



Untersuchung der Beeinträchtigung
von Anwohnern durch Geräuschemissionen
von Windenergieanlagen und Ableitung
übertragbarer Interventionsstrategien
zur Verminderung dieser

Abschlussbericht

Untersuchung der Beeinträchtigung von Anwohnern durch Geräuschemissionen von Windenergieanlagen und Ableitung übertragbarer Interventionsstrategien zur Verminderung dieser

Abschlussbericht

Halle (Saale), den 10.12.2014

Dr. Johannes Pohl¹
Dipl.-Ing. Joachim Gabriel³
Prof. Dr. Gundula Hübner^{1, 2}

¹) AG Gesundheits- und Umweltpsychologie
Institut für Psychologie
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
06099 Halle (Saale)



²) Sozialpsychologie
Medical School Hamburg –
University of Applied Sciences
and Medical University

³) Deutsches Windenergie-Institut (DEWI)



Gefördert durch



(AZ 28754)

Projektkennblatt

der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	28754 – 24/01/02	Referat	24	Fördersumme	142.589 EUR
----	-----------------------------	---------	-----------	-------------	--------------------

Antragstitel Untersuchung der Beeinträchtigung von Anwohnern durch Geräuschemissionen von Windenergieanlagen und Ableitung übertragbarer Interventionsstrategien zur Verminderung dieser

Stichworte Windenergieanlagen, Geräuschemissionen, Akzeptanz, Stress, akustische Analyse

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
2 Jahre, 11 Monate	01.10.11	31.08.14	2

Zwischenberichte	28.06.12, 21.02.13,	17.07.13, 20.01.14
------------------	---------------------	--------------------

Bewilligungsempfänger	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg Institut für Psychologie 06099 Halle (Saale)	Tel.: 0345 – 552 4372
		Fax: 0345 – 552 7061
		Projektleitung Prof. Dr. Gundula Hübner
		Bearbeiter Dr. Johannes Pohl

Kooperationspartner wpd windmanager GmbH & Co. KG, Stephanitorsbollwerk 18, 28217 Bremen, Unterauftragnehmer der wpd: Deutsches Windenergie-Institut (DEWI GmbH), Ebertstraße 96, 26382 Wilhelmshaven, Bearbeiter: Dipl.-Ing. Joachim Gabriel

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Ziel des Forschungsprojektes war es, Geräuschemissionen von Windenergieanlagen (WEA) und deren Auswirkungen auf Anwohner modellhaft zu analysieren und Handlungsempfehlungen zu erarbeiten, wie die Umwelt von diesen Emissionen entlastet werden kann. Als Modell diente der Windpark Wilstedt.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

In einer interdisziplinären Studie wurden Emissions- und Immissionsmessungen, akustische Analysen und Befragungen zur Geräuschwahrnehmung eingesetzt, um die Wirkungen von WEA-Geräuschen zu erfassen und übertragbare Diagnostik- und Interventionsansätze zu entwickeln. Die Anwohner wurden mittels Audiorekorder aktiv in die Geräuschdiagnose einbezogen. Das DEWI analysierte die aufgenommenen Geräusche. Zusätzlich wurden Beschwerdeprotokolle der Anwohner ausgewertet. Geschulte Interviewer der MLU befragten 212 Wilstedter Bürger/innen zu Beginn und 133 am Ende des Untersuchungszeitraums mittels Fragebogen. Auch wurde eine Maßnahme zur Geräuschminderung erprobt, über ein halbes Jahr wurde der Betriebsmodus des Windparks variiert. Psychologische und akustische Bedingungen für das Auftreten starker Belästigung wurden ermittelt. Durch die relativ große Personenanzahl war es möglich, die Einflüsse verschiedener Faktoren wie z. B. Abstand zum Windpark, Lärmempfindlichkeit, Sichtbarkeit zu analysieren und statistisch belastbare Ergebnisse zu erhalten. Zentrale Ergebnisse wurden mit einer bundesweiten Anwohnerstichprobe von 13 Windparks verglichen.

Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt wurden die Windparkgeräusche als vergleichbar mit Verkehrslärm und sogar als weniger lästig empfunden als die Geräusche von landwirtschaftlichen Fahrzeugen mit Ballonreifen. Im Durchschnitt wurden sowohl der Windpark als auch der Straßenverkehr zwischen wenig und mittelmäßig belästigend eingeschätzt. Doch selbst die Ballonreifen wurden nur als mittelstarke Belästigung erlebt. Ebenfalls war jeweils nur eine Minderheit stark belästigt, die im Fall des Windparks geringer ausfiel: Mehr Anwohner klagten über körperliche und psychische Beschwerden aufgrund des Verkehrslärms (16 %) als aufgrund der WEA-Geräusche (10 %). Beide Lärmquellen – WEA wie Verkehr – führten zu einem vergleichbaren Symptommuster, das typisch ist für Lärmwirkungen (z. B. geminderte Leistungsfähigkeit, Ärger, gestörter Schlaf). Die stark Belästigten zeigten im Vergleich zu allen anderen Gruppen die stärksten Stresswirkungen durch die WEA-Geräusche und eine insgesamt negativere Bewertung des Windparks. Es ist zu vermuten, dass die Belastung in der Planungsphase des Windparks begann und aufrechterhalten blieb. Diese Annahme wird gestützt durch die Befunde, dass diese Gruppe eine starke Belastung durch die Planungs-, Genehmigungs- und Bauphase sowie den Streit um den Windpark aufwies und 75 % von ihnen in der Vergangenheit aktiv oder passiv gegen den Windpark waren. Für den in politischen Debatten immer wieder behaupteten Zusammenhang zwischen der Belästigung oder Akzeptanz von WEA und dem Abstand zum Wohnraum bietet die vorliegende Studie keinerlei empirische Evidenz: Das Ausmaß der Geräuschbelästigung war nicht abhängig vom Abstand zu den WEA und dem geschätzten Schallpegel. Wichtig sind dagegen der Planungs- und Bauprozesses sowie die Sicht auf die WEA: Je mehr WEA sichtbar waren und je stärker die Belastung während der Planungs-/Bauphase, desto stärker war die Geräuschbelästigung. Eine Beschwerdeursache konnte durch die Geräuschaufzeichnungen der Anwohner aufgedeckt werden, die auf amplitudenmodulierte Geräusche als Hauptverursacher hinweisen: Geräusche, die als Wummern und pulsierendes Rauschen beschrieben werden, nicht gleichmäßig sind, sondern in ihrer Stärke kurzzeitig schwanken. Dies kann als belastend erlebt werden, weil die Unregelmäßigkeit der Geräusche Aufmerksamkeit auf sich zieht. Die durchschnittliche WEA-Geräuschbelästigung unterscheidet sich nicht von einer großen bundesweiten Vergleichsstichprobe. Über den Zeitraum des Forschungsprojekts hinweg nahm die Belästigung ab und es gab weniger stark Belästigte (7 %). Eine positive Wirkung des veränderten Betriebsmodus auf die Belästigung zeigte sich nicht.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das Vorgehen und Projektergebnisse wurden der Öffentlichkeit und einem Fachpublikum über Presseerklärungen, Presseartikel, Fachartikel, TV- und Radiointerviews, Bürgerversammlungen, Vorträge und Podiumsdiskussionen nahe gebracht. Hierzu gehörten nationale sowie internationale Kongresse und der DBU-Workshop zum Projektabschluss, welcher ein großes Medienecho fand. Zudem gab es eine projektbegleitende Arbeitsgruppe aus Bürgern, dem Bürgermeister und Vertretern von Behörden, des Betreibers und WEA-Herstellers.

Fazit

Für die Mehrheit ging von dem Windpark keine Belästigung aus. Gleichwohl gibt es einzelne Anwohner, die durch die WEA in ihrer Nachbarschaft stark belästigt sind. Ihre Klagen sollten daher ernst genommen werden. Hervorzuheben ist, dass die Anwohner die störenden Geräusche klar benennen und mit Audiorekordern aufnehmen konnten – damit scheidet hier Infraschall als Störquelle aus. Die vorliegende Studie zeigt auch – Bürgerinnen und Bürger sind zur Windenergie allgemein wie auch vor Ort positiv eingestellt, wenn sie nachhaltig entwickelt wird. Mittels der verwendeten psychologischen und akustischen Analysemethoden konnten stark belästigte Personen und Erklärungsansätze identifiziert werden. Das Vorgehen wurde von den Anwohnern begrüßt und tatkräftig unterstützt. Über Zwischenergebnisse wurde offen informiert und gemeinsam plausible Erklärungen für die Geräuschbelästigung erarbeitet (z. B. Amplitudenmodulation). Dies mag zu positiven Veränderungen beigetragen haben, denn die Forschungsergebnisse konnten Unsicherheiten und Interpretationsspielräume reduzieren und so wahrscheinlich indirekt die Geräuschbelästigung etwas mindern. Der veränderte Betriebsmodus sowie der Abstand der WEA zur Bebauung hatten keinen nachweisbaren Einfluss auf die Geräuschbelästigung. Dagegen erweist sich der Planungs- und Bauprozess als zentral – es ist entsprechend dringend zu empfehlen, diesen möglichst positiv zu gestalten und die Bürgerinnen und Bürger frühzeitig informell einzubeziehen. Dies wurde auch in den Diskussionen des Abschlussworkshops betont. Vielversprechend ist es, den Forschungsansatz fortzuentwickeln. Hierzu ist z. B. die Einrichtung einer Dauermessstation für WEA-Geräusche sinnvoll, im Sinne eines Homo Sapiens Monitorings.

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund	8
1.1	Ausgangslage	8
1.2	Stand der empirischen Forschung	9
2	Zusammenfassung	11
2.1	Projektziel und Vorgehen	11
2.2	Zentrale Ergebnisse	11
3	Methoden	13
3.1	Untersuchungsaufbau und Stichprobe	13
3.2	Anwohnerstichprobe im Vergleich – Kurzinterview-Teilnehmer und Wilstedt-Population	14
3.3	Fragebogen – Akzeptanz-, Stressindikatoren und Moderatoren	14
3.4	Auswertung und statistische Methoden	17
4	Ergebnisse	19
4.1	Ausmaß der Geräuschbelästigung	19
4.2	Wirkungen des Windparks auf Anwohner und Bewältigungsstrategien	20
4.3	Analyse der Beschwerdebogen und Audioaufzeichnungen	23
4.4	Akzeptanz der Windenergie und des Windparks Wilstedt	25
4.5	Planungs- und Bauprozess	29
4.6	Moderatoren der Belästigung	33
4.7	Erprobung einer Geräuschminderungsmaßnahme	34
4.8	Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse	36
4.9	Workshop	37
5	Diskussion und Empfehlungen	38
6	Anhang	42
6.1	Literaturverzeichnis	42
6.2	Abbildungsverzeichnis	45
6.3	Tabellenverzeichnis	45
6.4	Abkürzungsverzeichnis	46

1 Hintergrund

1.1 Ausgangslage

Den Anteil der Windenergienutzung an der Stromversorgung zu fördern, ist ein erklärtes politisches Ziel, welches mehrheitlich von der Bevölkerung mitgetragen wird (Forsa, 2012; TNS Emnid, 2013). Neben der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes werden aber auf lokaler Ebene teilweise massive Bedenken und Beschwerden über Geräuschemissionen von Windenergieanlagen (WEA) vorgebracht, obwohl die durch die TA Lärm vorgegebenen Grenzwerte für Geräuschimmissionen eingehalten werden. Zu den Ursachen der Geräuschbelastung liegen bislang nur wenige Studien vor. So zeigte eine bundesweite Befragung von 420 Anwohnern von 13 Windparks, dass die WEA-Geräusche nach der Veränderung des Landschaftsbildes die zweitstärkste Belastungsquelle darstellen – deutlich stärker als die Belastung durch periodischen Schattenwurf, Rotorbewegung oder Hinderniskennzeichnung (Pohl, Hübner & Mohs, 2012). Aufgrund der relativ großen Anzahl untersuchter Windparks und Anwohner ist dieser Befund nicht auf verletzte Bestimmungen zum Mindestabstand und Schallpegel zurückzuführen. Vielmehr zeigte eine genauere Analyse, dass die Periodizität der Geräusche das stärkste belästigende Geräuschmerkmal war. Dies weist auf die Bedeutung qualitativer Merkmale von Geräuschen bei der Belästigungswirkung hin. Damit stellen WEA ein Beispiel für Schallquellen dar, die trotz eingehaltener Grenzwerte für Schallpegel i. S. des Immissionsschutzgesetzes und der TA Lärm zu Belästigungen führen können. Um den geplanten Ausbau der Windenergienutzung möglichst konfliktarm gestalten zu können, sind daher Strategien und Handlungsempfehlungen zur Konfliktvermeidung und -lösung sowie zur Akzeptanzsteigerung nötig, die über das Einhalten der Schallpegelgrenzen hinausgehen. Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt wurden die WEA-Geräuschemissionen und deren Auswirkungen auf Anwohner modellhaft analysiert, am Windpark Wilstedt in Niedersachsen. Ebenso wurde hier ein Ansatz zur Geräuschminderung experimentell überprüft. Der Windpark Wilstedt besteht aus neun WEA (Enercon E-82) mit je 2 MW Leistung und einer Gesamthöhe von 150 m.

Das Forschungsprojekt wurde inter- wie transdisziplinär umgesetzt und ist in seiner Form einzigartig:

1. Bisher wurden nur in wenigen Studien objektive mit subjektiven Daten zu WEA-Geräuschemissionen in Beziehung gesetzt (z. B. Bolin, 2009; Pedersen, 2007; Pedersen et al., 2009; Wolsink et al., 1993) und zudem zu wenige Geräusch- und Stressindikatoren sowie Einflussfaktoren berücksichtigt. Im vorliegenden Projekt erfassten die Umweltpsychologen der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU) zahlreiche Stressindikatoren und Einflussgrößen, z. B. Belästigung, Lärmempfindlichkeit, Einstellungen, Wohnabstand. Zusätzlich konnten die Anwohner jederzeit Beschwerdebogen einreichen. Ermittelt wurden der Anteil belästigter Anwohner sowie das Ausmaß der Belästigung. Zum Vergleich wurde zusätzlich die Belästigung durch andere, lokale Geräuschquellen erfasst.
2. Gänzlich fehlte bisher die systematische Verknüpfung des Anwohnererlebens mit physikalischen Schallmessungen vor Ort, unter verschiedenen Bedingungen. Im vorliegenden Projekt führte das Deutsche Windenergieinstitut (DEWI) Schallmessungen durch, der Windparkbetreiber wpd lieferte die Betriebsdaten, aufbereitet durch Enercon, und Anwohner zeichneten störende Geräusche mit Audiorekordern auf. Diese objektiven wurden mit den subjektiven Daten in Beziehung gesetzt. Erfasst wurde so, welche physischen und psychischen Faktoren die Belästigung beeinflussen.
3. Die bisherigen Untersuchungen erfassten die Geräuschbelastungen nur zu einem Zeitpunkt (Querschnitt). Die Anwohner des Windparks Wilstedt wurden dagegen über einen Zeitraum von zwei Jahren begleitet und wiederholte Befragungen durchgeführt (Längsschnitt).
4. Erstmals wurde in einem Feldversuch mit Anwohnerunterstützung systematisch analysiert, ob sich ein veränderter Betriebsmodus auf die Geräuschbelastung auswirkt.

5. Ein Beirat aus lokalen (z. B. Bürgerinitiative) und überregionalen Akteuren (z. B. UBA) begleitete das Projekt. Die Ergebnisse wurden auf zwei Bürgerversammlungen diskutiert, der weitere Verlauf abgestimmt. Zum Projektabschluss führte die DBU gemeinsam mit den beteiligten Akteuren und der interessierten Öffentlichkeit einen Workshop durch, der ein großes Medienecho hatte.

Einen schnellen Überblick über das Projekt und die Ergebnisse bietet die Zusammenfassung in Kapitel 2. Differenzierte Informationen enthält die anschließende Forschungsübersicht sowie die Kapitel zu den Projektmethoden und Ergebnissen, welche eine Diskussion mit Empfehlungen abschließt. Auf eine umfassende Darstellung statistischer Kennwerte wurde verzichtet – diese stehen in mehreren Tabellenbänden zur Verfügung, die bei der MLU angefordert werden können. Der vorliegende Bericht kann kostenfrei auf der DBU-Internetseite abgerufen werden (www.dbu.de). Auf der DEWI-Internetseite ist der ausführliche Bericht zum physikalisch/akustischen Teil der Studie verfügbar (Gabriel & Vogl, 2014; www.dewi.de).

1.2 Stand der empirischen Forschung

Rund ein Dutzend empirisch belastbarer Studien zur Wirkung der Geräusche großer WEA auf Anwohner liegen vor, eine zu den Geräuschen kleiner WEA (Taylor et al., 2013). Die Befundlage weist auf mögliche Belästigungen durch WEA-Geräusche hin (z. B. Health Canada, 2014; Hübner & Pohl, 2010; Pawlaczyk-Luszczynska et al., 2013; Pedersen et al., 2009; Pedersen & Persson-Waye, 2004, 2007; Pohl et al., 1999). Uneinheitlich sind allerdings die Angaben zur Prävalenz belästigter Anwohner – der relative Anteil ziemlich oder sehr belästigter Anwohner schwankt zwischen 4,1 % (Pedersen & Persson-Waye, 2007) und 21,8 % (Hübner & Pohl, 2010). Ein Erklärungsansatz für diese heterogenen Befunde ist u. E., dass die Lästigkeit nicht allein durch den Geräuschpegel beeinflusst wird, sondern ebenfalls durch sogenannte Moderatoren. So konnten wiederholt Beziehungen zwischen nach Ausbreitungsmodellen geschätztem Schallpegel und Lästigkeit in einem Pegelbereich von < 28 dB(A) bis > 45 dB(A) gefunden werden, doch wurden durch den

Schallpegel nur 12 % bis 26 % der Belästigungsvarianz aufgeklärt (Pedersen & Persson-Waye, 2004, 2007; Pedersen et al., 2009). Dies spricht für die Beteiligung weiterer Faktoren, der Moderatoren. Ein bekannter Moderator ist z. B. die Sichtbarkeit der WEA – Anwohner berichten im Durchschnitt eine signifikant stärkere Belästigung, wenn sie die WEA von ihrem Grundstück aus sehen (Pedersen et al., 2009, 2010; Pedersen & Persson-Waye, 2007). Derartige Moderatoren wurden in der bisherigen Forschung jedoch nur unzureichend berücksichtigt. Der Vergleich der Lästigkeit von WEA mit anderen Geräuschquellen zeigt eindeutig, dass WEA stärker belästigend bewertet werden als andere Lärmquellen mit vergleichbarem Schallpegel (Janssen et al., 2011; Pedersen & Persson-Waye, 2004; Pedersen et al., 2009). Dies weist ebenfalls daraufhin, dass zur Lästigkeit weitere Faktoren beitragen, wie z. B. spezifische Geräuschmuster und -qualitäten. So fühlten sich Anwohner am stärksten durch ein als „swishing“ beschriebenes Geräuschmuster belästigt (Pedersen & Persson-Waye, 2004, 2008).

Von gestörtem Schlaf durch WEA-Geräusche wurde in vier Studien berichtet (Bakker et al., 2012; Hübner & Löffler, 2013; Pedersen & Persson-Waye, 2004; Pohl et al., 1999). Der Anteil lag zwischen 6 % (Bakker et al., 2012) und 11 % (Pohl et al., 1999). Weitere durch WEA-Geräusche hervorgerufene Symptome, z. B. negative Stimmung, Nervosität oder Gereiztheit, traten nur in geringem Ausmaß auf (bis max. 5,8 % Betroffene) und konnten bisher nur in zwei älteren Studien nachgewiesen werden (Pohl et al., 1999; Wolsink et al., 1993). Unklar ist jedoch, ob auch bei neueren WEA-Modellen dieses für Lärmwirkungen typische Symptommuster auftritt. Ein anderer Forschungsansatz zu gesundheitlichen Auswirkungen, der keinen direkten Bezug zu den WEA-Geräuschen herstellt, ist der Vergleich zwischen Anwohnern, die in der Nähe von WEA wohnen (≤ 2 km) mit denen, die weiter entfernt wohnen ($\geq 3,3$ km). Zwar wurden verschlechterte Gesundheitsmerkmale bei nahen Anwohnern berichtet. Diese Studien sind allerdings methodisch stark zu kritisieren, da sie z. B. weder Moderatoren, mögliche Vorerkrankungen noch weitere Geräuschquellen einbeziehen (Nissenbaum et al., 2012; Shepherd et al., 2011).

Heterogene Befunde bestehen zum Zusammenhang zwischen Belästigung durch WEA-Geräusche und gestörten Arbeits-, Freizeitaktivitäten sowie veränderten Aufenthaltsorten (z. B. Hübner & Löffler, 2013; Hübner & Pohl, 2010; Pohl et al.,

1999). Auch wie Anwohner mit der Geräuschbelästigung umgehen, sie kognitiv und durch Verhalten bewältigen, wurde bislang in nur wenigen Studien untersucht (z. B. Hübner & Löffler, 2013; Hübner & Pohl, 2010; Pedersen & Persson-Waye, 2007; Pohl et al., 1999). Berichtete typische Maßnahmen sind z. B. Fenster zu schließen und das TV / Radio lauter zu stellen.

Neben der bereits erwähnten Sicht auf die WEA sind weitere relevante Moderatoren der Belästigung eine finanzielle Beteiligung am Windpark (z. B. Health Canada, 2014; Pohl et al., 1999; Pedersen et al., 2009), die Belastung während der Planungs- und Bauphase (z. B. Hübner & Löffler, 2013; Hübner & Pohl, 2010), die visuelle Wirkung der WEA in der Landschaft (z. B. Health Canada, 2014; Pawlaczyk-Luszczynska et al., 2013; Pedersen & Larsman, 2008; Pedersen et al., 2009), die Einstellung zur Windenergie (z. B. Hübner & Pohl, 2010; Pedersen et al., 2009; Pohl et al., 1999) und die Einstellung zum lokalen Windpark (z. B. Hübner & Pohl, 2010; Pohl et al., 1999). Ein eher schwacher Moderator ist die Lärmempfindlichkeit (z. B. Hübner & Löffler, 2013; Hübner & Pohl, 2010; Pedersen & Persson-Waye, 2004). Die Moderatoren stehen jeweils in einem positiven bzw. negativen Zusammenhang zur WEA-Geräuschbelästigung, z. B. tritt eine geringere Geräuschbelästigung bei finanziell Beteiligten auf. Je stärker jedoch die erlebte Belastung während der Planungs- und Bauphase, desto stärker fällt die spätere Belästigung aus. Personenmerkmale wie Alter, Geschlecht und emotionale Labilität erwiesen sich bislang dagegen nicht als bedeutsam (z. B. Hübner & Pohl, 2010; Pedersen & Larsman, 2008; Pedersen et al., 2010). Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die angeführten Moderatoren die Belästigung durch WEA-Geräusche stärker vorhersagen können als z. B. der Geräuschpegel oder Abstand zu den WEA (z. B. Pawlaczyk-Luszczynska et al., 2013; Pedersen et al., 2009).

Um die Ursachen starker Belästigung aufzuklären, sollten Situationsanalysen durchgeführt werden. Dies geschah bislang nur unzureichend, untersucht wurden z. B. Wetterbedingungen oder Tageszeiten (z. B. Health Canada, 2014; Hübner & Löffler, 2013; Pawlaczyk-Luszczynska et al., 2013; Pedersen & Persson-Waye, 2004; Pedersen et al., 2009). So berichten Anwohner die stärkste Belästigung in den Abend- und Nachtstunden, bei Wind aus Richtung der WEA zum Wohnort sowie bei stärkerem Wind. Zudem ist die Geräuschbelästigung für Anwohner außerhalb des Hauses höher als innerhalb.

Relativ eindeutige Befunde liefern Studien zum Einfluss des Landschafts- und Siedlungstyps auf die Belästigung. So gaben Personen in ländlichen sowie flachen Gebieten eine höhere Belästigung an als Personen in stärker bebauten und hügeligen Gebieten (Pedersen & Larsman, 2008; Pedersen & Persson-Waye, 2007, 2008; Pedersen et al., 2009). Dieser Unterschied dürfte allerdings mit der bereits erwähnten Sichtbarkeit in Zusammenhang stehen.

Fazit: Zwar liegt eine Reihe von Studien zur Belästigung durch WEA-Geräusche vor. Unklar ist aber, unter welchen Bedingungen WEA-Geräusche zu starker Belästigung führen können. Es fehlt zudem an Untersuchungen, in denen die verschiedenen akustischen, situativen und moderierenden Faktoren gemeinsam analysiert werden, auf Basis von sozial- und stresspsychologischen Konzepten. Dieses Vorgehen würde die Grundlage für eine integrative Gesamtschau liefern und damit für Anhaltspunkte für Empfehlungen zur Geräuschminderung bzw. zum Umgang mit WEA-Geräuschen. Die vorliegende Studie schließt diese Forschungslücke durch ihren integrativen Ansatz.

2 Zusammenfassung

2.1 Projektziel und Vorgehen

Ziel dieses interdisziplinären Forschungsprojektes war es, modellhaft am niedersächsischen Windpark Wilstedt zu analysieren, wie sich Geräuschemissionen von WEA auf Anwohner auswirken und ggf. Handlungsempfehlungen zu erarbeiten. Physikalische Emissions- und Immissionsmessungen wurden mit Anwohnerbefragungen verbunden, Diagnostik- und Interventionsansätze abgeleitet. Zusätzlich trugen die Anwohner mittels Audiorekorder und Beschwerdebogen zur Geräuschdiagnose bei. Diese Kombination der Untersuchungsmethoden ist in der derzeitigen Forschung einzigartig. Im Frühjahr 2012 nahmen an der ersten Befragung 212 Windpark-Anwohnerinnen und -Anwohner teil (48 % Frauen, Durchschnittsalter 55 Jahre). Interviewer befragten die Teilnehmer anhand eines Fragebogens, 450 Einzelfragen umfassend. Die Fragen bezogen sich u. a. auf die Lästigkeit der Windparkgeräusche sowie deren körperliche und psychische Wirkungen. Erfragt wurden Merkmale einer typischen Belästigungssituation, wie z. B. Tageszeit, Windverhältnisse, gestörte Tätigkeit. Zusätzlich erhielten die Teilnehmer Beschwerdebogen und die Möglichkeit, die störenden Geräusche mit Audiorekordern aufzuzeichnen. Eineinhalb Jahre nach der ersten Befragung wurden ab Herbst 2013 für ein halbes Jahr Maßnahmen zur Geräuschminderung erprobt. Dazu wurde der sogenannte Betriebsmodus IV unterschiedlich angewandt: Im monatlichen Wechsel liefen nachts zwischen 22 und 2 Uhr, drei, sämtliche neun oder keine WEA des Windparks in diesem Modus. Während dieser Testphase gaben 42 Teilnehmer (sämtliche mittelstark oder stark durch die WEA Geräusche belästigt) alle 2 Wochen Auskunft zu ihrer Geräuschwahrnehmung. Nach Abschluss der Testphase beteiligten sich im Februar und März 2014 erneut 133 ursprüngliche Teilnehmer an einer zweiten ausführlichen Befragung. Die Ergebnisse können verallgemeinert werden, zum einen aufgrund der relativ großen Teilnehmeranzahl, durch die verlässlich Einflüsse verschiedener Faktoren geprüft werden konnten, wie z. B. Abstand zum Windpark, Lärmempfindlichkeit. Zum anderen wurden die

Wilstedter Befragungsdaten verglichen mit denen einer Stichprobe, in die bundesweit über 400 Anwohner von 13 Windparks einbezogen waren (Hübner & Pohl, 2010; Pohl, Hübner & Mohs, 2012).

2.2 Zentrale Ergebnisse

Einstellung: Sowohl die Einstellungen zur Windenergie allgemein sowie zum Windpark Wilstedt fielen insgesamt positiv aus. Die Einstellung zum Windpark Wilstedt hing jedoch mit dem Ausmaß der Belästigung zusammen: Im Durchschnitt deutlich positiv eingestellt war, wer sich nicht belästigt fühlte. Aber auch Belästigte waren durchschnittlich nur leicht negativ eingestellt.

Belästigung: Für die Mehrheit ging von dem Windpark keine Belästigung aus. Insgesamt wurden die Windparkgeräusche als vergleichbar mit Verkehrslärm und sogar als weniger lästig empfunden als die Geräusche von landwirtschaftlichen Fahrzeugen mit Ballonreifen. Doch selbst die Ballonreifen wurden nur als mittelstarke Belästigung erlebt. Im Durchschnitt wurden sowohl der Windpark als auch der Straßenverkehr zwischen wenig und mittelmäßig belästigend eingeschätzt. Ebenfalls war jeweils nur eine Minderheit stark belästigt, die im Fall des Windparks geringer ausfiel: Mehr Anwohner klagten über körperliche und psychische Beschwerden aufgrund des Verkehrslärms (16 %) als aufgrund der WEA-Geräusche (10 %). Zu den häufigsten Verkehrslärmbeschwerden gehörten: Gereiztheit/Ärger (8 %), negative Stimmung (8 %), Angespanntheit (7 %) und mehrfaches Erwachen (5 %). Zu den häufigsten Windparkgeräuschbeschwerden gehörten: Schlafprobleme (erschwertes Einschlafen 7 %, mehrfaches Erwachen 5 %), Ärger/Gereiztheit (6 %) und negative Stimmung (7 %). Weitere 25 % fühlten sich ebenfalls durch die Windparkgeräusche bzw. 35 % durch den Verkehrslärm belästigt, hatten jedoch keine Stressbeschwerden.

Einflussgrößen (Moderatoren) der Belästigung:

Interessanterweise zeigte sich kein bedeutsamer Zusammenhang zwischen der Nähe zum Windpark und Belästigungen. Ein positiver Zusammenhang bestand zwischen der Anzahl sichtbarer WEA und dem Ausmaß der Belästigung. Als stärkster Moderator erwies sich jedoch der Planungs- und Bauprozess: Je stärker die Planungs- und Bauphase als belastend empfunden wurde und je weniger die Planung als den eigenen Interessen bzw. Gemeindereinteressen gerecht geworden empfunden wurde, desto stärker war die Geräuschbelästigung.

Beschwerdeursache: Alle Befragten erhielten einen Beschwerdebogen, auf dem sie jederzeit Geräuschbelästigungen angeben konnten. Diese Möglichkeit nutzten aber nur wenige Personen (11), die insgesamt 98 Beschwerdebogen einreichten. Geräuschbelästigungen traten gehäuft nachts auf, bei mittleren Windstärken aus der Hauptwindrichtung – obwohl die zulässigen Immissionswerte des Windparks sicher eingehalten wurden. Eine Beschwerdeursache konnte durch die Geräuschaufzeichnungen der Anwohner aufgedeckt werden, die auf amplitudenmodulierte Geräusche als Hauptverursacher der Belästigungen hinweisen: Geräusche, die als Fauchen und pulsierendes Rauschen beschrieben werden, nicht gleichmäßig sind, sondern in ihrer Stärke kurzzeitig schwanken. Dies kann als belastend erlebt werden, weil die Unregelmäßigkeit der Geräusche Aufmerksamkeit auf sich zieht.

Wilstedt im Vergleich: Die durchschnittliche Belästigung durch Windparkgeräusche unterscheidet sich in Wilstedt nicht von einer großen Vergleichsstichprobe, die sich auf 13 andere Windparks bezieht, verteilt über das Bundesgebiet. Wilstedt ist damit kein Sonderfall sondern lässt weiterreichende Schlussfolgerungen zu.

Entwicklung der Geräuschbelästigung: Über den Zeitraum des Forschungsprojekts hinweg nahm die Belästigung ab: Geräuschbelästigte fühlten sich im Vergleich von 2012 zu 2014 geringfügig weniger belästigt und abgelenkt. Passend dazu nahm der Anteil der Personen mit geräuschbedingten Stressbeschwerden von 10 % auf 7 % ab. Zudem gaben diese Personen im Durchschnitt auch weniger Symptome an: Nannten sie 2012 noch 12 Symptome, waren es 2014 nur noch drei.

Geräuschminderungsmaßnahme: Eine positive Wirkung der Geräuschminderungsmaßnahme auf die Belästigung konnte nicht nachgewiesen werden.

Fazit und Ausblick: Die eingesetzten psychologischen und akustischen Methoden zur Analyse der WEA-Geräuschwirkungen haben sich bewährt. Das Vorgehen wurde von den Anwohnern begrüßt und tatkräftig unterstützt. Ihre Sorgen wurden ernst genommen, über Zwischenergebnisse offen informiert und plausible Erklärungen für die Geräuschbelästigung erarbeitet (z. B. Amplitudenmodulation). Dies mag zu positiven Veränderungen beigetragen haben, denn die Forschungsergebnisse konnten Unsicherheiten und Interpretationsspielräume reduzieren und so wahrscheinlich indirekt die Geräuschbelästigung etwas mindern. Der veränderte Betriebsmodus sowie der Abstand der WEA zur Bebauung hatten keinen nachweisbaren Einfluss auf die Geräuschbelästigung. Dagegen erweist sich der Planungs- und Bauprozess als zentral – es ist entsprechend dringend zu empfehlen, diesen möglichst positiv zu gestalten und die Bürgerinnen und Bürger frühzeitig informell einzubeziehen. Vielversprechend ist es, den Forschungsansatz fortzuentwickeln, um den psychischen und akustischen Ursachen der Geräuschbelästigung noch genauer nachzugehen. Hierzu ist z. B. die Einrichtung einer Dauermessstation für WEA-Geräusche sinnvoll, im Sinne eines Homo Sapiens Monitorings. Sie wird von uns empfohlen und den Anwohnern befürwortet.

3 Methoden

3.1 Untersuchungsaufbau und Stichprobe

Untersuchungsplan: Anwohner des Windparks Wilstedt wurden wiederholt ausführlich befragt, im Abstand von zwei Jahren (März bis April 2012, Februar bis März 2014). Zudem konnten sie über mehrere Monate jederzeit Beschwerdebogen ausfüllen und Audiorekorder nutzen, um störende Geräusche aufzuzeichnen. Von September 2013 bis Februar 2014 wurde eine Geräuschminderungsmaßnahme erprobt. Während dieser 6 Monate ließen sich 42 der Teilnehmer zweiwöchentlich telefonisch oder per Email zu ihrer Geräuschwahrnehmung befragen. Diese Anwohner waren mindestens mittelstark durch die WEA-Geräusche belästigt. Um die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse bewerten zu können, wurden die Befunde in zentralen Merkmalen mit denen einer Anwohnerstichprobe verglichen, in die bundesweit über 400 Anwohner von 13 Windparks einbezogen waren (Hübner & Pohl, 2010).

Windpark Wilstedt: Der Windpark befindet sich in der niedersächsischen Kommune Wilstedt, im Landkreis Rotenburg an der Wümme zur Samtgemeinde Tarmstedt gehörend. Der Windpark besteht aus neun WEA (Enercon E-82) mit je 2 MW Leistung und einer Gesamthöhe von 150 m. Zur Tages-Hinderniskennzeichnung werden farbige Flügelmarkierungen verwendet, zur Nachtkennzeichnung synchronisierte, sichtweitenregulierte rote LEDs. Zum Zeitpunkt der Erstbefragung war der Windpark 37 Monate in Betrieb. Teilnehmergewinnung: In einem ersten Schritt wurden die Anwohner zwischen Februar und März 2012 über Pressemitteilungen und Radiobeiträge in den regionalen Medien sowie via Briefe über das geplante Projekt informiert und aufgerufen, an den Interviews teilzunehmen. Insgesamt wurden 590 Briefe versandt; 340 Adressen wurden zufällig aus dem öffentlichen Telefonbuch ausgewählt, 250 aus dem vom Einwohnermeldeamt erhaltenen Adressverzeichnis von 1495 Einwohnern (Alter ≥ 18 Jahre). Der Rücklauf auf die Briefe war gering, insgesamt meldeten sich 25 Anwohner über diesen Weg an. In einem zweiten Schritt wurde daher versucht,

453 der 590 Briefempfänger telefonisch zu erreichen. So konnten 101 Personen für einen Interviewtermin gewonnen werden. Weitere 104 der angerufenen Anwohner stimmten lediglich einem sofortigen Kurzinterview zu, in welchem insgesamt vier Fragen gestellt wurden, zur Sichtbarkeit der WEA, Befürwortung von Windparks allgemein, Ablehnung/Befürwortung des Windparks Wilstedt und Belästigung durch WEA-Geräusche. Zusätzlich wurde das Projekt auf einer Bürgerversammlung am 01.03.2012 vorgestellt. Hier konnten weitere 25 Personen für einen Interviewtermin rekrutiert werden. Bei der Datenerhebung vor Ort an zwei Wochenenden im März 2012 wurden weitere 31 Anwohner angesprochen und Interviewtermine vereinbart. Zusätzlich wurden aus 28 Einzelinterviews spontan Doppelinterviews (in den meisten Fällen Ehe-/Lebenspartner/-in). Zwei weitere ausgefüllte Fragebogen, die beim Interview für den Partner hinterlassen wurden, wurden uns per Post zugesandt. Zur zweiten Befragungswelle wurden die Teilnehmer eingeladen, die sich dazu bereits bei der ersten Erhebung bereit erklärt hatten. Die Zweitbefragung fand an je einem Wochenende im Februar und März 2014 statt.

Befragung während der Geräuschminderungsmaßnahme: Per Brief wurden 56 Anwohner gebeten, die bei der Erstbefragung einer weiteren Befragung zugestimmt hatten und eine mindestens mittelstarke WEA-Geräuschbelästigung aufwiesen, an einer zweiwöchentlichen Befragung per E-Mail oder Telefon teilzunehmen. Die Befragung lief von Mitte Oktober 2013 bis Ende Februar 2014. Zu Beginn nahmen 47 Anwohner teil, an allen Terminen 42. Als symbolische Anerkennung erhielten die Teilnehmer ein Los der Aktion Mensch im Wert von 7,50 €.

Stichprobenmerkmale: In der ersten Erhebungsphase 2012 wurden insgesamt 212 Personen befragt, 204 aus Wilstedt, acht aus zwei umliegenden Gemeinden. Es wurden ausschließlich Anwohner befragt, die dauerhaft in den Gemeinden lebten.

Die Befragten waren 19 bis 88 Jahre alt, im Mittel 55 Jahre, Männer nahmen geringfügig häufiger als Frauen teil (siehe Tabelle 3/1). Mehrheitlich waren sie Immobilieneigentümer, verheiratet und hatten Kinder. Die Teilnehmer wohnten durchschnittlich in Drei-Personenhaushalten und rund zwei Jahrzehnte vor Ort. Über die Hälfte war Rentner oder von der Arbeit freigestellt, je ein Fünftel Beamte oder Selbständige; jeweils 5.3 % absolvierten ein freiwilliges soziales Jahr oder waren Angestellte. Weitere Berufe wurden jeweils von weniger als 5 % der Befragten genannt. Zwei Fünftel der Befragten arbeiteten Zuhause. Nur acht Befragte verpachteten Land für WEA, keine Person war in der WEA-Branche tätig. Die Teilnehmer lebten durchschnittlich 1.90 km von der nächsten WEA entfernt (SD = 0.37, Spannweite 1.25–2.89 km). Von ihrem Grundstück aus sahen sie im Mittel rund 4 WEA (M = 3.93, SD = 3.35).

3.2 Anwohnerstichprobe im Vergleich – Kurzinterview-Teilnehmer und Wilstedt-Population

Das Durchschnittsalter der Befragungsteilnehmer war mit 54.91 Jahren (SD = 13.19) etwas, aber signifikant höher als das der Wilstedt-Population (Liste vom Einwohnermeldeamt zu über 18 Jährigen; M = 50.16, SD = 18.16; kleine Effektstärke). Das Geschlechterverhältnis der Anwohnerstichprobe entsprach in etwa dem der Wilstedt-Population. Am Kurzinterview nahmen dagegen relativ häufiger mehr Frauen (60.6 %) als Männer teil (39.4 %). Die Personen der Anwohnerbefragung (56.6 %) wohnten relativ häufiger näher am Windpark (Isophon-Bereich 30–35 dB(A)) als die des Kurzinterviews (44.6 %) und der Wilstedter insgesamt (48.6 %). Befragungsteilnehmer hatten relativ häufiger Sicht auf die WEA als Personen des Kurzinterviews (81.6 % versus 61.5 %). Beide Befragungsgruppen befürworteten Windparks im Allgemeinen ziemlich stark (M > 3; statistisch unbedeutsamer Unterschied), unterschieden sich aber signifikant im Grad der Zustimmung zum Windpark Wilstedt, die bei den Befragungsteilnehmern gering positiv ausfiel (M = 0.98, SD = 2.14), bei den Kurzinterviewten gering bis mittelstark (M = 1.51, SD = 1.78; kleine Effektstärke). Zudem fühlten sich die Befragungsteilnehmer im Durchschnitt gering bis mittelstark durch WEA-Geräusche belästigt (M = 1.57,

SD = 1.28), die Kurzinterviewten dagegen nur sehr gering (M = 0.43, SD = 0.83; große Effektstärke). Insgesamt ist zu schließen, dass stärker Betroffene eher an der Befragung teilnahmen.

Von den 212 Teilnehmern der ersten Befragung nahmen an der zweiten im Jahr 2014 knapp zwei Drittel (133 Personen) teil (Tabelle 3/1). Entsprechend schied ein Drittel aus, bezeichnet als „Drop-Outs“ (79 Personen). Geprüft wurde, ob die Drop-Outs extreme Meinungen vertraten. Wäre dies der Fall, so wäre die Interpretation der Ergebnisse für die Reststichprobe im Zeitverlauf eingeschränkt gewesen. Die Drop-Outs unterschieden sich von den Teilnehmern an beiden Befragungswellen nur im Hinblick auf zwei Variablen statistisch bedeutsam, bei der Bildung und Haushaltsgröße: Relativ mehr Teilnehmer hatten einen höheren Schulabschluss (signifikanter Unterschied, kleine Effektstärke) und lebten mit geringfügig mehr Personen im Haushalt als Drop-Outs (signifikanter Unterschied, kleine Effektstärke). Die Unterschiede in diesen beiden soziodemografischen Merkmalen haben keinen bedeutsamen Einfluss auf zentrale Stress- und Einstellungsindikatoren.

In den zentralen Einstellungs- und Belästigungseinschätzungen gab es dagegen keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Teilnehmern und Drop-Outs (Tabelle 3/2). Es fand daher kein selektiver Schwund von Personen mit Extremmeinungen statt. Somit ist der Vergleich der Befragungswellen 1 und 2 für die jeweils reduzierten Stichprobengrößen zulässig und führt nicht zu Fehlinterpretationen.

3.3 Fragebogen – Akzeptanz-, Stressindikatoren und Moderatoren

Der Fragebogen der ersten Erhebungswelle bestand aus 13 verschiedenen Blöcken, beginnend mit einer kurzen Instruktion bzgl. Zweck und Ablauf des Interviews. Danach wurden die globale Einstellung gegenüber verschiedenen Formen der Stromgewinnung und dem Windpark Wilstedt erhoben, wahrgenommene Vor- und Nachteile des Windparks, z. B. hinsichtlich der Lebensqualität oder der Immobilienwerte, sowie vom Windpark ausgelöste Gefühle. Anschließend wurden die Teilnehmer gebeten, die WEA-Geräusche

Tabelle 3/1: Soziodemografische Merkmale – Teilnehmer und Drop-Outs im Vergleich (M, (SD), %)

Merkmal	Stufen	2012 N = 212	Drop-Outs N = 79	2014 N = 133
Alter [Jahre]		54.91 (13.19) (19-88)	54.10 (14.54) (19-88)	55.38 (12.343) (21-86)
Geschlecht	männlich	52.4%	53.2%	51.9%
	weiblich	47.6%	46.8%	48.1%
Schulabschluss	Hauptschule	22.9%	31.2%	18.0%
	Realschule/POS	34.3%	36.4%	33.1%
	Abitur	16.2%	16.9%	15.8%
	Hochschulstudium	26.7%	15.6%	33.1%
Familienstand	verheiratet	75.5%	68.4%	79.7%
	ledig	9.4%	13.9%	6.8%
	verwitwet	5.7%	8.9%	3.8%
Kinder		81.1%	74.7%	85.0%
Personen im Haushalt		2.91 (1.43)	2.65 (1.33)	3.07 (1.47)
Wohndauer [Jahre]		23.30 (16.33)	21.81 (17.59)	24.18 (15.54)
Wohnart	Mieter	13.0%	17.1%	10.8%
	Eigentümer	86.5%	82.9%	89.2%
Landverpachtung für WEA		3.8%	2.5%	4.5%
Arbeit von zu Hause aus		40.0%	38.0%	41.5%

Tabelle 3/2: Einstellungen und Belästigungen – Teilnehmer und Drop-Outs im Vergleich (M, (SD), %)

Merkmal	2012 N = 212	Drop-Outs N = 79	2014 N = 133
globale Einstellung zu WEA	1.50 (1.02)	1.48 (1.06)	1.51 (1.00)
globale Einstellung zum lokalen Windpark	0.71 (1.65)	0.60 (1.68)	0.77 (1.64)
Zustimmung versus Ablehnung des lokalen Windparks	0.98 (2.14)	0.65 (2.23)	1.17 (2.07)
Geräuschbelästigung	1.57 (1.28)	1.40 (1.14)	1.69 (1.36)
Belästigung Schattenwurf	0.32 (0.80)	0.35 (0.89)	0.30 (0.74)
Belästigung Tagkennzeichnung	0.29 (0.84)	0.25 (0.79)	0.32 (0.87)
Belästigung Nachtkennzeichnung	0.93 (1.35)	1.01 (1.38)	0.88 (1.33)
Belästigung Landschaftsbild	1.66 (1.50)	1.68 (1.57)	1.65 (1.46)
Belästigung Straßenlärm	1.64 (1.43)	1.87 (1.47)	1.50 (1.39)

zu bewerten sowie Fragen zu beantworten, mit denen eine typische Geräuschsituation analysiert wurde. Es folgten Fragen zu körperlichen und psychischen Beschwerden in Verbindung mit dem Windpark, zur kognitiven Verarbeitung sowie Maßnahmen zur Geräuschminderung, zu Beteiligungsmöglichkeiten und Wünschen zum Windpark. Abschließend wurden gesundheitsbezogene und soziodemografische Daten erhoben. Nach jedem Interview wurden den Teilnehmern Beschwerdebogen angeboten, um diese bei einer Geräuschbelastung selbstständig auszufüllen. Zusätzlich wurden sie über die Möglichkeit informiert, ab Juni 2012 Audiorekorder für Aufnahmen der WEA-Geräusche auszuleihen. Den Verleih organisierte selbstständig zwei angesehene Wilstedter Bürger. Der verwendete Fragebogen basierte auf früheren der Arbeitsgruppe Gesundheits- und Umweltpsychologie (Hübner & Pohl, 2010; Hübner & Pohl, 2011; Hübner et al., 2010; Hübner, Pohl & Wienrich, 2009, 2011; Hübner, Pohl, Hahn & Wienrich, 2012; Pohl, Faul & Mausfeld, 1999; Pohl, Hübner & Mohs, 2012). Vor Beginn der Untersuchung wurde der Fragebogen von vier Anwohnern erprobt (zwei WEA-Geräuschbelästigte, zwei Nicht-Belästigte), um zu prüfen, ob er ihre Erfahrungen und Besorgnisse erfasste. Ihre Rückmeldungen gingen in die Endversion des Fragebogens ein, der insgesamt 450 Items enthielt. Im Folgenden sind einige Beispielitems angeführt.

Die **globale Wirkung** des Windparks wurde anhand von fünf Aussagen erhoben, z.B. „Ich fühle mich durch den Windpark gestört.“ oder „Ich habe durch den Windpark körperliche Beschwerden.“; jeweils fünfstufige Antwortskala von 0 („gar nicht“) bis 4 („sehr“). Die **WEA-Geräuschbewertung** wurde mittels eines semantischen Differentials erfragt. Dazu wurden vier Adjektivpaare auf einer Skala von -3 (z.B. „sehr unangenehm“) über 0 („weder noch“) bis +3 (z.B. „sehr angenehm“) bewertet. Um die **Belästigung** der WEA-Geräusche insgesamt zu erfassen, wurden die Befragten um ihre Einschätzung auf einer unipolaren Skala von 0 („gar nicht“) bis 4 („sehr“) gebeten. Mittels der ICBEN-Skala Q. V. von 0 („überhaupt nicht“) bis 4 („äußerst“) sowie der ICBEN-Skala Q. N. von 0 bis 10 wurden die Probanden nach dem Ausmaß der Geräuschbelastung in den vergangenen 12 Monate befragt (Felscher-Suhr et al., 2000; Fields et al., 2011).

Um **typische Situationen** mit WEA-Geräuschbelastung ausführlich analysieren zu

können, wurde u.a. um eine Beschreibung der Geräuschmuster gebeten (neun Items; z.B. „wummern“ oder „rauschen“) und deren Häufigkeit, das Belästigungsausmaß, die Tageszeit, Wetterlage, gestörte Tätigkeit, aufgetretene Gefühle usw.. Zusätzlich zu den Geräuschen schätzten die Befragten **weitere WEA-Emissionen** ein (12 Items; z.B. Drehbewegung der Rotorblätter, Hinderniskennzeichnung, Landschaftsbild) sowie andere lokale Belästigungsquellen (14 Items; z.B. Straßenlärm; Lärm durch Mährescher). Erfasst wurden **psychische und somatische Symptome** (39 Items) sowie die Ablenkung aufgrund der WEA-Geräusche, z.B. Beeinträchtigungen der allgemeinen Leistungsfähigkeit, Gefühle und Stimmungen oder Schlafprobleme. Ebenfalls wurde die Häufigkeit der jeweiligen Beschwerden erhoben auf einer Skala von 0 („nie“) bis 4 („etwa täglich“).

Die **kognitive Verarbeitung** der WEA-Geräusche wurde mittels fünf Items auf einer unipolaren Ratingskala 0 („gar nicht“) bis 4 („sehr“) erhoben, z.B. „Ich habe mich mit den Geräuschen der WEA abgefunden.“

Die Probanden konnten anhand von 24 Items angeben, ob sie Maßnahmen zur Belästigungsminderung angewandt haben, z.B. veränderter Aufenthalt in Räumen, Fensterschließen oder Beschwerden bei Behörden.

Zusätzlich wurde eine Vielzahl von Moderatoren erhoben, z.B. Anzahl sichtbarer WEA, Entfernung zur nächsten WEA, geschätzter A-gewichteter Leq-Schalldruckpegel nach ISO 9613 (1993). Auch wurden vergangene Aktivitäten für oder gegen den Windpark erhoben, die Belastung durch das Planungs- und Genehmigungsverfahren und die Bauphase, der allgemeine Gesundheitszustand und die Lärmempfindlichkeit.

Beschwerdebogen, Audiorekorder, Emission- und Immissionsmessungen: Der Beschwerdebogen sollte bei WEA-Geräuschbelastung ausgefüllt werden (25 Items), u. a. zum Zeitpunkt, Ausmaß der Belästigung, Geräuschmuster und zur Wetterlage. Ebenso konnten sich die Anwohner einen Audiorekorder ausleihen und damit störende Geräusche aufzeichnen. Die Audioaufzeichnungen wurden von erfahrenen Spezialisten des DEWI ausgewertet und mit Betriebsdaten der WEA (z.B. Windgeschwindigkeit auf Naben- und 10 m Höhe, Rotordrehgeschwindigkeit) in Beziehung

gesetzt. Im Zeitraum von März 2012 bis Januar 2013 wurden von 11 Teilnehmern insgesamt 98 Beschwerdebogen ausgefüllt, zwei davon machten insgesamt 28 auswertbare Audioaufzeichnungen. Zusätzlich führte das DEWI einmalige Emissionsmessungen gemäß IEC 61400-11 Ed. 2.1 im Nahbereich der WEA und Immissionsmessungen bei einem stark belästigten Anwohner durch.

Während der Geräuschminderungsmaßnahme beantworteten die 42 Teilnehmer telefonisch oder per E-Mail drei Fragen, zur Häufigkeit von Belästigungen durch WEA-Geräusche in den letzten zwei Wochen am Tag, in der Nacht und zum Ausmaß der Geräuschbelästigung insgesamt in diesem Zeitraum. Zusätzlich konnten sie Situationen, in denen die WEA-Geräusche besonders lästig waren, angeben.

Aufgrund der Intervention und weiterer Konstrukte wurde der Fragebogen für die zweite Erhebungswelle wie folgt modifiziert:

- Die Fragen bzw. Items zur typischen WEA-Geräuschsituation wurden ergänzt um Gefühle und Gedanken, die nach dem Verschwinden der lästigen Geräusche auftraten (Nacheffekte).
- Die WEA-Geräuschsymptome wurden ab September 2013 erfasst, dem Beginn der Intervention.
- Fragen zu Symptomen aufgrund des Verkehrslärms wurden aufgenommen, um die Auswirkungen der WEA-Geräusche vergleichen zu können.
- Ergänzt wurden Items zur Interventionswirkung auf psychisches / körperliches Befinden, gestörte Tätigkeiten, das Vertrauen in Behörden und Betreiber, Konflikte / Zusammengehörigkeitsgefühl in der Gemeinde und Kontrolle über die Auswirkungen der WEA-Geräusche, sowie
- Fragen zur Bewertung der Intervention, Einrichtung einer Dauermessstation sowie von kognitiven Bewältigungsmaßnahmen von WEA-Geräuschen.

3.4 Auswertung und statistische Methoden

Die Ergebnisse im folgenden Kapitel sind allgemein verständlich gehalten, es ist daher nicht notwendig, diesen Abschnitt zur Methode zu lesen. Aber an Statistik interessierten Lesern bieten wir hier einen kurzen Einblick in unser Vorgehen. Der besseren Lesbarkeit halber werden im Ergebnisteil auch nur ausgesuchte statistische Kennwerte genannt. Alle relevanten Kennwerte sind in den Tabellen der gesonderten Anhangsbände zu finden.

Die statistischen Verfahren dienen dem Ziel, Gruppen zu beschreiben, Unterschiede und Zusammenhänge zu analysieren. Dazu wurden unter der Annahme intervallskalierter Variablen deskriptive statistische Kennwerte wie arithmetischer Mittelwert (M), empirische Standardabweichung (SD) und Standardfehler des Mittelwerts (SEM) verwendet. Bei nominalskalierten Variablen werden absolute und relative Häufigkeiten (%-Werte) genannt. Die inferenzstatistische Prüfung der Verteilung von Häufigkeiten erfolgte mittels Chi²-Test. Bei signifikantem Testergebnis werden die Häufigkeiten genauer beschrieben, bei denen die beobachtete von der erwarteten deutlich abweicht. In diesem Zusammenhang wird im Ergebnisteil der Begriff „relativ häufiger“ verwendet. Pearson-Korrelationen wurden im Zusammenhang mit der Prüfung von Einflussfaktoren berechnet. Hier wurden nur die Koeffizienten als bedeutsam betrachtet, die mindestens $r = |.30|$ betragen (mittlere Effektstärke nach Cohen, 1988).

Mittelwerte werden sowohl durch Nennung der exakten numerischen Werte als auch durch eine verbale Charakterisierung dargestellt. Diese ist angelehnt an die Benennung der Skalenstufen im Fragebogen und kennzeichnet den Bereich, in dem der Mittelwert liegt. Mittelwertsunterschiede werden bis 0.19 als „unbedeutend“, zwischen 0.20 und 0.49 als „geringfügig“, zwischen 0.50 und 0.99 als „leicht“ bzw. „etwas“ und ab 1.00 als „deutlich“ bezeichnet. Inferenzstatistisch geprüft wurden diese Unterschiede mittels Varianzanalysen, ein- oder zweifaktoriellen. Der erste Faktor ist ein Gruppenfaktor mit vier oder fünf Stufen zum Grad der WEA-Geräuschwahrnehmung oder -belästigung. Der zweite Faktor war der Messwiederholungsfaktor „Messzeitpunkt“ mit den beiden Stufen „2012“ und „2014“. Bei post-hoc-Vergleichen von Untersuchungsbedingungen der Varianzanalyse

kamen als Kontraste spezielle t-Tests (least significant difference t-test, LSD t-Tests nach Kirk, 1982) zum Einsatz. A priori geplante Mittelwertvergleiche von zwei Gruppen wurden mit t-Tests durchgeführt.

Die intervallskalierten Variablen waren häufig weder normalverteilt, noch wiesen die Teilgruppen homogene Varianzen auf. Gegen diese Abweichungen gelten varianzanalytische Verfahren als robust, zumal die Stichprobengröße > 10 betrug und die Verletzung der Normalverteilung in der Regel durch eine Linksteilheit aufgrund zahlreicher 0-Werte zustande kam (Bortz, 1989; Box, 1954). Die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse folgte den Prinzipien der „deskriptiven Datenanalyse“ von Abt (1987). Die angegebenen p-Werte der zweiseitigen Tests besitzen daher nur eine deskriptive Funktion zur Kennzeichnung der Größe von Gruppenunterschieden. Da es sich nicht um eine konfirmatorische Datenanalyse handelt, erfolgte keine Alpha-Adjustierung trotz multipler Testung von Gruppenunterschieden. Zur Beschreibung von p-Wertebereichen werden folgende Begriffe verwendet: p-Werte $\leq .05$ als „signifikant“ und p-Werte mit $.05 < p \leq .10$ als „tendenziell signifikant“ bezeichnet. Neben der Beurteilung von Unterschieden anhand von p-Werten wurden die Effektstärkemaße η^2 , d und w als Maße für die praktische Signifikanz verwendet (Cohen, 1988). Ein Gruppenunterschied wird als „statistisch bedeutsam“ bezeichnet, wenn sowohl mindestens eine kleine Effektstärke als auch ein p-Wert $\leq .05$ vorliegen. Werden im Ergebnisteil die Effektstärkekategorien (klein, mittel, groß) genannt, handelt es sich um signifikante Gruppenunterschiede.

4 Ergebnisse

4.1 Ausmaß der Geräuschbelästigung

Belästigung durch WEA-Geräusche: Rund zwei Drittel (69.3%) der Teilnehmer nahmen zum ersten Befragungszeitpunkt im Jahr 2012 WEA-Geräusche wahr, entsprechend 30.8% nicht (keine Geräuschwahrnehmung; GW). Von der Gesamtstichprobe fühlte sich ein Drittel durch die WEA-Geräusche gar nicht oder wenig belästigt, weniger als ein Fünftel mittelmäßig. Ein geringerer Anteil fühlte sich ziemlich oder sehr belästigt (Abb. 4/1).

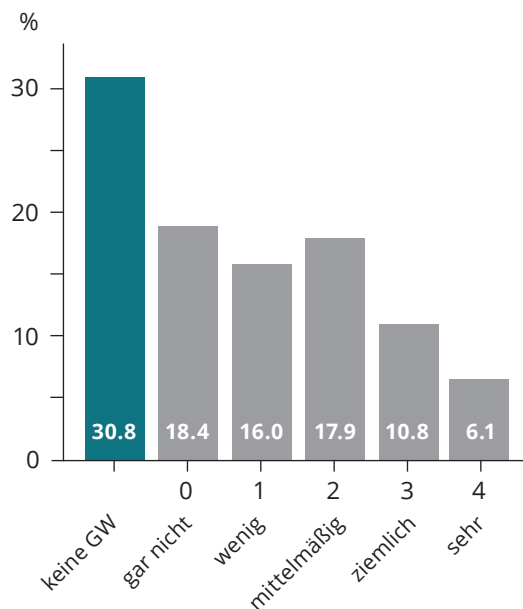


Abb. 4/1: WEA-Geräuschwahrnehmung und -belästigung (2012)

Allein ausgehend von diesen Belästigungswerten, wären nach dem Kriterium von Miedema und Vos (1998; Skalenwert mittelmäßig (2) – sehr (4)) rund ein Drittel (34.9%) der Teilnehmer als belästigt zu bezeichnen. Aus stresspsychologischer Sicht ist für eine starke Belästigung allerdings das Auftreten von Symptomen als weiteres Kriterium zu berücksichtigen. Daher definieren wir Personen, die sich mittelmäßig bis sehr belästigt fühlten, ohne

Symptome aufzuweisen, als mittelstark belästigt. Dies traf auf 25.0% der Stichprobe zu. Als stark belästigt gilt, wer zusätzlich Symptome aufweist – 9.9% der Teilnehmer.

Für die Gesamtstichprobe lag 2012 die durchschnittliche WEA-Geräuschbelästigung zwischen den Skalenstufen „wenig“ und „mittelmäßig“ ($M = 1.58$, $SD = 1.28$), auf der IC BEN-Skala Q. V. bei „etwas“ ($M = 1.23$, $SD = 1.14$) und auf der IC BEN-Skala Q. N. im niedrigen Bereich bei 3.26 ($SD = 2.67$). Die Gruppe der stark Belästigten wies jeweils etwas höhere Mittelwerte auf als die der mittelstark Belästigten (mittlere bzw. große Effektstärke). Da die drei Skalen stark korrelieren (.84 bis .91), werden im Folgenden nur die Werte der WEA-Geräuschbelästigungsskala berichtet. Bis 2012 hatten die Teilnehmer im Mittel keine Veränderung der Belästigung über die Betriebsjahre des Windparks erlebt ($M = 0.02$, $SD = 0.41$). Auch zwischen den Jahren 2012 und 2014 gab es kaum Veränderungen, nur bei den mittelstark Belästigten zeigte sich eine leichte Abnahme der Belästigung (große Effektstärke, Abb. 4/2).

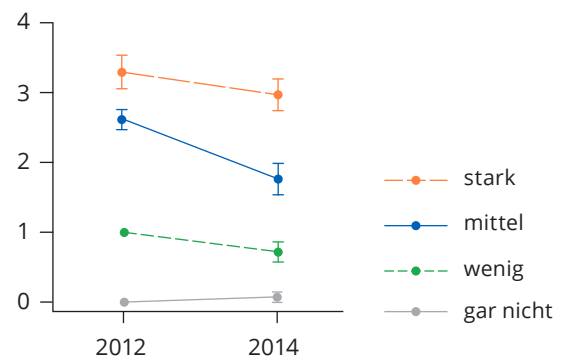


Abb. 4/2: WEA-Geräuschbelästigung im Verlauf ($M \pm SEM$, Skala 0 – 4)

WEA-Geräusche im Vergleich mit anderen lokalen Geräuschquellen: Teilnehmer, die WEA-Geräusche wahrnahmen, schätzten den Windpark im Mittel vergleichbar belästigend ein wie den örtlichen Verkehrslärm, Maishäcksler und Sandlaster, aber geringfügig weniger lästig als Fahrzeuge mit Ballonrädern (kleine Effektstärke, Abb. 4/3). Die Belästigung durch den Windpark und die Sandlaster verminderte sich geringfügig von 2012 zu 2014 (kleine Effektstärken), nicht jedoch für den Straßenverkehr und die anderen Quellen.

Typische Situation mit WEA-Geräuschbelästigung: Etwa die Hälfte der Teilnehmer (51.9 %) beschrieb 2012 eine typische Belästigungssituation durch WEA-Geräusche. Rund die Hälfte (53.6 %) dieser Teilstichprobe erlebte lästige Geräusche ungefähr einmal pro Woche, ein Fünftel (20.9 %) rund einmal pro Monat und 13.6 % fast täglich. Am häufigsten traten Störungen abends (33.6 %) und nachts (18.2 %) auf. Am häufigsten gestört fühlte sich diese Teilstichprobe beim Schlafen (30.0 %), Entspannen (24.5 %) und Freizeitaktivitäten (19.1%). Häufigste emotionale Reaktionen waren Gereiztheit oder Ärger (39.1 %). Mehr als 10 % der Teilstichprobe beschrieben die WEA-Geräusche als Rauschen (76.4 %), Wummern (72.7 %), Summen (23.6 %) und Brummen (18.2 %). Am häufigsten traten die Belästigungen bei Westwind auf

(68.2 %) – die lokale Hauptwindrichtung – sowie bei feuchtem Wetter (30.9 %) und Frost (13.6 %). Die Anzahl der Teilnehmer, die eine typische Geräuschsituation angaben, verringerte sich von 2012 zu 2014 deutlich um rund 22 % auf 29.3 %. Das Muster der Geräuschstörungen blieb vergleichbar.

4.2 Wirkungen des Windparks auf Anwohner und Bewältigungsstrategien

Globale negative Wirkungen des Windparks: Diese waren im Jahr 2012 nur bei den mittelstark und stark Geräuschbelästigten klar nachweisbar (mittlere oder große Effektstärke für die Unterschiede zu den beiden anderen Gruppen). Die mittel- und stark Belästigten unterschieden sich signifikant in allen fünf Indikatoren sowohl von einander als auch von den anderen Gruppen (Abb. 4/4, kleine bis große Effektstärken). Die stark Belästigten empfanden die Störung als ziemlich, die Gesundheitsbeeinträchtigung als mittelstark. Die Beurteilungen blieben von 2012 zu 2014 relativ stabil. Nur bei den mittelstark Belästigten nahm die Störung insgesamt geringfügig ab (kleine Effektstärke).

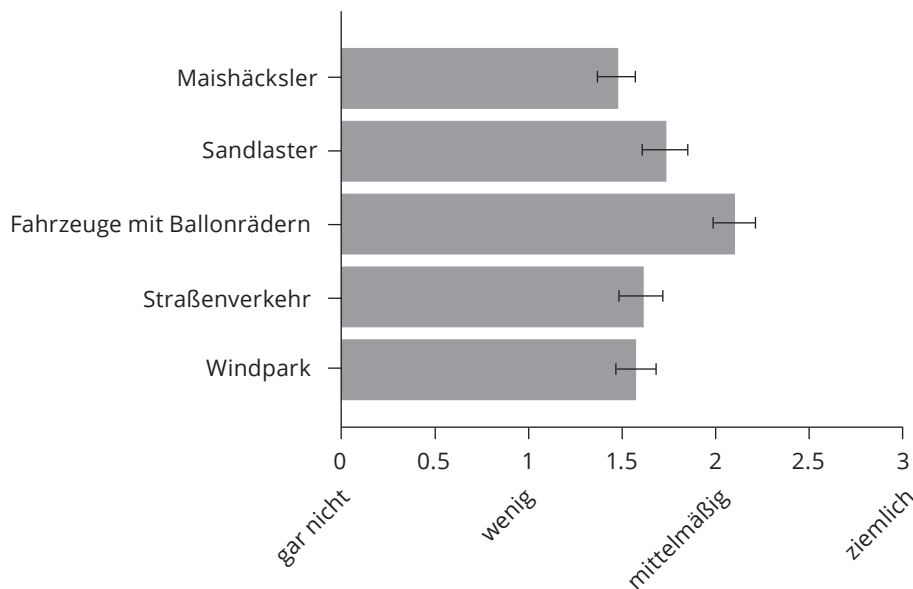


Abb. 4/3: Belästigung durch lokale Geräuschquellen (2012, $M \pm SEM$, Skala 0 – 4)

Globale Wirkung der WEA-Geräusche: Die mittel- und stark Belästigten schätzten 2012 WEA-Geräusche deutlich negativer ein als die anderen Gruppen (Abb. 4/5, mittlere oder große Effektstärken), die stark zudem überwiegend negativer als die mittelstark Belästigten (mittlere Effektstärken). Bedeutsame Veränderungen von 2012 zu 2014 zeigten sich nur in der Gruppe ohne Belästigung, welche die Geräusche 2014 etwas weniger friedlich und harmlos einschätzte (mittlere Effektstärken).

Psychische und körperliche Symptome: Wie bereits erwähnt, berichteten nur wenige Teilnehmer (9.9 %) psychische oder körperliche Symptome, die sie auf die WEA-Geräusche zurückführten und mindestens einmal im Monat erlebten (Tabelle 4/1). Zur zweiten Befragung in 2014 nahm dieser Anteil auf 6.8 % ab. Während die betroffenen Personen 2012 durchschnittlich noch 12 Symptome (M = 12.33, SD = 8.03) schilderten, waren es 2014 deutlich weniger (M = 3.00, SD = 1.94). Zudem schätzten die stark Belästigten ihren allgemeinen

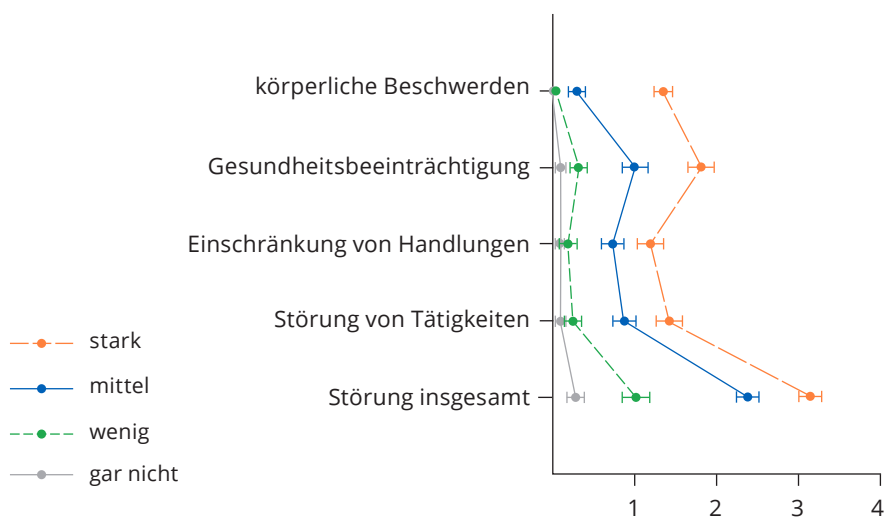


Abb. 4/4: Globale negative Wirkungen des Windparks (2012, M ± SEM, Skala 0 – 4)

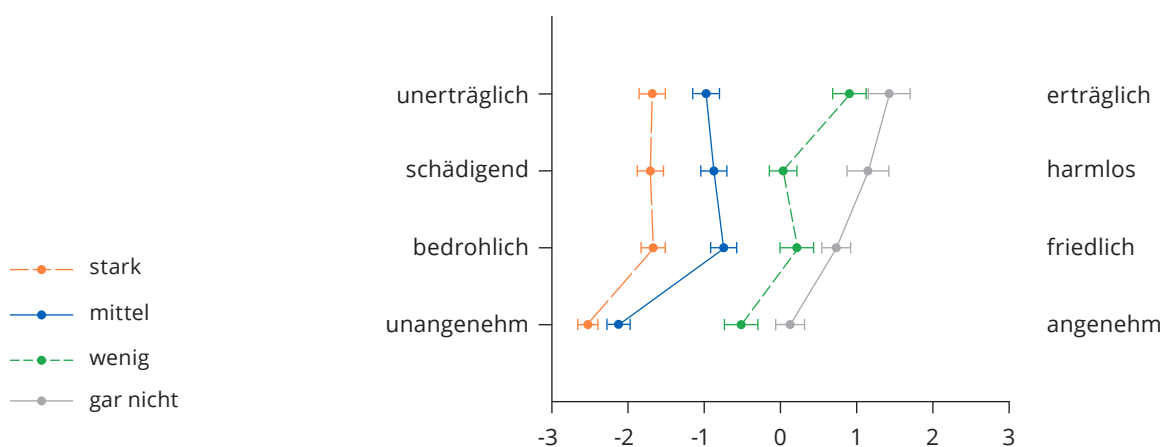


Abb. 4/5: Globale Wirkung der WEA-Geräusche (2012, M ± SEM, Skala -3 – +3)

Gesundheitszustand 2014 leicht besser ein (2012: $M = 2.00$, $SD = 0.71$; 2014: $M = 2.59$, $SD = 1.06$; mittlere Effektstärke). Die geschilderten Symptome bezogen sich auf die allgemeine Leistungsfähigkeit, Emotion und Stimmung sowie den Schlaf. Von 2012 zu 2014 nahmen Schlafprobleme ab, Symptome gestörter Leistungsfähigkeit traten nicht mehr auf. Anzumerken ist, dass die Gruppe der stark Belästigten nicht stärker vorbelastet war durch akute oder chronische Erkrankungen als die anderen Gruppen.

Ablenkung durch Geräusche kann zu Stresserleben führen. Die stark Belästigten fühlten sich 2012 mittelstark durch WEA-Geräusche ($M = 1.88$, $SD = 1.01$) abgelenkt, deutlich stärker als alle anderen Gruppen (große Effektstärken). Bei ihnen nahm diese Ablenkung von 2012 zu 2014 geringfügig ab (mittlere Effektstärke, Abb. 4/6), während sie in den anderen Gruppen relativ stabil gering blieb.

Bei nur wenigen Teilnehmern zeigten sich Hinweise auf tieffrequente WEA-Schallwirkung (< 100 Hz): Durch die WEA bedingte Druckgefühle nahmen im Jahr 2012 8.5 % wahr, Vibrationen im Körper 6.1 %. Dieser Anteil nahm über den Untersuchungszeitraum hinweg zudem ab (6.8 % bzw. 3.8 %). Die erlebte Belästigung lag im mittleren Bereich (2012: $M = 2.17$, $SD = 0.86$ bzw. $M = 1.85$, $SD = 1.07$; 2014: $M = 2.00$, $SD = 1.12$ bzw. $M = 2.40$, $SD = 1.52$). Das Symptom „Schwindel“ wurde nicht beobachtet. Damit liegt kein Hinweis auf eine negative vegetative Wirkung

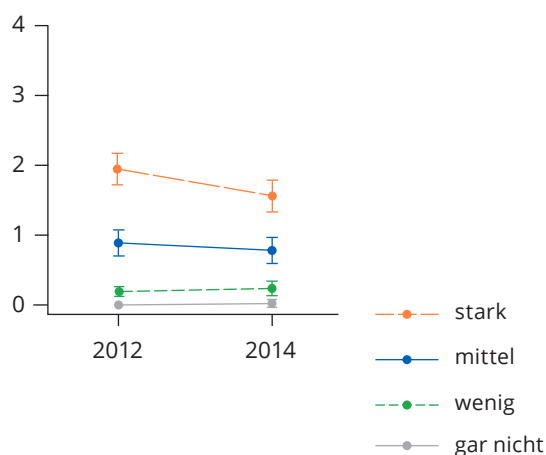


Abb. 4/6: Ablenkung durch WEA-Geräusche im Verlauf ($M \pm SEM$, Skala 0 – 4)

tieffrequenter Geräusche vor (Krahé et al., 2014). Um die Stresseffekte angemessen bewerten zu können, wurden WEA-Geräusche mit Verkehrslärm verglichen: Mehr Teilnehmer erlebten Symptome durch Verkehrslärm (15.8 %) als durch WEA-Geräusche; nur drei Personen hatten 2014 durch beide Quellen Beschwerden. Rund eine Drittel (34.9 %) der Befragten war 2014 mittelstark durch Verkehrslärm belästigt, 21.2 % durch die WEA. Die Symptommuster für WEA-Geräusche (2012) und Verkehrslärm (2014) sind sehr ähnlich (Tabelle 4/1).

Kognitive Bewältigungsstrategien: Mittel- und insbesondere stark Belästigte akzeptierten („Frieden gemacht“, „alles halb so schlimm“) 2012 WEA-Geräusche nur wenig und beobachteten sie kritischer als die anderen Gruppen (Abb. 4/7, kleine bis große Effektstärken). Die mittelstark Belästigten wiesen im Vergleich zu den anderen Gruppen eine stärkere emotionale Beruhigung auf (d.h. hatten „mit Aufregen aufgehört“; kleine bis große Effektstärken), die bei ihnen zusammen mit der Akzeptanz zudem von 2012 zu 2014 leicht zunahm (kleine bzw. mittlere Effektstärken).

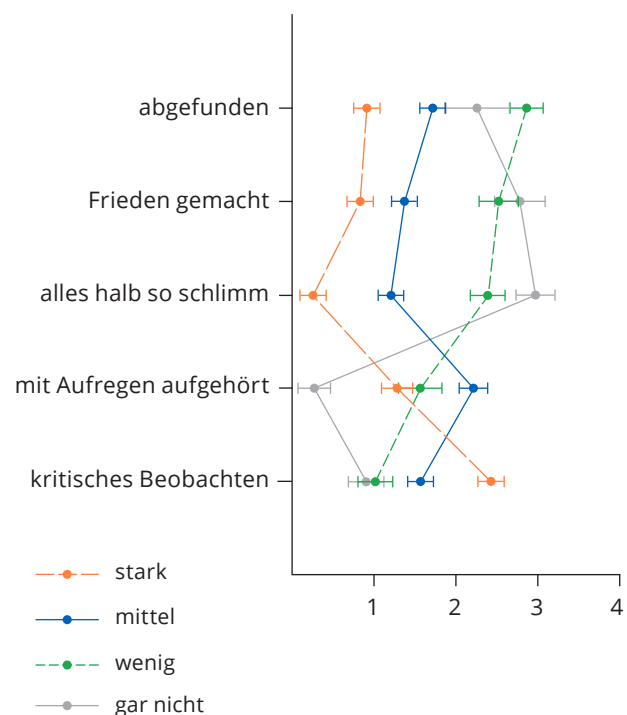


Abb. 4/7: Kognitive Bewältigung der WEA-Geräusche (2012, $M \pm SEM$, Skala 0 – 4)

Tabelle 4/1: Prozentsätze der mindestens einmal pro Monat durch WEA-Geräusche oder Verkehrslärm ausgelösten Symptome

Symptome	WEA-Geräusche 2012	WEA-Geräusche 2014	Verkehrslärm 2014
allgemeines seelisches Unwohlsein	5.7%	0%	6.0%
reduzierte Leistungs-, Arbeitsfähigkeit	5.2%	0%	3.0%
Mattigkeit, Ermüdung	5.2%	0%	4.5%
Konzentrationschwäche, verringerte Daueraufmerksamkeit	4.7%	0%	3.8%
Nervosität	4.2%	0%	4.5%
Angespanntheit	5.3%	2.3%	6.8%
negative Stimmung	6.6%	0%	7.5%
Hilflosigkeit	4.2%	3.8%	6.0%
Gereiztheit, Ärger, Feindseligkeit	5.7%	3.0%	7.5%
allgemeines körperliches Unwohlsein	5.3%	0%	0.8%
erschwertes oder verzögertes Einschlafen	6.7%	3.0%	3.8%
mehrfaches Aufwachen in der Nacht	4.7%	1.5%	5.3%
Minderung der Schlafqualität	6.1%	2.3%	6.0%
Verringerung der Schlaftiefe	5.7%	1.5%	4.5%
Symptomträger insgesamt	9.9%	6.8%	15.8%

Bei den stark Belästigten dagegen blieb die kognitive Bewältigung relativ stabil. Gedanken an einen Wegzug vom Ort wegen der WEA-Geräusche waren aber selbst bei den stark Belästigten nur schwach ausgeprägt ($M = 0.81$, $SD = 1.25$).

Verhaltensmaßnahmen: Die am häufigsten angewandten Maßnahmen, um die Geräuschwirkungen zu mindern, waren 2012: Gespräche mit Familienmitgliedern, Freunden, Nachbarn (32.1 %), Fenster schließen (25.9 %), Veränderung Aufenthaltsort am und im Haus (11.8 %, 7.1 %), Radio / TV lauter stellen (7.5 %). In den Gruppen mittel- und stark Belästigter führten relativ mehr Befragte Gespräche und schlossen relativ häufiger das Fenster als in den beiden anderen Gruppen (große Effektstärken). Weitere ergriffene Maßnahmen waren: Teilnahme an Unterschriftenaktion (13.7 %) und Demonstration (9.4 %), Beschaffung von Informationsmaterial zu den Geräuschen (9.9 %) sowie Anschluss an eine Umweltgruppe / Bürgerinitiative (6.1 %).

4.3 Analyse der Beschwerdebogen und Audioaufzeichnungen

In die Analyse gingen 95 Beschwerdebogen von elf sowie 28 auswertbare Schallaufzeichnungen von zwei Teilnehmern ein. Fast alle Aufzeichnungen wurden spätabends oder nachts gemacht. Zusätzlich einbezogen wurden in diese Analyse WEA-Betriebsdaten, Messungen zur Windrichtung und -geschwindigkeit auf Nabenhöhe sowie zusätzlich in 10 m Höhe bei einem Anwohner (für den ausführlichen Bericht siehe DEWI-RS14-00017-01 von Gabriel & Vogl, 2014). Es zeigte sich eine Beschwerdehäufigkeit bei der Hauptwindrichtung (Südwest), mittleren Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe von 6 bis 9 m/s sowie eine nur leichte Tendenz zu Belästigung bei Mitwindbedingungen, wenn der Wind genau aus Richtung des Windparks kommt. Die Beschwerden betrafen überwiegend die Nachtzeit und frühen

Morgenstunden (83%), gehäuft in der Zeit von 0 bis 3 Uhr. Diese hohe Zahl nächtlicher Beschwerden dürfte sich damit erklären lassen, dass nachts eine Maskierung der WEA-Geräusche durch Verkehrslärm nicht zu erwarten ist, da Wilstedt fernab von Hauptverkehrswegen liegt. Tritt in der Nacht nur wenig Verkehrslärm auf, werden weniger Geräusche verdeckt und auch relativ schwache WEA-Geräusche besser wahrnehmbar.

Nach den vorliegenden Ergebnissen sind für die Beschwerden weder die Lautheit des breitbandigen WEA-Geräuschs noch die Ton- oder Impulshaltigkeit verantwortlich. Denn in den Beschwerdebogen wurden die WEA-Geräusche überwiegend als ungleichmäßig und in der Lautstärke schwankend charakterisiert (71.6% pulsierendes Rauschen). Es handelt sich um Lautheitsschwankungen mit der Frequenz der drehenden Rotorblätter. Die Geräuschveränderungen werden wahrgenommen und den rotierenden Rotorblättern direkt zugeordnet. Diese Geräuschcharakteristik wird Amplitudenmodulation (AM) genannt. Die qualitative und

quantitative Analyse der AM – mit vom DEWI neu entwickelten Algorithmen (Vogl, 2013) – fand anhand von Schallaufzeichnungen als lästig empfundener Geräusche statt. Beispiele zeigen die Abbildungen 4/8 und 4/9 mit AM über Minuten bzw. sporadisch auftretenden AM von Sekundendauer. Das Analyseverfahren wird in dem Bericht DEWI RS14-00017-01 im Detail beschrieben (Gabriel & Vogl, 2014). Der erste Algorithmus erhält lediglich durch die A-Filterung eine psychoakustische Bewertung, berechnet jedoch sonst die rein physikalische Modulationstiefe ΔL in dB. Definiert ist diese Messgröße als die Differenz zwischen dem Spitzen- und darauffolgenden Talwert eines Pegelzeitverlaufs (blaue Linie). Der zweite Algorithmus berechnet die rein psychoakustische Größe der Lautheitsschwankung F^* , die der von Zwicker und Fastl entwickelten Schwankungsstärke F sehr stark ähnelt (grüne Linie).

Der am stärksten modulierte Frequenzbereich lag bei etwa 160 bis 200 Hz. Damit wird deutlich, dass es sich bei dem störenden Geräusch nicht um Infraschall handeln kann, dessen Frequenz bei

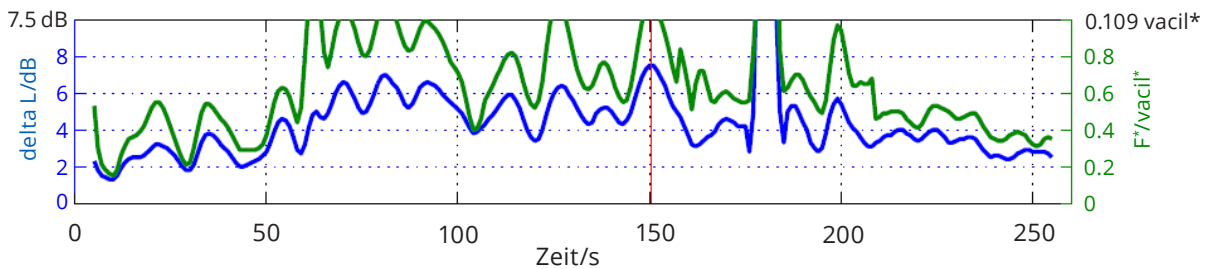


Abb. 4/8: Modulationszeitverlauf mit starker Modulation über lange Zeit

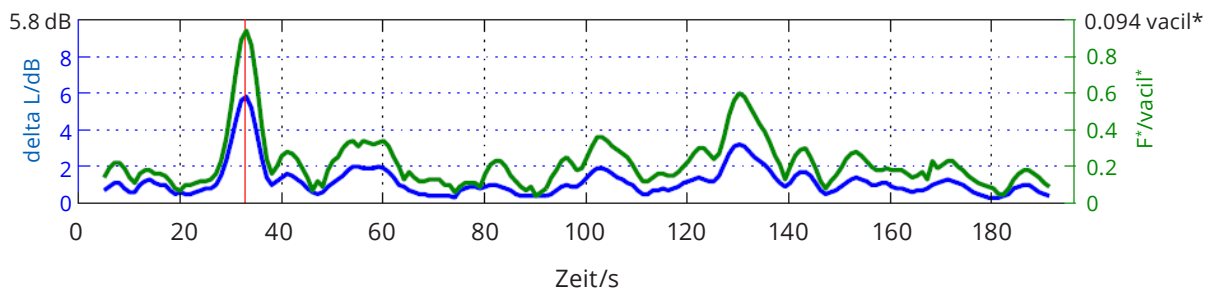


Abb. 4/9: Modulationszeitverlauf mit sporadisch auftretender Modulation

20 Hz und weniger liegt (Krahé et al., 2014). Die AM trat im WEA-Drehzahlbereich von 14 bis 18 U/min und im Mittel bei 16.2 U/min auf. Die höchste Modulationstiefe ΔL war ebenfalls im mittleren Bereich zu finden. Daraus ist zu schließen, dass die immissionsrelevante, maximale Modulation kurz vor der Nenndrehzahl der WEA auftrat. Die stärksten Modulationen waren in den Nachtstunden zu finden. Ob das tendenziell nachts flachere Windprofil zu stärkerer Modulation führt, sollte in weitergehenden Studien geklärt werden. Ein bedeutsamer Zusammenhang zwischen der Stärke der AM und der Windrichtung konnte nicht gezeigt werden. Die meisten AM waren bei Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe zwischen 6 bis 9.5 m/s zu finden.

Die AM lässt sich heranziehen, um die Lästigkeit von WEA-Geräuschen zu erklären (Abb. 4/10). Die kurzzeitigen Lautheitsschwankungen ziehen Aufmerksamkeit auf sich, da sie unregelmäßig und unerwartet auftreten. Sie können als Alarm- bzw. Orientierungssignal wirken und dadurch Ablenkung und erhöhte Aufmerksamkeit verursachen.

4.4 Akzeptanz der Windenergie und des Windparks Wilstedt

Einstellung zur Windenergieanlagen allgemein: Die Befragten hatten 2012 insgesamt eine positive Einstellung zu Windenergieanlagen allgemein ($M = 1.51$, $SD = 1.02$), die mit steigendem Belästigungsgrad zwar noch immer positiv blieb, jedoch etwas weniger ausgeprägt. Die mittel- ($M = 1.00$, $SD = 1.02$) und stark Belästigten ($M = 0.44$, $SD = 0.94$) unterschieden sich bedeutsam von einander und den anderen drei Gruppen (mittlere und große Effektstärken). Bei den mittelstark Belästigten wurde die Einstellung von 2012 zu 2014 geringfügig positiver (kleine Effektstärke), in den anderen Gruppen gab es keine bedeutsamen Veränderungen. Das Thema Windenergie beschäftigte die Befragten zudem ziemlich stark ($M = 3.09$, $SD = 0.78$), stark Belästigte ($M = 3.22$, $SD = 0.76$) fast genauso intensiv wie Nicht-Belästigte ($M = 3.34$, $SD = 0.66$).

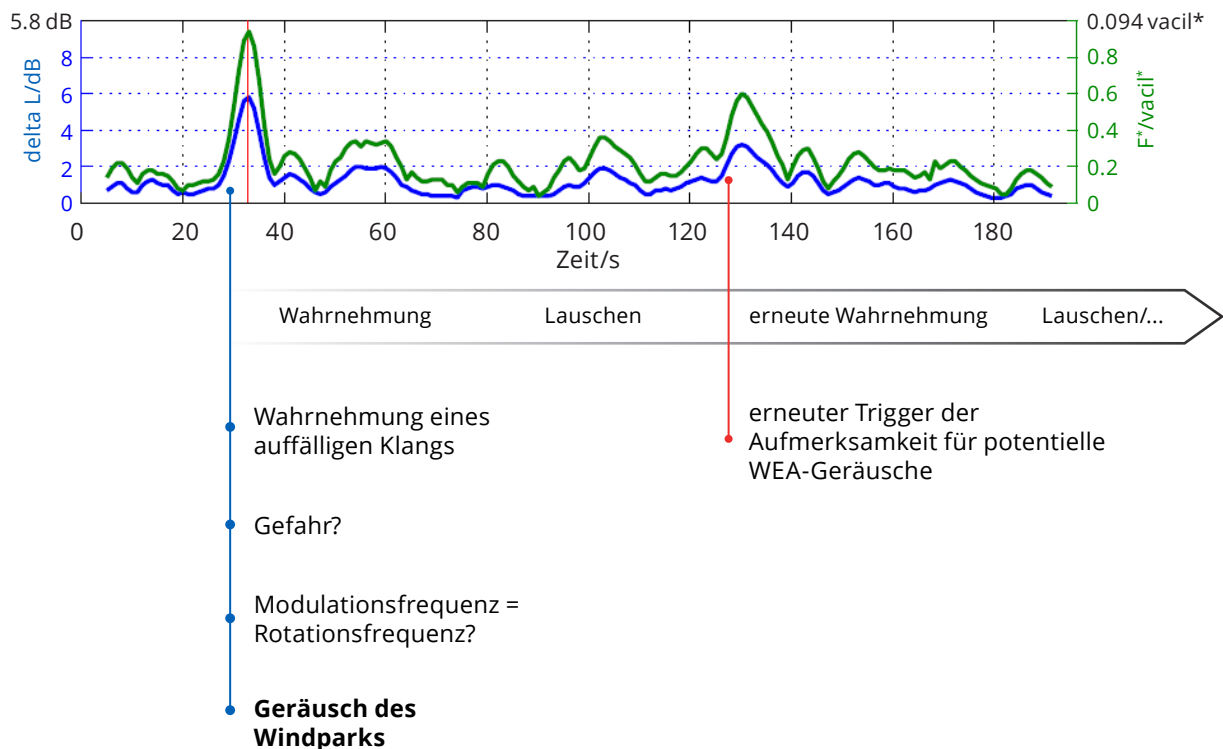


Abb. 4/10: Ansatz zur Erklärung der Lästigkeit von AM

Einstellung zum Windpark Wilstedt: Auch zum Windpark Wilstedt hatten die Befragten 2012 insgesamt eine positive Einstellung ($M = 0.73$, $SD = 1.64$). Entsprechend wies die Einstellung gegenüber der Windenergie und dem lokalen Windpark einen starken Zusammenhang auf ($r = .83$). Die mittel- und stark Belästigten hatten dagegen eine leicht negative Einstellung zum lokalen Windpark ($M = -0.60$, $SD = 1.42$ bzw. $M = -1.12$, $SD = 1.13$) und unterschieden sich bedeutsam voneinander sowie von den drei anderen Gruppen (kleine bzw. große Effektstärken). Ein vergleichbares Ergebnismuster zeigte sich hinsichtlich der Zustimmung bzw. Ablehnung des Windparks: Im geringen Ausmaß lehnten die mittel- und stark Belästigten den Windpark 2012 ab ($M = -0.70$, $SD = 2.23$ bzw. $M = -1.00$, $SD = 1.87$), die Nicht-Belästigten stimmten dagegen deutlich zu ($M = 2.41$, $SD = 1.02$; große Effektstärken). Auch waren die Einstellungen der mittel- und stark Belästigten relativ ambivalenter ($M = 1.80$, $SD = 2.15$ bzw. $M = 1.50$, $SD = 2.09$) als die der Nicht-Belästigten ($M = 0.49$, $SD = 1.47$; mittlere Effektstärken). Von 2012 zu 2014 gab es keine bedeutsamen Veränderungen in den Einstellungen.

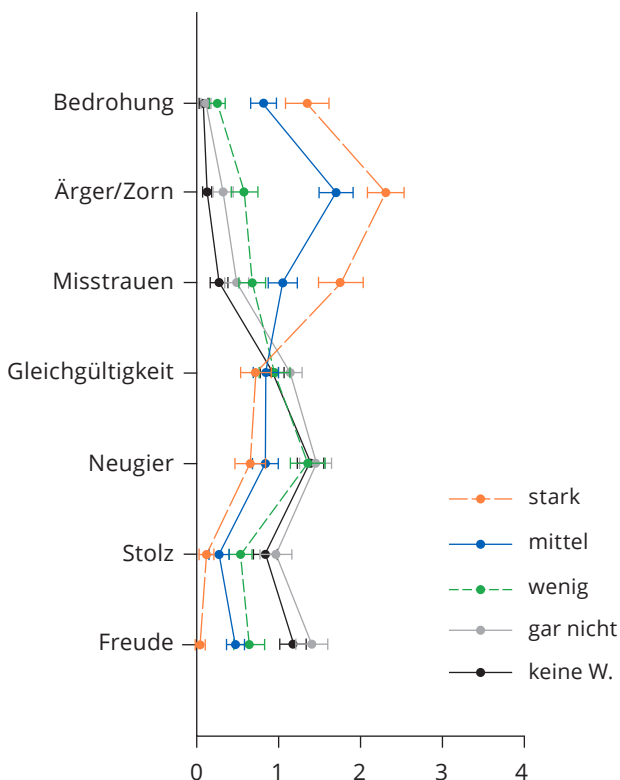


Abb. 4/11: Gefühle gegenüber dem Windpark (2012, $M \pm SEM$, Skala 0 - 4)

Verhalten: Die Befragten wurden zusätzlich explizit danach gefragt, ob sie Windpark Gegner oder Befürworter gewesen waren. Befürworter (40.2 %) waren insgesamt etwas häufiger als Gegner (35.8 %) vertreten. Nur eine Minderheit von 16.7 % war ambivalent gewesen, 7.4 % hatten keine Meinung zum Windpark gehabt. Danach unterschieden, wer für oder gegen den Windpark aktiv geworden war, zeigt sich ein klares Bild – Gegner wurden häufiger aktiv als Befürworter. In Zahlen ausgedrückt: 30.4 % der Befragten waren zwar für den Windpark gewesen, aber passiv geblieben und nur ein geringer Anteil war aktiv dafür (9.8 %). Umgekehrt waren 26.5 % aktive Gegner gewesen, aber nur 9.3 % passive. Auffällig ist, dass die stark Belästigten mehrheitlich (75.0 %) passiv oder aktiv gegen den Windpark gewesen waren, von übrigen Teilnehmern hingegen nur 34.3 % (kleine Effektstärke).

Gefühle: Die Anwohner standen dem Windpark nicht gleichgültig gegenüber ($M = 0.92$, $SD = 1.02$; keine bedeutsamen Gruppenunterschiede). Mit steigendem Belästigungsgrad nahm die Intensität negativer Gefühle jedoch zu, die positiver ab (Abb. 4/11). Mit Ausnahme der negativen Gefühle in den Gruppen der mittel- und stark Belästigten waren die Gefühle gegenüber dem Windpark insgesamt eher gering ausgeprägt. Die Gefühlsintensitäten waren relativ stabil, nur bei den stark Belästigten gab es eine bedeutsame Veränderung: Das Misstrauen nahm von 2012 zu 2014 leicht zu (mittlere Effektstärke).

Wahrgenommene Vorteile des Windparks: Es zeigte sich ein klares Ergebnismuster – mit abnehmendem Belästigungsgrad wurden fast alle Vorteile des Windparks 2012 positiver eingeschätzt, mit zunehmender Belästigung weniger (Abb. 4/12). Die meisten Mittelwertsunterschiede zwischen den mittel- bzw. stark Belästigten und den anderen drei Gruppen waren statistisch bedeutsam (kleine bis große Effektstärken). In der Bewertung des Windparks als charakteristisches Merkmal von Wilstedt waren sich die Befragten relativ einig, sie fiel insgesamt mittelstark aus ($M = 1.97$, $SD = 1.53$).

Wahrgenommene Nachteile des Windpark Wilstedt: Die Lebensqualität hatte sich nur für die mittel- und besonderes für die stark Belästigten deutlich verschlechtert ($M = -1.02$, $SD = 0.99$ bzw. $M = -1.95$, $SD = 0.92$; große Effektstärken). Die Einschätzungen blieben von 2012 zu 2014 relativ stabil. Insgesamt vermuteten die Befragten 2012

nur eine geringfügige Wertminderung ihrer Immo-
 bile durch den Windpark ($M = -0.45, SD = 0.67$).
 Diese Erwartung nahm mit steigender Belästi-
 gung zu und war am stärksten ausgeprägt bei den
 mittel- ($M = -0.83, SD = 0.78$) und stark Belästigten

($M = -1.05, SD = 0.52$; kleine bis große Effekt-
 stärken). In diesen beiden Gruppen hatte sich
 durch den Windpark auch das Heimatgefühl /
 Gemeindegefühl geringfügig gegenüber den drei
 anderen Gruppen vermindert (kleine bis große

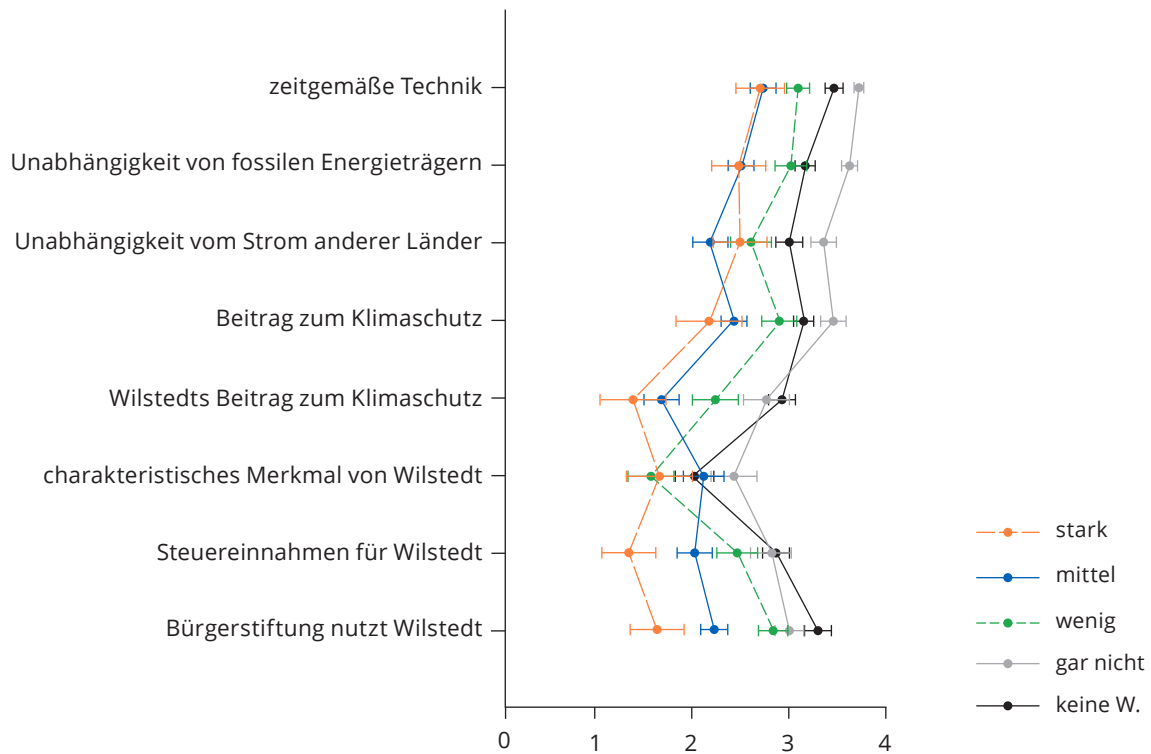


Abb. 4/12: Vorteile des Windparks (2012, $M \pm SEM$, Skala 0 - 4)

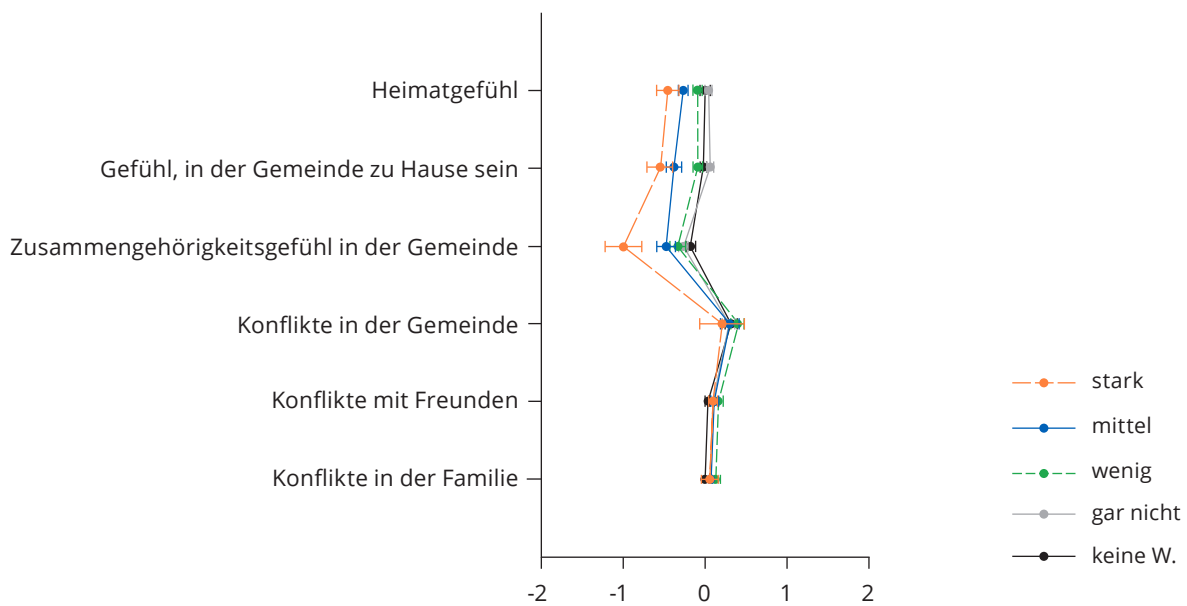


Abb. 4/13: Veränderung des Heimatgefühls und der Konflikte durch den Windpark (2012, $M \pm SEM$, Skala -2 - +2)

Effektstärken), bei den stark Belästigten auch leicht das Zusammengehörigkeitsgefühl in der Gemeinde (Abb. 4/13, kleine bis große Effektstärken). Nach Ansicht der Befragten wurden Konflikte in der Gemeinde geringfügig verstärkt, mit Freunden und in der Familie blieben sie unbeeinflusst (keine bedeutsamen Gruppenunterschiede).

Soziale Norm: Die soziale Norm drückt aus, inwieweit die Befragten ihre Meinung in Einklang mit ihrem Umfeld sehen. Die vermutete Übereinstimmung fiel 2012 mittel bis ziemlich stark aus, ohne bedeutsame Gruppenunterschiede. Nur stark Belästigte wiesen eine etwas größere Übereinstimmung mit engsten Freunden als alle anderen Gruppen auf (Abb. 4/14, mittlere bzw. große Effektstärken). Im Verlauf zeigte diese Gruppe eine leichte Abnahme von 2012 zu 2014 (große Effektstärke).

Einstellung zu WEA im Vergleich: Um die Einstellung zur Windenergie einordnen zu können, wurden zusätzlich die Einstellungen zu anderen erneuerbaren Energiequellen erfasst. Die Befragten favorisierten 2012 Solaranlagen, Erdwärme und Wasserkraftwerke (Abb. 4/15). Am wenigsten befürwortet wurden Kohle- und Atomkraftwerke.

Von verschiedenen Nutzungsarten der Windenergie wurden von der Gesamtstichprobe Offshore-Windparks am positivsten eingeschätzt. Dies gilt für küstennahe ($M = 3.01, SD = 1.09$; Abb. 4/16) wie küstenferne Parks ($M = 3.19, SD = 1.10$). Wieder zeigte sich das bekannte Ergebnismuster: Die Gruppen der mittel- und stark Belästigten bewerteten (mit Ausnahme kleiner WEA) alle abgefragten Nutzungsformen kritischer als die Nicht-Belästigten – insbesondere Windparks in der Nähe (mittlere bzw. große Effektstärken).

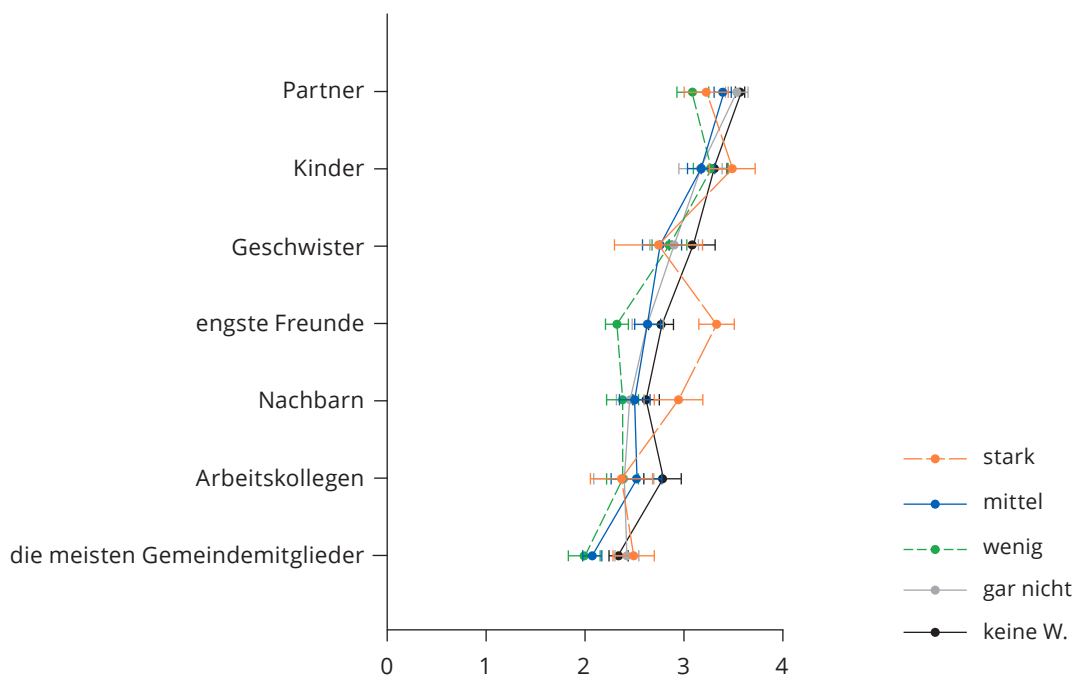


Abb. 4/14: Übereinstimmung der Meinung zum Windpark mit anderen Personen (2012, $M \pm SEM$, Skala 0 - 4)

4.5 Planungs- und Bauprozess

Interesse und Belastung: Insgesamt bestand nur ein geringes Interesse am Planungs- und Genehmigungsverfahren ($M = 1.15$, $SD = 1.25$; keine bedeutsamen Gruppenunterschiede, Abb. 4/17). Mittel- und stark Belästigte hatten etwas bzw. deutlich weniger Interesse an der Bauphase als Nicht-Belästigte (mittlere bzw. große Effektstärke). Mittel- und stark Belästigte empfanden weniger, dass die Planung den eigenen sowie den Interessen der Gemeinde gerecht geworden sei und hatten die Planungs-, Genehmigungs- und Bauphase sowie den Streit um den Windpark belastender erlebt als alle anderen Gruppen (kleine bis

große Effektstärken). Bei den stark Belästigten waren diese Belastungen stärker ausgeprägt als bei den mittelstark Belästigten (kleine bis große Effektstärken). Mittel- und stark Belästigte fanden zudem die Bürgerstiftung etwas weniger sinnvoll als Nicht-Belästigte (mittlere Effektstärken).

Beteiligungsmöglichkeiten: Von den Befragten hatte insgesamt ein Fünftel (19.8 %) den Eindruck, die Möglichkeit zur Beteiligung am Planungsprozess des Windparks gehabt zu haben, 11.3 % hatten die Möglichkeit gesehen, alternative Standorte vorschlagen zu können und über die Hälfte (57.1 %), sich finanziell am Windpark beteiligen zu können. Die Zufriedenheit mit diesen Beteiligungsmöglichkeiten fiel für die Gesamtstichprobe mittelstark aus ($M = \text{ca. } 2$). Nur bei der „Zufriedenheit mit Möglichkeit der

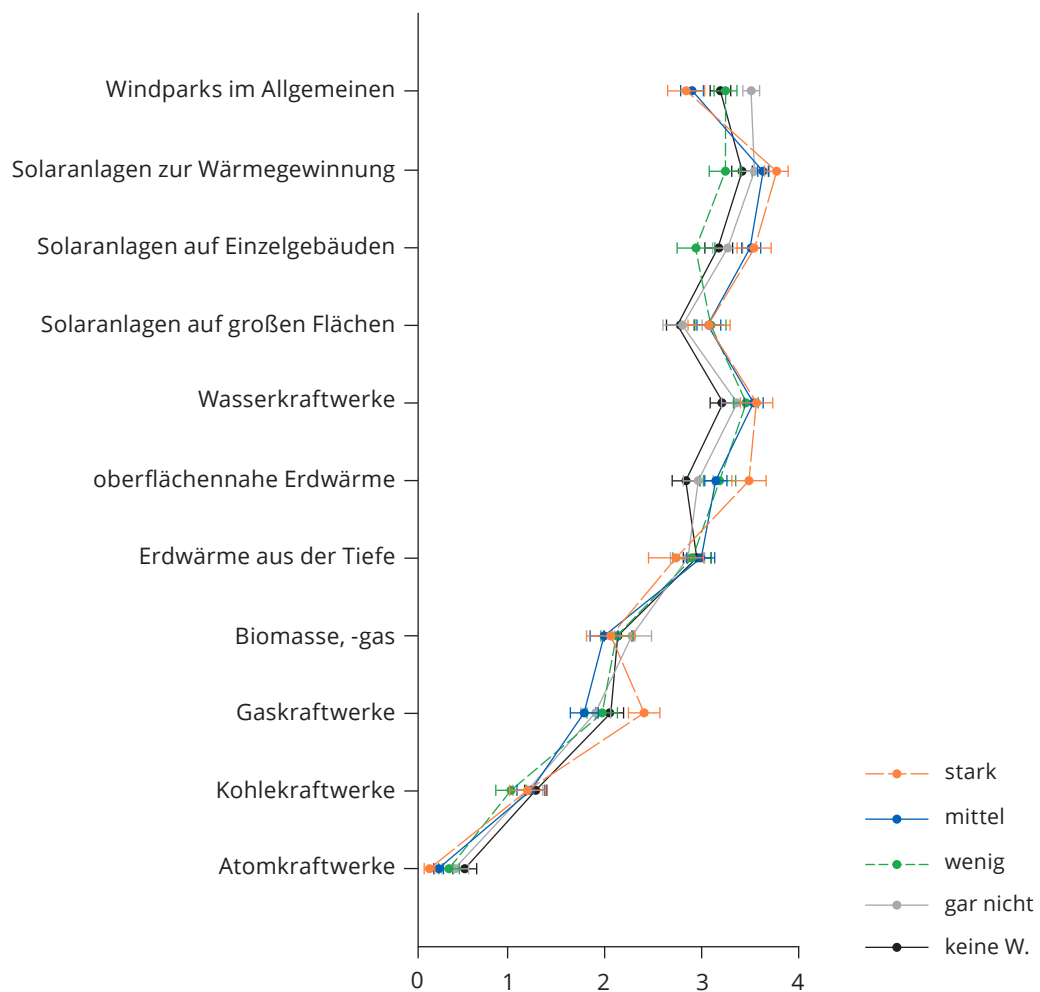


Abb. 4/15: Bewertung der Strom-, Wärmegegewinnung (2012, $M \pm SEM$, Skala 0 - 4)

finanziellen Beteiligung“ gab es für Vergleiche ausreichend große Gruppengrößen: Die Zufriedenheit war bei den stark Belästigten am schwächsten ausgeprägt (M = 0.50, SD = 0.93) und damit etwas bzw. deutlich schwächer als die aller anderen Gruppen (mittlere bzw. große Effektstärken).

Vertrauen in Akteure: Eine deutliche Verschlechterung des Vertrauens in die Akteure seit Errichtung des Windparks zeigte sich bei den mittel- und stark Belästigten (Abb. 4/18), während die anderen drei Gruppen keine Veränderung empfanden (mittlere bzw. große Effektstärken).

Wünsche bezogen auf die Anzahl von WEA: Der Wunsch, weniger WEA in der Umgebung zu haben sowie alle WEA abzubauen, war in den Gruppen der mittel- und stark Belästigten mittelstark und damit stärker als in den anderen Gruppen ausgeprägt (mittlere bzw. große Effektstärken, Abb.

4/19). Umgekehrt war der Wunsch nach mehr WEA bei den Nicht-Belästigten deutlich stärker ausgeprägt als bei den Belästigten (mittlere bzw. große Effektstärken). Von 2012 zu 2014 gab es keine bedeutsamen Veränderungen.

Wünsche bezogen auf den Windpark: Eine Anwohnerbeteiligung an der Windparkplanung und eine geringere WEA-Geräuschstärke waren die stärksten Wünsche der mittel- und stark Belästigten im Vergleich zu den anderen Gruppen (kleine bis große Effektstärken, Abb. 4/20). Stark Belästigte wünschten sich im Gegensatz zu den anderen Gruppen deutlich schwächer günstigere Strompreise für Anwohner sowie eine finanzielle Ertragsbeteiligung (mittlere Effektstärken). Der Wunsch, einen Ansprechpartner im Beschwerdefall zu kennen, war für alle Gruppe etwa gleich stark. Auch hier gab es von 2012 zu 2014 keine bedeutsamen Veränderungen.

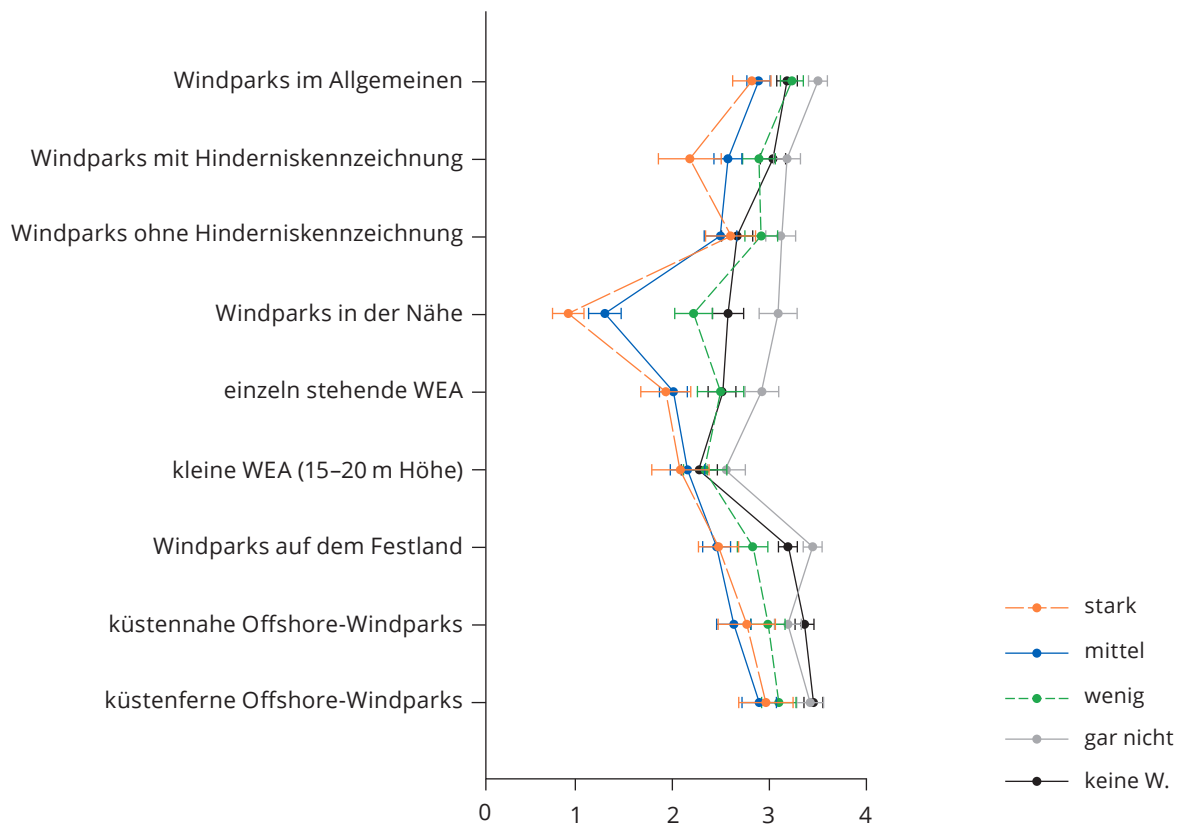


Abb. 4/16: Bewertung verschiedener Windenergienutzungsarten (2012, M ± SEM, Skala 0 – 4)

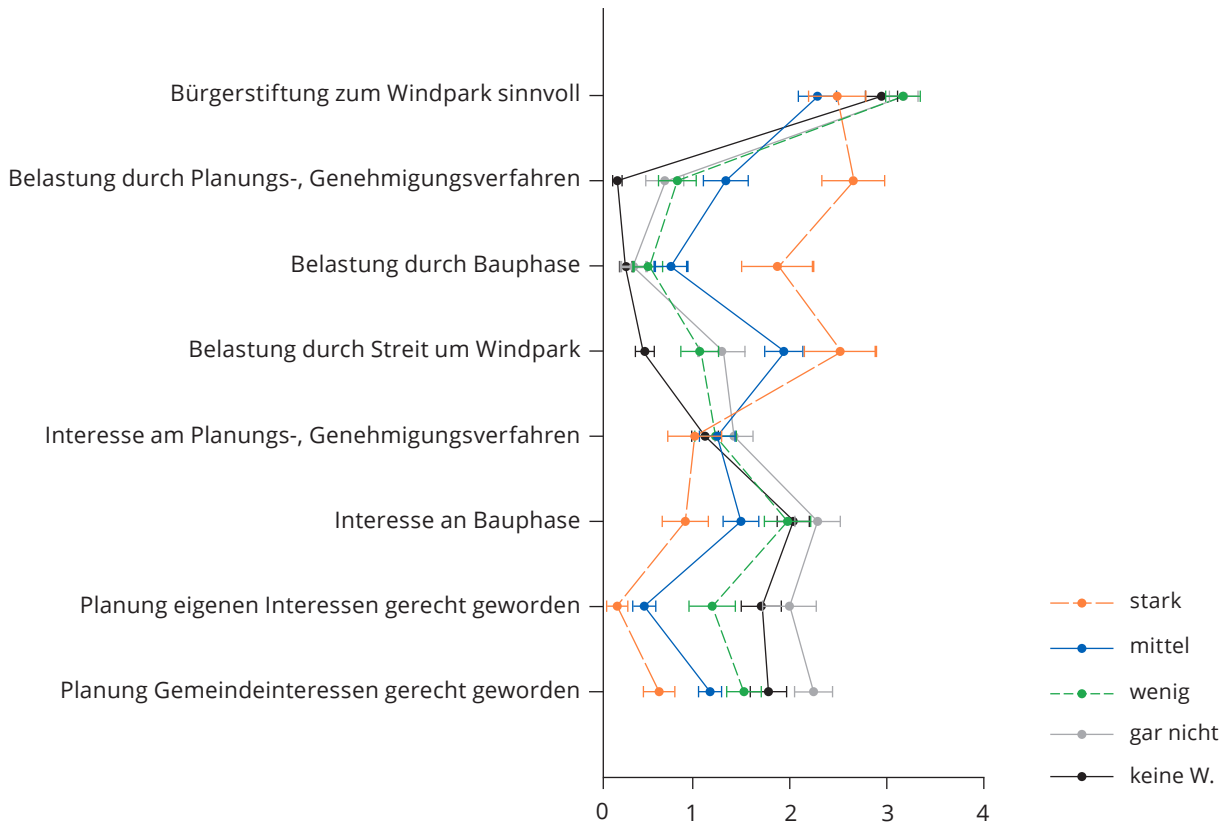


Abb. 4/17: Bewertung der Planungs- und Bauphase des Windparks (2012, $M \pm SEM$, Skala 0 - 4)

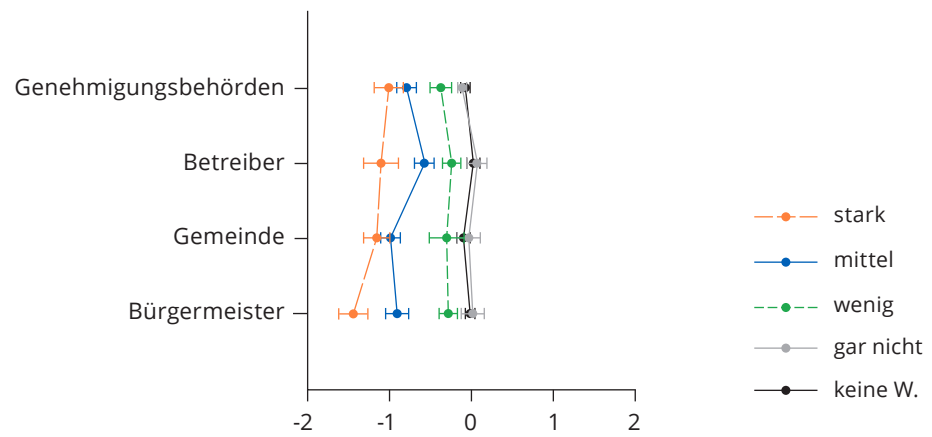


Abb. 4/18: Veränderung des Vertrauens in Akteure seit Errichtung des Windparks (2012, $M \pm SEM$, Skala -2 - +2)

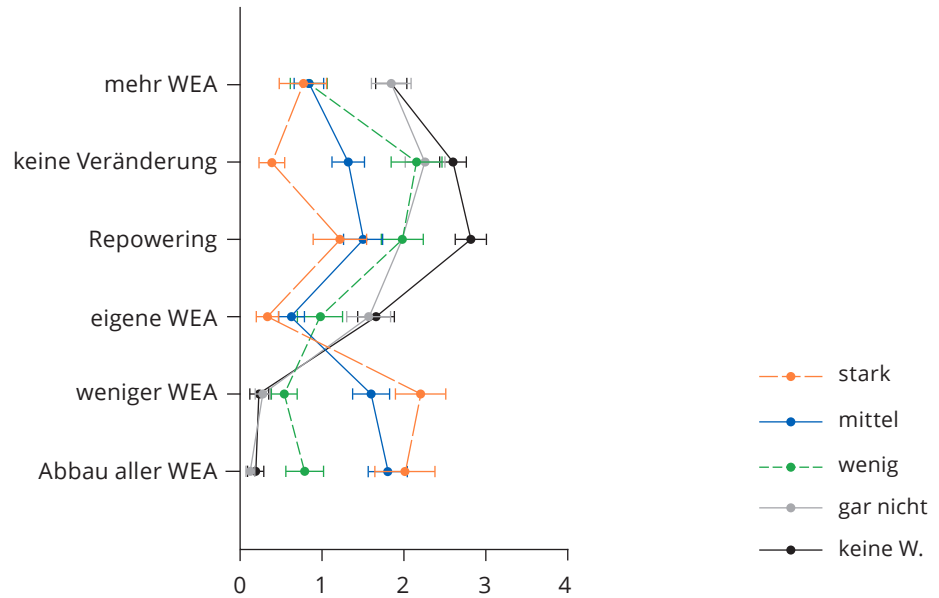


Abb. 4/19: Wünsche bezogen auf die Anzahl von WEA in der Umgebung (2012, M ± SEM, Skala 0 - 4)

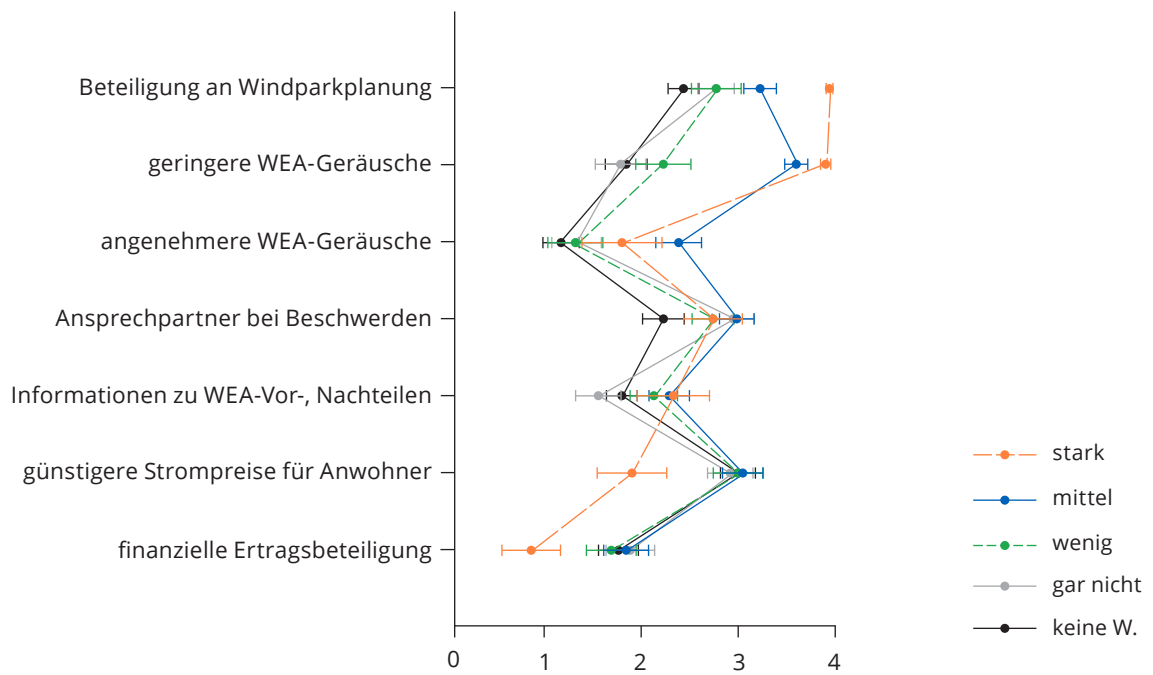


Abb. 4/20: Wünsche bezogen auf den Windpark (2012, M ± SEM, Skala 0 - 4)

4.6 Moderatoren der Belästigung

In der aktuellen Debatte werden immer wieder feste Abstandsregelungen gefordert. Entgegen den in der Debatte vorgebrachten Behauptungen über den Zusammenhang zwischen Abstand und Belästigung fiel der Zusammenhang zwischen der Belästigung durch WEA-Geräusche und dem

Abstand zur nächsten WEA sowie dem vom DEWI geschätzten, A-gewichteten Leq-Schalldruckpegel nach ISO 9613-2 (1993; Tabelle 4/2) unbedeutend aus (M = 29.29 dB(A), SD = 2.58, Minimum = 23.10, Maximum = 36.40). Unbedeutend war ebenfalls der Zusammenhang zwischen der Geräuschbelästigung und den folgenden Variablen: allgemeiner Gesundheitszustand, Lärmempfindlichkeit, emotionale Labilität, Alter und Zufriedenheit mit

Tabelle 4/2: Moderatoren (Pearson-Korrelationen mit WEA-Geräuschbelästigung insgesamt; 2012)

Physikalische Merkmale	
Anzahl sichtbarer Anlagen	.40**
geschätzte Entfernung zur nächsten WEA	-.19*
gemessene Entfernung zur nächsten WEA	-.13
geschätzter Schallpegel pro Haus nach ISO 9613-2	.27**
Partizipationsmöglichkeit	
Zufriedenheit mit Beteiligung an Planung	-.15
Zufriedenheit mit Möglichkeit eines alternativen Standorts	-.06
Zufriedenheit mit Möglichkeit der finanziellen Beteiligung	-.16
Planungs- und Bauphase	
Belastung durch Planungs-, Genehmigungsverfahren	.37**
Belastung durch Bauphase	.34**
Belastung durch Streit	.27**
Interesse am Planungs-, Genehmigungsverfahren	-.15
Interesse an Bauphase	-.33**
Bürgerstiftung sinnvoll	-.31**
Planung eigenen Interessen gerecht geworden	-.52**
Planung Gemeindeinteressen gerecht geworden	-.52**
Einstellung und Gesundheit	
globale Einstellung zum Windpark	-.71**
allgemeiner Gesundheitszustand	-.12
Lärmempfindlichkeit	.26**
emotionale Labilität	.05
Soziodemographische Merkmale	
Alter	.20*
Wohndauer	.08

* p < .05 (2-seitig); ** p < .01 (2-seitig)

Beteiligungsmöglichkeiten. Frauen empfanden die WEA-Geräusche etwas lästiger als Männer ($M = 1.80, SD = 1.27$ versus $M = 1.36, SD = 1.25$, kleine Effektstärke).

Nur für wenige Faktoren zeigte sich ein bedeutsamer Zusammenhang ($r > 1.30$):

1. Mit der Anzahl gesehener WEA stieg die Geräuschbelastigung an.

2. Je stärker die Planungs- und Bauphase als belastend empfunden wurde und je weniger die Planung als den eigenen Interessen bzw. Gemeindeinteressen gerecht geworden empfunden wurde, desto stärker war die Geräuschbelastigung.

3. Es gab zudem eine deutlich negative Korrelation zwischen der globalen Einstellung zum Windpark und der Geräuschbelastigung – je positiver die Einstellung, desto geringer die Belastigung.

4.7 Erprobung einer Geräuschminderungsmaßnahme

Ab September 2013 wurde für ein halbes Jahr ein veränderter Betriebsmodus mit dem Ziel erprobt, die WEA-Geräusche zu mindern. Dazu wurde der sogenannte Enercon Betriebsmodus IV unterschiedlich eingesetzt: Im monatlichen Wechsel liefen nachts zwischen 22 und 2 Uhr bei Windgeschwindigkeiten von 0 – 8.5 m/s auf Nabenhöhe, drei der insgesamt neun, alle neun oder keine WEA des Windparks in diesem Modus. Die Abfolge war weder den Anwohnern noch den Interviewern bekannt (doppelblindes Vorgehen).

Bekanntheit der Maßnahme: In der abschließenden Befragung gaben 2014 rund zwei Drittel (65.9%) der insgesamt Befragten an, ihnen sei die Durchführung der Geräuschminderungsmaßnahme bekannt gewesen.

Bewertung der Maßnahme: Nur 12.8% der Befragten nahmen infolge der Maßnahme Veränderungen im Befinden und Verhalten wahr. Wegen der geringen Anzahl ist ein Vergleich der Belastigungsgruppen hier nicht möglich. Insgesamt wurde die Maßnahme als geringfügig wirksam ($M = 0.30, SD = 1.62$) und belastigungsreduzierend

($M = 0.53, SD = 1.01$), gering bis mittelmäßig angemessen ($M = 1.73, SD = 1.55$) und sinnvoll ($M = 1.78, SD = 1.56$) beurteilt. Trotz der geringen Wirksamkeit wurde sie allerdings mittelstark als wünschenswert ($M = 1.97, SD = 1.50$) eingeschätzt.

Häufigkeit der Geräuschbelastigung: Um mögliche Wirkungen der Geräuschminderungsmaßnahme differenziert erfassen zu können, wurden bereits während der sechsmonatigen Erprobung

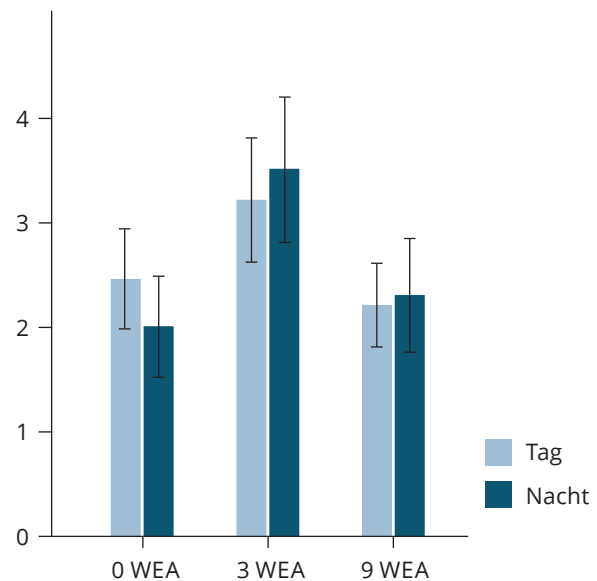


Abb. 4/21: Häufigkeit der WEA-Geräuschbelastigung bei Tag und Nacht – Modus IV ($M \pm SEM$)

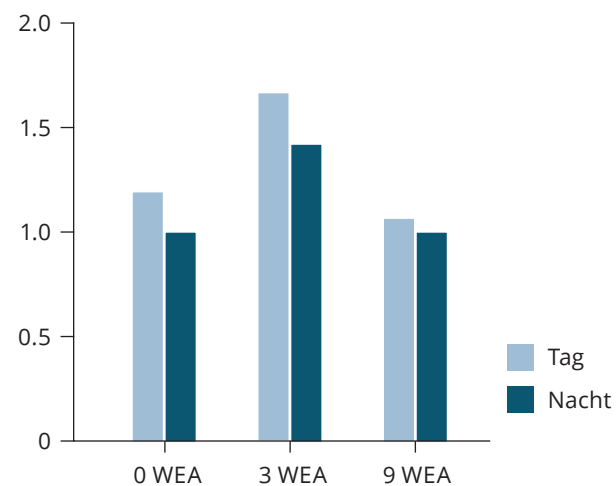


Abb. 4/22: Mittlere Windgeschwindigkeit bei Tag und Nacht – Modus IV ([m/s], Messung in 4 m Höhe im Ort; Messstation: TFA Dostmann Primus)

42 mittel- und stark belästigte Anwohner zweiwöchentlichen zur Häufigkeit der Belästigung befragt. Ein Einfluss der Minderungsmaßnahme auf die Geräuschbelästigung konnte nicht nachgewiesen werden (Abb. 4/21). Bei einer Wirksamkeit hätte sich ein klarer Unterschied zwischen Tag- und Nachtwerten zeigen müssen, **da der Modus IV nur in der Nacht aktiv war**; die mittleren Belästigungswerte in der Nacht hätten also deutlich kleiner sein müssen als die Tagwerte. Ebenso hätten deutliche Unterschiede zwischen den Bedingungen „sämtliche 9 WEA“ und keine WEA in Modus IV auftreten sollen, diese unterschieden sich aber nicht statistisch bedeutsam. Entgegen der Erwartung war die Belästigungshäufigkeit unter der Bedingung „3 WEA“ signifikant größer als unter den Bedingungen „0 WEA“ und „9 WEA“ (Abb. 4/21). Wenn man die Windgeschwindigkeiten bei Tag und Nacht betrachtet (Abb. 4/22), fällt auf, dass das Ergebnismuster nahezu identisch ist mit dem der Belästigungshäufigkeiten. Ebenfalls bestand ein starker Zusammenhang zwischen der Belästigungshäufigkeit und Windgeschwindigkeit (Tag: $r = .60$; Nacht: $r = .59$). Dementsprechend scheint die Belästigungshäufigkeit eher von der Windgeschwindigkeit abzuhängen als vom Modus IV.

Abschließend wurden alle Befragten gebeten, den Einsatz einer Dauermessstation und die Anwendung psychologischer Bewältigungstechniken zu bewerten. Die Einrichtung einer Dauermessstation wurde mittelstark positiv bewertet ($M = 1.80$, $SD = 1.53$), von den drei Belästigungsgruppen deutlich positiver als von den Nicht-Belästigten (mittlere bzw. große Effektstärken). Psychologische Bewältigungstechniken zu erlernen, um die Belästigung durch WEA-Geräusche zu verringern, wurde insgesamt schwach positiv eingeschätzt ($M = 1.28$, $SD = 1.63$), am wenigsten von den stark Belästigten ($M = -0.05$, $SD = 2.33$; große Effektstärke des Unterschieds zu den Nicht-Belästigten, $M = 1.98$, $SD = 1.33$). Die Bereitschaft, diese Verfahren zu lernen, um so die erlebte Geräuschbelästigung vermindern zu können, war insgesamt mittelstark ausgeprägt ($M = 1.95$, $SD = 1.53$) – wiederum nahm die Bereitschaft mit steigender Belästigung ab. So war die Bereitschaft bei den stark Belästigten nur gering, bei den Nicht-Belästigten dagegen mittelstark ausgeprägt ($M = 1.22$, $SD = 1.52$ versus $M = 2.29$, $SD = 1.59$; mittlere Effektstärke).

4.8 Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse

Um die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse einschätzen zu können, wurden die Anwohner des Windpark-Wilstedt mit denen von 13 Windparks verglichen, die bundesweit in einer vorhergehenden Studie befragt werden konnten (Hübner & Pohl, 2010; Pohl, Hübner & Mohs, 2012). Sowohl die Wilstedter als auch die bundesweiten Anwohner schätzen die erfassten WEA-Emissionen insgesamt als sehr gering bis mittelstark ein (Abb. 4/23). Bezüglich der WEA-Geräuschbelastigung unterschieden sich die beiden Gruppen statistisch nicht bedeutsam. Die anderen Emissionen waren für die Wilstedter geringfügig bis etwas weniger belästigend als für die bundesweite Stichprobe (kleine oder mittlere Effektstärken). Anzumerken ist wieder: In beiden Stichproben fanden sich keine bedeutsamen Zusammenhänge zwischen der Belästigung

durch die verschiedenen Emissionsquellen und dem Abstand zur nächsten WEA (alle $r < 1.251$). Die globale Einstellung zum lokalen Windpark war in beiden Stichproben geringfügig positiv ausgeprägt (Wilstedt-Anwohner: $M = 0.43$, $SD = 1.67$; bundesweite Anwohner: $M = 0.30$, $SD = 1.92$; kein statistisch bedeutsamer Unterschied). Eine deutlich positive Einstellung zur Windenergie zeigten beide Gruppen. Die Einstellung der Wilstedter ($M = 1.95$, $SD = 0.95$) war etwas positiver als die der 13-Windparks-Anwohner ($M = 1.43$, $SD = 1.61$; kleine Effektstärke). Anzumerken ist auch für die bundesweite Stichprobe ein starker Zusammenhang zwischen der Einstellung zur Windenergie allgemein und dem lokalen Windpark ($r = .78$). Bei beiden Befragungen gab es eine vergleichbare Verteilung der Geschlechter, durchschnittlich waren die bundesweit befragten Anwohner 4 Jahre jünger als die Wilstedt-Anwohner. Die Differenz ist jedoch zu klein, um die Validität der Interpretation der beschriebenen Gruppenunterschiede zu gefährden.

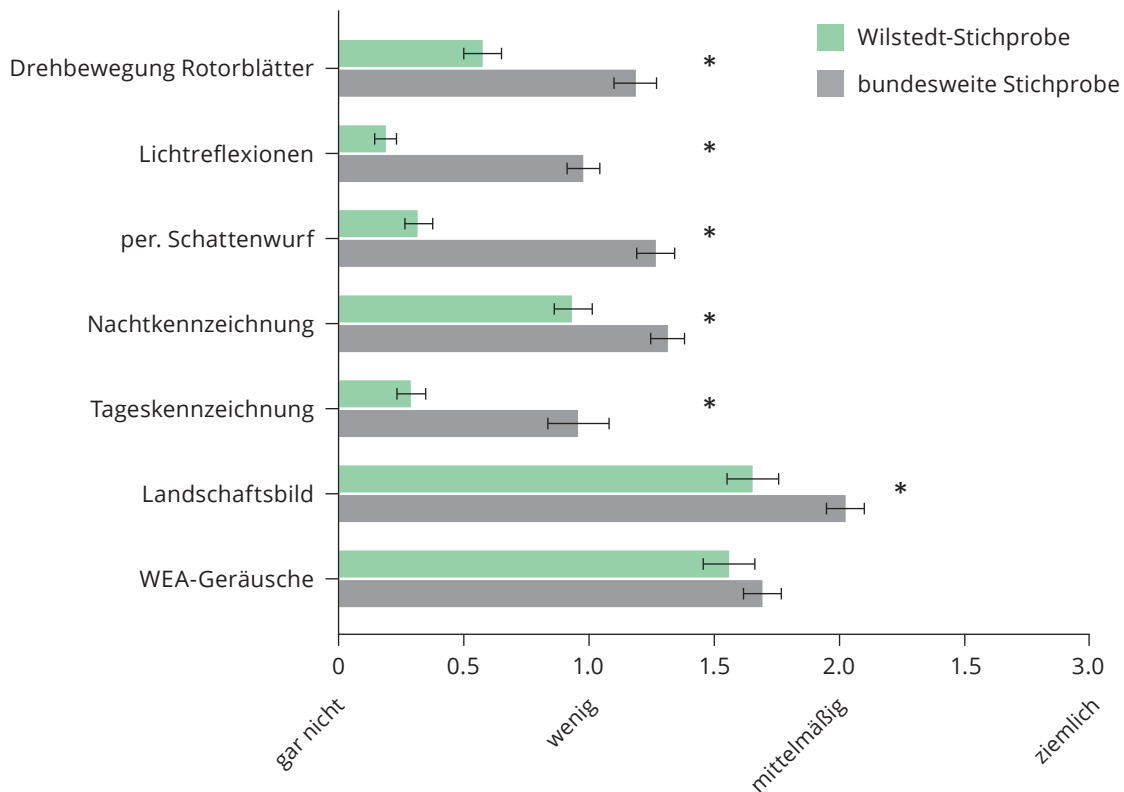


Abb. 4/23: Belästigung durch WEA-Emissionen der Wilstedter Stichprobe im Vergleich ($M \pm SEM$, Skala 0 - 4, * $p < .05$)

Fazit: Der Vergleich zeigt, dass Wilstedt bezüglich der Geräuschbelastigung ein typischer Fall ist und somit die Ergebnisse hierzu verallgemeinerbar sind. Die anderen WEA-Emissionsquellen wurden in Wilstedt positiver bewertet als in der Vergleichsstichprobe. Die Wilstedter Ergebnisse zu diesen anderen Quellen sollten also nicht verallgemeinert werden.

4.9 Workshop

Zum Abschluss des Projekts fand ein Workshop „WEA-Geräusche – Fakten und Lösungsansätze“ statt (DBU Zentrum für Umweltkommunikation, Osnabrück, 24.06.14), um Anregungen für die Praxis zu geben und zu erhalten. Der Workshop fand eine sehr positive Resonanz. Unter den rund 70 Teilnehmern waren Wilstedter Bürgerinnen und Bürger, Behördenvertreter, Ingenieure/Akustiker, Mitarbeiter von Consulting-Unternehmen, Universitäten, WEA-Herstellern, Planungsbüros und Betreibern.

Um die Studienergebnisse in bestehendes Wissen und Erfahrungen einordnen zu können, begann der Workshop mit Beiträgen eines Immissionschutzexperten (Delef Piorr, LANUV NRW), einer Planungsexpertin (Elisabeth Ferus, NWP), des Wilstedter Bürgermeisters (Traugott Riedesel) und des Windpark Betreibers (Dr. Klaus Meier, wpd). Anschließend informierten die Projektpartner über die Studienergebnisse, die sehr offen, angeregt und sachlich diskutiert wurden. Eine zentrale Rückmeldung war, dass die vorliegende empirische Untersuchung zur Geräuschbelastigung begrüßt wurde und zur Versachlichung der Debatte beitragen dürfte.

Am Nachmittag fanden zwei moderierte Arbeitsgruppen statt, in denen Lösungsansätze und Strategien zum Umgang mit der Geräuschproblematik diskutiert wurden, 1. zu technischen Anforderung an Problemanalyse, Monitoring und Lösungsansätze, 2. zum Umgang mit Öffentlichkeit und Presse sowie mit Bürgerfragen. In den Arbeitsgruppen gaben jeweils ein Projektpartner (Joachim Gabriel) oder Praxisexperten einen Impulsbeitrag, anschließend fanden offene Diskussionen statt. Die Praxisexperten waren Marlies Bahrenberg (Fachagentur Windenergie an Land), Bürgermeister Riedesel und Christoph Ströer (Naturstrom). Die Teilnehmer

fokussierten in ihrer Diskussion drei Themenbereiche, die aus ihrer Praxiserfahrung heraus zur nachhaltigen Entwicklung der Windenergie berücksichtigt werden sollten (siehe auch Seifert, 2014):

1. Dialog auf Augenhöhe: Planungs- und Entscheidungskriterien offenlegen, Zielgruppen in verständlicher Sprache aufklären, ausgewogenen und verlässlich über Vor- und Nachteile der WEA informieren. Ausgewogene Information wurde auch von der Presse eingefordert, die aus Sicht einiger Teilnehmer bevorzugt Argumente von Bürgerinitiativen gegen WEA berichtet. Die Hol- und Bringschuld der Prozessbeteiligten wurde unterschiedlich eingeschätzt – diskutiert wurde u. a., ob und wie eine veränderte Planungskultur mit den vorhandenen Ressourcen umgesetzt werden kann.

2. Partizipation: Empfohlenen wurde eine frühzeitige, informelle Bürgerbeteiligung im gesamten Planungsprozess. Seitens der Bürger wurde insbesondere gegenseitige Wertschätzung angemahnt, verbunden mit dem Wunsch, Bürgerbedenken nicht als Querulantentum abzuwerten.

3. Strategie: Um den Anforderungen eines partizipativen Planungsprozesses gerecht werden zu können, wurde empfohlen, externe Experten einzubeziehen. Um Information zu erhalten und Bürgeranliegen einbringen zu können, wurde auch das Engagement von Parteivertretern und Ortsvereinen eingefordert.

5 Diskussion und Empfehlungen

Mit der vorliegenden Studie wurden die Wirkungen von WEA-Geräuschen auf das Erleben und Verhalten von Windpark-Anwohnern erstmals umfassend und differenziert mit einem inter- und transdisziplinären Ansatz analysiert. Zudem ist sie die weltweit erste Untersuchung, die über eine einmalige Erhebung hinaus Stresseffekte durch WEA im zeitlichen Verlauf von 2 Jahren abbildet. Kombiniert wurden dazu sozial-, stresspsychologische und akustische Ansätze, die Auswertung von Betriebsdaten der WEA sowie eine Variation des Betriebsmodus. Diese Variation des Betriebsmodus ist neben einer Pilotstudie (Hoen et al., 2010) das zweite Feldexperiment, in dem überhaupt eine Geräuschminderungsmaßnahme systematisch evaluiert wurde.

Die Ergebnisse weisen nur für einen relativ geringen Prozentsatz der Anwohner eine starke Belästigung auf, der zudem im Verlauf der Untersuchung abnahm: Insgesamt ein Zehntel (9.9 %) war im Jahr 2012 stark belästigt, zwei Jahre später 6.8 %. Die WEA waren aber keinesfalls die stärkste lokale Lärmquelle – als störender erwies sich der örtliche Verkehrslärm, der 15.8 % stark belästigte. Wer zu diesen Gruppen stark Belästigter gehört, fühlte sich allerdings nicht nur mindestens mittelmäßig belästigt, sondern wies zudem Stresssymptome auf. Beide Lärmquellen – WEA wie Verkehr – führten zu einem vergleichbaren Symptommuster, das typisch ist für Lärmwirkungen (Minderung der Leistungsfähigkeit, Konzentration, sowie Auftreten von Gereiztheit/Ärger, negativer Stimmung und gestörtem Schlaf; Forschungsverbund Leiser Verkehr, 2013). Ein vergleichbares Muster zeigte sich bereits in einer früheren Studien zur Stresswirkung des Schattenwurfs von WEA und deren Geräuschwirkung (Pohl et al., 1999). Bezogen auf den gestörten Schlaf fand sich mit 4–6 % ein vergleichbar hoher Prozentsatz in der großen niederländischen Studie von Bakker und Kollegen – in dieser Studie zeigte sich ebenfalls mit 15 % einen vergleichbar hohen Prozentsatz von Symptomträgern aufgrund von Verkehr- und Maschinenlärm (Bakker et al., 2012).

Dieser Vergleich spricht für die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse. Weiterhin liegt der Prozentsatz durch WEA-Geräusche stark belästigter Anwohner in Wilstedt zwischen dem von Anwohner in der Schweiz (4.5 %; Hübner & Löffler, 2013) und in Schleswig-Holstein (15.7 %, Pohl et al., 1999). Der höhere Prozentsatz in der schleswig-holsteinischen Stichprobe dürfte durch die ältere Bauart der WEA sowie damalige Unterschiede in den Genehmigungsrichtlinien bedingt sein – die Schattenwurf-Richtlinie wurde auch aufgrund der Ergebnisse von Pohl und Kollegen zum Anwohnerschutz eingeführt. Dass die vorliegenden Ergebnisse keinen Sonderfall darstellen, belegt zusätzlich der Vergleich mit einer bundesweiten Stichprobe aus Anwohnern von 13 Windparks (Hübner & Pohl, 2010). Die vorliegenden Ergebnisse lassen also eine Verallgemeinerung zu.

Um besser als bisher zu verstehen, warum sich Anwohner mehr oder weniger stark durch die Emissionen der WEA belästigt fühlen, teilten wir die Anwohner in Untergruppen ein, je nach Wahrnehmung und Ausmaß der Belästigung. Die stark Belästigten zeigten im Vergleich zu allen anderen Gruppen die stärksten Stresswirkungen durch die WEA-Geräusche und eine insgesamt negativere Bewertung des Windparks. Es ist zu vermuten, dass die Belastung in der Planungsphase des Windparks begann und aufrechterhalten blieb. Diese Annahme wird gestützt durch die Befunde, dass diese Gruppe eine starke Belastung durch die Planungs-, Genehmigungs- und Bauphase sowie den Streit um den Windpark aufwies und 75 % von ihnen in der Vergangenheit aktiv oder passiv gegen den Windpark waren. Zudem erlebten sie stärker als andere eine Verschlechterung des Zusammengehörigkeitsgefühls in der Gemeinde und einen größeren Vertrauensverlust gegenüber dem Betreiber und Bürgermeister, was sie zusätzlich belastet haben dürfte. Die stark Belästigten wiesen eine vergleichsweise weniger positive kognitive Bewältigung hinsichtlich der WEA-Geräusche auf. Im Rahmen eines Stressbewältigungstrainings könnte

eine positive kognitive Bewältigung unterstützt werden, wie vorhandene Ansätze zeigen (Leventhall et al., 2008, 2012). Die Betroffenen gaben in unserer Studie jedoch nur ein geringes Interesse an einem derartigen, nachsorgenden Angebot an. Dringlich zu empfehlen ist vielmehr, die Planungs- und Bauphase möglichst positiv zu gestalten. Dazu sei an dieser Stelle auf die positiven Erfahrungen mit insbesondere der frühzeitigen, informellen Anwohnerbeteiligung verwiesen.

Auch informelle Beteiligung zu ermöglichen, führt nicht zu hundertprozentigen Erfolgen. Aber ohne ernsthafte Beteiligung dürften zusätzliche Probleme wahrscheinlicher werden. Denn wie auch die vorliegenden Ergebnisse belegen, ist häufig eine Mehrheit der Anwohner positiv gegenüber WEA eingestellt. Vorausgesetzt, ihren Anliegen wird Rechnung getragen. Eine immer wiederkehrende Anwohnersorge betrifft die Geräuschwirkung der WEA. In Wilstedt wurde auf die Anwohnerbeschwerden mit der vorliegenden Begleitstudie reagiert, deren Umsetzung und Ergebnisse auch zu einem Rückgang der Belästigung geführt haben dürften. So zeigten sich zwar im Untersuchungsverlauf von 2012 zu 2014 nur wenige Veränderungen in den Einschätzungen: Bei den mittelstark Belästigten nahm die Geräuschbelästigung geringfügig ab und die positive kognitive Bewältigung zu. Bei den stark Belästigten verringerte sich die Ablenkung durch die Geräusche, wenngleich sich das Misstrauensgefühl verstärkte. Als beutende Veränderungen sind aber die Verringerung des Prozentsatzes von Anwohnern mit Geräuschsymptomen von 10 % auf 7 % und der Rückgang der mittleren Anzahl der Symptome von 12 auf 3 zu werten. Die positiven Veränderungen führen wir – auch nach Gesprächen mit einigen Beschwerdeführern – darauf zurück, dass die Anwohner die Untersuchung und das Vorgehen begrüßten, es tatkräftig unterstützten und somit involviert waren. So zeichneten die Anwohner selbstständig die störenden Geräusche auf, die wir anschließend analysierten. Über Zwischenergebnisse informierten wir offen (Bürgerversammlung, Brief mit Ergebnisdarstellung) und plausible Erklärungen für die Geräuschbelästigung wurden angeboten und gemeinsam diskutiert (z. B. Amplitudenmodulation). Diese Beteiligung am Forschungsprozess mag zu den positiven Veränderungen beigetragen haben, denn die gemeinsam ermittelten Ergebnisse konnten Unsicherheiten und Interpretationsspielräume reduzieren und so wahrscheinlich indirekt die Geräuschbelästigung etwas mindern.

Für den in politischen Debatten immer wieder behaupteten Zusammenhang zwischen der Belästigung oder Akzeptanz von WEA und dem Abstand zum Wohnraum bietet die vorliegende Studie keinerlei empirische Evidenz: Das Ausmaß der Geräuschbelästigung war nicht abhängig vom Abstand zu den WEA und dem geschätzten Schallpegel. Auch in den Studien von Pohl et al. (1999), Hübner und Pohl (2010) und Hübner und Löffler (2013) war die Lästigkeit unabhängig vom Abstand. Dies deutet daraufhin, dass die bestehenden Immissionsschutzrichtlinien wirksam sind. Diese legen die Grenzen für zulässige Geräuschpegel fest, aus dem sich u. a. der einzuhaltende Abstand ergibt. Einen wichtigen Hinweis zur Problemanalyse erbrachte dagegen die akustische Analyse der störenden Geräusche, welche die Anwohner aufgenommen hatten: Eine Ursache der Geräuschbelästigung dürfte die Amplitudenmodulation (AM) sein, die die Entstehung bestimmter lästiger Geräuschmuster erklärt. Denn es ist plausibel, dass kurzzeitig auftretende Amplitudenänderungen die Aufmerksamkeit auf sich ziehen und somit aktuelles Verhalten stören können. Die Forschung hierzu sollte vertieft werden, um den Wirkmechanismus besser zu verstehen und technische Lösungsansätze zu entwickeln. Die in Wilstedt erprobte Veränderung des Betriebsmodus führte leider nicht zu dem Ziel, störende WEA-Geräusche zu vermindern. Aber auch wenn nur eine Minderheit der Anwohner stark durch WEA-Geräusche belästigt ist, sollten in weiteren Studien andere Maßnahmen wie z. B. der Einsatz von gezackten Blattprofilen erprobt werden.

Deutlich wurde, dass es nachweisbare störende Geräusche gibt, die aus akustischer Sicht mit der AM zusammenhängen, jedoch nicht mit Infraschall. Mit weiteren Studien zur AM von WEA-Geräuschen sollte die Datenbasis erweitert werden. Dazu sollte eine zu entwickelnde Langzeitmessstation eingesetzt werden, die kontinuierlich WEA-Schall und die Beschwerden der Anwohner aufzeichnet. Das Beispiel Wilstedt zeigt, dass Akzeptanz für wohnhausnahe Messstationen besteht, wenn sie der Problemlösung dienen.

Parallel zu der Schallerfassung sollten WEA-Daten und das Windgeschwindigkeitsprofil (LIDAR) hoch aufgelöst erfasst werden, um die Entstehungsmechanismen von AM besser zu verstehen und z. B. zu prüfen, ob die AM vom Windprofil abhängig ist. Ein weiterer interessanter Aspekt ist das Zusammenspiel der WEA in einem Windpark bei den sporadisch kurzen Modulationsperioden.

Offen ist z. B. die Frage, ob die AM durch den turbulenten Nachlauf oder das Zusammenspiel von mehreren WEA begünstigt wird. Aus der Zusammenschau von Meteorologie-, WEA- und Schalldaten können Erkenntnisse zur Entstehung von AM und mögliche Minderungskonzepte abgeleitet werden.

Wesentlich ist, dass der Erfolg von Minderungsstrategien nachweisbar wird. Dazu ist die Messbarkeit von AM mit einem adäquaten Bewertungswerkzeug eine Grundvoraussetzung. Der hier eingesetzte Algorithmus kann noch verbessert werden, da beispielsweise momentan nur die sinusförmige Modulation berücksichtigt wird. Zur Validierung z. B. der Bewertung von nichtsinusförmigen Modulationen und bei anderen Werkzeugmodifikationen in Richtung hin zu einem AM-Bewertungsstandard, sollten Hörversuche durchgeführt werden.

Insgesamt erscheint es vielversprechend, den hier präsentierten Forschungsansatz fortzuentwickeln, um den psychischen und akustischen Ursachen sowie deren Zusammenwirken bei der Entstehung und Aufrechterhaltung der WEA-Geräuschbelästigung noch differenzierter zu verstehen. In Replikationsstudien gilt es weiter aufzuklären, warum manche Personen stark durch WEA-Geräusche belästigt sind und andere nicht, auch im Vergleich zum Verkehrslärm. Auch sind die Langzeiteffekte weiter zu erkunden, z. B. ob und unter welchen Bedingungen es zu einer Gewöhnung oder Sensitivierung kommt. Um dem Einfluss auf den Schlaf genauer nachzugehen, wäre der Einsatz der Methode des ambulanten Schlafmonitorings nützlich. Denkbar wäre auch, die Forschung um seismologische Untersuchungen zu ergänzen, um die Übertragung tieffrequenten Schalls (< 100 Hz) durch Bodenschichten aufzuklären. Zwar erbrachten die Aussagen der Wilstedter-Stichprobe keine Hinweise auf Symptome, die auf tieffrequenten Schall hindeuten würden. Um den Bedenken der WEA-Gegner nachzugehen, empfiehlt sich dennoch eine weitere Untersuchung tieffrequenten Schalls von WEA. Vorschläge hierzu wurden in der Machbarkeitsstudie des Umweltbundesamtes dargelegt (Krahé et al., 2014). Insgesamt erscheinen die Einrichtung einer Dauermessstation für WEA-Geräusche sowie weitere Studien zur Wirkung auf Anwohner sinnvoll, im Sinne eines Homo Sapiens Monitorings. Sie wird von den Wissenschaftlern empfohlen und den Anwohnern befürwortet.

Abschließend ist festzuhalten, dass mit Hilfe des hier vorgestellten Forschungsparadigmas stark belästigte Personen und Erklärungsansätze für Belästigungsursachen identifiziert werden können. Dieser Ansatz ergänzt die bisherige Forschung, die eher epidemiologisch angelegt war (z. B. Pedersen & Persson Waye, 2004; Pedersen et al., 2009).

Die wichtigste, sofort umsetzbare Empfehlung ist, die Planungs- und Bauphase für die Anwohner von Seiten der Betreiber und Behörden positiv zu gestalten, um präventiv die Wahrscheinlichkeit für Beschwerden nach Errichtung des Windparks zu verringern. Dazu gehört auch, die Anwohner frühzeitig informell zu beteiligen und ihren Bedenken gerecht zu werden. Wenngleich mehr Anwohner durch Verkehrslärm als durch WEA stark belästigt sein dürften, ist eine weitere Verbesserung der WEA-Technologie wünschenswert. Denn auch die vorliegende Studie zeigt – Bürgerinnen und Bürger sind nicht nur zur Windenergie allgemein sondern auch vor Ort positiv eingestellt, wenn sie nachhaltig entwickelt wird.

6 Anhang

6.1 Literaturverzeichnis

- Abt, K. (1987). Descriptive data analysis: A concept between confirmatory and exploratory data analysis. *Methods of Information in Medicine*, 26, 77–88.
- Bakker, R., Pedersen, E., van den Berg, G., Stewart, R., Lok, W. & Bouma, J. (2012). Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress. *Science of the Total Environment*, 425, 42–51.
- Bortz, J. (1989). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Box, G. E. P. (1954). Some theorems on quadratic forms applied in the study of analysis of variance problems. II. Effects of inequality of variance and of correlation between errors in the two-way-classification. *Annals of Mathematical Statistics*, 25, 484–489.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale: Erlbaum.
- Felscher-Suhr, U., Guski, R. & Schuemer, R. (2000). Internationale Standardisierungsbestrebungen zur Erhebung von Lärmbelastigung. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 47, 68–70.
- Fields, J. M., de Jong, R. G., Gjestland, T., Flindell, I. H., Job, R. F. S., Kurra, S., Lercher, P., Vallet, M. & Yano, T. (2001). Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: Research and a recommendation. *Journal of Sound and Vibration*, 242, 641–679.
- Forsa (2012). *Umfrage zu Erneuerbaren Energien*. Berlin: Forsa.
- Forschungsverbund Leiser Verkehr (2013). *Bericht zur Situation der Lärmwirkungsforschung in Deutschland: Fokus Verkehrslärm*. Köln: Geschäftsstelle im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt.
- Gabriel, J. & Vogl, S. (2014). *Messungen und Datenanalysen im Forschungsvorhaben „Untersuchung der Beeinträchtigung von Anwohnern durch Geräuschemissionen von Windenergieanlagen“ (DEWI-RS14-00017-01)*. Wilhelmshaven: Deutsches Windenergie-Institut.
- Health Canada (2014). *Wind turbine noise and health study: Summary of results*. [<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/noise-bruit/turbine-eolien/summary-resume-eng.php>]
- Hoen, B., Eckholdt, H. & Wiser, R. (2010). *Assessing the impacts of reduced noise operations of wind turbines on neighbor annoyance: A preliminary analysis in Vinalhaven, Maine*. Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Hübner, G. & Löffler, E. (2013). *Wirkungen von Windkraftanlagen auf Anwohner in der Schweiz: Einflussfaktoren und Empfehlungen*. Halle (Saale): Institut für Psychologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Hübner, G. & Pohl, J. (2010). *Akzeptanz und Umweltverträglichkeit der Hinderniskennzeichnung von Windenergieanlagen*. Abschlussbericht zum BMU-Forschungsvorhaben (FKZ: 03MAP134). Halle (Saale): Institut für Psychologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Hübner, G. & Pohl, J. (2011). *Jein zum Netzausbau*. *Erneuerbare Energien*, 21(9), 30–33.
- Hübner, G., Pohl, J., Hahn, C. & Wienrich, C. (2012). *Fragebogen zur Akzeptanz der Offshore-Windenergienutzung der 3. Welle*. Halle (Saale): Institut für Psychologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Hübner, G., Pohl, J., Meinel, F., Schikora, K., Bovet, J., Duscha, M., Pehnt, M., Otter, P., Fehrenbach, H., Daum, J., Wiese, R., Schacht, V., Tetzlaff V., Brenner, G., Carstensen, B. & Kupfer, D. (2010). *Pilotstudie zur Akzeptanz vertikaler Windenergieanlagen: Kurzfassung des Abschlussberichts zum BMU-EE-Querschnitts-Forschungsvorhaben (FKZ: 0327644)*. Halle (Saale): Institut für Psychologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Hübner, G., Pohl, J. & Wienrich, C. (2009). *Fragebogen zur Akzeptanz der Offshore-Windenergienutzung der 1. Welle*. Halle (Saale): Institut für Psychologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

- Hübner, G., Pohl, J. & Wienrich, C. (2011). Fragebogen zur Akzeptanz der Offshore-Windenergienutzung der 2. Welle. Halle (Saale): Institut für Psychologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- ISO (1993). Acoustics: Attenuation of sound during propagation outdoors, 9613. Geneva, Switzerland: ISO.
- Janssen, S. A., Vos, H., Eisses, A. R. & Pedersen, E. (2011). A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. *Journal of the Acoustical Society of America*, 130, 3746–3753.
- Kirk, R. E. (1982). *Experimental design: Procedures for the behavioral sciences*. Belmont: Brooks/Cole.
- Krahé, D., Schreckenberger, D., Ebner, F., Eulitz, C. & Möhler, U. (2014). Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall: Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Ermittlung der Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. [www.umweltbundesamt.de/publikationen/machbarkeitsstudie-zu-wirkungen-von-infraschall]
- Leventhall, G., Benton, S. & Robertson, D. (2008). Coping strategies for low frequency noise. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 27, 35–52.
- Leventhall, G., Robertson, D., Benton, S. & Leventhall, L. (2012). Helping sufferers to cope with noise using distance learning cognitive behaviour therapy. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 31, 193–203.
- Nissenbaum, M. A., Aramini, J. J. & Hanning, C. D. (2012). Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health. *Noise & Health*, 14, 237–243.
- Pawlaczyk-Luszczynska, M., Dudarewicz, A., Zabrowski, K., Zamojska, M. & Waszkowska, M. (2013). Assessment of annoyance due to wind turbine noise. In *Acoustical Society of America (ed.) Proceedings of Meetings on Acoustics*, Vol. 19. Melville: Acoustical Society of America.
- Pedersen, E. (2007). Human response to wind turbine noise: Perception, annoyance and moderating factors. Göteborg: Göteborgs Universitet.
- Pedersen, E. & Larsman, P. (2008). The impact of visual factors on noise annoyance among people living in the vicinity of wind turbines. *Journal of Environmental Psychology*, 28, 379–389.
- Pedersen, E. & Persson Waye, K. (2004). Perception and annoyance due to wind turbine noise – a dose response relationship. *Journal of the Acoustical Society of America*, 116, 3460–3470.
- Pedersen, E. & Persson Waye, K. (2007). Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occupational and Environmental Medicine*, 64, 480–486.
- Pedersen, E. & Persson Waye, K. (2008). Wind turbines – low level noise sources interfering with restoration? *Environmental Research Letters*, 3, 1–5.
- Pedersen, E., van den Berg, F., Bakker, R. & Bouma, J. (2009). Response to noise from modern wind farms in the Netherlands. *Journal of the Acoustical Society of America*, 126, 636–643.
- Pedersen, E., van den Berg, F., Bakker, R. & Bouma, J. (2010). Can road traffic mask sound from wind turbines? Response to wind turbine sound at different level of road traffic sound. *Energy Policy*, 38, 2520–2527.
- Pohl, J., Faul, F. & Mausfeld, R. (1999). *Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen*. Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

- Pohl, J., Hübner, G. & Mohs, A. (2012). Acceptance and stress effects of aircraft obstruction markings of wind turbines. *Energy Policy*, 50, 592–600.
- Seifert, M. (2014). Eine Debatte mit Augenmaß: Der Workshop zu Geräuschen von Windenergieanlagen in Osnabrück. *Lärmbekämpfung*, 9, 239–240.
- Sheperd, D., McBride, D., Welch, D., Dirks, K. N. & Hill, E. M. (2011). Evaluating the impact of wind turbine noise on health-related quality of life. *Noise & Health*, 13, 333–339.
- Taylor, J., Eastwick, C., Wilson, R. & Lawrence, C. (2013). The influence of negative oriented personality traits on the effects of wind turbine noise. *Personality and Individual Differences*, 54, 338–343.
- TNS Emnid (2013). Umfrage zum Thema Erneuerbare Energien im Auftrag der Initiative Erneuerbare Energiewende jetzt! Bielefeld: TNS Emnid.
- Vogl, S. (2013). Erfassung und Bewertung von Amplitudenmodulation in Windenergieanlagen-geräuschen. Oldenburg: Bachelorarbeit, Institut für Hörtechnik und Audiologie der Jade Hochschule Wilhelmshaven-Oldenburg-Elsfleth.
- Wolsink, M., Sprengers, M., Keuper, A., Pedersen, T. H. & Westra, C. A. (1993). Annoyance from wind turbine noise on sixteen sites in three countries. Lübeck, Travemünde: Proceedings of the European Community Wind Energy Conference, March 8–12, pp. 273–276.

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 4/1: WEA-Geräuschwahrnehmung und -belästigung	19
Abb. 4/2: WEA-Geräuschbelästigung im Verlauf	19
Abb. 4/3: Belästigung durch lokale Geräuschquellen	20
Abb. 4/4: Globale negative Wirkungen des Windparks	21
Abb. 4/5: Globale Wirkung der WEA-Geräusche	21
Abb. 4/6: Ablenkung durch WEA-Geräusche im Verlauf	22
Abb. 4/7: Kognitive Bewältigung der WEA-Geräusche	22
Abb. 4/8: Modulationszeitverlauf mit starker Modulation über lange Zeit	24
Abb. 4/9: Modulationszeitverlauf mit sporadisch auftretender Modulation	24
Abb. 4/10: Ansatz zur Erklärung der Lästigkeit von AM	25
Abb. 4/11: Gefühle gegenüber dem Windpark	26
Abb. 4/12: Vorteile des Windparks	27
Abb. 4/13: Veränderung des Heimatgefühls und der Konflikte durch den Windpark	27
Abb. 4/14: Übereinstimmung der Meinung zum Windpark mit anderen Personen	28
Abb. 4/15: Bewertung der Strom-, Wärmegewinnung	29
Abb. 4/16: Bewertung verschiedener Windenergienutzungsarten	30
Abb. 4/17: Bewertung der Planungs- und Bauphase des Windparks	31
Abb. 4/18: Veränderung des Vertrauens in Akteure seit Errichtung des Windparks	31
Abb. 4/19: Wünsche bezogen auf die Anzahl von WEA in der Umgebung	32
Abb. 4/20: Wünsche bezogen auf den Windpark	32
Abb. 4/21: Häufigkeit der WEA-Geräuschbelästigung bei Tag und Nacht – Modus IV	34
Abb. 4/22: Mittlere Windgeschwindigkeit bei Tag und Nacht – Modus IV	34
Abb. 4/23: Belästigung durch WEA-Emissionen der Wilstedter Stichprobe im Vergleich	36

6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3/1: Soziodemografische Merkmale – Teilnehmer und Drop-Outs im Vergleich	15
Tabelle 3/2: Einstellungen und Belästigungen – Teilnehmer und Drop-Outs im Vergleich	15
Tabelle 4/1: Prozentsätze der mindestens einmal pro Monat durch WEA-Geräusche oder Verkehrslärm ausgelösten Symptome	23
Tabelle 4/2: Moderatoren (Pearson-Korrelationen mit WEA-Geräuschbelästigung insgesamt; 2012)	33

6.4 Abkürzungsverzeichnis

AM	Amplitudenmodulation
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DEWI	Deutsches Windenergie-Institut
ICBEN	International Commission on Biological Effects of Noise
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organisation for Standardisation
LED	Licht emittierende Diode
Leq	äquivalenter Dauerschallpegel
LSD t-Test	Least Significant Difference t-Test
M	arithmetischer Mittelwert
MLU	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
SEM	Standardfehler des Mittelwerts
SD	Standardabweichung
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TA Lärm	Technische Anleitung Lärm
UBA	Umweltbundesamt
WEA	Windenergieanlagen
wpd	wind project development

Impressum

Abschlussbericht zum Projekt
„Untersuchung der Beeinträchtigung von Anwohnern
durch Geräuschemissionen von Windenergieanlagen
und Ableitung übertragbarer Interventionsstrategien
zur Verminderung dieser“.

Die Verantwortung für die Inhalte dieses Berichts
liegt bei den AutorInnen.

Der vorliegende Bericht ist als PDF-Datei
freierfügbar unter: <http://www.dbu.de>

Kontakt:

Prof. Dr. Gundula Hübner

AG Gesundheits- und Umweltpsychologie
Institut für Psychologie
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
06099 Halle (Saale)
gundula.huebner@psych.uni-halle.de

Dr. Johannes Pohl

AG Gesundheits- und Umweltpsychologie
Institut für Psychologie
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
06099 Halle (Saale)
johannes.pohl@psych.uni-halle.de

Layout: Christian Günther, Sven Lutzack