbar und übersichtlich aufbereiten und barrierefrei zugänglich machen, z. B. auf den Seiten der einschlägigen Fachgremien, wie der FA Wind, den zuständigen Ministerien und ihren untergeordneten Behörden.

Diagnostik von Belästigungen: Je nach verwendeten Indikatoren und Definitionen von starker Belästigung fallen die Ergebnisse unterschiedlich aus. Allein nach der erlebten Belästigung zu fragen, kann auch schlicht eine negative Einstellung erfassen – und zur Überschätzung führen, solange Symptome unberücksichtigt bleiben (s. Hübner et al., 2019). Andererseits fühlt sich nicht jede Person, die Symptome oder Beschwerden angibt, auch dadurch deutlich belästigt. Daher kann die WEA-Wirkung auch dann überschätzt werden, wenn allein die Symptome betrachtet werden. Um Unsicherheiten zu reduzieren und verlässliche Aussagen zu ermöglichen, ist eine Klärung und Standardisierung der diagnostischen Methoden zur Erfassung von Belästigung erforderlich.

2. Empfehlung: Standardisierte, empirisch verlässliche Diagnostikkriterien zur Belästigung durch WEA-Immissionen etablieren. Ausgehend von stresspsychologischen Ansätzen und unseren bisherigen Forschungsergebnissen ist eine standardisierte WEA-Stressskala (Hübner et al., 2019) zu empfehlen, in der die erlebte Stärke der Belästigung mit Angaben zu Symptomen verknüpft wird.

Langzeitstudien: Langzeitstudien bieten wichtige Ansatzpunkte, um Minderungsmaßnahmen ableiten und auch deren Wirksamkeit bewerten zu können. Dazu sollten in folgenden interdisziplinären Studien gezielt Windparks

untersucht werden, zu denen es vermehrt Geräuschbeschwerden gibt, stark Belästigte identifiziert und diese für akustische Messungen zu Hause und Erfassung von Beschwerden über einen längeren Zeitraum gewonnen werden (Anwohnermonitoring; s. auch Majjala et al., 2020). Dabei sollte das zeitsynchrone Messen und Registrieren von lästigen Geräuschen verstärkt zum Einsatz kommen.

3. Empfehlung: Um Veränderungen über die Zeit darzustellen und Verunsicherungen bei Anwohner/innen über die Wirkung von WEA aufzuklären, wird ein systematisches, standardisiertes Anwohnermonitoring empfohlen, exemplarisch auch an Windparks, an denen es häufiger zu Beschwerden kommt.

Minderungsansätze und deren Evaluation: Der Anteil der Anwohner/innen, die sich durch WEA stark belästigt fühlen, fällt relativ gering aus. Um die Akzeptanz der WEA-Nutzung zu fördern, sollten die Analysen akustischer Phänomene und der Art der Geräusche (Geräuschqualitäten) fortgesetzt werden, die zur wahrgenommenen Lästigkeit beitragen. Ein Ansatzpunkt wäre es, die WEA-Betriebszustände zu variieren und deren Einfluss auf die Lästigkeit zu untersuchen. Auch sollten die Effekte von technischen Geräuschminderungsmaßnahmen wie Flügelhinterkantenprofile, im Hinblick auf Erfahrungen von Anwohner/innen hinsichtlich einer Belästigung oder subjektiven gesundheitlichen Belastung weiter evaluiert werden.

4. Empfehlung: Insgesamt gilt es, die physikalischen und psychischen Faktoren, die zu einer WEA-Geräuschbelästigung beitragen, weiter interdisziplinär zu erforschen. Das erfordert zum einen die Optimierung und Standardisierung der Mess- und Befragungsdiagnostik sowie eine weiterführende Evaluation von Minderungsmaßnahmen.

Beteiligung, Planungs- und Bauphase: Die erlebte Belästigung steht nicht nur mit hörbaren Geräuschen in Zusammenhang, sondern insbesondere auch mit der erlebten Belastung in der Planungs- und Bauphase. Dem Ablauf des Planungs- und Bauprozesses kommt damit eine nachhaltige Bedeutung für spätere Belastungen und die Akzeptanz der Anlagen zu. Empfehlungen, wie eine Bürgerbeteiligung auf Augenhöhe möglich wird, eine breite, legitimierte Öffentlichkeit und insbesondere Jüngere mit einbezogen werden können, wird an anderen Stellen intensiv diskutiert (s. weiterführende Informationen). Die Bedeutung einer solchen Bürgerenergiebewegung wird auch durch die vorliegenden Daten verdeutlicht.

5. Empfehlung: Um den Ausbau der Windenergienutzung zu fördern, wird empfohlen, Ressourcen und Vorgaben für eine Planungskultur zu bieten, die bürgerliches Engagement im Rahmen der Energiebewegung noch stärker als bisher ermöglicht (s. z. B. ESYS, 2021; Local Energy Consulting, 2020).

Quellenverzeichnis

- Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) (2018). www.unendlich-viel-energie.de/media/image/28041.AEE_akzeptanzumfrage2018_Zustimmung_EE_in_Nachbarschaft_72dpi.jpg
- Ascone, L., Kling, C., Wiczorek, J., Koch, C. & Kühn, S. (2021). A longitudinal, randomized experimental pilot study to investigate the effects of airborne infrasound on human mental health, cognition, and brain structure. *Nature – Scientific Reports*, 11, 3190. doi:10.1038/s41598-021-82203-6
- BAYCEER (2021). Bayreuther Zentrum für Ökologie und Umweltforschung: Infraschall-Messung und Auswertung. (Stand: Juli 2021).
- Blumendeller, E., Kimmig, I., Huber, G., Rettler, P. & Cheng, P. W. (2020). Investigations on low frequency noises on on-shore wind turbines. *Acoustics*, 2, 343–367.
- Brähler, E., Hinz, A. & Scheer, J. W. (2008). Der Gießener Beschwerdebogen [GGB-24]. Manual (3. Überarbeitete, neu normierte Auflage, S. 109). Bern: Huber.
- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R. & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28, 193–213. doi:10.1016/0165-1781(89)90047-4
- ESYS (2021). Vorschläge für einen klimagerechten Ausbau der Photovoltaik und Windenergie. Berlin: Koordinierungsstelle Energiesysteme der Zukunft.
- FA Wind (2021). Umfrage zur Akzeptanz der Windenergie an Land – Herbst 2021. Berlin: Fachagentur Windenergie an Land e. V.
- Gaßner, L., Blumendeller, E., Müller, F., Wigger, M., Berlinger, P., Rettenmeier, A., Ritter, J., Cheng, P. W., Hübner, G. & Pohl, J. (2021). Joint analysis of acoustic and ground motion data with noise reports and meteorological data to establish a robust annoyance evaluation of wind turbine emissions. (Submitted).
- Herzog, A., Voigt, K., Meyer, B., Rief, W., Henningsen, P., Hausteiner-Wiehle, C. & Lowe, B. (2014). The Somatic Symptoms Experiences Questionnaire (SSEQ): A new self-report instrument for the assessment of psychological characteristics of patients with somatoform disorder. *Psychotherapie, Psychosomatik, Medizinische Psychologie*, 64, 115–121. doi:10.1055/s-0032-1333303
- Hoen, B., Firestone, J., Rand, J., Elliott, D., Hübner, G., Pohl, J., Wisser, R., Lantz, E., Haac, T. R. & Kaliski, K. (2019). Attitudes of U.S. wind turbine neighbors: Analysis of a nationwide survey. *Energy Policy*, 134. Doi:10.1016/j.enpol.2019.110981
- Hübner, G., Pohl, J., Hoen, B., Firestone, J., Rand, J., Elliott, D. & Haac, T. R. (2019). Monitoring annoyance and stress effects of wind turbines on nearby residents: A comparison of U.S. and European samples. *Environment International*, 132. doi:10.1016/j.envint.2019.105090
- Hübner, G., Pohl, J., Warode, J., Gotchev, B., Ohlhorst, D., Krug, M., Salecki, S. & Peters, W. (2020). Akzeptanzfördernde Faktoren erneuerbarer Energien. BfN-Skripten 551. Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- IASS (2018). <https://www.iass-potsdam.de/de/news/soziales-nachhaltigkeitsbarometer-energieewende-2018>
- Krahé, D., Schreckenberger, D., Ebner, F., Eulitz, C. & Möhler, U. (2014). Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall. Dessau: Umweltbundesamt.
- Krahé, D., Di Loro, A. A., Müller, U., Elemenhorst, E.-M., De Gioannis, R., Schmitt, S., Behlke, C., Benz, S., Großarth, S., Schreckenberger, D., Eulitz, C., Wiercinski, B. & Möhler, U. (2020). Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen: Dessau: Umweltbundesamt.
- Kudella, P. (2020). Objektive Kriterien zu Erschütterungs- und Schallemissionen durch Windenergieanlagen im Binnenland: Zusammenfassender Schlussbericht zum Gesamtvorhaben. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie. <https://fachagentur-windenergie.de/aktuelles/detail/schwaecher-als-ein-beben-in-alaska/>
- LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH (Hrsg.) (2021). Fakten-Update Windenergie und Infraschall. Bürgerforum Energiewende Hessen. https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2021/3659_20211014_Fakten-Update_WindenergieundInfraschall_Web2.pdf
- Local Energy Consulting (2020). Akzeptanz und lokale Teilhabe in der Energiewende. Handlungsempfehlungen für eine umfassende Akzeptanzpolitik. Impuls im Auftrag von Agora Energiewende. <https://www.agora-energieewende.de>

- LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.) (2016). Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen: Bericht über die Ergebnisse des Messprojekts 2013–2015. Karlsruhe: Agentur & Druckerei Murr. <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/84558>
- Maijala, P., Turunen, A., Kurki, I., Vainio, L., Pakarinen, S. et al. (2020). Infrasound does not explain symptoms related to wind turbines. Helsinki: Prime Minister's Office.
- Michaud, D. S., Feder, K., Keith, S. E., Voicescu, S. A., Marro, L., Than, J., Guay, M., Denning, A., McGuire, D., Bower, T., Lavigne, E., Murray, B. J., Weiss, S. K. & van den Berg, F. (2016). Exposure to wind turbine noise: Perceptual responses and reported health effects. *Journal of the Acoustical Society of America*, 139, 1443–1454.
- Pohl, J., Hübner, G. & Mohs, A. (2012). Acceptance and stress effects of aircraft obstruction markings of wind turbines. *Energy Policy*, 50, 592–600.
- Pohl, J., Gabriel, J. & Hübner, G. (2014). Untersuchung der Beeinträchtigung von Anwohnern durch Geräuschemissionen von Windenergieanlagen und Ableitung übertragbarer Interventionsstrategien zur Verminderung dieser. Halle (Saale): Institut für Psychologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Pohl, J., Gabriel, J. & Hübner, G. (2018). Understanding stress effects of wind turbine noise – The integrated approach. *Energy Policy*, 112, 119–128. doi:10.1016/j.enpol.2017.10.007
- Pohl, J., Hübner, G., Liebig-Gonglach, M. & Hornberg, C. (2020). Verbundvorhaben: Objektive Kriterien zu Erschütterungs- und Schallemissionen durch Windenergieanlagen im Binnenland (TremAc); Schlussbericht zu den Teilvorhaben Umweltpsychologische Analyse der Windenergie-Immissionswirkungen auf Akzeptanz und Wohlbefinden der Anwohner (MLU) und Umweltmedizinische Analyse der Wirkung von Windenergieanlagen auf Gesundheit und Wohlbefinden von Anwohnern/innen (UBI). Halle (Saale) und Bielefeld: Institut für Psychologie, Arbeitsgruppe Umwelt- und Gesundheitspsychologie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und Fakultät für Gesundheitswissenschaften, Arbeitsgruppe 7 Umwelt & Gesundheit, Universität Bielefeld.
- Poulsen, A. H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A. N., Nordsborg, R. B., Ketzler, M., Brandt, J. & Sørensen, M. (2018a). Long-term exposure to wind turbine noise and redemption of antihypertensive medication: A nationwide cohort study. *Environment International*, 121 (Pt 1), 207–215. doi:10.1016/j.envint.2018.08.05
- Poulsen, A. H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A. N., Nordsborg, R. B., Ketzler, M., Brandt, J. & Sørensen, M. (2018b). Long-term exposure to wind turbine noise at night and risk for diabetes: A nationwide cohort study. *Environmental Research*, 165, 40–45. doi:10.1016/j.envres.2018.03.040
- Poulsen, A. H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A. N., Nordsborg, R. B., Ketzler, M., Brandt, J. & Sørensen, M. (2018c). Short-term nighttime wind turbine noise and cardiovascular events: A nationwide case-crossover study from Denmark. *Environment International*, 114, 160–166. doi:10.1016/j.envint.2018.02.030
- Rand, J. & Hoen, B. (2017). Thirty years of North American wind energy acceptance research: What have we learned? *Energy Research & Social Science*, 29, 135–148. doi:10.1016/j.erss.2017.05.019
- van Kamp, I. & van den Berg, F. (2018). Health effects related to wind turbine sound, including low-frequency sound and infrasound. *Acoustics Australia*, 46, 31–57. doi:10.1007/s40857-017-0115-6
- Weinstein, N. D. (1978). Individual differences in reactions to noise: A longitudinal study in a college dormitory. *The Journal of Applied Psychology*, 63, 458–466.

Weiterführende Informationen

Fachagentur Windenergie an Land

<https://fachagentur-windenergie.de/aktuelles/detail/schwaecher-als-ein-beben-in-alaska/>

IEA Wind TCP Task 28 on the Social Science of Wind Energy Acceptance

<https://iea-wind.org/task28/>

KNE Kompetenzzentrum Naturschutz und Energie

<https://www.naturschutz-energiewende.de/>

LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH (Hrsg.)

Fakten-Update Windenergie und Infraschall (Oktober 2021)

Bürgerforum Energiewende Hessen

https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2021/3659_20211014_Fakten-Update_WindenergieundInfraschall_Web2.pdf