

Verbundprojekt:
**Objektive Kriterien zu Erschütterungs- und
Schallemissionen durch Windenergieanlagen im
Binnenland**

Akronym/Kurzbezeichnung:
TremAc

FKZ: 0325839F und 0325839E

Förderzeitraum: 01.02.2016 – 31.07.2019

Schlussbericht zu den Teilvorhaben

Umweltpsychologische Analyse der Windenergie-Immisionswirkungen auf Akzeptanz und Wohlbefinden der
Anwohner

Dr. Johannes Pohl^{1, 2} & Prof. Dr. Gundula Hübner^{1, 2}

¹Institut für Psychologie, Arbeitsgruppe Umwelt- und Gesundheitspsychologie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU); ²MSH Medical School Hamburg

und

Umweltmedizinische Analyse der Wirkung von Windenergieanlagen auf Gesundheit und Wohlbefinden von
Anwohnern/innen

Dr. Michaela Liebig-Gonglach & Prof. Dr. Claudia Hornberg

*Fakultät für Gesundheitswissenschaften; Arbeitsgruppe 7 Umwelt & Gesundheit,
Universität Bielefeld (UBI)*

Halle (Saale) und Bielefeld, 31. Januar 2020

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



**UNIVERSITÄT
BIELEFELD**
Fakultät für
Gesundheitswissenschaften

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzdarstellung.....	8
I.1	Aufgabenstellung, Ziele der Teilvorhaben.....	8
I.1.1	Teilziele MLU.....	8
I.1.2	Teilziele UBI.....	9
I.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	10
I.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	11
I.3.1	Arbeitspakete MLU.....	11
I.3.2	Arbeitspakete UBI.....	11
I.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	12
I.4.1	Belästigung/Akzeptanz von WEA (MLU).....	12
I.4.2	Gesundheitliche Effekte von tieffrequenten WEA-Schall-Immissionen.....	15
I.4.2.1	Kenntnisstand der physiologischen Wirkung von tieffrequentem Schall.....	15
I.4.2.2	Studienlage zu gesundheitlichen Beschwerden bei WEA-Anwohnern/innen.....	16
I.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	17
II.	Eingehende Darstellung.....	18
II.1	Ergebnisse im Einzelnen, Zielerreichung.....	18
II.1.1	Untersuchungsaufbau und Stichproben.....	18
II.1.2	Umweltpsychologische Befragung und Auswertung (MLU AP E2.1).....	23
II.1.2.1	Akzeptanz- und Stressindikatoren, Moderatoren.....	23
II.1.2.2	Auswertung und statistische Methoden.....	25
II.1.2.3	Ergebnisse umweltpsychologische Befragung.....	26
II.1.2.4	Empfehlungen in Hinblick auf Akzeptanz und Gesundheitsschutz.....	44
II.1.3	Umweltmedizinische Befragung und Auswertung (UBI AP E2.2).....	45
II.1.3.1	Festlegung des umweltmedizinischen Forschungsdesigns und Anpassung des Fragebogeninventars (Teil-AP E1.2).....	46
II.1.3.2	Befragung von Anwohnern/innen und Auswertung der umweltmedizinischen Fragebögen (AP E 2.2).....	49
II.1.3.3	Rücklauf ausgefüllter Fragebögen als Datenbasis.....	50
II.1.3.4	Auswertung der umweltmedizinischen Fragebögen (Teil-AP E2.2.2).....	50
II.1.4	Akustische und mikroseismische Messungen im WEA-Umfeld und in Gebäuden	73
II.1.4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse Luftschallmessungen (AP-B3.2, SWE).....	73
II.1.4.2	Zusammenfassung der seismischen Messungen (AP C7.1, GPI).....	73
II.1.4.3	Zusammenfassung von Messungen in Gebäuden (AP C7.2, IBF).....	74
II.1.5	Vergleichende Zusammenführung von Befragungsergebnissen und Messungen (AP E3).....	75
II.1.5.1	Zusammenführung der Daten von Beschwerdeträgern/innen -Erstellung einer Analysematrix.....	75
II.1.5.2	Zusammenhang zwischen objektiven Immissionsparametern und subjektivem Gesundheitszustand.....	78

II.1.5.3 Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Belästigung und subjektivem Gesundheitszustand	79
II.1.6 Verallgemeinerungen und Schlussfolgerungen aus den Befragungen (AP E3)	80
II.2 Empfehlungen mit Blick auf Akzeptanz und Gesundheitsschutz (AP E4).....	83
III. Literaturverzeichnis.....	84
IV. Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	90
IV.1 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	90
IV.2 Nutzen und Verwertbarkeit	90
IV.3 Fortschritt bei anderen Stellen	90
IV.4 Veröffentlichungen.....	90

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AP	Arbeitspaket
BPF	<i>blade passing frequency</i> , Blattdurchgangsfrequenz
dB	Dezibel
DSGVO	Datenschutzgrundverordnung
EG	Energiegenossenschaft
GBB-24	Gießener Beschwerdebogen-24
GPI	Geophysikalisches Institut
GSS	WEA-Stressskala für Geräusche
GVB	Gesamtvorhabenbeschreibung
Hz	Hertz
IBF	Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KSK	körperlicher Summen-Score
LAT _{ges}	äquivalente A-bewerteter Dauerschalldruckpegel nach DIN ISO 9613-2
LED	Light Emission Diodes
M	arithmetischer Mittelwert
m	männlich
MLU	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
n	Stichprobengröße
N	Stichprobengröße
NIMBY	not-in-my-backyard
PSQI	Pittsburgh Schlafqualitäts-Index
PSK	Psychischer Summen-Score
r	Pearson-Korrelationskoeffizient
R ² adj.	adjustiertes R ² als Maß für die aufgeklärte Varianz
<i>rpm</i>	<i>rounds per minute</i> , Drehzahl
SD	Standardabweichung
SEM	Standardfehler des Mittelwerts
SF-12	<i>Short Form (SF)-12 Health Survey</i>
SSEQ	<i>Somatic Symptoms Experiences Questionnaire</i>
SWE	Stuttgarter Lehrstuhl für Windenergie
Tab.	Tabelle
TA Lärm	Technische Anleitung Lärm
TS	tiefrequente Symptome
TVB	Teilvorhabenbeschreibung
UBI	Universität Bielefeld
VIF	Variable Inflation Factor
w	weiblich
WEA	Windenergieanlage(n)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Soziodemografische Merkmale der Befragungsteilnehmer/innen aus Ingersheim, Wilstedt und der Referenzstichprobe (M, (SD), %).	20
Tabelle 2 Vergleich der Befragungs- und Kurzinterview-Teilnehmer/innen Ingersheim.	21
Tabelle 3 Vergleich der Befragungs- und Kurzinterview-Teilnehmer/innen Wilstedt.	22
Tabelle 4 Gefühle gegenüber den WEA (M, SEM, Skala 0-4).	26
Tabelle 5 Aktivitäten für oder gegen die WEA in der Planungsphase.	27
Tabelle 6 Wahrgenommene Vorteile der WEA (M, SEM, Skala 0 – 4).	27
Tabelle 7 Beurteilung des Planungs- und Bauprozesses (M, SEM, Skala 0 – 4).	29
Tabelle 8 Wahrnehmung von WEA-Geräuschen.	30
Tabelle 9 Belästigung durch WEA-Geräusche (M, SEM, Skala 0 – 4).	30
Tabelle 10 Belästigung durch WEA-Emissionen und den Verkehrslärm (M, SEM, Skala 0 – 4).	31
Tabelle 11 Globale Einschätzung der WEA-Geräusche (M, SEM, Skala –3 – +3).	31
Tabelle 12 Durch WEA-Geräusche mindestens einmal pro Monat ausgelöste Symptome mit einer Häufigkeit > 3 % in einer Stichprobe.	32
Tabelle 13 Durch WEA-Geräusche ausgelöste tieffrequente Symptome.	32
Tabelle 14 Prozentsätze der mindestens einmal pro Monat durch Verkehrslärm bzw. WEA-Geräusche ausgelösten Symptome mit einer Häufigkeit > 3 % in einer Stichprobe.	33
Tabelle 15 Maßnahmen zur Minderung der WEA-Geräuschwirkungen mit einer Häufigkeit > 3 % in einer Stichprobe.	34
Tabelle 16 Stark Belästigte durch WEA-Emissionen und Verkehrslärm.	35
Tabelle 17 Durch WEA-Geräusche stark Belästigte im Vergleich mit nicht stark Belästigten (M, SEM, %).	36
Tabelle 18 Durch WEA-Geräusche stark Belästigte mit vs. ohne tieffrequente Symptome (TS) (M, SEM, n).	38
Tabelle 19 Wilstedt im Zeitverlauf (M, SEM).	40
Tabelle 20 Korrelationen mit der WEA-Stressskala für Geräusche bei WEA-Geräuschwahrnehmern/ innen (r, p-Wert).	41
Tabelle 21 Korrelationen mit der Einstellung zu den lokalen WEA (r, p-Wert).	42
Tabelle 22 Vorhersage der Einstellung zu lokalen WEA.	43
Tabelle 23 Vergleich verschiedener Belästigungsindikatoren.	45
Tabelle 24 Übersicht der Elemente des umweltmedizinischen Fragebogens.	47
Tabelle 25 Geschlechter und Altersverteilung in der Stichprobe Ingersheim.	51
Tabelle 26 Geschlechter und Altersverteilung in der Stichprobe Wilstedt.	51
Tabelle 27 WEA-assozierte Symptome.	53
Tabelle 28 GBB-24 Beschwerdekompexe Beschwerdeträger/innen –Ingersheim.	54

Tabelle 29 GBB-24 Beschwerdekompexe Beschwerdeträger/innen – Wilstedt.....	55
Tabelle 30 Subjektive Schlafqualität Wilstedt.	57
Tabelle 31 Subjektive Gründe für schlechten Schlaf.....	59
Tabelle 32 Ergebnisse der SSEQ-Analyse für Wilstedt und Ingersheim.	64
Tabelle 33 Analyse-Matrix: Befragungsdaten von Beschwerdeträgern/innen	77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 PSQI-Score Ingersheim.	56
Abbildung 2 PSQI-Score Wilstedt.	58
Abbildung 3 SF-12: Psychischer (a) und körperlicher (b) Summen-Score der weiblichen Teilnehmerinnen der Ingersheim Stichprobe. Anwohnerinnen ohne und mit WEA-assozierten Beschwerden im Vergleich zur deutschen Normstichprobe von 1998. ..	60
Abbildung 4 SF-12: Psychischer (a) und körperlicher (b) Summenscore männlicher Teilnehmer der Ingersheim Stichprobe. Anwohner ohne und mit WEA-assozierten Beschwerden im Vergleich zur deutschen Normstichprobe von 1998.	61
Abbildung 5 SF-12: Psychischer (a) und körperlicher (b) Summenscore weiblicher Teilnehmerinnen der Wilstedt Stichprobe. Anwohnerinnen ohne und mit WEA-assozierten Beschwerden im Vergleich zur deutschen Normstichprobe von 1998. ..	62
Abbildung 6 SF-12: Psychischer (a) und körperlicher (b) Summenscore männlicher Teilnehmer der Wilstedt-Stichprobe. Anwohner ohne und mit WEA-assozierten Beschwerden im Vergleich zur deutschen Normstichprobe von 1998.	63
Abbildung 7 Lärmempfindlichkeit (Weinstein-Skala) – Ingersheim.....	65
Abbildung 8 Lärmempfindlichkeit (Weinstein-Skala) – Wilstedt.....	66
Abbildung 9 Analyse des Wohnumfelds der Ingersheim-Stichprobe.....	67
Abbildung 10 Belästigungsgrad durch Umweltstressoren bei den Befragten in Ingersheim in Prozent. n=109, Mehrfachantworten möglich, insgesamt N=2142 Antworten.....	68
Abbildung 11 Prozent der Belästigung durch Umweltstressoren in der Ingersheim-Stichprobe. n=109, N=51 Antworten Belästigte (=100%).....	68
Abbildung 12 Analyse des Wohnumfelds der Wilstedt-Stichprobe. Angabe von potentiellen Schallquellen im Wohnumfeld und freie Antwortmöglichkeiten (Sonstige). Anzahl der Befragten n=62, Mehrfachantworten möglich, insgesamt N=196 Angaben zum Wohnumfeld.....	69
Abbildung 13 Belästigungsgrad durch Umweltstressoren bei den Befragten in Wilstedt in Prozent. n=62, Mehrfachantworten möglich, insgesamt N=1234 Antworten.....	70
Abbildung 14 Prozent der Belästigung durch Umweltstressoren in der Wilstedt-Stichprobe. n=62, N=44 Antworten Belästigte (=100%).	71

Abbildung 15 Angaben zur Zufriedenheit mit der Wohnsituation in Ingersheim.....72
Abbildung 16. Angaben zur Zufriedenheit mit der Wohnsituation in Wilstedt. Anzahl der
Antworten zum a) Wohlfühlen in der Wohnung und b) Wohlfühlen im Wohnumfeld. .72

I. Kurzdarstellung

I.1 Aufgabenstellung, Ziele der Teilvorhaben

I.1.1 Teilziele MLU

Den Anteil der Windenergienutzung an der Stromversorgung zu fördern, ist ein erklärtes Ziel des 6. Energieforschungsprogramms, 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 Geräuschmissionen eingehalten werden. Zu den Ursachen der Geräuschbelästigung liegen bislang nur wenige Studien vor. In den letzten Jahren ist auf internationaler Ebene ein Zuwachs an Überblicksartikeln zur Geräuschproblematik zu verzeichnen (z. B. Colby et al., 2009; Ellenbogen et al., 2012; Knopper & Ollson, 2011; Schmidt & Klokke, 2014), was die Relevanz der Geräuschproblematik unterstreicht. Auch auf nationaler Ebene liegen erste Studienergebnisse vor. So zeigte eine vom Bundesumweltministerium sowie dem Land Schleswig-Holstein geförderte bundesweite Befragung von 420 Anwohnern/innen von 13 Windparks WEA-Geräusche nach der Veränderung des Landschaftsbildes als zweitstärkste Belästigungsquelle auf – deutlich stärker als die Belästigung durch periodischen Schattenwurf, Rotorbewegung oder Hinderniskennzeichnung (Hübner & Pohl, 2010; Pohl et al., 2012). Dieser Befund wurde in einer aktuellen internationalen (Hübner et al., 2019a) und einer älteren nationalen Studie bestätigt (Pohl et al., 2014, 2018). In letzterer von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Studie wurde zudem erstmals systematisch die subjektive Geräuschwahrnehmung der Anwohner/innen mit physikalischen Schallmessungen vor Ort verknüpft. Rund 10 % der Anwohner/innen waren stark belästigt. Als eine Beschwerdeursache wurden tieffrequente amplitudenmodulierte WEA-Geräusche ermittelt. Zur Ursachenanalyse waren den Anwohner/innen Audiorekorder zur Aufzeichnung lästiger Geräusche zur Verfügung gestellt worden, die vom Deutschen Windenergie Institut (UL International GmbH) ausgewertet wurden.

In den bisherigen Studien zum Anwohnerbefinden sowie der Akzeptanz lokaler WEA konnten bisher jedoch keine Messungen zu tieffrequentem und Infraschall bzw. Erschütterungsemissionen durchgeführt werden. Entsprechend lagen bisher keine empirisch belastbaren Ergebnisse zu dieser Thematik vor. Allerdings treten insbesondere Initiativen von Windkraftgegnern/innen aber auch besorgte Anwohner/innen teilweise vehement gegen WEA auf, da sie gesundheitsbeeinträchtigende Wirkungen durch Infraschall und Erschütterungen als gegeben annehmen. Da bislang keine wissenschaftlich belastbaren Untersuchungen zur genannten Problematik vorliegen, kann auf die vorgebrachten Behauptungen nur mit Annahmen und theoretischen Abwägungen begegnet werden. Angeprangert werden insbesondere Gesundheitsschäden durch von WEA verursachten Infraschall. Bislang fehlen Feld-Untersuchungen, in denen tieffrequente und Infraschallmessungen mit umweltpsychologischen und -medizinischen Erhebungen in Beziehung gesetzt werden.

Ziel des vorliegenden Teilvorhabens war es, diese Forschungslücke mit einem inter- und transdisziplinären Forschungsansatz zu schließen und mit empirisch belastbaren Daten zur Versachlichung der Diskussionen um Akzeptanz und gesundheitliche Auswirkungen von WEA beizutragen. Unterstützt werden können damit die Akzeptanz der WEA und ein möglichst nachhaltiger Ausbau der Windenergie. Das Forschungsprogramm liegt im Schnittbereich der

Interessen von Anlagenentwicklern/innen, Betreibern/innen, Anwohnern/innen und Wissenschaftlern/innen.

Das Gesamtprojekt beinhaltete mehrere in der Förderbekanntmachung zum 6. Energieforschungsprogramm genannte Schwerpunkte, insbesondere zur Forschung für eine umweltschonende und zuverlässige Energieversorgung. Im Gesamtprojekt stand „die Entwicklung und Standardisierung von Methoden und Modellen, Mess- und Bewertungsverfahren, um Umweltauswirkungen der Windenergienutzung auf Anwohner zu erfassen und Umweltrisiken beurteilen zu können“ im Vordergrund. Untersucht wurden dazu die objektive Infraschall- und Erschütterungsbelastung benachbarter Anwohner/innen sowie deren Wahrnehmung von Belastungen. Im Mittelpunkt dieses Teilprojekts standen die Anwohnerakzeptanz und Stresswirkungen von WEA und deren Zusammenhang mit den objektiven WEA-Immissionen.

Verfolgt wurden folgende Teilziele:

- Klärung des Ausmaßes der Akzeptanz von WEA und Stresswirkungen von WEA, insbesondere der Stresswirkungen im Zusammenhang mit WEA-Geräuschen und insbesondere tieffrequentem Schall und auch seismischen Wellen
- Vergleich von durch WEA-Geräusche und insbesondere tieffrequentem Schall stark belästigten Personen mit nicht stark belästigten anhand sozial-, umwelt- und stresspsychologischer Indikatoren sowie objektiver Parameter der Erschütterungs- und Schallmessungen
- Analyse umwelt- und sozialpsychologischer Variablen und seismischer und Schallparametern als Faktoren, die zur WEA-Geräuschbelästigung beitragen
- Analyse von umwelt- und sozialpsychologischer Variablen und seismischer und Schallparametern als Faktoren, die zur Akzeptanz von WEA beitragen
- Ableitung von Empfehlungen aus umweltpsychologischer Perspektive zur Steigerung der Akzeptanz von WEA und Minderung möglicher Belästigungen durch WEA

I.1.2 Teilziele UBI

Um die Belange des vorbeugenden Gesundheitsschutzes beim Windenergieausbau in Deutschland stärker zu berücksichtigen und zur Entwicklung adäquater Risikokommunikations- und Dialogstrukturen, ist die Erhebung umweltmedizinischer Basisdaten notwendig.

Kernziel des umweltmedizinischen Teilvorhabens im Rahmen von TremAc ist es zu untersuchen, ob eine Assoziation von durch Windkraftanlagen (WEA) emittierten tieffrequenten Schall (inkl. Infraschall) mit adversen subjektiven Gesundheitsbeschwerden von Anwohnern/innen festgestellt werden kann.

Da bislang noch keine Studie den kausalen, zeitlichen Zusammenhang von Exposition (tieffrequenter Schall) und Outcome (gesundheitlichen Beschwerden) eindeutig nachweisen konnte, wird die gesundheitliche Relevanz von tieffrequenten WEA-Schall-Emissionen für Anwohner/innen noch immer kontrovers diskutiert.

Körperlichen Symptome, die von Betroffenen auf WEA-Schallimmissionen zurückgeführt werden sind oft unspezifisch und werden weder im Kontext des allgemeinen Gesundheitszustands der Betroffenen betrachtet noch bestehen genaue Kenntnisse über die lokal auftretenden Schall-Immissionen. Für die Erstellung einer Kausalkette ist es daher notwendig, die lokale Belastung der Betroffenen sicher einschätzen zu können. Auch die unzureichende Erfassung von relevanten Störgrößen (*Confoundern*) schränkt die Aussagekraft von gewonnenen Daten über gesundheitliche Beschwerden häufig erheblich ein.

Im Rahmen des TremAc-Vorhabens sollte nun die gesamte Kette von der Emissionsentstehung, Weiterleitung über die unterschiedlichen Ausbreitungspfade bis hin zu den Wohngebäuden bzw. zum Menschen mit seinen möglichen gesundheitlichen Folgen untersucht werden.

Die umweltmedizinische Analyse im Rahmen des TremAc-Vorhabens fokussierte dabei besonders auf die Analyse der möglichen Gesundheitsrelevanz von tieffrequentem und Infraschall. Als Ziel der umweltmedizinischen Befragung von Anwohnern/innen einer nahegelegenen WEA bzw. eines Windparks sollten u.a. (Gesundheits-) Daten gewonnen werden, die den allgemeinen Gesundheitszustand und die gesundheitsbezogene Lebensqualität der Anwohner/innen aufzeigen. Die Analyse von gehäuft auftretenden subjektiven körperlichen und psychischen Beschwerden sowie die Prüfung einer ggf. bestehenden psychosomatischen Mitbedingtheit stellten einen weiteren zentralen Schwerpunkt dar. Der von WEA emittierte tieffrequente Schall erreicht im Allgemeinen keine Schalldruckpegel, die das Gehör direkt schädigen, weshalb der Fokus der Analyse auf die WEA-assoziierten, extra-auralen¹ Wirkungen gelegt wurde. Das schloss alle vom Gehör unabhängigen Schallwirkungen auf den Organismus z. B. stressvermittelte Körperreaktionen ein. Die Prüfung von möglichen Zusammenhängen zwischen subjektiven WEA-assoziierten gesundheitlichen Auswirkungen und objektiven Parametern von Erschütterungs- und Schallmessungen (tieffrequenter Schall sowie Infraschall innerhalb und außerhalb von Wohngebäuden) erfolgte in Kooperation mit den Projektpartnern/innen des TremAc-Verbundes.

Als ein Ergebnis der Analyse sollte aus den zusammengeführten Daten ein (umfassender) Symptomkatalog erstellt werden, der mit tieffrequentem Schall assoziierte Symptome aufführt. Eine nähere (gesundheitliche) Charakterisierung von Betroffenen sollte zudem der Identifikation von möglichen vulnerablen Personen(-gruppen) dienen, die verstärkt unter tieffrequenten Schallimmissionen leiden. Dafür wurden zum einen modulierende und moderierende Faktoren erfasst, die gesundheitliche Effekte beeinflussen könnten und sowohl eine mögliche Fehlattri-buierung von Gesundheitsbeschwerden ausschließen als auch Ansätze zur Identifikation vorbeugender Maßnahmen zum Gesundheitsschutz liefern können.

Die umweltmedizinischen Befragungsergebnisse wurden im Kontext von Ergebnissen des Teilprojektes der Arbeitsgruppe für Umweltpsychologie von der Universität Halle Wittenberg (MLU) zur „Umweltpsychologischen Analyse der WEA-Immissionswirkungen auf Akzeptanz und Wohlbefinden der Anwohner“ sowie der Erschütterungs- und Infraschallmessungen in den Wohngebäuden der Befragten diskutiert.

Als Gesamtergebnis sollte die Ableitung und Formulierung umweltmedizinischer Bewertungen und Handlungsempfehlungen für den vorsorgenden Gesundheitsschutz im Kontext der durch WEA entstehenden Emissionen und Immissionen erfolgen, unter besonderer Berücksichtigung von subjektiver Gesundheit, Belästigung und der Akzeptanz von WEA.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Als Voraussetzung für die Durchführung des TremAc-Gesamtvorhabens galt die Auswahl einer Gemeinde in der Nähe eines Windparks oder einer WEA, bei dem bzgl. lästiger WEA-Geräusche, Befindlichkeitsstörungen oder gesundheitliche Beschwerden bei Anwohnern/innen aufgetreten sind. Laut Antragstellung war ursprünglich nur ein Windpark vorgesehen. Die Mittel und Ressourcen reichten jedoch aus, um einen weiteren WEA-Standort einzubeziehen, sodass Anwohnern/innen der WEA in Ingersheim und des Windparks Wilstedt untersucht werden konnten.

¹Aural [lat. auris 'Ohr'] = auf das Ohr bezogen

Die Teilvorhaben „Umweltpsychologische Analyse der Windenergie-Immissionswirkungen auf Akzeptanz und Wohlbefinden der Anwohner“ und „Umweltmedizinische Analyse der Wirkung von Windenergieanlagen auf Gesundheit und Wohlbefinden von Anwohnern/innen“ wurde gemeinsam durch die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Psychologie, Arbeitsgruppe Gesundheits- und Umweltpsychologie (MLU) und die Universität Bielefeld sowie den Kooperationspartnern dem Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik (IBF) und dem Geophysikalisches Institut (GPI) vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie vom Stuttgarter Lehrstuhl für Windenergie (SWE) durchgeführt.

Für die Durchführung der Anwohner/innen-Befragungen konnte auf Erfahrungen aus bisherigen Arbeiten der Arbeitsgruppe 7 Umwelt und Gesundheit der UBI sowie die Forschungen der MLU zum Thema Akzeptanz und Stresswirkungen von WEA zurückgegriffen werden.

Ein wesentlicher Baustein, der zum Gelingen des Vorhabens beigetragen hat, war zum einen die frühzeitige und enge Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern der ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen. Zudem war auch die Unterstützung des Vorhabens durch den Hersteller Enercon/WRD sowie durch die lokalen Anlagen-Betreiber, der Energiegenossenschaft Ingersheim und wpd in Wilstedt Voraussetzung für die erfolgreiche Projektdurchführung. Auch war die Bereitschaft der Anwohner/innen, an den Befragungen teilzunehmen, eine essentielle Voraussetzung für das Gelingen der umweltpsychologischen und -medizinischen Analysen.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

I.3.1 Arbeitspakete MLU

Die MLU war an folgenden Arbeitspaketen (AP) beteiligt:

AP E1.1: Entwicklung eines Fragebogeninventars für die Analyse der Akzeptanz, Häufigkeit und Ausmaß der Belästigung, psychischer Einflussgrößen der Akzeptanz und Belästigung; Abstimmung des Fragebogens und des Untersuchungsdesigns mit dem umweltmedizinischen Fragebogen der UBI

AP E2.1: Anwohnerbefragung und psychologische Auswertung

AP E2.1.1: Gewinnung von Befragungsteilnehmern/innen, Durchführung der Anwohnerbefragung

AP E2.1.2: Auswertung der psychologischen Fragestellungen

AP E3: Kombinierte Auswertung der umweltpsychologischen sowie der seismischen und akustischen Daten

AP E4: Erstellen einer Broschüre mit Empfehlungen zur Akzeptanzsteigerung und zum vorsorgenden Gesundheitsschutz

AP F1: Information der lokalen Bevölkerung zum Forschungsvorhaben und dessen Erkenntnissen

AP F2: Kommunikation der Erkenntnisse mit Wissenschaft und Behörden

AP F3: Entwicklung eines Lehrvortrags zur Akzeptanz und Stresswirkungen von WEA

I.3.2 Arbeitspakete UBI

Die Planung und Durchführung erfolgte angelehnt an die im Projektantrag genannten Arbeitspakete des Teilvorhabens.

Folgende Ziele der Arbeitspakete wurden im bewilligten Projektantrag definiert:

Teil-AP E1.2: Festlegung des umweltmedizinischen Forschungsdesigns und Anpassung des umweltmedizinischen Fragebogeninventars

Ziele des Arbeitspaketes

Weiterentwicklung des Forschungsdesigns und Anpassung an die ausgewählten Standorte, **Entwicklung eines Fragebogeninventars** für die Analyse umweltbezogener Gesundheitsstörungen

AP E2.2: Anwohnerbefragung und medizinische Auswertung

Arbeitsaufgabe: (Gewinnung von Befragungsteilnehmer/-innen durch MLU), Durchführung der Anwohnerbefragung, Auswertung der umweltmedizinischen Fragebögen

Teil-AP E2.1.1:

Rücklauf ausgefüllter Fragebögen als Datenbasis

Teil-AP E2.2.2

Kenntnis der Prävalenz körperlicher und psychischer Symptome aus umweltmedizinischer Sicht, Erstellung eines Symptomkatalogs

AP E3: Datenauswertung umweltmedizinischer Befunde

Arbeitsaufgabe: Datenanalyse

Ziele des AP E3: Erkenntnisse sammeln zum:

- Ausmaß der Belastung/Belästigung aus umweltmedizinischer Perspektive
- Zusammenhang zwischen gesundheitlichen Outcomes und den objektiven Parametern der Erschütterungs- und Schallmessungen, insbesondere hinsichtlich tieffrequentem Schall und Infraschall
- Zusammenhang zwischen Belästigung und subjektivem Gesundheitszustand
- Differenzierung von durch tieffrequentem Schall / Infraschall stark belästigten Personen von nicht belästigten anhand gesundheitlicher Outcomes und anhand objektiver Parameter der Erschütterungs- und Schallmessungen

AP E4: Empfehlungen zu Akzeptanz und Gesundheitsschutz

Arbeitsaufgabe: Erstellung gemeinsamer Empfehlungen zur Akzeptanzsteigerung und zum vorsorgenden Gesundheitsschutz

- Erstellung einer Broschüre mit Empfehlungen

Da unterschiedliche Standortbedingungen ggf. unterschiedliche Prävalenzen bedingen können, wurden die Befragungen an unterschiedlichen Standorten durchgeführt. Im Ort Wilstedt (Niedersachsen) handelte es sich zudem um eine Wiederholungsbefragung durch die Umweltpsychologie der Universität Halle-Wittenberg. Die in den Jahren 2012 und 2014 gewonnenen psychologischen Basisdaten wurden durch die umweltmedizinischen Daten ergänzt. Die Wiederholungsbefragung bietet einen ersten Ansatz zur Erfüllung der allgemeinen Forderung nach prospektiven Studien.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

I.4.1 Belästigung/Akzeptanz von WEA (MLU)

Die Akzeptanz der Windenergienutzung wird beeinflusst durch die erlebte Belästigung von WEA-Schallimmissionen. Nationale wie internationale Studien wiesen deutliche Zusammenhänge nach (Hübner & Pohl, 2010; Pawlaczyk-Luszczynska et al., 2013; Pedersen & Persson Wayne, 2004, 2008; Pohl et al., 1999). Ebenso hängt die Akzeptanz lokaler Windparks stark mit der WEA-Geräuschbelästigung zusammen, wie die Befunde eigener Studien der MLU belegen (Hübner & Pohl, 2010; Hübner et al., 2019a; Pohl et al., 1999, 2014; Hübner & Löffler,

2013): Je stärker die Geräuschbelastung, desto geringer ist die Akzeptanz lokaler WEA (Korrelationen zwischen -0.36 und -0.75). Ebenso weisen diese Studien auf einen Zusammenhang zwischen der Exposition und dem Wohlbefinden sowie der Akzeptanz der WEA hin. In den bisherigen Studien wurde der Zusammenhang mit den durch die Anwohner/innen wahrgenommenen Immissionswirkungen zwar miterfasst, jedoch wurden bislang weder in diesen noch anderen internationalen Studien sowohl Erschütterungsimmissionen als auch tieffrequente und Infraschallimmissionen erfasst. Entsprechend stand eine objektive Bewertung dieser Immissionen in Bezug auf die Akzeptanz und das psychische Wohlbefinden der Anwohner/innen aus. Eine vertiefende umweltpsychologische Analyse ist notwendig – auch, um Bürgeranfragen empirisch fundiert beantworten zu können. Denn neben der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes werden auf lokaler Ebene teilweise massive Bedenken und Beschwerden über Geräuschemissionen von WEA – in letzter Zeit v. a. zu tieffrequentem Schall und Infraschall – vorgebracht, obwohl die durch die TA Lärm vorgegebenen Grenzwerte für Geräuschimmissionen eingehalten werden.

Zu den Ursachen der Schallbelastung liegen bislang nur wenige Studien vor. So ist bislang unklar, in welchem Ausmaß und unter welchen situativen Bedingungen tieffrequenter Schall und Infraschall von WEA die Akzeptanz, das körperliche sowie psychische Wohlbefinden von Windpark-Anwohnern/innen beeinträchtigen und sogar Symptome auslösen können. In Einzelfallsammlungen (z. B. die Fallsammlung der Wind Vigilance for Ontario Communities (Krogh et al., 2011) oder der von Pierpont (2009)) wurde u. a. von Symptomen wie Kopfschmerzen, Schwindel, Gleichgewichtsstörungen, Tinnitus, Ohrendruck, Konzentrationsdefiziten, Reizbarkeit und Müdigkeit berichtet, die mit tieffrequentem Schall assoziiert wurden (Knopper & Ollson, 2011; Farboud et al., 2013). Diese Krankheitssymptome sind von Pierpont (2009) unter dem Begriff „Windturbinensyndrom“ zusammengefasst worden. Diese Studien sind jedoch methodisch zu kritisieren, da u. a. keine systematischen Untersuchungen möglicher anderer Erklärungsmöglichkeiten erfolgten. Zudem bleiben Anwohner/innen, die nicht be­lästigt sind, in diesen Studien unberücksichtigt. Abzuklären gilt daher weiterhin, ob WEA tatsächlich mit den angeführten Symptomen ursächlich in Zusammenhang stehen. Die aktuelle Langzeitstudie zum Windpark Wilstedt in Niedersachsen sowie eine schweizweite Querschnittstudie weisen zwar nur für eine Minderheit (10 % bzw. 5 %) Stresssymptome auf, die von den befragten Anwohnern/innen jedoch selbst auf die WEA zurückgeführt wurden (Pohl et al., 2014; Hübner & Löffler, 2013). Kombinierte umweltpsychologische und -medizinische Daten sowie objektive Messungen von tieffrequentem und Infraschall konnten bisher jedoch nicht erfasst werden. Zudem gibt es trotz des bereits 1996 von der WHO festgestellten Forschungsbedarfs (Berglund & Hassmen, 1996) mit Ausnahme der aktuellen Studie zum Windpark Wilstedt (Pohl et al., 2014) bislang keine Studien zu den Langzeiteffekten von tieffrequentem Schall, weder für WEA noch für andere tieffrequente Lärmquellen (Knopper & Ollson, 2011; Farboud et al., 2013).

Zwar gibt es eine Reihe von Studien, in denen die Gesundheitseffekte von tieffrequentem Schall untersucht wurden (z. B. Møller & Pedersen, 2011; Leventhall, 2003), jedoch können die hieraus gewonnenen Ergebnisse nicht ohne weiteres auf die Auswirkungen von Schallimmissionen von WEA übertragen werden. Denn im Gegensatz zu mechanischen tieffrequenten Schallquellen, sind die akustischen Emissionen von WEA breitbandig und aufgrund unterschiedlicher Windgeschwindigkeiten fluktuierend. Sie sind damit störender als gleichbleibende Geräusche (van den Berg, 2005). Die Effekte des spezifischen tieffrequenten Schalls durch WEA auf die Akzeptanz und Gesundheit sind bisher weitgehend unerforscht. Bislang gibt es nur wenige Querschnittstudien (z. B. Pedersen & Persson Waye, 2004, 2007; Pedersen, 2011;

Leventhall, 2009) und lediglich eine internationale Fall-Kontrollstudie (Sheperd et al., 2011), in welcher die Lebensqualität der exponierten Anwohner/innen untersucht wurde. Hinzu kommt, dass die Ergebnisse der Studien sehr widersprüchlich sind und aufgrund unterschiedlicher Messtechniken nicht miteinander verglichen werden können (Pedersen et al., 2009; Knopper & Ollson, 2011; Møller & Pedersen, 2011). Zu den Wirkungen von WEA auf Anwohner/innen, hierbei auch zu den WEA-Geräuschwirkungen und der Akzeptanz von WEA, liegen in Deutschland sowie der Schweiz die bereits erwähnten eigenen Studien vor, die einen sozial- und stresspsychologischen Untersuchungsansatz verfolgen (Hübner & Pohl, 2010; Pohl et al., 1999, 2012, 2014; Hübner & Löffler, 2013). Bei der Studie zum Windpark Wilstedt handelt es sich zudem um die bislang weltweit einzige Langzeitstudie, in der die Akzeptanz der WEA, Emissions- wie Immissionsmessungen, Betriebsdaten und psychische sowie somatische Gesundheitsindikatoren in Beziehung zueinander gesetzt wurden (Pohl et al., 2014). Wie bereits erwähnt, wies diese Studie starke Geräuschbelästigungen für eine Minderheit von 10 % der Anwohner/innen auf. Bei nur wenigen Teilnehmern/innen zeigten sich Hinweise auf tieffrequenten WEA-Schall: Druckgefühle im Zusammenhang mit den WEA hatten im Jahr 2012 8.5 %, Vibrationen im Körper 6.1 % der Teilnehmer/innen wahrgenommen. Dieser Anteil nahm über den Untersuchungszeitraum zudem ab (6.8 % bzw. 3.8 %). Die erlebte Belästigung steht im Zusammenhang mit der Einstellung zu den lokalen WEA: Stark belästigte Anwohner/innen sind gegenüber den lokalen WEA weniger positiv eingestellt als andere Anwohner/innen (Pohl et al., 2014; Hübner & Löffler, 2013). Eine Kausalität lässt sich hieraus allerdings nicht ableiten. Zusammenfassend ist zumindest festzuhalten, dass sowohl Lärmbelästigung als auch Schlafstörungen als Gesundheitseffekte mit den akustischen WEA-Emissionen in Zusammenhang stehen könnten.

Aus stresspsychologischer Sicht sind auch die situativen Bedingungen zu analysieren, unter denen es zur Schallbelästigung kommt, wie z. B. Sicht auf die WEA, Tageszeit, gestörte Tätigkeit. Weiterhin sind neben der Akzeptanz Faktoren wie z. B. finanzielle Beteiligung, Belastung während der Planungs- und Bauphase des Windparks oder die kognitive Bewältigung der Schallwirkung zu beachten, die die Lästigkeitseinschätzungen mitbestimmen (Hübner & Pohl, 2010; Pohl et al., 2012, 2014; Hübner & Löffler, 2013). Lässt sich empirisch der Nachweis für den Einfluss dieser Faktoren erbringen, so erweitern sich hierdurch die Möglichkeiten für Empfehlungen, um die Immissionswirkungen zu vermindern und damit die Akzeptanz zu steigern.

Hinsichtlich des weiteren Forschungsbedarfs zur Wirkung von WEA auf Anwohner/innen bestehen keine Zweifel, speziell beim Betrieb von WEA (z. B. Pohl et al., 2012, 2014; Tabassum-Abbasi et al., 2014; Bakker et al., 2012; Bolin et al., 2011; Salt & Hullar, 2010; Havas & Colling, 2011). Der Forschungsbedarf wird ebenfalls durch das aktuelle Gutachten des Umweltbundesamtes zu Infraschall unterstützt (Krahé, 2014). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Untersuchung möglicher Stresswirkungen durch tieffrequenten Schall von WEA von hoher Bedeutung für die Steigerung der Akzeptanz der Windenergie in Deutschland ist. Dies auch vor dem Hintergrund des weiteren Ausbaus der Windenergie. Je nach lokalen Abstandsregelungen steigt hierdurch die Anzahl möglicher betroffener Anwohner/innen an. Die aus der Studie gewonnenen Erkenntnisse sollen dazu dienen, weitere Handlungsempfehlungen zur Vermeidung von Stresswirkungen und zur Steigerung der Akzeptanz der Windenergie abzuleiten. 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 Schalldruckpegelgrenzen hinausgehen.

I.4.2 Gesundheitliche Effekte von tieffrequenten WEA-Schall-Immissionen

In Deutschland wird die zunehmende Nutzung alternativer Energiequellen wie der Windenergie von einem großen Anteil der Bevölkerung befürwortet. Allerdings wird der Ausbau der Windenergie vor Ort von vielen Bürgern/innen noch immer skeptisch gesehen (FA Wind 2018). Diese Skepsis beruht insbesondere auf der anhaltenden, kontroversen Diskussion über die möglichen Gesundheitsrisiken durch lärm- und schallassoziierte Belastungen. Im Fokus stehen dabei insbesondere Gesundheitsrisiken, die im Zusammenhang mit WEA-Schallimmissionen im tieffrequenten und Infraschall-Bereich bestehen könnten.

I.4.2.1 Kenntnisstand der physiologischen Wirkung von tieffrequentem Schall

Während die gesundheitlichen Effekte von hörbarem Lärm weitgehend wissenschaftlich ergründet und akzeptiert sind, werden mögliche Belastungen mit Schall im nicht hörbaren, tiefen Frequenzbereich aufgrund bzw. trotz fehlender Nachweise häufig als nicht gesundheitsgefährdend eingestuft. Es wird vielfach darauf verwiesen, dass Schallbelastungen, die unterhalb des Hörbereiches liegen, das Ohr nicht beeinflussen (LfU 2016). Allerdings gibt es Hinweise darauf, dass das menschliche Ohr, wenn es mit tieffrequentem oder Infraschall im niedrigen Schalldruckbereich exponiert wird, diesen wahrnehmen kann und eine neuronale Verarbeitung im Gehirn erfolgt (Salt und Lichtenhan 2011). In einer deutschen Studie konnten mithilfe bildgebender Verfahren Anzeichen einer Aktivierung bestimmter Hirnregionen infolge der Exposition mit Infraschall gezeigt werden. Diese Erkenntnis stützt die Theorie eines „unbewussten Hör-Pfades“ (Weichenberger et al. 2017). Auch Schwindelphänomene, die durch die Exposition der im inneren Ohr liegenden Gleichgewichtssensoren („Otolithen“) mit Frequenzen im Infraschall-Bereich verursacht werden können, werden in der Literatur diskutiert (Schomer et al. 2015).

Bisher herrscht aber prinzipiell noch Unklarheit darüber, ob und wie sich eine anhaltende oder intermittierende Exposition mit Schallwellen im nicht-hörbaren tiefen und Infraschall-Bereich auf das Hörorgan und das vestibuläre System des menschlichen Organismus auswirken. Auch ein sicherer Nachweis dafür, dass insbesondere eine dauerhafte Exposition individuell zu einer erhöhter Wahrnehmung führen kann, konnte bislang nicht erbracht werden (Salt und Hullar 2010). Zudem ist noch vollkommen offen, ob anatomische oder physiologische Besonderheiten für eine besondere Empfindlichkeit (Vulnerabilität) bei bestimmten Personen verantwortlich sein können (Salt und Hullar 2010).

Neben der auralen Wahrnehmung von tieffrequentem Schall über das Gehör sind die möglichen extra-auralen Wirkungen, die verschiedene Bereiche des Gesamtorganismus betreffen können, von Bedeutung. Es ist dringend erforderlich herauszufinden, welche Frequenzen wahrnehmbar sind und welche Resonanzphänomene diese Frequenzen ggf. im menschlichen Organismus z. B. im flüssigkeitsgelagerten Gehirn und Rückenmark oder den flüssigkeitsgefüllten Intercranialräumen auslösen können.

Die Analyse der, durch Schallwellen im tiefen Frequenzbereich und bei niedrigen Schalldruckpegeln ausgelösten, physiologischen Effekte im menschlichen Organismus bleibt allerdings schwierig. Die Erzeugung von isoliertem tieffrequentem Schall, d. h. die Erzeugung von spezifischen Frequenzen oder Frequenzbereichen lässt sich unter Laborbedingungen nur schwer umsetzen. Dafür ist nicht nur ein hoher technischer Aufwand erforderlich, sondern es bestehen auch besondere Anforderungen an den Labor- oder Messstandort. Da tieffrequenter Schall nur schwer „auszusperren“ ist, stellt die Auswahl des Messortes eine große Herausforderung dar, um mögliche Störquellen sicher auszuschließen.

Hinweise auf gesundheitliche Effekten durch tieffrequenten Schall wurden bisher insbesondere aus Beobachtungen im Hochexpositionsbereich im Bereich der Arbeitsmedizin abgeleitet. Da es sich dabei allerdings um Symptome handelt, die infolge tieffrequenter Schallbelastung bei sehr hohen Schalldruckpegeln auftreten (Tesarz et al. 1997), lassen sich diese nicht direkt auf die WEA-Expositionen, die für gewöhnlich keine hohen Schalldruckpegel erreichen, übertragen.

Es gibt aktuell also keine validen bzw. reproduzierten Ergebnisse aus Laborstudien, die auf potentielle Auswirkungen von andauernden oder intermittierenden Belastungen mit Schall im tiefen und Infraschall-Bereich auf das Ohr, das vestibuläre System oder andere potentielle Resonanzkörper im menschlichen Organismus bzw. auf einen Zusammenhang mit pathologischen Effekten hindeuten.

Dennoch gilt es zu bedenken, dass tieffrequenter Schall mit einem Schalldruckpegel unterhalb der Hörschwelle, prinzipiell wahrgenommen werden kann. Somit ist auch eine belastigende Wirkung von Schall im tiefen Frequenzbereich und bei niedrigen Schalldruckpegeln nicht generell auszuschließen, da auch tieffrequenter Schall, der nicht direkt gehört wird, eine Stressreaktion hervorrufen und sekundäre Gesundheitsbeschwerden auslösen könnte.

I.4.2.2 Studienlage zu gesundheitlichen Beschwerden bei WEA-Anwohnern/innen

Obwohl der kausale Zusammenhang von tieffrequenten Schallwellen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen beim Menschen aktuell noch nicht belegt werden konnte, beschrieben zahlreiche Beobachtungs- bzw. Querschnittsstudien sowie Einzelfallberichten (*Case-Reports*) gesundheitliche Beschwerden, die Anwohner/innen subjektiv auf tieffrequente Schallimmissionen von WEA zurückführen (Farboud et al. 2013; Knopper et al. 2014; Knopper und Ollson 2011; Pierpont 2010).

Die Aussagekraft der Studienergebnisse ist im Allgemeinen jedoch begrenzt, da es sich bei den beschriebenen gesundheitlichen Effekten, die auf tieffrequente und Infraschall-Belastungen zurückgeführt werden, meist um unspezifische Symptome wie Kopfschmerzen und Schlafstörungen handelt. Diese stellen zwar relevante Gesundheitseffekte dar, es kann aber nicht differenziert werden, ob diese Effekte auf die Wirkung tieffrequenter Schallwellen auf den Organismus zurückzuführen sind, oder sekundär durch Stress oder andere, von WEA-Emissionen unabhängige Ursachen ausgelöst wurden (Lane et al. 2016). Studienergebnisse deuten darauf hin, dass Schlafstörungen bei Anwohnern/innen häufig im Zusammenhang mit einer Belästigung durch hörbare WEA-Geräusche auftreten (Bakker et al. 2012) oder aufgrund von stressinduzierenden Existenzsorgen (Jalali et al. 2016).

Repräsentative Studien, die ein systematisches gesundheitliches Monitoring und parallele Immissionsmessungen bei Anwohnern/innen von WEA über einen längeren Zeitraum durchführen, gibt es bislang nicht. Die kausalen und temporären Zusammenhänge von Exposition und Outcome, d. h. von tieffrequenter Schallimmission und dem Auftreten gesundheitlicher Symptome, konnten bislang in keiner Studie eindeutig herausgestellt werden. Das liegt auch darin begründet, dass gesundheitliche Beschwerden von den Betroffenen zum Einen häufig retrospektiv mit der Inbetriebnahme der WEA in Verbindung gebracht werden und zum Anderen nur selten eine systematische Verknüpfung des subjektiven Erlebens der Anwohner/innen von WEA mit physikalischen Schallmessungen vor Ort erfolgte (Jalali, Nezhad-Ahmadi et al. 2016; McCunney et al. 2014). Außerdem werden meistens keine Angaben über die Erfassung von anderen potentiellen Ursachen bzw. von möglichen alternativen Schallquellen, die unabhängig von WEA eine Belästigung bei den Betroffenen auslösen könnte, gemacht (Lane et al. 2016).

Im Rahmen einer Studie aus Kanada wurde bspw. die Schlafqualität von mit Windrädern exponierten Anwohnern/innen in ländlicher Umgebung untersucht und mit Kontroll-Personen verglichen, die keine WEA im Wohnumfeld besaßen. Die Analyse von Schlaftagebüchern und die Untersuchung der nächtlichen Aktivität ergab keine Auffälligkeiten oder Unterschiede bei den Anwohnern/innen der Windenergieanlagen gegenüber Personen aus der Kontrollgemeinde (Lane et al. 2016). Aufgrund der kleinen Stichprobenzahl (n=12 und n=10 Kontrollpersonen) und zahlreicher nicht kontrollierter Störfaktoren, erlaubte diese Studie aber letztlich keine validen Rückschlüsse auf eine mögliche Beeinträchtigung des Schlafes durch WEA bei Anwohner/innen.

Um gesundheitliche Beschwerden zu identifizieren, die im Zusammenhang mit der Inbetriebnahme von WEA stehen, sind langfristig angelegte Beobachtungsstudien zielführend. Bislang gibt es aber nur einzelne Studienansätze, in denen Anwohner/innen vor bzw. seit der Inbetriebnahme eines Windparks über mehrere Jahre wissenschaftlich begleitet wurden.

In einer Studie aus Kanada wurden ein Längsschnitt-Studienansatz durchgeführt, indem Daten bei Anwohnern/innen vor und ein Jahr nach der Inbetriebnahme eines Windparks erhoben wurden (Jalali, Nezhad-Ahmadi et al. 2016). Neben der Messung von Immissionswerten im Innenraum der Häuser von Teilnehmern/innen (n=37) wurde in dieser Studie allerdings lediglich die Schlafqualität unter Berücksichtigung von psychologischen Faktoren, wie Sichtbarkeit und die Einstellung gegenüber den WEA, als Outcome analysiert (Jalali, Nezhad-Ahmadi et al. 2016). Trotz der kleinen Stichprobengröße der Studie zeigte sich erneut, dass die mit der Zeit aufgetretenen Schlafstörungen bei Anwohnern/innen der WEA klar mit einer negativen Einstellung gegenüber WEA, der Sichtbarkeit und Bedenken über den Wertverlust des Grundbesitzes korrelierten.

Auch in Deutschland wurde 2012 und 2014 im Rahmen einer Längsschnitterhebung die Akzeptanz von WEA in einer an einem Windpark gelegenen Gemeinde untersucht (Pohl et al. 2014), bei der die Forscher innerhalb von zwei Jahren zu zwei Zeitpunkten Befragungen der Anwohner/innen und parallele Lärmmessungen durchführten. In dieser Studie konnte zum einen gezeigt werden, dass sich generell nur ein kleiner Teil der Bevölkerung durch WEA-Geräusche (stark) belästigt fühlte und sich mit Verlauf der Studie die Anzahl der belästigten Anwohner/innen verringerte und die Einstellung gegenüber dem Windpark allgemein verbessert hatte. Die höhere Akzeptanz wurde auf die verbesserte Kommunikation und die damit einhergehende Senkung von Bedenken und Sorgen durch die wissenschaftliche Begleitung erklärt (Pohl et al. 2014, 2018).

Für eine valide Prävalenzabschätzung von Gesundheitseffekten durch tieffrequente WEA-Schallimmissionen fehlen demzufolge noch immer fundierte Kenntnisse. Es konnten bislang keine spezifischen Symptome oder Erkrankungen festgestellt werden, die in einen eindeutigen, kausalen Zusammenhang mit tieffrequenten Schallimmissionen, gebracht werden können. Evidenzen für gesundheitliche Folgen beschränken sich dabei im Wesentlichen auf unspezifische Schlafstörungen und ein generelles Belästigungsempfinden sowie den daraus resultierenden sekundäre Gesundheitsbeschwerden (van den Berg et al. 2008). Des Weiteren gibt es keine Kenntnisse über die Ursachen für eine Vulnerabilität gegenüber tieffrequenten Schallexpositionen.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Der Betreiber der Windenergieanlage (WEA) Ingersheim, die „Energiegenossenschaft Ingersheim und Umgebung eG“ (EG Ingersheim), unterstützte das Forschungsvorhaben bei der Durchführung von Messungen und Befragungen im Umfeld seiner WEA auf Grundlage einer Unterbeauftragung durch die Universität Stuttgart.

Die Universität Stuttgart hatte für diese Unterbeauftragung ein entsprechendes Budget vom Zuwendungsgeber erhalten.

Der Verbund kooperierte zudem mit der Forschungsabteilung *WRD Wobben Research and Development GmbH*, der Fa. Enercon Aurich. WRD war dem Projekt als Forschungspartner ohne öffentliche Förderung beigetreten und führte parallel zu den Hochschulen eigene und ergänzende Messungen an der WEA Ingersheim durch.

II. Eingehende Darstellung

II.1 Ergebnisse im Einzelnen, Zielerreichung

II.1.1 Untersuchungsaufbau und Stichproben

Untersuchungsplan: Befragt wurden Anwohner/innen der WEA Ingersheim und des bereits erwähnten Windparks Wilstedt. Für die Wilstedter/innen war es die dritte umweltpsychologische Befragung innerhalb von 6 Jahren (zu den Befragungen 2012 und 2014 siehe Pohl et al., 2014; Pohl et al., 2018). Bei jeweils zwei Haushalten beider Untersuchungsregionen gab es akustische und seismische Messungen durch das GPI. Um die Verallgemeinerbarkeit der Befunde zu prüfen, wurden die Daten aus Ingersheim und Wilstedt mit den Daten einer Referenzstichprobe verglichen. Diese setzt sich zusammen aus Anwohnern/innen von 13 deutschen und sieben schweizerischen Windparks (Hübner & Pohl, 2010; Hübner & Löffler, 2013; Pohl et al., 2012). Durch die Zusammenfassung zu einer Stichprobe verlieren spezifische lokale Besonderheiten an Einfluss und es tritt das Gemeinsame stärker hervor.

WEA Ingersheim: Die WEA befindet sich in der baden-württembergischen Gemeinde Ingersheim im Landkreis Ludwigsburg. Die WEA (Enercon E-82) besitzt eine Leistung von 2 MW und eine Gesamthöhe von 179 m. Sie steht auf einer Anhöhe von 300 m. Zur Tages-Hinderniskennzeichnung werden farbige Flügelmarkierungen verwendet, zur Nachtkennzeichnung sichtweiten-regulierte rote LED. Zum Zeitpunkt der Befragung war die WEA 5 Jahre und 11 Monate in Betrieb.

Für MLU und UBI gemeinsame Teilnehmergebung: In einem ersten Schritt wurden Anwohner/innen über Pressemitteilungen in lokalen Medien über das Projekt und die Möglichkeit informiert, an Interviews teilzunehmen sowie zu einer Bürgerversammlung am 15. Februar 2018 eingeladen. Auf der Bürgerversammlung wurde das Projekt vorgestellt und dazu aufgerufen, sich befragen zu lassen. Zusätzlich erfolgte ein Teilnahmeaufruf per Post. Insgesamt wurden in zwei Wellen 765 Briefe versandt; Adressen wurden im Umkreis von bis zu 2.5 km um die WEA zufällig aus dem öffentlichen Telefonbuch ausgewählt. Wenige Tage nach der Briefsendung wurde versucht, die Adressaten/innen telefonisch zu erreichen und für die Befragung zu gewinnen. Einige Probanden/innen meldeten sich direkt beim Forschungsteam z. B. während der Bürgerversammlung, an den Wochenenden vor Ort oder per E-Mail/Telefon. So konnten 115 Personen für einen Interviewtermin zu Hause gewonnen werden. Weitere 15 Personen nahmen an einer telefonischen Befragung mit verkürztem Fragebogen teil. 107 der angerufenen Anwohner/innen stimmten lediglich einem sofortigen Kurzinterview zu, in welchem insgesamt acht Fragen gestellt wurden, zur Sichtbarkeit und Hörbarkeit der WEA, Befürwortung von Windparks allgemein, Ablehnung/Befürwortung der WEA Ingersheim, Belästigung durch WEA-Geräusche und gesundheitliche Beschwerden in Verbindung mit der WEA. Die Datenerhebung vor Ort fand an zwei Wochenenden im März 2018 und einem Wochenende im April 2018 durch geschulte Interviewer/innen statt. Vor der Befragung unterzeichneten die Teilnehmer/innen eine Einwilligungserklärung nach der DSGVO (2018). Im Anschluss an die

persönlichen Interviews wurde den Teilnehmern/innen der umweltmedizinische Fragebogen der UBI übergeben, der selbstständig ausgefüllt und in einem beigefügten, frankierten Rückumschlag an die UBI zurückgesendet werden sollte.

Stichprobenmerkmale Ingersheim: Es wurden insgesamt 130 Personen befragt, 82 aus (Klein-, Groß-) Ingersheim, 34 aus Besigheim und 14 aus vier weiteren umliegenden Ortschaften. Die Befragten waren 21 bis 89 Jahre alt, im Mittel 62 Jahre. Männer nahmen geringfügig häufiger als Frauen teil (Tabelle 1). Mehrheitlich waren sie Immobilieneigentümer, verheiratet und hatten Kinder. Die Teilnehmer/innen wohnten durchschnittlich in Drei-Personenhaushalten und knapp drei Jahrzehnte vor Ort. Etwas weniger als die Hälfte war Rentner/innen oder im Ruhestand; rund 30 % waren Angestellte. Rund zwei Fünftel der Befragten arbeiteten Zuhause. Nur fünf Befragte gaben an, finanzielle Vorteile in Verbindung mit der WEA zu haben. 18 Befragte (13.8 %) waren Mitglied der Energiegenossenschaft Ingersheim. Die Teilnehmer/innen lebten durchschnittlich 1.74 km von der nächsten WEA entfernt. Von ihrem Grundstück aus sahen 70.0 % die WEA.

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, sichtweiten-regulierte rote LED. Zum Zeitpunkt der dritten Befragung war der Windpark 9 Jahre und 9 Monate in Betrieb. Zur Geräuschminderung besaßen alle WEA-Rotorblätter seit rund 1.5 Jahren Hinterkantenkämme („serrations“).

Für MLU und UBI gemeinsame Teilnehmergewinnung: In einem ersten Schritt wurde bei einer Bürgerversammlung am 11. Oktober 2018 über die Befragung informiert und zur Teilnahme aufgerufen. Danach erfolgte ein Teilnahmeaufruf per Post. Insgesamt wurden 400 Briefe versandt; an Anwohner/innen, die bereits an den Befragungen 2012 und 2014 teilgenommen hatten und einer erneuten Befragung zugestimmt hatten sowie an zufällig aus dem öffentlichen Telefonbuch ausgewählte Wilstedter Adressen. Wenige Tage nach der Briefsendung wurde versucht, die Adressaten/innen telefonisch zu erreichen und für die Befragung zu gewinnen. Einige Probanden/innen meldeten sich direkt beim Forschungsteam z. B. während der Bürgerversammlung, an den Wochenenden vor Ort oder per E-Mail/Telefon. So konnten 124 Personen für einen Interviewtermin gewonnen werden. Sechs Personen nahmen an einer telefonischen Befragung mit verkürztem Fragebogen teil. Weitere 43 der angerufenen Anwohner/innen stimmten lediglich einem sofortigen Kurzinterview zu. Die Datenerhebung vor Ort fand an zwei Wochenenden im November 2018 statt. Vor der Befragung unterzeichneten die Teilnehmer/innen eine Einwilligungserklärung nach der DSGVO und am Ende des Interviews erhielten sie den umweltmedizinischen Fragebogen der UBI zum selbständigen Ausfüllen und Rücksenden.

Stichprobenmerkmale Wilstedt: Es wurden insgesamt 130 Personen befragt, 124 aus Wilstedt, sechs aus drei umliegenden Ortschaften. Die Befragten waren 23 bis 90 Jahre alt, im Mittel 59 Jahre. Männer nahmen geringfügig häufiger als Frauen teil (Tabelle 1). Mehrheitlich waren sie Immobilieneigentümer/innen, verheiratet und hatten Kinder. Die Teilnehmer/innen wohnten durchschnittlich in Drei-Personenhaushalten und rund 25 Jahre vor Ort. Etwas mehr als 40 % der Teilnehmer/innen waren Angestellte, rund ein Drittel Rentner/innen oder im Ruhestand. Etwas mehr als ein Drittel der Befragten arbeitete Zuhause. Nur sechs Befragte gaben an, finanzielle Vorteile in Verbindung mit der WEA zu haben. Die Teilnehmer/innen lebten durchschnittlich 2.00 km von der nächsten WEA entfernt. Von ihrem Grundstück aus sahen sie im Mittel rund drei WEA ($M = 3.25$, $SD = 3.28$). Von den 130 Personen hatten 58 an alle drei Befragungen teilgenommen (2012, 2014, 2018).

Tabelle 1 Soziodemografische Merkmale der Befragungsteilnehmer/innen aus Ingersheim, Wilstedt und der Referenzstichprobe (M, (SD), %).

Merkmal	Stufen	Ingersheim (N = 130)	Wilstedt (N = 130)	Referenz (N = 890)
Alter [Jahre]		61.77 (12.58) (21 – 89)	58.64 (12.13) (23 – 90)	51.69 (14.93) (18 – 93)
Geschlecht	männlich	59.2 %	57.4 %	51.9 %
	weiblich	40.8 %	42.6 %	48.1 %
Beruf	Angestellte	30.5 %	42.2 %	30.0 %
	Beamte	6.3 %	3.9 %	7.9 %
	Selbständige	12.5 %	14.1 %	9.8 %
	Rentner/im Ruhestand	45.3 %	33.6 %	23.3 %
Familienstand	verheiratet	86.2 %	78.5 %	69.0 %
	ledig	5.4 %	5.4 %	11.2 %
	verwitwet	5.4 %	6.2 %	4.9 %
Kinder		83.8 %	86.2 %	49.9 %
Personen im Haushalt		2.59 (1.22)	2.59 (1.21)	2.88 (1.36)
Wohndauer [Jahre]		28.35 (15.73)	25.20 (14.72)	21.04 (15.99)
Wohnart	Mieter	3.1 %	8.1 %	22.5 %
	Eigentümer	96.9 %	91.9 %	77.5 %
Finanzielle Vorteile durch WEA		3.8 %	4.6 %	2.1 %
Arbeit von Zuhause aus		13.8 %	36.1 %	31.4 %
Abstand zur nächsten WEA [km]		1.74 (0.43) (0.43 – 2.64)	2.00 (0.36) (1.42 – 2.78)	1.76 (1.14) (0.23 – 16.25)

Anwohnerstichproben im Vergleich – Ingersheim und Wilstedt

Das Durchschnittsalter der Befragungsteilnehmer/innen in Ingersheim war etwas, aber nicht signifikant höher als das der Wilstedt-Anwohnerstichprobe. Das Geschlechterverhältnis der Ingersheim-Anwohnerstichprobe entsprach in etwa dem der Wilstedt-Stichprobe. Die Teilnehmer/innen der Befragung in Ingersheim wohnten im Mittel ca. 300 m näher an der WEA als die Befragten in Wilstedt am Windpark (mittlere Effektstärke). Geringfügig weniger Befragungsteilnehmer/innen in Ingersheim hatten Sicht auf die WEA als Befragungsteilnehmer/innen in Wilstedt (70.0 % versus 75.4 %).

Anwohnerstichproben im Vergleich mit der Referenzstichprobe

Das Durchschnittsalter der Befragungsteilnehmer/innen in Ingersheim war im Mittel rund 10 Jahre höher als das der Referenzstichprobe (mittlere Effektstärke). Während in Ingersheim etwas mehr Männer an der Befragung teilnahmen, war das Geschlechterverhältnis in der Referenzstichprobe fast ausgeglichen. Im Mittel lebten in Ingersheim geringfügig weniger Personen in einem Haushalt als in der Referenzstichprobe (kleine Effektstärke). Die Ingersheim-Befragten wohnten im Mittel länger vor Ort als die Befragten der Referenzstichprobe (kleine Effektstärke). Beide Teilnehmergruppen wohnten im Mittel etwa gleich weit entfernt von der bzw. den WEA. Relativ mehr Befragungsteilnehmer/innen der Referenzstichprobe hatten Sicht auf die WEA als Befragungsteilnehmer/innen aus Ingersheim (85.2 % vs. 70.0 %, kleine Effektstärke).

Das Durchschnittsalter der Befragungsteilnehmer/innen in Wilstedt war 7 Jahre höher als das der Referenzstichprobe (mittlere Effektstärke). Während in Wilstedt etwas mehr Männer an der Befragung teilnahmen, war das Geschlechterverhältnis in der Referenzstichprobe fast ausgeglichen. Die Teilnehmer/innen der Befragung in Wilstedt wohnten im Mittel rund 300 m weiter entfernt von den WEA als die Befragten der Referenzstichprobe (kleine Effektstärke). Befragungsteilnehmer/innen in Wilstedt schauten im Mittel auf weniger WEA als Befragungsteilnehmer/innen der Referenzstichprobe (M = 3.25, SD = 3.28 vs. M = 4.85, SD = 6.79, kleine Effektstärke).

Fazit: Die genannten Unterschiede beim Vergleich der drei Stichproben beeinträchtigen nicht die Interpretation der Ergebnisse zu den zentralen Fragestellungen, da Alter, Wohndauer, Entfernung und Sichtbarkeit als mögliche Moderatorvariablen berücksichtigt wurden.

Anwohnerstichprobe Ingersheim im Vergleich mit dortigen Kurzinterview-Teilnehmer/innen

Die Befragungsteilnehmer/innen in Ingersheim unterschieden sich hinsichtlich der demographischen Merkmale Alter und Geschlecht nicht bedeutsam von den Kurzinterview-Teilnehmern/innen (Tabelle 2). Ebenso gab es keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der allgemeinen Befürwortung von Windparks, WEA-Geräuschbelästigung und Stresserleben in Verbindung mit der WEA. Bedeutsame Unterschiede gab es in zwei Variablen: Die Befragungsteilnehmer/innen befürworteten im Mittel die lokalen WEA etwas stärker (kleine Effektstärke) und wohnten rund 170 m näher an der WEA (mittlere Effektstärke) als die Kurzinterview-Teilnehmer/innen. Im Vergleich mit den Kurzinterview-Teilnehmern/innen konnten weniger Befragungsteilnehmer/innen die WEA-Geräusche hören. Befragungsteilnehmer/innen hatten relativ häufiger Sicht auf die WEA als Personen des Kurzinterviews (mittlere Effektstärke). Insgesamt ist festzuhalten, dass mehr Personen mit positiverer Einstellung zur WEA an der Befragung teilgenommen hatten.

Tabelle 2 Vergleich der Befragungs- und Kurzinterview-Teilnehmer/innen Ingersheim.

	Befragungsteilnehmer/innen M (SD), %	Kurzinterview-Teilnehmer/innen M (SD), %	p-Wert	Cohens d, w (Effektstärke)
Alter	61.77 (12.58)	64.86 (16.09)	.108	
Geschlecht	59.2 % (m) 40.8 % (w)	60.0 % (m) 40.0 % (w)	.905	
WEA-Ablehnung vs. WEA-Zustimmung	1.96 (1.81)	1.37 (2.01)	.020	0.309 (klein)
allgemeine Befürwortung von WP	3.00 (0.97)	3.01 (1.19)	.948	
Hören der WEA	21.5 %	31.8 %	.074	
WEA-Geräuschbelästigung	0.36 (1.01)	0.17 (0.61)	.077	
WEA-Stressskala für Geräusche	0.51 (1.14)	0.42 (0.71)	.475	
Sicht auf WEA	70.0 %	34.6 %	< .0001	0.353 (mittel)
Abstand zur nächsten WEA [m]	1736 (426)	1901 (330)	.001	0.433 (mittel)

Anwohnerstichprobe Wilstedt im Vergleich mit dortigen Kurzinterview-Teilnehmer/innen

Die Befragungsteilnehmer/innen in Wilstedt wiesen im Mittel ein vergleichbares Alter wie die Kurzinterview-Teilnehmer/innen auf (Tabelle 3). Es zeigte sich ein umgekehrtes Geschlechterverhältnis. Während bei der Befragung mehr Männer als Frauen teilnahmen, überwog bei den Kurzinterview-Teilnehmern/innen der Anteil der Frauen (kleine Effektstärke). Bei den Fragen zur Einstellung und Belästigung gab es keine statistisch bedeutsamen Unterschiede in folgenden wichtigen Merkmalen: Ablehnung vs. Zustimmung des Windparks, allgemeine Befürwortung von Windparks, WEA-Geräuschbelästigung. Die Stärke des Geräusche-Stresserlebens war im Mittel niedrig. Befragungsteilnehmer/innen berichteten im Mittel ein etwas stärkeres Stresserleben als die Kurzinterviewteilnehmer/innen (mittlere Effektstärke). Rund drei Viertel der Befragungsteilnehmer/innen hatte Sicht auf WEA (75.4 %), während es bei den Kurzinterview-Teilnehmern/innen gut die Hälfte war (52.4 %, kleine Effektstärke). Jedoch war der Unterschied in der Anzahl der sichtbaren WEA statistisch vernachlässigbar, wie auch beim Abstand zu den WEA. Die Geräusche der WEA konnten relativ häufiger von den Befragungsteilnehmern/innen als von den Kurzinterview-Teilnehmern/innen wahrgenommen werden (kleine Effektstärke). Insgesamt ist festzuhalten, dass mehr Männer, die die WEA hörten, an der Befragung teilgenommen haben. Deren Mittelwert um 1 bei der WEA-Stressskala bedeutet „Hören der WEA-Geräusche ohne belästigt zu sein.“

Tabelle 3 Vergleich der Befragungs- und Kurzinterview-Teilnehmer/innen Wilstedt.

	Befragungsteilnehmer/innen M (SD), %	Kurzinterview-Teilnehmer/innen M (SD), %	p-Wert	Cohens d, w (Effektstärke)
Alter	58.64 (12.13)	59.57 (12.97)	.638	
Geschlecht	57.4 % (m) 42.6 % (w)	36.4 % (m) 63.6 % (w)	.031	0.169 (klein)
WP-Ablehnung vs. WP-Zustimmung	1.66 (1.67)	1.40 (1.55)	.380	
allgemeine Befürwortung des WP	3.12 (0.96)	2.85 (1.11)	.145	
Hören der WEA	55.4 %	26.2 %	.001	0.251 (klein)
WEA-Geräuschbelästigung	0.52 (0.91)	0.55 (0.99)	.888	
WEA-Stressskala für Geräusche	1.02 (1.13)	0.45 (0.92)	.004	0.553 (mittel)
Anzahl sichtbarer WEA	3.25 (3.28)	2.45 (3.14)	.173	
Abstand zur nächsten WEA [m]	2002 (360)	2092 (321)	.153	

Fazit: In der Gesamtschau wird deutlich, dass beide Anwohnerstichproben nicht von negativ eingestellten oder belasteten Personen dominiert werden.

II.1.2 Umweltpsychologische Befragung und Auswertung (MLU AP E2.1)

II.1.2.1 Akzeptanz- und Stressindikatoren, Moderatoren

Zur Erfassung der Indikatoren und einiger Moderatoren wurde ein standardisierter Fragebogen eingesetzt, der auf Fragebogen der Arbeitsgruppe Gesundheits- und Umweltpsychologie basierte (Hübner & Löffler, 2013; Pohl et al., 1999, 2012, 2018).

Die Befragung begann mit einer kurzen Instruktion zum Zweck und Ablauf des Interviews. Danach wurden die globale Einstellung gegenüber verschiedenen Formen der Stromgewinnung und der WEA Ingersheim bzw. dem Windpark Wilstedt, Aktivität für oder gegen die WEA/den Windpark, potenzielle Vorteile der WEA/des Windparks, z. B. hinsichtlich des Beitrags zum Klimaschutz sowie von der WEA/vom Windpark ausgelöste Gefühle erhoben. Anschließend wurden die Teilnehmer/innen um eine Bewertung der WEA-Geräusche und -Schallemissionen und Angaben zur Belästigung durch diese gebeten, sowie darum, Fragen zu beantworten, mit denen eine typische, lästige Geräuschsituation analysiert werden konnte. Es folgten Fragen zu Beschwerden in Verbindung mit verschiedensten Merkmalen der WEA, z. B. periodischer Schattenwurf und Veränderung des Landschaftsbildes, und deren Veränderung seit WEA-/Windpark-Betrieb sowie zu Vergleichszwecken Fragen zu Beschwerden, die in Verbindung mit anderen Umweltobjekten stehen, z. B. Straßenverkehrslärm. Im Folgenden wurden die Teilnehmer/innen zu körperlichen und psychischen Beschwerden in Verbindung mit der WEA/dem Windpark und aus Vergleichszwecken mit Verkehrslärm, zur kognitiven Verarbeitung sowie Maßnahmen zur Geräuschminderung, zu Beteiligungsmöglichkeiten und Wünschen zur WEA/zum Windpark befragt. Ergänzt wurde der Fragebogen im Vergleich zu den ersten beiden Befragungen in Wilstedt insbesondere um Items zur Belästigung und psychischen und körperlichen Symptomen, die in Verbindung mit tieffrequenten Schallemissionen stehen können.

Abschließend wurde noch einmal um eine Gesamtbewertung der WEA/des Windparks gebeten und gesundheitsbezogene und soziodemografische Daten erhoben.

Im Folgenden sind einige Beispielitems angeführt. Die Einstellung zu Windenergieanlagen im Allgemeinen und zur lokalen WEA/zum lokalen Windpark im Besonderen wurde mit Hilfe eines semantischen Differentials bestehend aus fünf bipolaren Adjektivpaaren auf einer Skala von -3 (z. B. „schlecht“) über 0 („weder noch“) bis +3 (z. B. „gut“) erfasst.

Die globale Wirkung der WEA/des Windparks wurde anhand von fünf Aussagen erhoben, z. B. „Ich fühle mich durch die WEA/den Windpark gestört.“ oder „Ich habe durch die WEA/den Windpark körperliche Beschwerden.“; jeweils fünfstufige Antwortskala von 0 („gar nicht“) bis 4 („sehr“). Um das mit der WEA/dem Windpark in Verbindung stehende Gefühlserleben zu erfassen, wurden sieben Gefühle vorgegeben, deren Intensität auf einer fünfstufigen Skala von 0 („gar nicht“) bis 4 („sehr“) bewertet werden sollte. Die globale 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“) vorgegeben. Um die Belästigung durch die WEA-Geräusche 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“) wurden die Probanden/innen nach dem Ausmaß der Geräuschbelästigung in den vergangenen 12 Monate befragt (Felscher-Suhr et al., 2000; Fields et al., 2011).

Um typische Situationen mit WEA-Geräuschbelästigung 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, auf die Belästigung einflussnehmende Merkmale des Hauses, aufgetretene

Gefühle usw. Zusätzlich zu den Geräuschen schätzten die Befragten die Belästigung durch weitere WEA-Emissionen und deren Veränderung seit WEA-/Windpark-Betrieb ein (zwölf Items; z. B. periodischer Schattenwurf, Hinderniskennzeichnung, Landschaftsbild) sowie andere lokale Belästigungsquellen (19 Items; z. B. Straßenlärm; Lärm durch Mähdrescher). Erfasst wurden 44 psychische und somatische Symptome und deren Auslöser (WEA-Geräusche, Schattenwurf, Hinderniskennzeichnung oder WEA im Landschaftsbild) sowie die Ablenkung aufgrund der WEA-Geräusche, z. B. Beeinträchtigungen der allgemeinen Leistungsfähigkeit, Gefühle und Stimmungen oder Schlafprobleme. Hierbei wurden auch Symptome erfragt, die im Speziellen mit tieffrequenten Schallemissionen in Verbindung stehen, wie z. B. Druckgefühle im Ohr, Schwindel und Druck in der Brust. Ebenfalls wurde die Häufigkeit der jeweiligen Beschwerden auf einer Skala von 0 („nie“) bis 4 („etwa täglich“) sowie deren Veränderung seit WEA-/Windpark-Betrieb auf einer dreistufigen Skala (-1 „abnehmend“, 0 „gleich geblieben“, 1 „zunehmend“) erhoben. Zu Vergleichszwecken wurde in Bezug auf Verkehrslärm nach psychischen und somatischen Symptomen und deren Veränderung über die Jahre gefragt.

Die kognitive Verarbeitung der WEA-Geräusche wurde mittels acht 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/innen konnten anhand von 24 Items angeben, ob sie Maßnahmen zur Belästigungsminderung angewandt haben, z. B. veränderter Aufenthalt in Räumen, Fensterschließen oder Beschwerden bei Behörden und auf einer fünfstufigen Skala welchen Effekt diese auf die Belästigung hatten (von 0 „keine Verringerung“ bis 4 „starke Verringerung“).

Zusätzlich wurde eine Reihe von Moderatoren einbezogen, z. B. Anzahl sichtbarer WEA, Entfernung zur nächsten WEA, geschätzter LAT_{ges} (äquivalente A-bewerteter Dauerschalldruckpegel nach DIN ISO 9613-2, 1996 und Anwendung des Interimsverfahrens für Windkraftanlagen, Unterausschuss NA 001-02-03-19 UA "Schallausbreitung im Freien", 2015), seismische z-Amplitude (siehe hierzu Kapitel II.1.4.2). Motiviert durch wissenschaftliches Interesse wurde der LAT_{ges} nach dem neueren Interimsverfahren abgeschätzt und nicht nach dem älteren Verfahren von 1996, welches angemessen wäre, da es sich in Ingersheim und Wilstedt um Bestandsanlagen handelt.

Auch wurden die Belastung durch das Planungs- und Genehmigungsverfahren und die Bauphase, der allgemeine Gesundheitszustand und die Lärmempfindlichkeit als Moderatoren betrachtet.

Um ein Maß für das Stresserleben zu erhalten, wurde die WEA-Stressskala für Geräusche (GSS) konstruiert, in der Angaben zur WEA-Geräuschwahrnehmung, der Belästigung und von Stressreaktionen in Form psychischer oder körperlicher Symptome verknüpft wurden (Hübner et al., 2019a). Den Wert 0 erhielten Personen, die keine WEA-Geräusche wahrnahmen, den Wert 1, wenn Geräusche wahrgenommen, aber keine Belästigung empfunden wurde, den Wert 2, wenn die Geräusch-belästigung bei 1 („wenig“) lag, den Wert 3, wenn die Geräusch-belästigung „mittelmäßig (2)“, „ziemlich (3)“ oder „sehr (4)“ betrug und den Wert 4, wenn die Geräuschbelästigung mindestens „mittelmäßig (2)“ ausgeprägt war und zusätzlich mindestens ein psychisches oder körperliches Symptom angegeben wurde, das mindestens einmal pro Monat auftrat und auf die WEA-Geräusche als Auslöser zurückgeführt wurde. Personen mit dem Wert 4 in der GSS werden als stark belästigt bezeichnet. Auf Merkmale dieser Gruppe wird im Ergebnisteil besonders eingegangen.

II.1.2.2 Auswertung und statistische Methoden

Die statistischen Verfahren dienen dem Ziel, Gruppen zu beschreiben sowie 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 Unterschiede zwischen drei Gruppen mittels einfaktorieller Varianzanalyse. Beim Vergleich der Erhebungszeitpunkte der Wilstedt-Stichprobe handelte es um einen Messwiederholungsfaktor „Zeitpunkt“ mit den Stufen „2012“, „2014“ und „2018“. Die Freiheitsgrade wurden hier nach der Methode von Greenhouse und Geisser korrigiert. Bei Vergleichen von Untersuchungsbedingungen der Varianzanalyse kamen als Kontraste LSD-Tests zum Einsatz. A priori geplante Mittelwertsvergleiche von zwei Gruppen wurden mit t-Tests durchgeführt.

Zur Untersuchung von Faktoren, die die Akzeptanz der lokalen WEA beeinflussen, wurden multiple Korrelationen berechnet. Als bedeutsamer Prädiktor wird ein Faktor mit einem p-Wert $\leq .05$ und Beta-Gewicht $> .15$ bezeichnet und das Beta-Gewicht wird als Parameter für die Effektstärke betrachtet (Nieminen et al., 2015). Bei einem Variable Inflation Factor (VIF) < 7 wird auf geringe Kollinearität geschlossen.

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 Linkssteilheit 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. P-Werte $\leq .05$ wurden als „signifikant“ bezeichnet.

Neben der Beurteilung von Unterschieden anhand von p-Werten wurden die Effektstärkemaße 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. Eine Ausnahme bildet die Beschreibung der Ergebnisse zum Vergleich von stark Belästigten mit vs. ohne tieffrequente Symptome (kleine Gruppengrößen).

Alle relevanten statistischen Kennwerte sind in den Tabellen der gesonderten Anhangbände zu finden.

II.1.2.3 Ergebnisse umweltpsychologische Befragung

II.1.2.3.1 Akzeptanz der Windenergie und der lokalen WEA

Einstellung zur Windenergie im Allgemeinen: Die Befragten in Ingersheim (M = 1.85, SEM = 0.10) und Wilstedt (M = 1.66, SEM = 0.09) wiesen im Mittel eine positive Einstellung zu WEA im Allgemeinen auf, die im Bereich zwischen gering und mittelstark lag. Es gab keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich der beiden Orte und den Vergleichen mit der Referenzstichprobe (M = 1.65, SEM = 0.05). Das Interesse am Thema Windenergie war in Ingersheim (M = 3.18, SEM = 0.10) und Wilstedt (M = 3.05, SEM = 0.09) ziemlich stark ausgeprägt und im Mittel geringfügig höher als in der Referenzstichprobe (M = 2.72, SEM = 0.03, kleine bzw. mittlere Effektstärke).

Einstellung zu den lokalen WEA: Auch zur WEA in Ingersheim (M = 1.68, SEM = 0.15) und zum Windpark in Wilstedt (M = 1.31, SEM = 0.12) hatten die Befragten eine positive Einstellung, deren Mittelwerte zwischen gering und mittelmäßig einzustufen sind. Die Einstellung fiel in Ingersheim etwas positiver aus als in der Referenzstichprobe (M = 1.11, SEM = 0.07, kleine Effektstärke). Die positive Einstellung korrespondiert auch mit dem Grad der Zustimmung zur WEA in Ingersheim (M = 1.96, SEM = 0.16) bzw. dem Windpark in Wilstedt (M = 1.66, SEM = 0.15), die wie auch bei der Referenzstichprobe mittelstark zu beobachten war (M = 2.00, SEM = 0.08, keine bedeutsamen Gruppenunterschiede).

Gefühle gegenüber den lokalen WEA: Negative Gefühle waren nur sehr schwach ausgeprägt (alle M < 1). Bei den Wilstedt-Befragten zeigte sich im Mittel eine geringfügig stärkere Gleichgültigkeit als bei den Ingersheim-Befragten (Tabelle 4, kleine Effektstärke, keine bedeutsamen Unterschiede zur Referenzstichprobe). Positive Gefühle waren stärker als die negativen ausgeprägt, bis zu mittlerer Stärke. Die Ingersheimer und Referenzstichprobe wiesen in allen positiven Gefühlen etwas bis bedeutsam höhere Mittelwerte auf als die Wilstedt-Stichprobe (kleine bis große Effektstärken). Das Gefühl der Freude trat in Ingersheim am stärksten auf (kleine bzw. mittlere Effektstärke bei Vergleich der drei Gruppen).

Tabelle 4 Gefühle gegenüber den WEA (M, SEM, Skala 0-4).

	Ingersheim	Wilstedt	Referenz
Bedrohung	0.28 (0.08)	0.26 (0.07)	0.46 (0.05)
Ärger / Zorn	0.37 (0.09)	0.44 (0.09)	0.49 (0.05)
Misstrauen	0.64 (0.11)	0.62 (0.09)	0.58 (0.06)
Neugier	2.16 (0.12)	1.31 (0.11)	2.15 (0.06)
Stolz	1.74 (0.13)	0.64 (0.09)	1.65 (0.07)
Freude	1.89 (0.13)	1.06 (0.11)	1.58 (0.07)
Gleichgültigkeit	0.68 (0.08)	0.98 (0.10)	0.72 (0.05)

Verhalten: Eine klare Mehrheit war in der Vergangenheit (vor dem Bau) Befürworter/innen der WEA (Tabelle 5) gewesen. Während in Wilstedt der Anteil der aktiven Gegner/innen den der

aktiven Befürworter/innen überwog, fiel das Verhältnis in Ingersheim umgekehrt aus. In der Referenzstichprobe gab es relativ wenige Gegner/innen.

Tabelle 5 Aktivitäten für oder gegen die WEA in der Planungsphase.

	Ingersheim	Wilstedt	Referenz
passive Befürworter/innen	50.8 %	49.2 %	72.4 %
aktive Befürworter/innen	15.4 %	6.2 %	5.9 %
passive Gegner/innen	4.6 %	4.6 %	3.3 %
aktive Gegner/innen	11.5 %	20.0 %	2.2 %
ambivalente Haltung	11.5 %	13.1 %	8.6 %
keine Meinung	6.2 %	6.9 %	4.4 %
zu wenige Informationen	0 %	0 %	3.3 %

Wahrgenommene Vorteile der lokalen WEA: Durchweg wurden die Vorteile durchschnittlich als mittel bis ziemlich stark eingeschätzt (Tabelle 6). Befragte in Ingersheim hielten die WEA deutlich stärker für ein charakteristisches Merkmal der Gemeinde und gaben einen geringfügig stärkeren Beitrag der Gemeinde zum Klimaschutz an als die Befragten in Wilstedt und der Referenzstichprobe (große bzw. kleine Effektstärken). Die Wilstedter/innen sahen in den Steuereinnahmen für die Gemeinde einen größeren Vorteil als die Ingersheimer/innen und die Referenzstichprobe (mittlere Effektstärken). Ingersheimer/innen wie Wilstedter/innen bewerteten die Merkmale „zeitgemäße Technik, Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern und anderen Ländern“ geringfügig bzw. etwas positiver als die Referenzstichprobe (kleine bzw. mittlere Effektstärken).

Tabelle 6 Wahrgenommene Vorteile der WEA (M, SEM, Skala 0 – 4).

	Ingersheim	Wilstedt	Referenz
zeitgemäße Technik	3.36 (0.10)	3.22 (0.08)	3.00 (0.04)
Beitrag zum Klimaschutz	3.16 (0.10)	3.02 (0.11)	2.79 (0.04)
Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern	3.24 (0.10)	3.29 (0.09)	2.61 (0.05)
Unabhängigkeit von anderen Ländern	3.00 (0.12)	3.12 (0.10)	2.43 (0.05)
Beitrag der Gemeinde zum Klimaschutz	2.97 (0.12)	2.54 (0.12)	2.39 (0.05)
charakteristisches Merkmal der Gemeinde	3.43 (0.09)	2.09 (0.13)	1.84 (0.05)
Steuereinnahmen für die Gemeinde	2.08 (0.13)	2.89 (0.10)	2.27 (0.06)

Wahrgenommene Nachteile der lokalen WEA: Während in Ingersheim (M = -0.03, SEM = 0.08) und Wilstedt (M = -0.04, SEM = 0.08) im Mittel keine Veränderung der Lebensqualität

durch die WEA festgestellt wurde, war diese bei der Referenzstichprobe geringfügig verschlechtert ($M = -0.63$, $SEM = 0.06$, mittlere Effektstärken). Für die Befragten in Ingersheim ($M = -0.10$, $SEM = 0.04$) und Wilstedt ($M = -0.22$, $SEM = 0.07$) hatte sich der Immobilienwert sehr wenig verändert, für die Referenzstichprobe im Mittel dagegen geringfügig verschlechtert ($M = -0.61$, $SEM = 0.04$, mittlere bzw. große Effektstärke).

Die WEA hatten in Ingersheim und Wilstedt das Heimatgefühl, das Gefühl, in der Gemeinde zu Hause zu sein und das Zusammengehörigkeitsgefühl in der Gemeinde nur unbedeutend verändert (alle $M \leq 0.16$). Dagegen war in der Referenzstichprobe ein geringfügig vermindertes Heimat- ($M = -0.26$, $SEM = 0.03$) und Zusammengehörigkeitsgefühl ($M = -0.24$, $SEM = 0.03$) zu beobachten (kleine Effektstärken). Nach Ansicht der Befragten blieben Konflikte durch den Windpark mit Freunden/innen und in der Familie unbeeinflusst. Konflikte in der Gemeinde Ingersheim ($M = 0.39$, $SEM = 0.06$) verstärkten sich geringfügig im Vergleich zur Referenzstichprobe ($M = 0.17$, $SEM = 0.02$, kleine Effektstärke).

Soziale Norm: Die soziale Norm drückt aus, inwieweit die Befragten ihre Meinung im Einklang mit ihrem Umfeld sehen. Die vermutete Übereinstimmung mit Partnern/innen, Angehörigen, Nachbarn/innen, Arbeitskollegen/innen und den meisten Personen in der Gemeinde fiel in den drei Stichproben durchschnittlich mittel- bis ziemlich stark aus. In der Ingersheim-Stichprobe wurde eine geringfügig höhere Übereinstimmung mit den Partnern/innen ($M = 3.59$, $SEM = 0.07$) und Kindern ($M = 3.60$, $SEM = 0.07$) im Vergleich zur Wilstedt-Stichprobe ($M = 3.35$, $SEM = 0.08$ bzw. $M = 3.12$, $SEM = 0.08$) und bzgl. der Kinder auch zur Referenzstichprobe angenommen ($M = 3.15$, $SEM = 0.06$, kleine bzw. mittlere Effektstärken). Die Befragten in Wilstedt nahmen geringfügig schwächer an, mit Freunden/innen ($M = 2.78$, $SEM = 0.08$) und Gemeindemitgliedern ($M = 3.35$, $SEM = 0.07$) übereinzustimmen als die Referenzstichprobe ($M = 2.99$, $SEM = 0.04$ bzw. $M = 2.61$, $SEM = 0.04$, kleine Effektstärken).

Planungs- und Bauprozess: Das Interesse an der Planung und dem Bau der WEA in Ingersheim war mittelstark ausgeprägt und damit durchschnittlich etwas bzw. deutlich höher als in Wilstedt und der Referenzstichprobe (Tabelle 7, kleine bzw. mittlere Effektstärken). Die in Wilstedt Befragten zeigten etwas stärkeres Interesse an der Planung als die Referenzstichprobe (kleine Effektstärke). Die Ingersheimer/innen empfanden etwas stärker als die Wilstedter/innen und die Referenzstichprobe, dass die Planung ihren eigenen Interessen sowie den Interessen der Gemeinde gerecht geworden sei (kleine bzw. mittlere Effektstärken).

Die Belastung durch die Planung, den Bau und Streit wegen der WEA wurde im Mittel in den drei Stichproben als sehr gering bis gering eingestuft. Die Belastung durch den Planungsprozess fiel in Wilstedt geringfügig höher aus als in Ingersheim (kleine Effektstärke). Die Befragten der Referenzstichprobe fühlten sich durch den Bau geringfügig stärker belastet als die Ingersheimer/innen und Wilstedter/innen (kleine Effektstärken). Die Wilstedter/innen gaben eine geringfügig stärkere Belastung durch den Streit um den Windpark als die Referenzstichprobe an (kleine Effektstärke).

Die Ingersheimer/innen waren durchschnittlich ziemlich zufrieden mit der Möglichkeit der Beteiligung am Planungsprozess ($M = 3.36$, $SEM = 0.13$) und der finanziellen Beteiligung ($M = 2.99$, $SEM = 0.14$). Bezogen auf den Planungsprozess fielen die Unterschiede zu Wilstedt ($M = 2.40$, $SEM = 0.23$) und der Referenzstichprobe ($M = 2.19$, $SEM = 0.14$) leicht bzw. deutlich aus (große Effektstärken).

Tabelle 7 Beurteilung des Planungs- und Bauprozesses (M, SEM, Skala 0 – 4).

	Ingersheim	Wilstedt	Referenz
Interesse am Planungs- und Genehmigungsverfahren	1.88 (0.13)	1.39 (0.12)	0.89 (0.06)
Interesse an der Bauphase	2.57 (0.14)	1.74 (0.12)	1.47 (0.07)
Planung eigenen Interessen gerecht geworden	2.33 (0.14)	1.60 (0.12)	1.50 (0.08)
Planung Interessen der Gemeinde gerecht geworden	2.45 (0.11)	1.83 (0.11)	1.91 (0.07)
Belastung durch Planungs- und Genehmigungsverfahren	0.40 (0.09)	0.69 (0.10)	0.51 (0.04)
Belastung durch Bauphase	0.25 (0.06)	0.38 (0.08)	0.71 (0.04)
Belastung durch Streit wegen der WEA	0.84 (0.10)	1.11 (0.12)	0.69 (0.06)

Vertrauen in Akteure/innen: Eine geringfügige Verminderung des Vertrauens in die Genehmigungsbehörden seit Errichtung der WEA konnte in allen drei Stichproben festgestellt werden. Diese fiel in Ingersheim ($M = -0.21$, $SEM = 0.05$) und Wilstedt ($M = -0.25$, $SEM = 0.05$) geringfügig schwächer aus als in der Referenzstichprobe ($M = -0.47$, $SEM = 0.04$, kleine Effektstärken). Dagegen veränderte sich nicht das Vertrauen in die Betreibergesellschaft, die Gemeinde und den Bürgermeister in Ingersheim und Wilstedt; in der Referenzstichprobe nahm das Vertrauen durchschnittlich geringfügig ab (kleine bzw. mittlere Effektstärken). Die Wilstedter/innen empfanden eine geringfügige Verbesserung des Vertrauens in Personen, die für die Lärminderung verantwortlich waren ($M = 0.21$, $SEM = 0.06$), während dieses Vertrauen bei den Ingersheimern/innen unverändert war ($M = -0.08$, $SEM = 0.04$, mittlere Effektstärke).

Fazit zur Akzeptanz der lokalen WEA: Die Akzeptanz fiel in Ingersheim und Wilstedt positiv aus, in Ingersheim insgesamt stärker als in Wilstedt. Dafür sprechen die positiveren Gefühle, relativ mehr aktive Befürworter/innen, die Bewertung der WEA als charakteristisches Merkmal der Gemeinde, der stärkere Beitrag zum Klimaschutz, stärkeres Interesse an der Planung sowie den eigenen und den Interessen der Gemeinde stärker gerecht geworden sein. In Wilstedt gab es zudem mehr aktive Gegner/innen und eine stärkere Belastung durch den Planungsprozess und den Streit um den Windpark.

II.1.2.3.2 Stresswirkungen der lokalen WEA

Wahrnehmung von WEA-Geräuschen: Relativ mehr Befragte in Wilstedt als in Ingersheim und der Referenzstichprobe nahmen Geräusche in der Nähe des Hauses und im Haus wahr (Tabelle 8, kleine Effektstärken). Im Vergleich dazu nahmen nur relative wenige Personen den periodischen Schattenwurf auf ihrem Grundstück wahr (Ingersheim: 5.7 %, Wilstedt: 9.7 %).

Tabelle 8 Wahrnehmung von WEA-Geräuschen.

	Ingersheim	Wilstedt	Referenz
im Haus, in der Wohnung	9.2 %	23.8 %	18.0 %
draußen, in der unmittelbaren Nähe des Hauses	21.5 %	55.5 %	29.6 %

Belästigung durch WEA-Geräusche: Die Befragten, die WEA-Geräusche wahrnahmen, fühlten sich aktuell durchschnittlich wenig bis mittelstark durch WEA-Geräusche belästigt (Tabelle 9), in Wilstedt etwas geringer als in Ingersheim und geringfügig weniger als in der Referenzstichprobe (kleine bzw. mittlere Effektstärke). Während die Wilstedter/innen ($M = -0.61$, $SEM = 0.10$) eine Abnahme der Belästigung seit Betrieb der WEA wahrnahmen, war dies in Ingersheim nicht der Fall ($M = 0.00$, $SEM = 0.09$, große Effektstärke). Die auf die letzten 12 Monate bezogene WEA-Geräuschbelästigung wurde im Mittel als gering eingeschätzt, in Wilstedt noch etwas geringer als in der Referenzstichprobe (ICBEN-Skala, mittlere Effektstärke).

Tabelle 9 Belästigung durch WEA-Geräusche (M, SEM, Skala 0 – 4).

	Ingersheim	Wilstedt	Referenz
Geräusche insgesamt	1.61 (0.31)	0.84 (0.12)	1.29 (0.13)
wiederkehrende Geräusche	1.36 (0.29)	0.78 (0.13)	1.43 (0.14)
ICBEN-Skala Q. V.	1.11 (0.25)	0.63 (0.10)	1.25 (0.12)

Belästigung durch WEA-Emissionen und den Straßenverkehr im Vergleich: In Ingersheim wurde die Belästigung durch die WEA-Geräusche und den Verkehrslärm im Mittel nahezu gleichstark empfunden (Tabelle 10). Für die Wilstedter dagegen fiel die Belästigung durch WEA-Geräusche etwas geringer aus als für den Straßenverkehr. Die Belästigungen durch weitere WEA-Emissionen lagen bei den drei Stichproben im Mittel in einem Bereich zwischen sehr gering und gering (Tabelle 10). Die Ingersheimer/innen und Wilstedter/innen schätzen die Belästigung durch den Schattenwurf und die Hinderniskennzeichnung als sehr gering ein. Die Mittelwerte waren etwas bzw. deutlich niedriger als die der Referenzstichprobe (mittlere bzw. große Effektstärken). In Ingersheim zeigte sich eine etwas geringere Belästigung durch die WEA in der Landschaft als in Wilstedt und in der Referenzstichprobe (kleine Effektstärken).

Tabelle 10 Belästigung durch WEA-Emissionen und den Verkehrslärm (M, SEM, Skala 0 – 4).

	Ingersheim	Wilstedt	Referenz
Geräusche insgesamt	1.61 (0.31)	0.84 (0.12)	1.29 (0.13)
periodischer Schattenwurf	0.29 (0.08)	0.35 (0.08)	1.10 (0.06)
Hinderniskennzeichnung am Tag	0.06 (0.02)	0.19 (0.06)	0.96 (0.12)
Hinderniskennzeichnung in der Nacht	0.12 (0.05)	0.51 (0.09)	1.36 (0.06)
verändertes Landschaftsbild	0.71 (0.11)	1.33 (0.13)	1.33 (0.05)
Straßenverkehrslärm	1.65 (0.12)	1.59 (0.11)	nicht erfasst

Globale Einschätzung der WEA-Geräusche: Die Befragten in Ingersheim und Wilstedt beurteilten die WEA-Geräusche im Mittel als etwas unangenehm, weder bedrohlich noch friedlich, geringfügig harmlos und etwas erträglich (Tabelle 11, keine bedeutsamen Gruppenunterschiede).

Tabelle 11 Globale Einschätzung der WEA-Geräusche (M, SEM, Skala –3 – +3).

	Ingersheim	Wilstedt
unangenehm – angenehm	–0.89 (0.37)	–0.60 (0.14)
bedrohlich – friedlich	–0.07 (0.37)	0.14 (0.13)
schädigend – harmlos	0.29 (0.46)	0.34 (0.19)
unerträglich – erträglich	0.50 (0.44)	0.84 (0.19)

Symptome: Relativ wenige Befragte berichteten von psychischen oder körperlichen Symptomen, die sie auf die WEA-Geräusche zurückführten und mindestens einmal pro Monat erlebten (Tabelle 12). In Ingersheim gab es 6.2 % Symptomträger/innen, in Wilstedt 10.0 % und in der Referenzstichprobe 4.9 % (keine bedeutsamen Gruppenunterschiede). Die am häufigsten berichteten Symptome (> 5.0 %) betrafen in Ingersheim die Bereiche Leistungsfähigkeit und Schlaf und in Wilstedt den Bereich Schlaf. Zu bemerken ist, dass das Auftreten eines Symptoms noch nichts über das Ausmaß der Belästigung aussagt. Zu einer Kombination dieser beiden Indikatoren siehe den Abschnitt zu den stark Belästigten. In Ingersheim führten die WEA-Geräusche zu einer etwas stärkeren Beanspruchung der Aufmerksamkeit als in Wilstedt (M = 0.93, SEM = 0.19 vs. M = 0.35, SEM = 0.09, mittlere Effektstärke).

Tabelle 12 Durch WEA-Geräusche mindestens einmal pro Monat ausgelöste Symptome mit einer Häufigkeit > 3 % in einer Stichprobe.

	Ingersheim	Wilstedt	Referenz
allgemeines seelisches Unwohlsein	2.3 %	3.8 %	1.9 %
reduzierte Leistungs-, Arbeitsfähigkeit	3.1 %	3.1 %	1.7 %
verminderte Erholung	5.4 %	3.1 %	/
Antriebslosigkeit	3.1 %	2.3 %	1.9 %
Mattigkeit, Ermüdung	6.2 %	3.1 %	2.4 %
Nervosität	3.1 %	1.5 %	2.1 %
Angespanntheit	2.3 %	3.1 %	2.1 %
negative Stimmung	3.8 %	3.1 %	1.7 %
Gereiztheit, Ärger, Feindseligkeit	3.8 %	3.1 %	1.3 %
allgemeines körperliches Unwohlsein	3.8 %	2.3 %	0.6 %
erschwertes oder verzögertes Einschlafen	3.8 %	7.7 %	2.6 %
mehrfaches Aufwachen in der Nacht	6.2 %	7.7 %	4.5 %
Minderung der Schlafqualität	6.2 %	8.5 %	3.6 %
Verringerung der Schlaftiefe	6.2 %	5.4 %	3.2 %
Symptomträger/innen	6.2 %	10.0 %	4.9 %

Bemerkungen: Die Liste enthält alle tieffrequenten Symptome¹, aber sonstige Symptome nur, falls eine Auftretenshäufigkeit von mindestens einmal pro Monat und bei $\geq 3\%$ der Befragten vorlag;

Da der Schwerpunkt der Studie auf Wirkungen, die durch tieffrequenten Schall ausgelöst sein könnten, lag, werden %-Zahlen zu tieffrequenten Symptomen (TS) gesondert in Tabelle 13 dargestellt. Insgesamt traten TS sehr selten auf (< 2.5 %).

Tabelle 13 Durch WEA-Geräusche ausgelöste tieffrequente Symptome.

	Ingersheim	Wilstedt	Referenz
Druckgefühle im Ohr	1.5 %	0 %	0.6 %
Schwindel	0 %	1.5 %	0.4 %
Druckgefühle¹	2.3 %	2.3 %	/
Vibrationen im Körper¹	2.3 %	0.8 %	/
Vibrationen von Objekten¹	2.3 %	0.8 %	/
Druck in der Brust	0 %	0.8 %	/
Druck in oder Reizung der Nebenhöhlen	1.5 %	0.8 %	/

Bemerkungen: ¹: Items mit Auftretenshäufigkeiten ohne zeitliche Angabe; /: nicht erfasst.

Um WEA-Stresseffekte angemessen bewerten zu können, wurde das Symptommuster der WEA-Geräusche mit dem des Verkehrslärms verglichen: Es gab relativ mehr Symptomträger/innen wegen des Verkehrslärms als wegen der WEA-Geräusche (Tabelle 14). Relativ häufiger wurden Symptome der verminderten Leistungsfähigkeit und negative Emotionen genannt.

Tabelle 14 Prozentsätze der mindestens einmal pro Monat durch Verkehrslärm bzw. WEA-Geräusche ausgelösten Symptome mit einer Häufigkeit > 3 % in einer Stichprobe.

	Ingersheim	Wilstedt
allgemeines seelisches Unwohlsein	6.9 % (2.3 %)	5.4 % (3.8 %)
reduzierte Leistungs-, Arbeitsfähigkeit	5.4 % (3.1 %)	0.8 % (3.1 %)
Antriebslosigkeit	3.1 % (3.1 %)	3.1 % (2.3 %)
Mattigkeit, Ermüdung	5.4 % (6.2 %)	1.5 % (3.1 %)
Konzentrationsschwäche, verringerte Daueraufmerksamkeit	8.5 % (2.3 %)	2.3 % (2.3 %)
Nervosität	8.5 % (3.1 %)	3.1 % (1.5 %)
Angespanntheit	14.6 % (2.3 %)	8.5 % (3.1 %)
negative Stimmung	10.0 % (3.8 %)	10.0 % (3.1 %)
Hilflosigkeit	3.1 % (2.3 %)	8.5 % (2.3 %)
Angst	2.3 % (0.8 %)	3.8 % (0.0 %)
Gereiztheit, Ärger, Feindseligkeit	16.2 % (3.8 %)	9.2 % (3.1 %)
allgemeines körperliches Unwohlsein	3.8 % (3.8 %)	2.3 % (2.3 %)
erschwertes oder verzögertes Einschlafen	6.9 % (3.8 %)	2.3 % (7.7 %)
mehrfaches Aufwachen in der Nacht	6.9 % (6.2 %)	2.3 % (7.7 %)
Minderung der Schlafqualität	8.5 % (6.2 %)	3.1 % (8.5 %)
Verringerung der Schlaftiefe	7.7 % (6.2 %)	2.3 % (5.4 %)
Symptomträger/innen	18.5 % (6.2 %)	13.1 % (10.0 %)

Kognitive Bewältigungsstrategien: Die Befragten in Wilstedt und Ingersheim zeigten insgesamt stressreduzierende kognitive Strategien (keine bedeutsamen Gruppenunterschiede). So beobachteten sie die WEA-Geräusche nur in geringem Ausmaß kritisch ($M = 1.30$, $SEM = 0.14$). Sie hatten sich mittelstark mit den WEA-Geräuschen abgefunden ($M = 2.52$, $SEM = 0.17$) und ihren Frieden mit ihnen gemacht ($M = 2.14$, $SEM = 0.19$). Gedanken an einen Wegzug vom Ort wegen der WEA-Geräusche waren im Mittel sehr schwach ausgeprägt ($M = 0.08$, $SEM = 0.03$).

Verhaltensmaßnahmen: Die am häufigsten angewandten Maßnahmen, um die Geräuschwirkungen zu mindern, waren (Tabelle 15): Gespräche mit Bekannten über die Belästigung, Beschaffung von Informationen zu WEA-Geräuschen, Schließen des Fensters, Veränderung des Aufenthaltsorts an Plätzen um das Haus, Unterschriftenaktionen und Anschluss an Bürgerinitiative. Zu einer ziemlichen Verringerung der Belästigung führten das Schließen des Fensters ($M = 2.15$, $SEM = 0.19$) und zu einer geringen bis ziemlichen Minderung der Wechsel des

Aufenthaltort außerhalb des Hauses (M = 1.50, SEM = 0.27; keine bedeutsamen Gruppenunterschiede).

Tabelle 15 Maßnahmen zur Minderung der WEA-Geräuschwirkungen mit einer Häufigkeit > 3 % in einer Stichprobe.

	Ingersheim	Wilstedt	Referenz
Veränderung des Aufenthaltsorts in Räumen	4.6 %	2.3 %	0.4 %
Veränderung des Aufenthaltsorts in Plätzen am Haus	6.2 %	3.8 %	0.6 %
weniger Aufenthalte im Garten, auf der Terrasse, auf dem Balkon	3.1 %	3.8 %	0 %
weniger Freizeitaktivitäten im Umkreis der WEA	2.3 %	6.2 %	0 %
Schließen des Fensters	7.7 %	13.8 %	1.3 %
Radio, Fernseher lauter stellen	3.1 %	2.3 %	0.4 %
lauteres Sprechen	1.5 %	3.1 %	0.2 %
Gespräche mit Familienmitgliedern, Freunden/innen, Nachbarn/innen über die Belästigung	9.2 %	17.7 %	0.9 %
Beschaffung von Informationen zu WEA-Geräuschen	6.2 %	8.5 %	0.6 %
Beschaffung von Informationen zu WEA-Gerichtsurteilen	4.6 %	4.6 %	0 %
Beschwerden beim Verursacher, Eigentümer	3.8 %	4.6 %	0.4 %
Beschwerden bei zuständigen Behörden	3.8 %	0.8 %	0.4 %
juristische Beratung	3.1 %	3.1 %	0 %
Unterschriftenaktion	4.6 %	7.7 %	0.4 %
Leserbrief	1.5 %	3.1 %	0.2 %
Protestbrief	3.1 %	3.1 %	0.2 %
Demonstration	2.3 %	3.1 %	0 %
Anschluss an Umweltgruppe, Bürgerinitiative	3.1 %	6.9 %	0.4 %

WEA-Stressskala für Geräusche und stark Belästigte: In diesem Abschnitt werden nun Symptome und Belästigung in Zusammenhang gebracht. Die WEA-Stressskala für Geräusche (GSS) wurde konstruiert, um das Hören, die Belästigung und das Auftreten von Symptomen in einer Skala darzustellen (0 = keine Wahrnehmung, 1 = Wahrnehmung ohne Belästigung, 2 = geringe Belästigung, 3 = mindestens mittelstarke Belästigung, 4 = mindestens mittelstarke Belästigung und mindestens ein psychisches oder körperliches Symptom, welches mindestens einmal pro Monat auftrat und auf die WEA-Geräusche zurückgeführt wurde; siehe auch Abschnitt II.1.2.1).

Im Mittel fiel die Stressbelastung durch WEA-Geräusche (GSS) gering aus. Der gegenüber Ingersheim (M = 0.51, SEM = 0.10) und der Referenzstichprobe (M = 0.62, SEM = 0.05) geringfügig erhöhte Mittelwert in Wilstedt (M = 1.02, SEM = 0.10, kleine Effektstärken) ist dadurch erklärbar, dass relativ mehr Wilstedter/innen die WEA hörten. Der Skalenwert 1 steht für Wahrnehmung ohne Belästigung.

Als stark belästigt wurden Personen bezeichnet, die die Kriterien für den Wert 4 der GSS erfüllten. Ein geringer Prozentsatz der Befragten in Ingersheim und Wilstedt erwies sich als stark belästigt durch WEA-Geräusche (Tabelle 16). Der Prozentsatz stark Belästigter in Wilstedt (4.6 %) ist kleiner als der der Symptomträger (10.0 %). In der Ingersheimer und der Referenzstichprobe sind beide Prozentwerte gleich. Andere Emissionen führten bei keiner/keinem Befragten oder bei einer verschwindend geringen Anzahl zu starker Belästigung. Die Prozentzahlen der durch Verkehrslärm stark Belästigten waren mit 18.5 % (Ingersheim) und 10.0 % (Wilstedt) deutlich höher als die durch WEA-Geräusche. Nur vier stark Belästigte durch WEA-Geräusche waren auch durch den Verkehrslärm stark belästigt.

Tabelle 16 Stark Belästigte durch WEA-Emissionen und Verkehrslärm.

	Ingersheim	Wilstedt	Referenz
WEA-Geräusche	6.2 %	4.6 %	4.9 %
Hinderniskennzeichnung	0 %	0 %	3.8 %
periodischen Schattenwurf	0 %	0 %	0 %
verändertes Landschaftsbild	0 %	1.5 %	0.4 %
durch mindestens eine der vier			
WEA-Emission	6.2 %	4.6 %	6.4 %
Verkehrslärm	18.5 %	10.0 %	/

Anmerkung: /: nicht erfasst

Die durch WEA-Geräusche stark belästigten acht Ingersheimer/innen und sechs Wilstedter/innen wurden als eine Gruppe (n = 14) mit der Gruppe der nicht stark Belästigten aus beiden Orten verglichen (n = 246). Beide Gruppen unterschieden sich nicht bedeutsam im Alter und der Geschlechterverteilung. Keine stark belästigte Person war an den WEA finanziell beteiligt, bei den nicht stark Belästigten waren es 4.5 % (Tabelle 17).

Durch WEA-Geräusche stark Belästigte hatten im Vergleich zu nicht stark Belästigten eine geringfügig negative Einstellung zu WEA im Allgemeinen und eine mittelstark negative Einstellung zum lokalen Windpark (große Effektstärken). Mehrheitlich (71.4 %) waren stark Belästigten aktiv gegen den Windparkbau vorgegangen, von den nicht stark Belästigten waren es 12.2 %. Sie gaben an, dass der Planungsprozess ihren Interessen nicht gerecht geworden sei und sie ihn als mittelstark belastend erlebt hätten (große Effektstärken). Sie sahen im Mittel

mehr WEA von ihrem Grundstück aus als nicht stark Belästigte (mittlere Effektstärke). Mehrheitlich beschrieben sie lästige WEA-Geräusche mit den Begriffen „wummern“, „brummen“ und „rauschen“. Sie bewerteten WEA-Geräusche als ziemlich unangenehm, mittelstark bedrohlich, schädigend und unerträglich (große Effektstärken). Sie fühlten sich ziemlich belästigt durch den WEA-Schattenwurf und das durch WEA veränderte Landschaftsbild (kleine bzw. große Effektstärke). In der Lästigkeit des Verkehrslärms unterschieden sich die beiden Gruppen nicht bedeutsam.

Stark Belästigte zeigten im Vergleich zu den nicht stark Belästigten eine andere kognitive Bewältigung (kritischeres Beobachten, weniger Abfinden, mittlere bzw. große Effektstärke). Sie ergriffen häufiger Maßnahmen wie Räume / Plätze am Haus wechseln, Fenster schließen oder Gespräche führen, um die WEA-Geräuschwirkung zu mindern. In den Ausprägungen der allgemeinen Gesundheitsindikatoren unterschieden sich die beiden Gruppen bis auf eine Ausnahme nicht. Stark Belästigte gaben eine leicht höhere Geräuschempfindlichkeit an als nicht stark Belästigte (große Effektstärke).

Zwar wohnten stark Belästigte durchschnittlich rund 470 m näher an den WEA und der prognostizierte Schalldruckpegel LATges fiel für sie um 3.4 dB(A) höher aus als für nicht stark Belästigte (mittlere bzw. große Effektstärke), aber diese beiden Parameter korrelieren vernachlässigbar klein mit dem Geräuschstress bzw. der Akzeptanz der lokalen WEA (siehe hierzu den Abschnitt zu Moderatoren der Stressbelastung). Die für die Anwohner/innen prognostizierten z-Amplituden liegen um mehrere Zehnerpotenzen niedriger als die der Wahrnehmungsschwelle (0.10 mm/s).

Fazit: Bei durch WEA-Geräusche stark Belästigten lässt sich ein klares Muster einer Stressreaktion feststellen (negative Einstellungen und Bewertung der Geräuschquelle, typische Symptome einer Lärmwirkung, ungünstigere kognitive Bewältigung, Durchführen von Minderungsmaßnahmen). Die geschilderten Symptome scheinen realistisch und glaubwürdig angegeben worden zu sein. Es gab keine übertrieben anmutenden Aussagen, die auf eine sog. Somatisierung hingewiesen hätten. Dies wurde geprüft mittels des SSEQ-Fragebogens (Herzog et al., 2014; siehe hierzu das UBI-Kapitel II.1.3.4.6). Dieser Fragebogen prüft, ob eine generelle Neigung besteht, vermehrt körperliche Symptome anzugeben.

Tabelle 17 Durch WEA-Geräusche stark Belästigte im Vergleich mit nicht stark Belästigten (M, SEM, %).

	stark Belästigte (n = 14)	nicht stark Belästigte (n = 88 bzw. 246)
Alter [Jahre]	61.00 (3.13)	60.14 (0.80)
Geschlecht	50 % (w) 50 % (m)	41 % (w) 59 % (m)
Einstellung zu WEA im Allgemeinen	-0.47 (0.25)	1.87 (0.06)
Einstellung zu lokalen WEA	-1.95 (0.24)	1.69 (0.05)
Planung eigenen Interessen gerecht geworden	0.00 (0.00)	2.08 (0.10)
Belastung durch Planungsprozess	2.08 (0.45)	0.45 (0.06)
<i>Geräuschqualität</i>		
wummern	57.1 %	24.7 %
brummen	57.1 %	11.7 %
rauschen	71.4 %	38.8 %

Fortsetzung der Tabelle auf der folgenden Seite

	stark Belästigte (n = 14)	nicht stark Belästigte (n = 246)
<i>WEA-Geräusche</i>		
unangenehm – angenehm	-2.71 (0.22)	-0.34 (0.13)
bedrohlich – friedlich	-1.86 (0.29)	0.35 (0.13)
schädigend – harmlos	-2.36 (0.23)	0.77 (0.17)
unerträglich – erträglich	-1.64 (0.31)	1.11 (0.17)
<i>Belästigung</i>		
periodischer Schattenwurf	2.75 (0.53)	2.00 (0.54)
Tagekennzeichnung	0.29 (0.22)	0.12 (0.03)
Nachtkennzeichnung	1.00 (0.42)	0.27 (0.05)
WEA in der Landschaft	2.50 (0.36)	0.92 (0.09)
WEA-Geräusche	3.07 (0.22)	0.72 (0.11)
Verkehrslärm	1.57 (0.39)	1.62 (0.08)
<i>kognitive Bewältigung der WEA-Geräusche</i>		
mit ihnen abgefunden	1.64 (0.36)	2.81 (0.17)
kritisches Beobachten	2.00 (0.42)	1.14 (0.14)
<i>Maßnahmen wegen der WEA-Geräusche</i>		
Räume wechseln	50.0 %	2.4 %
Plätze am Haus wechseln	57.1 %	5.9 %
Fenster schließen	78.6 %	20.0 %
Radio / TV lauter	42.9 %	1.2 %
Gespräche führen	78.6 %	27.1 %
Informationen beschaffen	42.9 %	15.3 %
<i>Gesundheit</i>		
akute Stressbelastung	1.07 (0.37)	0.99 (0.07)
chronische Stressbelastung	1.07 (0.29)	1.02 (0.08)
allgemeiner Gesundheitszustand	2.43 (0.27)	2.28 (0.05)
Hörvermögen	4.00 (0.47)	4.59 (0.09)
Geräuschempfindlichkeit	4.38 (0.20)	3.67 (0.06)
Anzahl sichtbarer WEA	3.93 (1.06)	1.88 (0.16)
Abstand zur nächsten WEA [m]	1428 (170)	1894 (24)
Schalldruckpegel LATges [dB(A)]	34.56 (1.34)	31.18 (0.28)

Stark Belästigte mit Symptomen, die durch tieffrequenten Schall ausgelöst sein könnten: Die Gruppe der durch WEA-Geräusche stark Belästigten wurde in zwei Untergruppen unterteilt: mit tieffrequenten Schallsymptomen (TS, n = 8, 3.1 % bezogen auf die in Ingersheim und Wilstedt befragten 260 Anwohner/innen) vs. ohne TS (n = 6, 2.3 %). Zu den tieffrequenten Symptomen / Empfindungen gehörten Druckgefühle im Ohr, Druck in der Brust, Druck in oder Reizung der Nebenhöhlen sowie Schwindel (jeweils mindestens einmal pro Monat) und allgemeine Druckgefühle, Vibrationen im Körper, Vibrationen von Objekten (jeweils mindestens mit mittlerer Intensität).

Die stark Belästigten mit TS zeigten gegenüber den stark Belästigten ohne TS folgende Auffälligkeiten (Tabelle 18): Sie waren durchschnittlich 12 Jahre älter (große Effektstärke), hatten eine geringfügig negativere Einstellung zu den lokalen WEA (kleine Effektstärke) und zeigten ein geringfügig stärkeres Interesse am Thema Windenergie (kleine Effektstärke). Sieben der acht Personen mit TS waren in der Vergangenheit aktive Gegner/innen der WEA. Sie waren etwas stärker belastet durch den Planungsprozess (mittlere Effektstärke) und deutlich stärker belastet durch die Bauphase (große Effektstärke); 75 % der TS-Gruppe gaben wummern und brummen als typische WEA-Geräuschqualitäten an. Die WEA-Geräusche wurden von den stark Belästigten mit TS als geringfügig unangenehmer, bedrohlicher und unerträglicher erlebt (kleine Effektstärken). Sie empfanden eine geringfügig stärkere WEA-Geräuschbelastung (mittlere Effektstärke), aber eine etwas schwächere Belastung durch Verkehrslärm (mittlere Effektstärke). Sie hatten sich geringfügig schwächer mit den WEA-Geräuschen abgefunden (keine Effektstärke) und beobachteten sie deutlich stärker (große Effektstärke). Sie fühlten sich mit dem Wohnort deutlich stärker verbunden (große Effektstärke) und geringfügig weniger durch akute Ereignisse (kleine Effektstärke) und etwas weniger durch chronische negative Ereignisse belastet (mittlere Effektstärke). Sie waren etwas schwächer geräuschempfindlich (große Effektstärke), wohnten im Mittel 200 m näher an den WEA und waren einem 1.4 dB(A) höheren Schalldruckpegel (LATges) ausgesetzt (kleine Effektstärken, Tabelle 18).

Fazit: Unter den durch WEA-Geräusche stark Belästigten gab es eine Untergruppe von Anwohnern/innen mit tieffrequenten Schallsymptomen, die sehr negativ gegenüber den lokalen WEA eingestellt und besonders stark durch WEA-Wirkungen belastet waren.

Tabelle 18 Durch WEA-Geräusche stark Belästigte mit vs. ohne tieffrequente Symptome (TS) (M, SEM, n).

	stark Belästigte mit TS (n = 8)	stark Belästigte ohne TS (n = 6)
Alter [Jahre]	66.25 (4.19)	54.00 (3.06)
Geschlecht	5 (w), 3 (m)	2 (w), 4 (m)
Einstellung zu WEA im Allgemeinen	-0.52 (0.40)	-0.42 (0.32)
Einstellung zu lokalen WEA	-2.13 (0.41)	-1.72 (0.16)
Interesse für das Thema Windenergie	2.76 (0.43)	2.39 (0.38)
Planung eigenen Interessen gerecht geworden	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
Belastung durch Planungsprozess	2.50 (0.60)	1.40 (0.60)
Belastung durch Bauphase	2.13 (0.58)	0.80 (0.58)
<i>Geräuschqualität</i>		
wummern	n = 6	n = 2
brummen	n = 6	n = 2

Fortsetzung der Tabelle auf der folgenden Seite

	stark Belästigte mit TS (n = 8)	stark Belästigte ohne TS (n = 6)
<i>WEA-Geräusche</i>		
unangenehm – angenehm	-2.88 (0.13)	-2.50 (0.50)
bedrohlich – friedlich	-2.00 (0.33)	-1.67 (0.56)
schädigend – harmlos	-2.38 (0.18)	-2.33 (0.49)
unerträglich – erträglich	-1.75 (0.45)	-1.50 (0.43)
<i>Belästigung</i>		
WEA-Geräusche	3.25 (0.31)	2.83 (0.31)
Verkehrslärm	1.25 (0.56)	2.00 (0.52)
<i>kognitive Bewältigung der WEA-Geräusche</i>		
mit ihnen abgefunden	1.50 (0.53)	1.83 (0.48)
kritisches Beobachten	2.63 (0.50)	1.17 (0.60)
Ortsverbundenheit	1.50 (0.22)	-0.06 (0.40)
<i>Gesundheit</i>		
akute Stressbelastung	0.88 (0.48)	1.33 (0.61)
chronische Stressbelastung	0.75 (0.34)	1.50 (0.43)
allgemeiner Gesundheitszustand	2.38 (0.42)	2.50 (0.34)
Hörvermögen	4.13 (0.64)	3.83 (0.75)
Geräuschempfindlichkeit	4.08 (0.28)	4.78 (0.19)
Anzahl sichtbarer WEA	3.88 (1.51)	4.00 (1.61)
Abstand zur nächsten WEA [m]	1338 (255)	1548 (222)
Schalldruckpegel LATges [dB(A)]	35.19 (2.32)	33.72 (0.75)

Einzelfälle mit Messungen: Bei den Messungen bei vier Anwohnern/innen zeigten sich keine auffälligen Werte. Seismische und akustische Spitzenwerte („peaks“) für Frequenzen < 100 Hz lagen unterhalb der Wahrnehmungsschwelle. Seismische Wellen können entsprechend eine WEA-Geräuschbelastung nicht erklären. Ein bedeutsamer Zusammenhang zwischen subjektiven Angaben und objektiven Messungen bei diesen vier Einzelfällen ließ sich nicht zeigen.

Wilstedt im Verlauf (2012, 2014, 2018): In die Verlaufsanalyse gingen nur Daten von Befragungsteilnehmern/innen ein, welche die entsprechenden Fragen jeweils zu allen drei Zeitpunkten beantwortet hatten (n = 22 bis 58). Insgesamt zeigten sich im Verlauf eine Verbesserung der Akzeptanz des Windparks und ein Rückgang der Stresseffekte, deutlich erkennbar insbesondere zwischen 2014 und 2018 nach Veränderung der Hinterkantenprofile („serrations“, Tabelle 19). Zu den wichtigsten Veränderungen gehörten eine positivere Bewertung der WEA-Geräusche insgesamt (weniger unangenehm, nicht mehr bedrohlich, geringfügig harmlos und erträglich), ein Rückgang der WEA-Geräuschbelastung (bei konstanter, mittelstarker Belästigung durch Verkehrslärm), eine Verminderung der Anzahl durch WEA-Geräusche stark belästigter Anwohner/innen (2012: 9.9 %, 2014: 6.8 %, 2018: 4.6 %; zum Vergleich verminderte sich der Anteil durch Verkehrslärm stark Belästigter von 15.8 % in 2014 auf 10.0 % in 2018), eine Stress mindernde kognitive Bewältigung (abgefunden, Frieden gemacht), verbesserte Bewertung der globalen Windparkwirkung (stört und beeinträchtigt nur noch sehr gering), Abnahme negativer Gefühle gegenüber dem Windpark (Ärger, Misstrauen), kein Einfluss des Windparks mehr auf die Lebensqualität und das Vertrauen zu Akteuren/innen (Betreiber, Gemeinde, Bürgermeister) und positivere Einstellung zum Windpark bei gleichgebliebener Einstellung zur WEA im Allgemeinen.

Fazit: Diese Verlaufsstudie über drei Zeitpunkte ist einzigartig. Deutlich wird, dass sich durch Partizipation im weiteren Sinne, nämlich die Anwohner/innen als lokale Experten zu betrachten sowie das Eingehen auf die Geräuschbeschwerden in 2012 und die Geräuschminderungsmaßnahme durch die veränderten Hinterkantenprofile, ließen sich anfängliche Stresseffekte deutlich abschwächen ließen. Die Befunde sprechen auch gegen einen NIMBY-Effekt, da die Einstellung zum Windpark mit der Zeit positiver wurde, aber die globale Einstellung zur Windenergie im Allgemeinen relativ konstant blieb.

Tabelle 19 Wilstedt im Zeitverlauf (M, SEM).

	2012	2014	2018
WEA-Geräusche (Skala –3 – +3)			
unangenehm – angenehm	–1.33 (0.20)	–1.23 (0.19)	–0.72 (0.19)
bedrohlich – friedlich	–0.18 (0.23)	–0.49 (0.24)	0.00 (0.19)
schädigend – harmlos	–0.10 (0.28)	–0.49 (0.24)	0.26 (0.24)
unerträglich – erträglich	0.00 (0.30)	–0.05 (0.27)	0.54 (0.22)
Belästigung (Skala 0 – 4)			
WEA-Geräusche	1.67 (0.22)	1.28 (0.21)	0.67 (0.11)
ICBEN-Skala Q. V.	1.33 (0.21)	1.23 (0.20)	0.64 (0.10)
Verkehrslärm	1.69 (0.18)	1.55 (0.18)	1.69 (0.16)
Einstellungen (Skala –3 – +3)			
WEA im Allgemeinen			
WP Wilstedt	1.55 (0.15)	1.72 (0.11)	1.62 (0.14)
Ablehnung – Zustimmung WP Wilstedt	0.80 (0.22)	0.93 (0.22)	1.23 (0.20)
Wilstedt	1.21 (0.28)	1.07 (0.27)	1.64 (0.23)
kognitive Bewältigung der WEA-Geräusche (Skala 0 – 4)			
mit ihnen abgefunden	1.68 (0.25)	1.95 (0.25)	2.86 (0.22)
kritisches Beobachten	1.43 (0.20)	1.65 (0.20)	1.43 (0.21)
Frieden gemacht	1.32 (0.21)	1.36 (0.20)	2.55 (0.24)
globale Wirkung des WP (Skala 0 – 4)			
stört mich	1.28 (0.18)	1.18 (0.16)	0.77 (0.12)
stört Tätigkeiten	0.47 (0.13)	0.50 (0.12)	0.29 (0.10)
schränkt Handlungen ein	0.44 (0.13)	0.46 (0.13)	0.28 (0.09)
beeinträchtigt Gesundheit	0.54 (0.13)	0.46 (0.13)	0.28 (0.10)
Veränderung der Lebensqualität durch WP (Skala –3 – +3)			
Wilstedt	–0.40 (0.17)	–0.48 (0.13)	–0.02 (0.14)
Gefühle gegenüber dem WP (Skala 0 – 4)			
Ärger / Zorn	1.04 (0.19)	0.86 (0.16)	0.49 (0.14)
Misstrauen	0.82 (0.17)	0.86 (0.17)	0.50 (0.13)
Veränderung des Vertrauens (Skala –2 – +2)			
Betreiber-gesellschaft	/	–0.30 (0.11)	0.09 (0.11)
Gemeinde	/	–0.43 (0.12)	–0.04 (0.10)
Genehmigungsb-hörde	/	–0.53 (0.12)	0.00 (0.09)

Anmerkungen: signifikante Vergleiche 2012 vs. 2018 WP: Einstellung zum WP Wilstedt, $p = .017$, $d = 0.268$ (kleine Effektstärke); WP beeinträchtigt Gesundheit, $p = .021$, $d = 0.297$ (kleine Effektstärke); /: nicht erhoben in 2012

Moderatoren der Stressbelastung bei WEA-Geräuschwahrnehmern: Für die Moderatoranalyse wurden die Ingersheimer und Wilstedter Stichprobe zusammengefasst. Die Referenzstichprobe besteht nur aus den Schweizer Befragten, da in der Hinderniskennzeichnungsstudie keine WEA-Geräuschsymptome erfragt wurden.

Nur für wenige Faktoren zeigte sich ein bedeutsamer Zusammenhang ($r > |.30|$) zum Geräuschstress, erfasst durch die GSS (Tabelle 20). Die Muster der Zusammenhänge sind in beiden Stichproben vergleichbar: Je negativer die Einstellung, je höher die Belastung in der Planungs- und Bauphase, je weniger den eigenen Interessen bei der Planung gerecht geworden war und je höher die Lärmempfindlichkeit (nur Ingersheim-Wilstedt-Stichprobe), desto stärker war der WEA-Geräuschstress. Weitere Gesundheitsvariablen sowie physikalische (wie z. B. Abstand und Schalldruckpegel) und soziodemografische Variablen zeigten keinen bedeutsamen Zusammenhang zum WEA-Geräuschstress.

Tabelle 20 Korrelationen mit der WEA-Stressskala für Geräusche bei WEA-Geräuschwahrnehmern/ innen (r, p-Wert).

	Ingersheim + Wilstedt (n = 92 – 102)	Referenz (n = 122 – 136)
Einstellung zu WEA im Allgemeinen	-.70 (< .0001)	-.71 (< .0001)
Einstellung zu lokalen WEA	-.78 (< .0001)	-.76 (< .0001)
WEA-Geräuschbelästigung	.94 (< .0001)	.90 (< .0001)
Belästigung durch WEA in der Landschaft	.50 (< .0001)	.66 (< .0001)
Belastung durch Planungsphase	.33 (.001)	.39 (< .0001)
Belastung durch Bauphase	.41 (< .0001)	.43 (< .0001)
Planung eigenen Interessen gerecht geworden	-.62 (< .0001)	-.32 (< .0001)
Lärmempfindlichkeit	.35 (< .0001)	/
Gesundheitszustand im Allgemeinen	.09 (.39)	-.09 (.28)
akute Belastung durch negative Ereignisse	.00 (.99)	.13 (.13)
chronische Belastung durch negative Ereignisse	-.02 (.83)	.12 (.16)
Anzahl sichtbarer WEA	.18 (.08)	.13 (.13)
Abstand zur nächsten WEA	-.27 (.01)	-.13 (.15)
Schalldruckpegel (LATges)	.04 (.66)	/
Wohndauer	.07 (.47)	-.14 (.11)
Alter	.08 (.40)	-.03 (.77)

Anmerkung: /: nicht erfasst

Moderatoren der Akzeptanz der lokalen WEA: Als Indikator für die Akzeptanz wurde für diese Analyse die Einstellung zu den lokalen WEA herangezogen. In beiden Stichproben zeigte sich in folgenden Variablen ein vergleichbares Korrelationsmuster (Tabelle 21): Je positiver die Einstellung zu WEA im Allgemeinen und je gerechter die eigenen Interessen bei der Planung vertreten wurde, desto positiver war die Einstellung zu lokalen WEA. Je stärker sich die Befragten durch verschiedene Emissionen belästigt bzw. durch die Planungs- und Bauphase belastet fühlten, desto weniger akzeptierten sie die lokalen WEA. Bei der Referenzstichprobe gab es zwei weitere bedeutsame Korrelationen: Mit steigender Lärmempfindlichkeit und Anzahl vom Grundstück aus gesehener WEA verminderte sich die Akzeptanz. Für weitere Gesundheits- bzw. soziodemografische Merkmale sowie den physikalischen Größen Schalldruckpegel und Abstand waren keine bedeutsamen Zusammenhänge zur Einstellung nachweisbar.

Tabelle 21 Korrelationen mit der Einstellung zu den lokalen WEA (r, p-Wert).

	Ingersheim + Wilstedt (n = 225 – 260)	Referenz (n = 419 – 887)
Einstellung zu WEA im		
Allgemeinen	.88 (< .0001)	.85 (< .0001)
WEA-Geräuschbelästigung	-.70 (< .0001)	-.70 (< .0001)
WEA-Stressskala für Geräusche (GSS)	-.65 (< .0001)	-.69 (< .0001)
Belästigung durch WEA in der		
Landschaft	-.71 (< .0001)	-.78 (< .0001)
Belastung durch Planungsphase	-.41 (< .0001)	-.49 (< .0001)
Belastung durch Bauphase	-.39 (< .0001)	-.58 (< .0001)
Planung eigenen Interessen		
gerecht geworden	.70 (< .0001)	.46 (< .0001)
Lärmempfindlichkeit	-.29 (< .0001)	-.42 (< .0001)
Gesundheitszustand im		
Allgemeinen	-.07 (.29)	.19 (< .0001)
akute Belastung durch negative		
Ereignisse	.11 (.09)	-.11 (.003)
chronische Belastung durch		
negative Ereignisse	.03 (.64)	-.10 (.004)
Anzahl sichtbarer WEA	-.16 (.01)	-.35 (< .0001)
Abstand zur nächsten WEA	.21 (.001)	.11 (.003)
Schalldruckpegel (LATges)	-.29 (< .0001)	/
Wohndauer	-.05 (.42)	-.05 (.16)
Alter	-.01 (.90)	.03 (.40)

Anmerkung: /: nicht erfasst

Zur Prüfung, welche Variablen einen bedeutsamen Einfluss auf die Akzeptanz der lokalen WEA besitzen, wurden für die kombinierte Ingersheimer-Wilstedter-Stichprobe und die Referenzstichprobe multiple Regressionen berechnet. In beiden Analysen erwiesen sich die WEA-Stressskala für Geräusche und die Belästigung durch WEA im Landschaftsbild als stärkste Prädiktoren (Kriterium für Bedeutsamkeit: $Beta > |0.15|$, Tabelle 22). Je schwächer beide Merkmale, desto höher war die Akzeptanz. In der Ingersheimer-Wilstedter-Stichprobe gab es mit der Variablen „bei der Planung den eigenen Interessen gerecht geworden“ einen weiteren bedeutsamen Faktor, in der Referenzstichprobe war es die „Anzahl gesehener WEA“. Hier gilt der Zusammenhang: Je weniger WEA vom Grundstück aus gesehen wurden, desto höher war die Akzeptanz für die lokalen WEA. Als vernachlässigbare Faktoren erwiesen sich die physikalischen, Gesundheits- und soziodemografischen Variablen.

Tabelle 22 Vorhersage der Einstellung zu lokalen WEA.

	Wilstedt + Ingersheim		Referenz	
	R ² adj. = 0.792		R ² adj. = 0.805	
	n = 179, alle VIF < 2.5		n = 302, alle VIF < 2.9	
	Beta	P	Beta	P
WEA-Stressskala für Geräusche (GSS)	-0.510	< .0001	-0.331	< .0001
Belästigung durch WEA in der Landschaft	-0.376	< .0001	-0.539	< .0001
Belastung durch Planungsphase	0.075	.12	-0.085	.02
Belastung durch Bauphase	-0.104	.02	0.127	.004
Planung eigenen Interessen gerecht geworden	0.182	.001	0.134	< .0001
Lärmempfindlichkeit	-0.099	.01	/	/
Gesundheitszustand im Allgemeinen	-0.070	.09	0.021	.45
akute Belastung durch negative Ereignisse	-0.029	.57	-0.046	.20
chronische Belastung durch negative Ereignisse	0.016	.76	0.030	.40
Anzahl sichtbarer WEA	0.104	.02	-0.163	< .0001
Abstand zur nächsten WEA	-0.051	.23	-0.068	.02
LATges	-0.015	.75	/	/
Wohndauer	-0.030	.50	0.001	.96
Alter	-0.088	.05	0.118	< .0001
Geschlecht	-0.019	.58	0.038	.15

Anmerkung: VIF: Variable Inflation Factor, /: nicht erfasst

II.1.2.4 Empfehlungen in Hinblick auf Akzeptanz und Gesundheitsschutz

Die Studie ist einzigartig in Bezug auf die Verknüpfung subjektiver Angaben mit objektiven Messungen. Die Anwohner/innen haben sich kooperativ und verlässlich an der Befragung beteiligt. In Ingersheim und Wilstedt zeigte sich eine vergleichbar gute Akzeptanz wie in bislang anderen untersuchten deutschen, schweizerischen und US-Windparks (Hübner et al., 2019a).

Das Teilprojekt erbrachte gegenüber der bisherigen Forschung zur Wirkung von WEA-Geräuschen drei neue zentrale Ergebnisse:

1. In Wilstedt konnten die Anwohner über einen Zeitraum von 6 Jahren begleitet und zu drei Zeitpunkten wiederholt befragt werden, zuletzt im Jahr 2018 im Rahmen des vorliegenden Projekts. Mit Wilstedt liegt daher nun eine weltweit einzigartige Langzeitstudie zur Wirkungen von WEA-Geräuschen vor. Die Befunde zum Verlauf in Wilstedt zeigen, dass eine fundierte Analyse der Anwohnerbeschwerden eine Voraussetzung ist, um gezielt Minderungsmaßnahmen einsetzen zu können, hier Hinterkantenprofile. Erst die wiederholte Befragung ermöglichte eine verlässliche Evaluation der Minderungsmaßnahme, die nachweislich Stresseffekte reduzierte und die Akzeptanz für den Windpark steigerte. Als wesentlich erwies sich ebenfalls, die Anwohner/innen offen und im gegenseitigen Vertrauen an der Analyse zu beteiligen. Die Geräuschaufnahmen durch Wilstedter Anwohner/innen hatten 2012 maßgeblich dazu beigetragen, Amplitudenmodulation als eine Ursache für lästige WEA-Geräusche zu identifizieren (Pohl et al., 2014, 2018).

2. Bei den durch WEA-Geräusche stark Belästigten wurde eine Untergruppe von acht Personen mit tieffrequenten Symptomen identifiziert (3.1 % der Gesamtstichprobe), die besonders starke Stresseffekte und starke Ablehnung der WEA aufweisen. Sie wohnten in einer größeren Entfernung von rund 1300 m und damit rund 200 m näher an den WEA als die Untergruppe ohne tieffrequente Symptome. Aber der Faktor Abstand erwies sich erneut als nicht entscheidend bei der Erklärung der Belästigung, da dieser nicht bedeutsam mit dem WEA-Geräuschstress korrelierte. Für vier der acht Personen mit tieffrequenten Symptomen konnten zudem auf deren Anwesen objektive Messungen vorgenommen werden. Die gemessenen seismischen und tieffrequenten Schallamplituden, die auf den WEA-Betrieb zurückgeführt werden konnten, waren äußerst gering. Dies macht es unwahrscheinlich, dass diese Wellenarten etwas zu den beobachteten Stresseffekten beigetragen haben und die erlebte Belästigung erklären können. Viel auffälliger dagegen waren die Unterschiede in der erlebten Belastung in der Planungs- und Bauphase. Untermauert wird damit die nachhaltige Bedeutung des Planungs- und Bauprozesses für spätere Belastungen und die Akzeptanz der Anlagen (Pohl et al., 2018; Hübner et al., 2019a; Hübner et al., 2019b).

3. Wie auch diese Untersuchung zeigte, ist bei positiver Akzeptanz der WEA mit einem kleinen Prozentsatz stark Belästigter zu rechnen. Solch ein Prozentsatz ist nicht ungewöhnlich, er tritt systematisch auf. In Ingersheim (6.2 %) gab es geringfügig mehr durch WEA-Geräusche stark Belästigte als in Wilstedt (4.6 %) und der Referenzstichprobe und etwas mehr als in einer repräsentativen US-Stichprobe (1.1%, Hübner et al., 2019a). Zu betonen ist, dass Stresseffekte durch WEA-Geräusche und Verkehrslärm klar differenziert werden können, d. h. Anwohner/innen generalisieren nicht über die Lärmarten, sondern urteilen differenziert und können Wirkungen verschiedenen Ursachen zuordnen.

Hervorzuheben ist, dass die Ergebnisse zur Belästigung sich als abhängig von den verwendeten Indikatoren und Formulierung der Fragen nach Belästigung und Symptomen erwiesen. Zum anderen fühlt sich nicht jede Person, die Symptome oder Beschwerden angibt, auch dadurch deutlich belästigt. Daher kann die WEA-Wirkung überschätzt werden, wenn allein die Symptome betrachtet werden, wie die Angaben zu Wilstedt verdeutlichen (Tabelle 23). Entsprechend scheint eine Klärung und Standardisierung der diagnostischen Methoden zur Erfassung von Belästigung erforderlich. Ausgehend von stresspsychologischen Ansätzen und unseren bisherigen Forschungsergebnissen ist im Sinne der WEA-Stressskala für Geräusche (Hübner et al., 2019a) zu empfehlen, die erlebte Stärke der Belästigung mit Angaben zu Symptomen zu verknüpfen und nicht allein den Belästigungsgrad oder die Symptome heranzuziehen.

Tabelle 23 Vergleich verschiedener Belästigungsindikatoren.

	Ingersheim	Wilstedt
stark Belästigte durch WEA-Geräusche	6.2 %	4.6 %
Symptomträger wegen WEA-Geräuschen	6.2 %	10.0 %

II.1.3 Umweltmedizinische Befragung und Auswertung (UBI AP E2.2)

Als wichtiges Kernziel der umweltmedizinischen Befragung sollen gemäß dem Arbeitspaket E 2.2.2. des Teilvorhabens Personen identifiziert werden, die unter WEA-assoziierten gesundheitlichen Beschwerden leiden. Es wurde untersucht, ob Häufungen von subjektiv beobachteten Beschwerden und Symptomen feststellbar sind, die ggf. durch Immissionen der WEA verursacht werden. Um eine objektive Bewertung zu ermöglichen, wurden der allgemeine Gesundheitszustand sowie relevante Einflussfaktoren auf Gesundheit und Lebensqualität der Anwohner/innen erfasst.

Durch eine Gegenüberstellung der erfassten Daten von Personen mit WEA-assoziierten Beschwerden und Daten von nichtbetroffenen Personen sollten insbesondere gesundheitsbezogene Gemeinsamkeiten, wie beispielsweise bestehende Vorerkrankungen oder besondere körperliche Merkmale (z. B. eine erhöhte Lärmempfindlichkeit), herausgestellt werden.

Dazu zählten auch mögliche Einflussfaktoren aus dem Lebens- bzw. Wohnumfeld von Menschen mit gesundheitlichen Beschwerden, die für die Entstehung oder Förderung der Beschwerden (mit)verantwortlich sein könnten. So kann die Erfassung anderer potentieller Einflussfaktoren auf das Wohlbefinden zur weiteren Aufklärung möglicher Ursachen und Gründe für eine Vulnerabilität bei Betroffenen beitragen.

Bei Anwohner/innen, die angaben, unter subjektiven, immissionsbedingten Beschwerden zu leiden, sollten auf Wunsch akustische und seismische Messungen im bzw. am Haus durch die Kooperationspartner des KIT-IBF durchgeführt werden, um den möglichen Zusammenhang von Beschwerden mit belastenden Immissionswirkungen im Wohnumfeld zu prüfen.

Direkte Kausalitätsnachweise oder verallgemeinernde Aussagen über gesundheitliche Folgen von WEA-Immissionen für Anwohner/innen sind im Rahmen des TremAc-Vorhabens nicht möglich und auch explizit nicht das Ziel des Vorhabens bzw. der umweltmedizinischen Befragung.

II.1.3.1 Festlegung des umweltmedizinischen Forschungsdesigns und Anpassung des Fragebogeninventars (Teil-AP E1.2)

Die umweltmedizinische Analyse zielte auf die Herauszustellung von gesundheitlichen Beschwerden, die Anwohnern/innen subjektiv auf WEA-Immissionen bzw. explizit auf tieffrequenten Schall (inkl. Infraschall)) zurückführen.

Die Untersuchung von Stresseffekten, die durch ein starkes Belästigungsempfinden infolge einer Geräuschbelastung auftreten, erfolgte im Rahmen des Teilprojektes „Umweltpsychologische Analyse der WEA-Immissionswirkungen auf Akzeptanz und Wohlbefinden der Anwohner“ von der Umweltpsychologie der MLU. Soweit möglich, war ein anschließender Vergleich der umweltmedizinischen Befragungsergebnisse mit den umweltpsychologischen Daten sowie den Erschütterungs- und Infraschall-Messungen in Gebäuden geplant. Daher erfolgte die Durchführung der umweltpsychologischen und umweltmedizinischen Befragung in enger Abstimmung sowie im Austausch mit den beteiligten Messgruppen vom KIT-IBF.

Zur Analyse der Wirkung der WEA auf Anwohner/Innen in den Gemeinden *Ingersheim* und *Wilstedt* wurde ein deskriptiver Studienansatz gewählt, um die Kenntnisse über gesundheitliche Beschwerden, die im Zusammenhang mit Schallimmissionen von WEA auftreten, zu erweitern. Der Fokus bei der Rekrutierung von Befragungsteilnehmern/innen wurde gezielt daraufgelegt, möglichst viele der gesundheitlich betroffene Anwohner/innen für die Befragung zu gewinnen, um diese systematisch analysieren können. Die Anwohner/innen Stichproben für die Befragungen wurden daher nicht zufällig und nach den Kriterien einer repräsentativen Stichprobe gezogen.

Das geplante Vorgehen erlaubt es, das definierte Ziel des Teilvorhabens, die Erstellung eines Symptomkatalogs (AP E2.2.2), der mit tieffrequentem Schall assoziierte Symptome enthält, zu erreichen. Außerdem gestattet die individuelle Betrachtung von Einzelfällen es, mögliche (gemeinsame) Merkmale vulnerabler Personen herausstellen zu können.

Der für die Erhebung entwickelte umweltmedizinische Fragebogen beinhaltet im Wesentlichen zwei Themenblöcken (Tab. 24).

Im ersten Befragungsteil werden Angaben zum allgemeinen Gesundheitszustand und zu Gesundheitsproblemen sowie zur persönlichen Wahrnehmung von körperlichen Veränderungen bei den Befragten erfasst. Körperliche Beschwerden besitzen, neben dem psychischen Wohlbefinden, der Funktionsfähigkeit im Alltag und der sozialen Integration, eine besondere Bedeutung für die subjektive Lebensqualität (WHO 1997). Bei der Befragung wurde der Fokus daher auf die Erfassung der subjektiv empfundenen Beeinträchtigungen und Belästigungen durch (allgemeine und WEA-assoziierte) körperliche Symptome bei Anwohnern/innen gelegt. Es sollten keine objektivierbaren Befunde herausgestellt werden.

Tabelle 24 Übersicht der Elemente des umweltmedizinischen Fragebogens.

Thema	Test	Quelle
Allgemeine Angaben zur Person		
Angabe von Alter, Geschlecht etc.		-
1. Gesundheitszustand, Wahrnehmung körperlicher Veränderungen und Gesundheitsprobleme		
I. Allgemeiner Gesundheitszustand, Angaben über aktuelle körperliche Beschwerden und den Beschwerdedruck	Gießener Beschwerdebogen-24, GBB-24	(Brähler et al. 2008)
II. WEA-assoziierte Gesundheitsbeschwerden	Freie Antwortmöglichkeit	
III. Schlafqualität der letzten 4 Wochen	Pittsburgh Schlafqualitätsindex (PSQI)	(Buysse 1989)
IV. Erleben von Körperbeschwerden	Somatic Symptoms Experiences Questionnaire-SSEQ	(Herzog, Voigt, Meyer et al. 2014)
V. Gesundheitsbezogene Lebensqualität	Short Form (SF)-12 Health Survey	(Morfeld et al. 2011)
VI. Lärmempfinden	Lärmempfindlichkeitsskala von Weinstein	(Zimmer und Ellermeier 1997)
2. Wohnumfeld und Belästigungen durch Umwelteinflüsse		
Angaben zu Geräuschquellen im Wohnumfeld		-
Belästigung durch Umwelteinflüsse und Lärm im Wohnumfeld		-
Zufriedenheit mit der Wohnsituation		

Im Rahmen des gewählten Studiendesigns wurde keine definierte Kontrollgruppe betrachtet. In den umweltmedizinischen Fragebogen wurden u. a. standardisierte und validierte Selbstbeurteilungsinstrumente integriert, für die Referenzdaten aus Bevölkerungsstichproben bzw. von bestimmten Patientengruppen vorliegen. Die gewählten Instrumente dienen im Wesentlichen zur subjektiven Einschätzung der eigenen Beschwerden und nicht dazu, eine medizinische Diagnose zu stellen.

Für diese Analyse wurden folgende standardisierte bzw. validierte Erhebungsinstrumente in den Fragebogen aufgenommen:

- I. Der Gießener Beschwerdebogen-24 (GBB-24) wird als differenziertes Instrument zur Erfassung eines Beschwerdebildes eingesetzt. Er ermöglicht es, (a) Einzelbeschwerden und stark belastende „Leitbeschwerden“ zu erfassen, (b) vier verschiedene Beschwerdekombinationen zu erfassen.

plexe (Erschöpfung, Magenbeschwerden, Gliederschmerzen und Herzbeschwerden) skaliert zu erheben und (c) aus den 24 zur Skalenbildung benutzten Items, einen Gesamtwert für den Beschwerdedruck zu bestimmen (Brähler 2008).

Die Berechnungen der Prozentränge der vier verschiedenen Beschwerdekompexe und des Beschwerdedrucks ermöglichen es, die individuellen Werte der Teilnehmer/innen innerhalb einer Referenz-Bevölkerungsstichprobe aus dem Jahr 2001 einzuordnen. Die Referenzstichprobe umfasst die Werte von drei nach Geschlecht (männlich, weiblich) getrennte Altersgruppen (bis 49 Jahre, 41–60 Jahre und ab 61 Jahre). Als statistischer Durchschnittsbereich gelten hier die mittleren 50%, also die Prozentränge zwischen 25 % und 75 %.

Um weitere Symptome abzufragen, die potentiell im Zusammenhang mit tieffrequenten Schalleexpositionen auftreten könnten, wurden von 17 aus der Literatur identifizierten Symptomen das Maß der Belästigung bei den Befragten erfasst und geprüft, ob ggf. eine starke Belastung durch diese Beschwerden besteht. Zu diesen Symptomen zählten u. a. Vibrationsgefühl im Körper, Druckgefühle im Ohr, Tinnitus/ Ohrgeräusche, Druckgefühle im Körper und Druckgefühle in Herzgegend (Krahé et al. 2014; Walker et al. 2015).

Neben den geschlossenen Antworten bestanden offene Antwortmöglichkeiten für selbstberichtete gesundheitliche Beschwerden, um auch nicht aufgeführte Symptome zu erfassen. Die Symptomabfrage diente zur Einschätzung des allgemeinen Gesundheitszustands und der Erfassung von WEA-bedingten Beschwerden für die Erstellung des Symptomkatalogs. Die Teilnehmer/innen wurden dafür im Fragebogen explizit gefragt, ob „Beschwerden aufgetreten sind, die sie mit der/den WEA in Verbindung bringen“ und wenn ja, diese zu benennen oder zu beschreiben. Dabei waren Mehrfachnennungen möglich. Teilnehmer/innen, die subjektive WEA-assoziierte Beschwerden benannt haben, wurden im Rahmen der umweltmedizinischen Erhebung als Beschwerdeträger/innen definiert.

- II. Als kurzes Messinstrument zur Erfassung der **gesundheitsbezogenen Lebensqualität** wurde die deutsche Version des **Short Form (SF)-12 Health Survey** verwendet. Die gesundheitsbezogene Lebensqualität wird als „multidimensionales psychologisches Konstrukt“ betrachtet, dass mittels der vier wesentlichen Komponenten (*psychisches Befinden, körperliche Verfassung, soziale Beziehungen und funktionale Kompetenz*) operationalisiert wird (Morfeld et al. 2011). Mit dem SF-12 kann die subjektive Gesundheit aus Sicht der Betroffenen, unabhängig von ihrem Gesundheitszustand, erfasst werden. Als Ergebnis des SF-12 wird die psychische (PSK) und körperliche Summenskala (KSK) der Befragten berechnet und kann mit einer nach Geschlecht getrennten und in sieben Altersgruppen differenzierten deutschen Normstichprobe von 1998 verglichen werden (Morfeld et al. 2011, S. 203).
- III. Der **Somatic Symptoms Experiences Questionnaire- SSEQ** gilt als ein validiertes Selbstbeurteilungsinstrument zur Erfassung relevanter psychischer Merkmale insbesondere bei Patienten mit somatoformen Störungen und bei Patienten mit allgemeinen Körperbeschwerden (Herzog, Voigt, Meyer et al. 2014). Im SSEQ werden vier Faktoren analysiert (Gesundheitssorgen, Krankheitserleben, Interaktionsschwierigkeiten mit Ärzten/innen und Krankheitsfolgen), anhand derer das Ausmaß körperlicher Beschwerden, Depressivität und Ängstlichkeit aufgezeigt werden kann. Die Validität wurde u.a. daran überprüft, inwieweit diese Werte auch die mittels des SF-12 eingeschätzte gesundheitsbezogene Lebensqualität vorhersagen können (Herzog, Voigt, Meyer et al. 2014). So konnte bei „der körperlichen Summenskala des SF-12 durch die Hinzunahme des SSEQ ein signifikanter Zugewinn an Varianzaufklärung erzielt werden“ (Herzog, Voigt, Meyer et al. 2014, S. 117).

IV. Schlafstörungen werden in der Literatur als eine der häufigsten Folgen von Geräuschbelastungen durch WEA genannt. Um die subjektive Einschätzung der Schlafqualität innerhalb der Stichproben vergleichen zu können, wurde der **Pittsburgh-Schlafqualitäts-Index (PSQI)** integriert. Dieser dient als Instrument zur Erfassung der Schlafqualität, die retrospektiv für den Zeitraum der letzten vier Wochen ermittelt wird. Dabei werden die Häufigkeiten der Komponenten *schlafstörende Ereignisse, die Einschätzung der Schlafqualität, die gewöhnlichen Schlafenszeiten, Einschlafzeit und Schlafdauer* sowie die *Einnahme von schlaffördernden Medikamenten* und die *Tagesmüdigkeit* erfragt (Buysse 1989). Der Gesamtscore ergibt sich aus der Summe der Scores der Einzelkomponenten und kann Werte zwischen 0 und 21 erreichen. Der empirisch bestimmte *cut-off* Wert liegt bei 5, eine höhere Ausprägung entspricht einer verringerten Schlafqualität.

Im Fragebogen für die Ingersheim-Stichprobe wurde der PSQI, mittels Filterfrage, nur von Teilnehmern/innen ausgefüllt, die in den letzten 4 Wochen schlecht geschlafen hatten. In Wilstedt wurden alle Teilnehmer/innen aufgefordert, den PSQI zu beantworten.

V. Die **Weinstein-Lärmempfindlichkeitsskala** ist ein Kurzfragebogen mit dem die Lärmempfindlichkeit von Probanden/innen mittels Selbsteinschätzung erfasst wird (Weinstein 1978; Zimmer und Ellermeier 1997, 1998). *Lärmempfindlichkeit* ist als Moderatorvariable aufzufassen und kann ein Prädiktor für das erwartete Ausmaß einer Lärmbelastigung darstellen (Zimmer und Ellermeier 1997). Im Fragebogen werden neben der allgemeinen Einstellung gegenüber Lärm auch die affektiven Reaktionen thematisiert, die auf unterschiedliche Alltagsgeräusche im häuslichen Umfeld erfolgen (ebd.). Das in den USA entwickelte, standardisierte Instrument besitzt eine hohe Reliabilität und Validität (Weinstein 1978). Die Reliabilität und Konstruktvalidität der hier eingesetzten deutschen Version der Weinsteinskala, wird von den Autoren als zufriedenstellend bewertet (Zimmer und Ellermeier 1997).

Im zweiten Themenblock des umweltmedizinischen Fragebogens wurden Daten zum Wohnumfeld der Befragten erfasst und das Maß der Belästigungen durch andere mögliche Umweltstressoren im Wohnumfeld erhoben. Insbesondere sollten weitere (tieffrequente) Schallquellen im Wohnumfeld identifiziert werden, die zusätzliche Belastungsquellen darstellen könnten.

Im Fragebogen wurden außerdem soziodemografische Angaben zur Person erfasst. Dazu zählten auch die Angabe des Geschlechts und des Alters sowie der Körpergröße und des Körpergewichts.

II.1.3.2 Befragung von Anwohnern/innen und Auswertung der umweltmedizinischen Fragebögen (AP E 2.2)

Im März und April 2018 wurden 129 Anwohner/innen in *Ingersheim (Baden-Württemberg)* und den umliegenden Ortsteil *Kleiningersheim* sowie Ortsteilen von *Besigheim* und *Hessigheim* zu ihrer Wahrnehmung der WEA befragt. Die umweltmedizinische Befragung von 124 Anwohnern/innen der Gemeinde *Wilstedt* (Niedersachsen) erfolgte im November 2018.

Die Befragungen wurden in enger Zusammenarbeit mit der MLU durchgeführt. Die Rekrutierung von Teilnehmer/innen erfolgte durch die MLU (Vergl. Abschnitt II.1.1).

Die MLU führte ihre umweltpsychologische Befragung im Rahmen von persönlichen Interviews durch. Im Anschluss daran erhielten die Teilnehmer/innen von den Interviewern/innen den umweltmedizinischen Fragebogen der UBI zum selbstständigen Ausfüllen und zurücksenden (im frankierten Rückumschlag).

Die Darstellung der Erhebungsergebnisse aus den beiden Stichproben Ingersheim und Wilstedt erfolgt im vorliegenden Bericht separat, da sich die Rahmenbedingungen an den beiden Untersuchungsstandorten wesentlich unterscheiden.

Zum einen befindet sich in Ingersheim nur eine WEA, während in Wilstedt ein Windpark mit neun Anlagen in Betrieb ist, was potentiell Unterschiede in der Qualität und Stärke von Immissionen und damit ggf. Unterschiede im Grad der Belastungen bei Anwohnern/innen bewirken kann. Beide Standorte weisen zudem sehr unterschiedliche geologische Standortbedingungen auf, wodurch sich die Charakteristika der Emissionen und ihrer Ausbreitung über den Boden an den beiden Untersuchungsstandorten ggf. unterscheiden und zu unterschiedlichen Immissionsbelastungen bei Anwohnern/innen beitragen können. Die von den Kooperationspartnern (IBF, SWE, GPI) gemessenen Emissionen und Immissionen an den beiden Standorten werden bei der Zusammenführung der Daten in Kapitel II.1.5 betrachtet und im Kontext der umweltmedizinischen Analyseergebnisse diskutiert.

In der Gemeinde Ingersheim handelte es sich um eine Erstbefragung, während in der Gemeinde Wilstedt bereits in den Jahren 2012 und 2014 von der MLU umweltpsychologische Befragungen zur Akzeptanz und Stresswirkungen durchgeführt wurden (Pohl et al. 2014, 2018).

Hinzu kommt, dass an den WEA in Wilstedt nach 2014 vom Betreiber bauliche Maßnahmen zur Lärminderung an den Anlagen umgesetzt wurden. Die Anbringung von Hinterkantenprofilen an den Flügeln, sogenannten *Serrations*, hat nach Aussage einiger Anwohner/innen maßgeblich zur Verminderung der Lärmbelastung beigetragen (Informationen aus persönlichen Gesprächen).

Die im Rahmen der umweltmedizinischen Befragung gewonnenen Daten der Beschwerdeträger/innen an beiden Standorten werden anschließend in eine gemeinsame Analysematrix eingefügt und vergleichend betrachtet (Kapitel II.1.5.).

II.1.3.3 Rücklauf ausgefüllter Fragebögen als Datenbasis

Die Stichprobe „Ingersheim“ (Baden-Württemberg) beinhaltete Anwohner/innen von vier Ortschaften, die im Radius von 1,5 km um die dortige Einzelanlage wohnen.

Insgesamt wurden von der MLU 115 persönliche Interviews zuhause geführt und 15 Fragebögen telefonisch beantwortet. Von den 130 Teilnehmern/innen waren 129 bereit einen umweltmedizinischen Fragebogen auszufüllen und per Post zurück zu senden.

Final wurden 108 umweltmedizinische Fragebögen zurückgesendet, der Rücklauf lag somit bei 84 %.

In Wilstedt (Niedersachsen) wurden von der MLU insgesamt 124 persönliche Interviews zuhause geführt und sechs Fragebögen telefonisch beantwortet. Von den 130 Teilnehmern/innen haben 124 Personen einen umweltmedizinischen Fragebogen der UBI angenommen, um ihn ausgefüllt per Post zurückzusenden.

Final wurden 62 umweltmedizinische Fragebögen an die UBI zurückgesendet, der Rücklauf lag in Wilstedt somit bei 50 %.

II.1.3.4 Auswertung der umweltmedizinischen Fragebögen (Teil-AP E2.2.2)

In einem ersten Schritt wurden die Daten der rückgesendeten Fragebogen eingegeben und ausgewertet.

Zunächst wurde die Stichproben aus Ingersheim und Wilstedt beschrieben. Es erfolgte dann eine Analyse des Allgemeinen Gesundheitszustands der Anwohner/innen und die Herausstellung von subjektiven, mit der WEA-assoziierten körperlichen und psychischen Symptomen.

Daraus ergab sich die Kennzeichnung von Beschwerdeträgern/innen und es erfolgte eine Untersuchung von möglichen gesundheitsrelevanten Einflussfaktoren.

II.1.3.4.1 Beschreibung der Stichprobe –Alter und Geschlechterverteilung

Von den 108 Befragten aus Ingersheim geben 40.7 % (n=44) an weiblich zu sein und 59.3 % (n=64) männlich. Das Durchschnittsalter betrug 62 Jahre (± 12 SD) (Tab. 25). Im Durchschnitt waren 83.3 % (n=90) der Befragten älter als 50 Jahre. In der gesamten Stichprobe befanden sich nur zwei Teilnehmer/innen in den Altersgruppen bis einschließlich 40 Jahren.

Tabelle 25 Geschlechter und Altersverteilung in der Stichprobe Ingersheim.

Altersgruppen	Geschlecht		Summe
	weiblich	männlich	
18 bis 30 Jahre	1	0	1
31 bis 40 Jahre	1	1	2
41 bis 50 Jahre	9	6	15
51 bis 60 Jahre	13	18	31
61 bis 70 Jahre	13	17	30
älter als 70 Jahre	7	22	29
gesamt	44	64	108

Von den 62 Befragten aus Wilstedt gaben 48 % (n=30) an weiblich und 52 % (n=32) männlich zu sein. Das Durchschnittsalter betrug 60 Jahre (± 11 SD) (Tab. 26). Damit waren 81.0 % (n=50) der Befragten älter als 50 Jahre. In der Stichprobe aus Wilstedt befanden sich in den Altersgruppen der 18–40 Jährigen nur zwei Teilnehmer/innen.

Tabelle 26 Geschlechter und Altersverteilung in der Stichprobe Wilstedt.

Altersgruppen	Geschlecht		Summe
	weiblich	männlich	
18 bis 30 Jahre	0	1	1
31 bis 40 Jahre	1	0	1
41 bis 50 Jahre	5	5	10
51 bis 60 Jahre	12	9	21
61 bis 70 Jahre	7	13	20
älter als 70 Jahre	5	4	9
gesamt	30	32	62

II.1.3.4.2 Identifikation der Beschwerdeträger/innen

Im Rahmen der Stichprobenanalyse sollte die **Beschwerdeträger/innen** herausgestellt werden, die bestimmte gesundheitliche Beschwerden mit den Schallimmissionen der WEA in Verbindung bringen.

Von den 108 befragten Personen in Ingersheim gaben acht Personen an, davon zwei Frauen (**Beschwerdeträgerin I1 und I2**) und sechs Männer (**Beschwerdeträger I3 bis I8**), körperliche Beschwerden zu haben, die sie mit dem Betrieb der WEA im Zusammenhang sehen.

Jeweils drei Beschwerdeträger/innen nannten *Druckgefühle* (z. B. im Kopf, in der Herzgegend), *Herzbeschwerden* und *Schlafstörungen* (Tab. 27) als Beschwerden, die im Zusammenhang mit dem Betrieb der WEA auftraten. Zudem wurden auch Schlafstörungen bei den eigenen Kindern genannt. Als weitere Einzelbeschwerden wurden *Kopfschmerzen*, *Angstzustand* und *innere Unruhe* genannt.

Von den 62 befragten Personen in Wilstedt gaben vier Personen, davon zwei Frauen (**Beschwerdeträgerin W1 und W2**) und zwei Männer (**Beschwerdeträger W3 und W4**) an, körperliche Beschwerden zu haben, die sie mit dem Betrieb der WEA im Zusammenhang bringen. Eine weitere befragte Frau konnte nicht mit Sicherheit sagen, ob ihre körperlichen Beschwerden auf den WEA-Betrieb zurückzuführen sind. Nach ihrer subjektiven Einschätzung traten die Beschwerden allerdings erst mit der Inbetriebnahme des Windparks auf (die Information wurde nach persönlicher Rücksprache gewonnen). Die Teilnehmerin wurde aufgrund der unklaren Attribuierung nicht als Beschwerdeträgerin betrachtet.

Zwei Beschwerdeträger/innen nannten *Schlafstörungen* (inkl. *Ein-/Durchschlafstörungen*) (Tab. 27) als Beschwerden, die durch den Betrieb der WEA verursacht wurden. Auch *Müdigkeit* wurde von einem Beschwerdeträger als Symptom genannt.

Als weitere Symptome wurde von zwei betroffenen Anwohnern/innen das Auftreten von *innerer Unruhe* bzw. *Nervosität* genannt. Als weitere Einzelsymptome traten *Ohrgeräusche* und *Kopfschmerzen* auf (Tab. 27). Die Anwohnerin, die nicht zweifelsfrei Auskunft geben konnte, ob ihre Beschwerden im Zusammenhang mit dem Betrieb der WEA stehen, leidet nach eigenen Angaben seit der Inbetriebnahme der Anlage unter *Hypertonie* und *Herzrhythmusstörungen* sowie einer „dichten Nase“.

Als häufigstes Symptom wurde in beiden Stichproben Störungen des nächtlichen Schlafes genannt, auch nervöse Unruhezustände und Kopfschmerzen zählen zu den mehrfach genannten Symptomen (Tab.27). In der Ingersheim-Stichprobe wurde, im Gegensatz zur Befragung in Wilstedt, zudem das Auftreten von Herz- und Druckbeschwerden als häufige WEA-assoziierte Symptome genannt. Insgesamt wurden zwar Häufungen von bestimmten Symptomen an beiden Standorten festgestellt, allerdings handelt es sich prinzipiell um eher unspezifische Symptome. Es muss bei den Betroffenen daher ausgeschlossen werden, dass die Beschwerden nicht durch andere Ursachen ausgelöst wurden.

Dafür wurde zunächst der allgemeine Gesundheitszustand der Betroffenen mit der Gesamtstichprobe bzw. mit bevölkerungsrepräsentativen Stichproben verglichen.

Tabelle 27 WEA-assoziierte Symptome.

Beschwerden, die Teilnehmer/innen auf den Betrieb der WEA zurückführen (Ingersheim, n=8; Wilstedt n=4). (+1) = Teilnehmerin ist unsicher hinsichtlich der Zuordnung von Beschwerden zu WEA.

Standort	Häufigkeit der Nennung (Mehrfachnennungen möglich)		
	Ingersheim	Wilstedt	gesamt
Schlaflosigkeit, (Ein-/Durch-) Schlafstörungen (Schlafstörung bei den Kindern)	3 (1)	3	6 (1)
Müdigkeit		1	1
Herzrasen, erhöhter Herzschlag, Rhythmusstörungen/Stolpern, (Hypertonie)	3	(+1)	3 (+1)
Druckgefühl im Kopf/Druck/Druckgefühl in Herzgegend	3		3
innere Unruhe (bei Lärm**)	1**	2	3
Kopfschmerzen	2	1	3
Ohrgeräusche/Tinnitus	1	1	2
Angstzustand	1		1

II.1.3.4.3 Gesundheitszustand und Wahrnehmung körperlicher Veränderungen

Mittels GBB-24 wurden die „körperlichen Leitbeschwerden“ erfasst, d. h. Beschwerden die von den Befragten als *stark* belästigend eingestuft wurden. In der Ingersheim-Stichprobe (n=108) gaben insgesamt neun Personen, darunter zwei Beschwerdeträger, ein bis fünf Beschwerden an, die sie als *stark* belästigend empfanden.

Die beiden Beschwerdeträger/innen aus Ingersheim nannten als Leitbeschwerden *Herzklopfen, -stolpern oder – jagen* (Beschwerdeträger I6) bzw. *Gelenk- oder Gliederschmerzen* und *Kreuz- oder Rückenschmerzen* (Beschwerdeträge I7).

Zu weiteren Beschwerden, die (unabhängig von der Symptomliste des GBB-24) als *stark* belastend erfasst wurden, zählen in vier Fällen *Tinnitus oder Ohrgeräusche* sowie einmal zusätzlich *Druckgefühle im Ohr*. Auch ein Beschwerdeträger bringt seinen Tinnitus in Zusammenhang mit dem WEA-Betrieb (Tab. 27), empfindet diesen aber nicht als *stark* belästigend.

In der Wilstedt Stichprobe gaben sechs der Befragten (n=62), darunter waren keine Beschwerdeträger/innen, ein bis drei stark belästigende Leitbeschwerden an. Die Symptome *Herzklopfen, -stolpern oder – jagen* wurden als einzige Leitbeschwerden in zwei Fällen genannt. Alle anderen der acht genannten Symptome verursachte nur jeweils in Einzelfällen starke Belästi-

gung. *Tinnitus oder Ohrgeräusche* wurden in der Wilstedt-Stichprobe von einer befragten Person als Leitbeschwerde angegeben. Die Beschwerdeträgerin, die ihren Tinnitus auf die WEA zurückführt, bewertete diesen allerdings nicht als *starke* Leitbeschwerde.

Neben der Erfassung von Leitbeschwerden wurden die Prozenträge der vier verschiedenen Beschwerdekompexe *Erschöpfung, Magenbeschwerden, Gliederschmerzen* und *Herzbeschwerden* sowie der *Beschwerdedruck* der Beschwerdeträger/innen betrachtet (Tab. 28).

Tabelle 28 GBB-24 Beschwerdekompexe Beschwerdeträger/innen –Ingersheim. Prozenträge für die vier Beschwerdekompexe und den Beschwerdedruck (GBB-24) bei Beschwerdeträgern/innen in Ingersheim: weiß 25. –75. Perzentile, hellgrau <25. Perzentile, dunkelgrau >75. Perzentile.

Beschwerdeträger/in #	I1	I2	I4	I5	I6	I7	I8
Alter	57	58	56	57	65	80	81
Geschlecht	w	w	m	m	m	m	m
	Prozentrang						
Erschöpfung	81	50	17	61	77	98	52
Magenbeschwerden	21	21	20	20	76	17	68
Gelenkbeschwerden	44	53	30	51	80	96	16
Herzbeschwerden	52	52	25	25	94	80	56
Beschwerdedruck	62	48	13	46	85	92	44

Bei dem männlichen Beschwerdeträger I6 konnte festgestellt werden, dass im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung (d. h. zur Referenzstichprobe) alle vier Beschwerdekompexe, insbesondere aber die Beschwerdekompexe *Gelenk- und Herzbeschwerden*, mit einem Prozentrang von >75 deutlich über dem Durchschnitt lagen. Beim Beschwerdeträger I7 lag neben den Prozenträngen der Beschwerdekompexe *Gelenk- und Herzbeschwerden* der Beschwerdekompex *Erschöpfung* weit oberhalb des Durchschnitts der Normalbevölkerung. Beide Beschwerdeträger litten infolgedessen auch unter einem überdurchschnittlich hohen *Beschwerdedruck*. Eine überdurchschnittlich hohe *Erschöpfung* ergab sich auch für die Beschwerdeträgerin I1. Ansonsten lagen die ermittelten Prozenträge für die vier Beschwerdekompexe und den Beschwerdedruck bei den Beschwerdeträgern/innen im oder unterhalb des Durchschnitts der Referenzstichprobe.

Die beiden weiblichen Beschwerdeträgerinnen der Wilstedt-Stichprobe erreichten beim *Beschwerdedruck* Prozentrangwerte von 86 (W1) und 79 (W2) und damit überdurchschnittlich hohe Werte im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung (Tab. 29). Bei der Beschwerdeträgerin W1 resultierte der erhöhte Beschwerdedruck aus einer überdurchschnittlichen Erhöhung der Beschwerdekompexe *Erschöpfung* sowie *Gelenk- und Herzbeschwerden* mit Prozentrangwerten

im Bereich 83 bis 89. Bei der Beschwerdeträgerin W2 lag der Prozentrang für *Magenbeschwerden* im oberen Fünftel der Bevölkerungsstichprobe. Sie besitzt mit einem Prozentrangwert von 86 außerdem eine überdurchschnittlich hohe Erschöpfungssymptomatik (Tab. 29).

Tabelle 29 GBB-24 Beschwerdekomplexe Beschwerdeträger/innen – Wilstedt.
Prozenträge für die vier Beschwerdekomplexe und den Beschwerdedruck (GBB-24) bei Beschwerdeträgern/innen in Wilstedt: weiß 25.–75. Perzentile, hellgrau <25. Perzentile, dunkelgrau >75. Perzentile.

Beschwerdeträger/in #	W1	W2	W3	W4
Alter	43	58	50	68
Geschlecht	w	w	m	m
	Prozentrang			
Erschöpfung	89	86	67	44
Magenbeschwerden	63	96	20	17
Gelenkbeschwerden	83	34	41	43
Herzbeschwerden	88	52	25	14
Beschwerdedruck	86	79	6	29

Bei fünf der insgesamt elf analysierten Beschwerdeträger/innen aus den beiden Stichproben erreichte der Prozentrangwert des Beschwerdekomplexes *Erschöpfung* Werte über 75 und war damit überdurchschnittlich erhöht. Mögliche Zusammenhänge einer erhöhten Erschöpfung mit einer ggf. verminderten Schlafqualität wurden mittels der Analyse des *Pittsburgh Schlafqualitätsindex* (PSQI) im Fragebogen geprüft.

II.1.3.4.4 Schlafqualität der letzten vier Wochen

In der Stichprobe von Ingersheim machten 98 % der 108 Befragten eine Aussage zu ihrer Schlafqualität in den letzten vier Wochen. 46 Personen (n=17 Frauen und 29 Männer) aus der Stichprobe gaben an, in den letzten vier Wochen nicht unter Schlafstörungen gelitten zu haben. Darunter waren auch zwei Männer aus der Gruppe der Beschwerdeträger/innen. Insgesamt 60 Personen (n=27 Frauen, n=33 Männer) haben die Frage „Haben Sie in den letzten 4 Wochen schlecht geschlafen“ bejaht. Darunter waren sechs Beschwerdeträger/innen (n=2 Frauen, n=4 Männer).

Von 51 Personen (n=21 Frauen und n=30 Männer) mit der subjektiven Angabe von Schlafstörungen in den letzten vier Wochen konnte der Summenscore des PSQI aus den sieben Komponenten des Fragebogens ermittelt werden. Bei neun Personen wurde aufgrund unvollständiger Angaben kein Summenscore berechnet. Zu diesen Personen zählte auch ein Beschwerdeträger, der als Grund für seine Schlafstörung explizit die WEA nannte (Tab. 27 und 32).

Trotz fehlender Angaben zur Berechnung seiner Schlafeffizienz (PSQI-Komponente 4), erreichte diese Person als Summe aus den anderen sechs Komponenten bereits einen Gesamtscore von 9 und konnte damit sicher der Gruppe der schlechten Schläfer zugeordnet werden. Die Analyse des PSQI ergab bei insgesamt 20 Personen (n=9 Frauen und 11 Männer), davon zwei Beschwerdeträger/innen, einen Summenscore von 3 bis 5 (Abb. 1). Diese Personen erfüllten damit nicht die PSQI-Bewertungskriterien der „schlechten Schläfer“. Einen Summenscore > 5 erreichten 31 Personen (n= 12 Frauen und n=19 Männer) (Abb. 1), die Scores erreichten Werte zwischen 6 und 12. Der Gesamtscore von zwei Beschwerdeträgern/innen lag bei 7 und bei einem weiteren Beschwerdeträger bei 8.

Insgesamt erreichten in der Ingersheim-Stichprobe von den Personen mit der Angabe von subjektiven Schlafstörungen in den letzten 4 Wochen, nur 57% einen PSQI-Score, der auf Schlafstörungen hinweist.

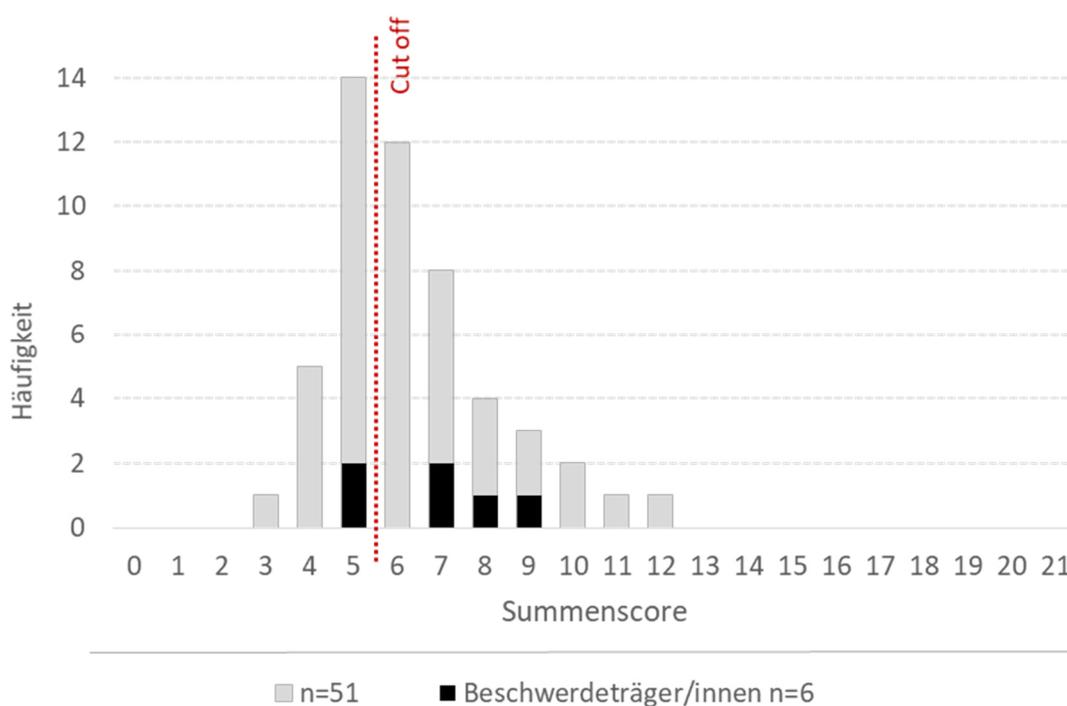


Abbildung 1 PSQI-Score Ingersheim.
Verteilung der PSQI-Summen-Scores in der Stichprobe Ingersheim, der subjektiv schlechten Schläfer (n=51), berechneter cut-off für schlechte Schläfer >5.

In der Stichprobe von Wilstedt beantworteten 75 % der Befragten (n=22 Frauen und n=25 Männer) die Frage (PSQI-Frage Nr. 6) *Wie würden Sie insgesamt die Qualität Ihres Schlafes während der letzten 4 Wochen beurteilen?* mit *sehr gut* bzw. *ziemlich gut*. Jeweils sechs Frauen und sechs Männer beurteilten Ihre Schlafqualität der letzten vier Wochen als *ziemlich schlecht* bzw. *sehr schlecht* (Tab. 30). Bei drei Teilnehmern/innen fehlten die Angaben zur Beurteilung der subjektiven Schlafqualität.

Tabelle 30 Subjektive Schlafqualität Wilstedt.

Anzahl der Antworten zur Einschätzung der subjektiven Schlafqualität in den letzten 4 Wochen (PSQI-Frage Nr. 6) in der Wilstedt-Stichprobe.

	Geschlecht	<i>sehr gut</i>	<i>ziemlich gut</i>	<i>sehr schlecht</i>	<i>ziemlich schlecht</i>	gesamt
Anzahl (n)	w	4	16	0	6	26
	m	6	17	0	6	29
	gesamt	12	35	0	12	59

Bei 48 Teilnehmern/innen lagen vollständige PSQI-Datensätze vor, die eine Berechnung des Summen-Scores zur Einschätzung der Schlafqualität erlaubten. Bei elf Personen konnten aufgrund unvollständiger Angaben, nicht alle sieben Komponenten berechnet und somit auch kein Summen-Score ermittelt werden.

Die Analyse des PSQI ergab bei insgesamt 30 Personen (n=15 Frauen und n=15 Männer) einen Summen-Score mit einem *cut-off* Wert von 1 bis 5 (Abb. 2). Diese Personen erfüllten damit nicht das PSQI-Bewertungskriterium der „schlechten Schläfer“. Ein Summen-Score mit Werten zwischen 6 und 14 ergab sich für 18 Personen (n= 9 Frauen, n=9 Männer), die gemäß des PSQI *cut-off* Wertes von 5 als „schlechte Schläfer“ eingeordnet werden können.

Insgesamt erreichten von der gesamten Stichprobe also 37,5 % einen Score, der auf Schlafstörungen hinweist.

Von den vier identifizierten Beschwerdeträgern/innen schätzten drei ihre Schlafqualität in den letzten vier Wochen als *ziemlich gut* ein, nur eine Person beurteilte ihren Schlaf als *ziemlich schlecht*. Diese Person erreichte mit einem Summen-Score von 14 den höchsten Wert der gesamten Stichprobe. Mit einem Score von >10 lässt sich bei dem/der Betroffenen, gemäß der PSQI-Bewertung, ggf. eine chronische Schlafstörung vermuten. Die Summen-Scores der anderen Beschwerdeträger/innen mit einer subjektiv als *gut* eingestuftem Schlafqualität erreichten Werte von 4, 6 und 8, d. h. zwei Personen würden per Definition zu den „schlechten Schläfern“ zählen.

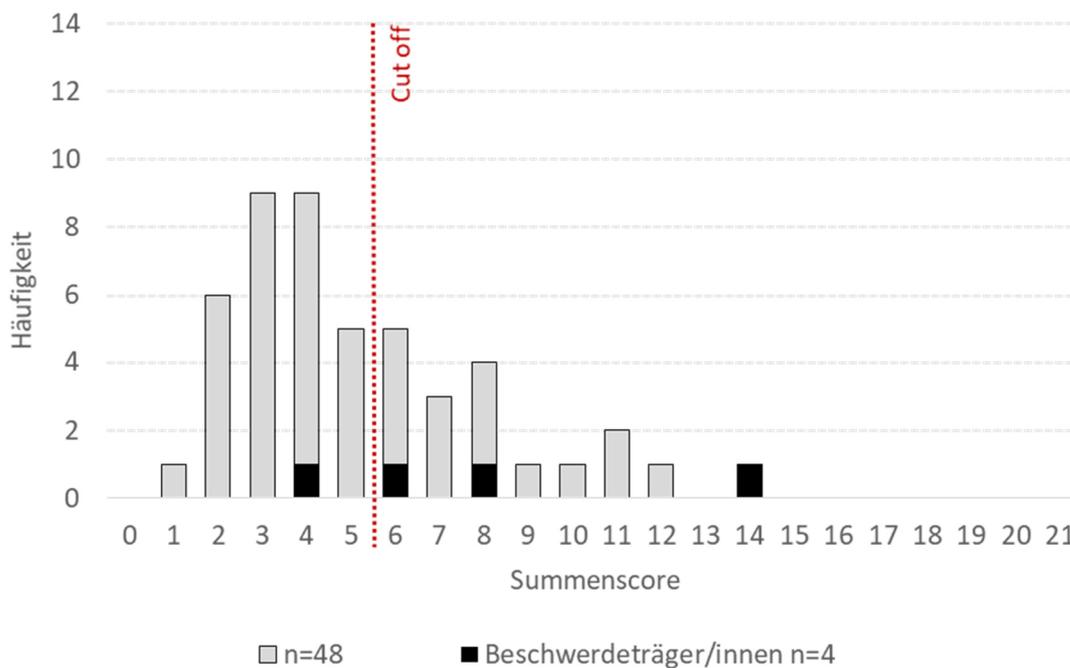


Abbildung 2 PSQI-Score Wilstedt.

Verteilung der PSQI-Summen-Scores in der Wilstedt Stichprobe (n=48), berechneter cut-off für schlechte Schläfer >5.

Im Fragebogen bestand die Möglichkeit, einen nicht aufgeführten Grund für Schlafstörungen zu nennen (Tab. 31). Insgesamt nannten 29 der schlechten Schläfer (n=60) in der Ingersheim-Stichprobe spezifische Gründe für ihren schlechten Schlaf in den letzten vier Wochen, 31 Personen gaben keine spezifischen Gründe an. Vier Personen gaben die *Windenergieanlage (Lärm vom Windrad, Flügelrauschen, Windradgeräusche)* als Auslöser an. Zwei der vier Personen zählten nicht zu den Beschwerdeträgern/innen. Eine Beschwerdeträgerin nannte *Brummen und Vibrationen* als Auslöser für Schlafstörungen in den letzten vier Wochen.

Tabelle 31 Subjektive Gründe für schlechten Schlaf.

Freie Angaben von Gründen für schlechten Schlaf in den Stichproben Ingersheim (n=60) und Wilstedt (n=62), Mehrfachnennungen möglich. Ähnliche Gründe wurden in einer gemeinsamen Kategorie zusammengefasst. BST = Beschwerdeträger/in

Grund für schlechten Schlaf	Ingersheim		Wilstedt	
	Σ der Antworten N=60	BST (n)	Σ Antworten N=48	BST (n)
Windenergieanlage	4	2	1	1
Brummen und Vibration	1	1		
Störende Geräusche (z. B. Schnarchen)	6		2	
gesundheitliche Beschwerden (z. B. Harndrang, Schmerzen)	7		3	
Probleme, Stress (beruflich und/oder privat)	6		2	
kreisende Gedanken, Grübeln	5		4	
Gründe insgesamt	29		14	

Die WEA in Ingersheim wurde demnach nur von zwei der vier gesundheitlich betroffenen Anwohner/innen, mit einem PSQI Score > 5, als Ursache für ihre Schlafstörungen angegeben. Ein weiterer Betroffener, der *Windradgeräusche* für seine Schlafstörungen verantwortlich macht und seine Schlafqualität subjektiv als *ziemlich schlecht* beurteilt, besitzt jedoch insgesamt nur einen Score von 5 und zählt gemäß PSQI damit nicht zu den schlechten Schläfern.

Von der Gesamtstichprobe aus Ingersheim (n=109) gaben demzufolge 3,7 % (n=4) der Befragten an, unter WEA-bedingten Schlafstörungen zu leiden.

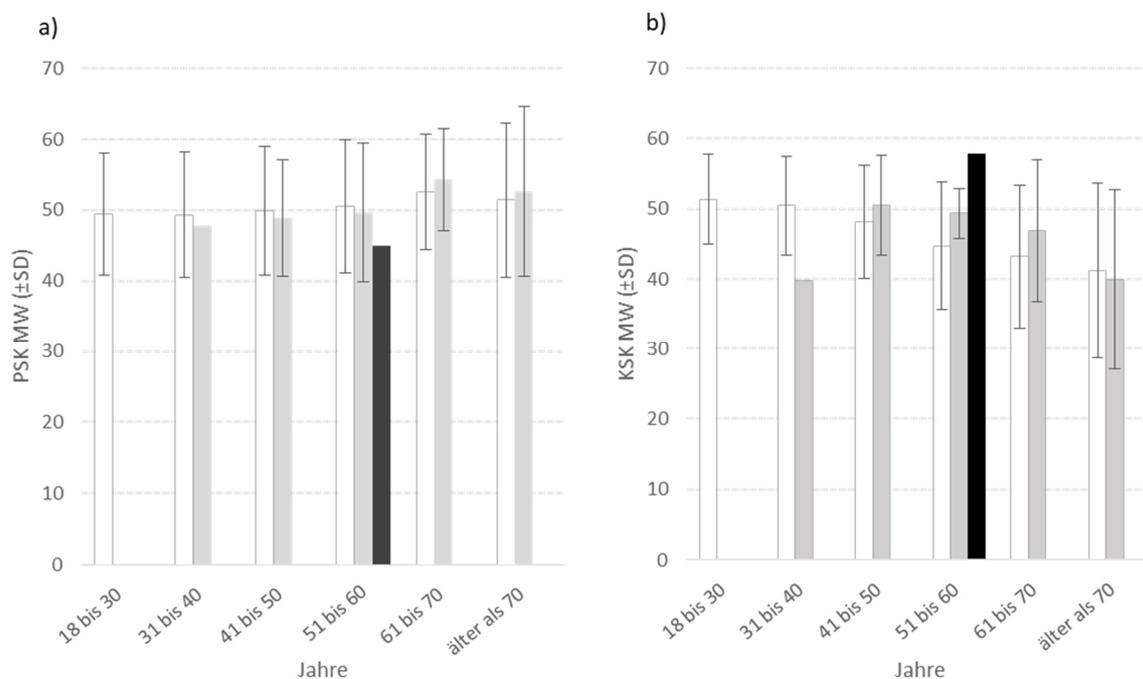
In Wilstedt wurden von 14 Befragten Gründe für schlechten Schlaf angegeben. Dabei nannte nur ein Beschwerdeträger explizit die WEA als Grund für seinen schlechten Schlaf. Diese Begründung des Beschwerdeträgers ist aber dahingehend inkonsistent und zu diskutieren, dass dieser sowohl seine subjektive Schlafqualität der letzten 4 Wochen im Fragebogen als *gut* einstuft als auch sein PSQI-Score einen Wert von < 5 erreicht, und damit per Definition keine Schlafstörungen angezeigt sind.

II.1.3.4.5 Gesundheitsbezogene Lebensqualität (SF-12)

Für die Stichprobe Ingersheim konnte als Ergebnis des SF-12 von insgesamt 96 % der befragten (n=42 Frauen und n=62 Männer) die psychische Summenskala (PSK) und die Summenskala der körperlichen Gesundheit (KSK) berechnet werden. Die ermittelten Scores wurden in vorgegebenen Altersgruppen mit der geschlechtsentsprechenden deutschen Normstichprobe von 1998 verglichen (Abb. 3). Die Ergebnisse der Beschwerdeträger/innen wurden sowohl

dem Ergebnis der befragten Stichprobe ohne WEA-assoziierte Beschwerden als auch der Normstichprobe gegenübergestellt.

Abbildung 3 SF-12: Psychischer (a) und körperlicher (b) Summen-Score der weiblichen Teilnehmerinnen der Ingersheim Stichprobe. Anwohnerinnen ohne und mit WEA-assoziierten Beschwerden im Vergleich zur deutschen Normstichprobe von 1998.



Legende (w)

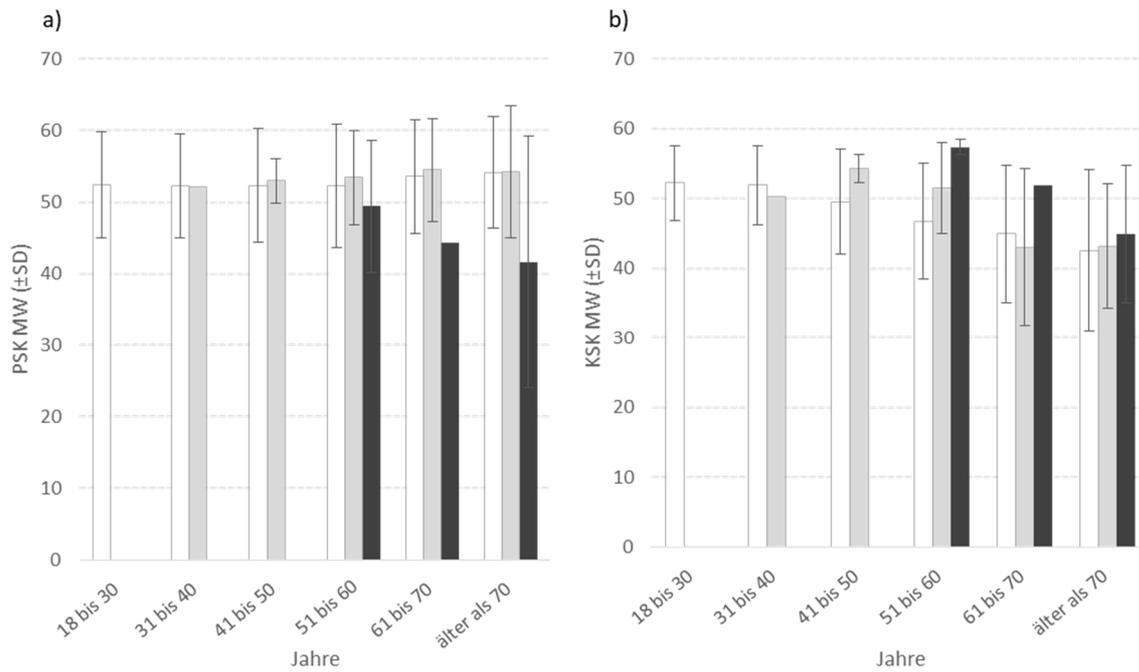
Altersgruppen [Jahre] (w)	18–30	31–40	41–50	51–60	61–70	Älter als 70
Stichprobengröße (n)						
KSK Norm	497	766	621	637	467	251
ohne Beschwerden			8	8	10	7
Beschwerdeträgerin				1		

Die psychischen und körperlichen Summen-Scores der Anwohnerinnen ohne WEA-bedingten Beschwerden liegen für alle betrachteten Altersgruppen im Bereich der altersentsprechenden Werte der Normstichprobe. Auch die Beschwerdeträgerin mit auswertbarem SF-12 erreicht mit einem KSK von 57,9 und einem PSK von 45,0 durchschnittliche Werte.

Bei den männlichen Teilnehmern lagen die Werte der ermittelten psychischen und körperlichen Summen-Scores ebenfalls nahe an den Mittelwerten der männlichen Referenzgruppen (Abb. 4). Mit KSK-Werten zwischen 38,0 und 58,4 erreichten auch die männlichen Beschwerdeträger (n=6) im Mittel die Durchschnittswerte der jeweiligen Altersgruppen in der Normstichprobe.

Für die befragten Anwohner/innen in Ingersheim, die gesundheitliche Beschwerden auf den WEA Betrieb zurückführen, ergaben sich aus der Analyse des SF-12 bei beiden Geschlechtern keine Hinweise auf eine verminderte gesundheitsbezogene Lebensqualität bzw. der subjektiven Gesundheit im Vergleich zu den anderen befragten Anwohnern/innen der Stichprobe.

Abbildung 4 SF-12: Psychischer (a) und körperlicher (b) Summenscore männlicher Teilnehmer der Ingersheim Stichprobe. Anwohner ohne und mit WEA-assoziierten Beschwerden im Vergleich zur deutschen Normstichprobe von 1998.

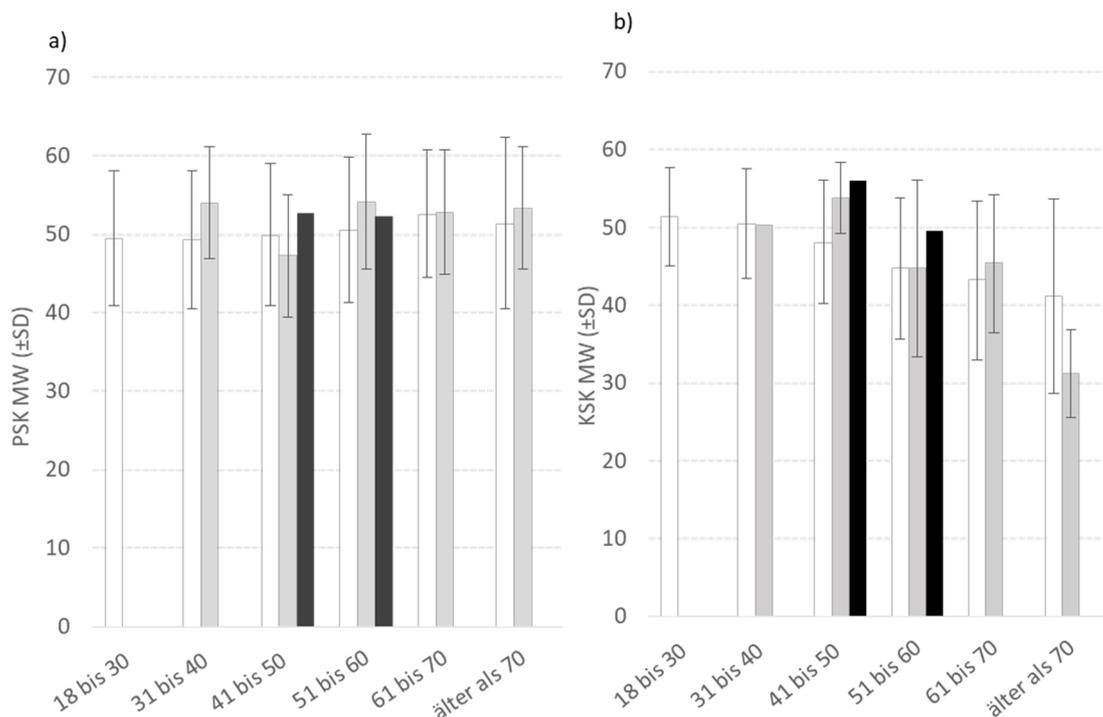


Legende

Altersgruppen [Jahre] (m)	18–30	31–40	41–50	51–60	61–70	Älter als 70
Stichprobengröße (n)	504	712	614	642	446	177
KSK Norm			6	11	14	16
ohne Beschwerden				3	1	2
Beschwerdeträger						

In der Wilstedt-Stichprobe konnte von 82 % der Befragten (n=25 Frauen und n=26 Männern) der PSK und KSK berechnet werden (Abb. 5 und Abb. 6). Im Vergleich zur Normstichprobe von 1998 lagen die Werte bei beiden Geschlechtern und für alle Altersgruppen jeweils innerhalb einer Standardabweichung und somit konnte keine Abweichungen gegenüber dem Bevölkerungsdurchschnitt festgestellt werden. Auch die PSK und KSK Werte der zwei weiblichen und zwei männlichen Beschwerdeträger/innen lagen im Durchschnitt und lassen daher den Schluss zu, dass die gesundheitsbezogene Lebensqualität bei den Beschwerdeträger/innen gegenüber den anderen befragten Anwohnern/innen der Stichprobe nicht vermindert ist.

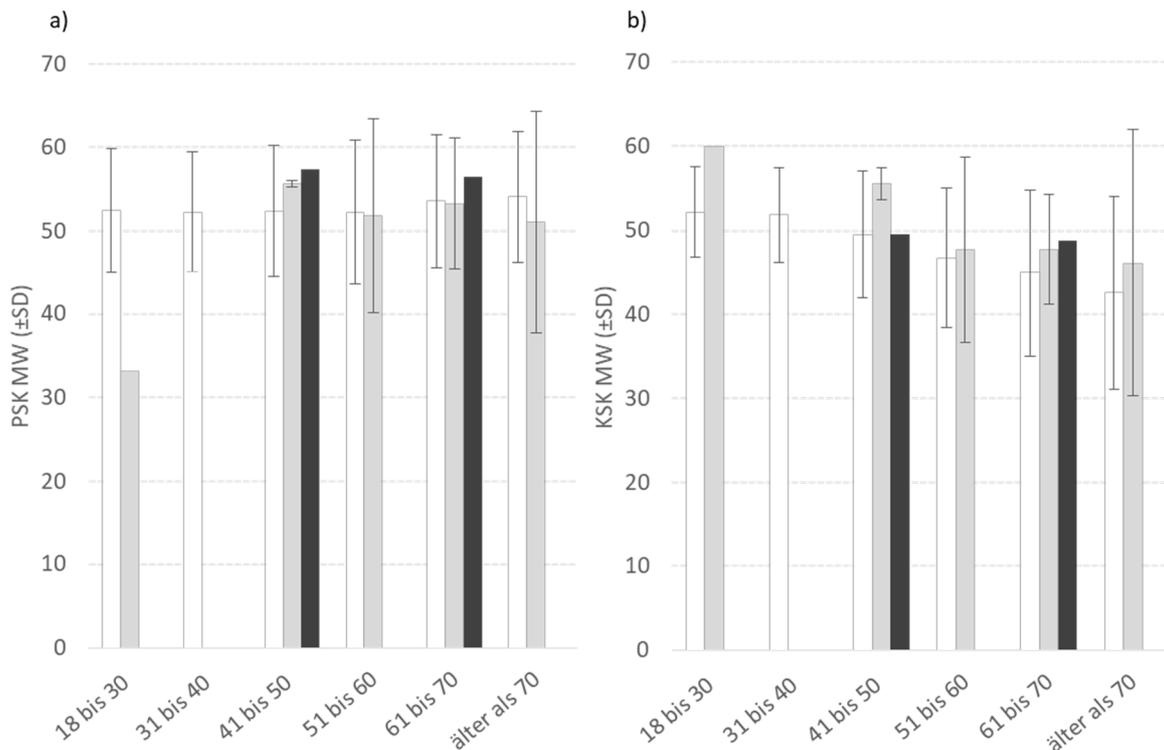
Abbildung 5 SF-12: Psychischer (a) und körperlicher (b) Summenscore weiblicher Teilnehmerinnen der Wilstedt Stichprobe. Anwohnerinnen ohne und mit WEA-assoziierten Beschwerden im Vergleich zur deutschen Normstichprobe von 1998.



Legende (w)

Altersgruppen [Jahre] (w)	18–30	31–40	41–50	51–60	61–70	Älter als 70
Stichprobengröße (n)						
KSK Norm	497	766	621	637	467	251
ohne Beschwerden		1	4	11	6	3
Beschwerdeträgerin			1	1		

Abbildung 6 SF-12: Psychischer (a) und körperlicher (b) Summenscore männlicher Teilnehmer der Wilstedt-Stichprobe. Anwohner ohne und mit WEA-assoziierten Beschwerden im Vergleich zur deutschen Normstichprobe von 1998.



Legende

Altersgruppen [Jahre] (m)	18–30	31–40	41–50	51–60	61–70	Älter als 70
Stichprobengröße (n)	504	712	614	642	446	177
KSK Norm						
ohne Beschwerden			3	7	12	4
Beschwerdeträger			1		1	

II.1.3.4.6 Identifikation somatoformer Störungen (SSEQ)

Mittels des SSEQ, einem Fragebogen zum Erleben von Körperbeschwerden, wurde in den Stichproben geprüft, ob gesundheitliche Beschwerden, die bei Anwohnern/innen im Zusammenhang mit dem WEA-Betrieb aufgetreten sind, gegebenenfalls durch somatoforme Störungen mitbedingt sein können.

In Ingersheim konnte von 90 der 108 Befragten der Summen-Score des SSEQ berechnet werden. Bei 18 Teilnehmern/innen wurde kein Summen-Score ermittelt, da diese entweder bei der Filter Item 11 angaben, in den letzten 6 Monaten *nie* körperliche Beschwerden gehabt zu haben, dazu zählte auch ein Beschwerdeträger (13) oder es fehlten im jeweiligen Fragebogen notwendige Angaben zur Berechnung des Summen-Scores. Die berechneten Summen-Scores bewegten sich in einem Bereich von 1 bis 44, wobei die Spannweite bei 0 bis 65 liegt (Tab. 32). Im Mittel lagen die Werte mit $18,7 \pm 9,4$ im Bereich einer hausärztlichen Vergleichsstichprobe (Tab. 32). Zehn Anwohner/innen erreichten einen Score > 31 und damit einen Wert, der für eine Referenz-Patientenstichprobe mit einer *life-time* Diagnose einer somatoformen Störung ermittelt wurde (Tab. 32).

Die Summen-Scores, die von fünf Beschwerdeträgern/innen ermittelt wurde, lagen mit Werten zwischen 8 und 27, alle unterhalb des *cut-off* Wertes von 31. Von zwei Beschwerdeträgern/innen (I1 und I7) konnte aufgrund fehlender Angaben kein Summen-Score ermittelt werden.

In der Wilstedt-Stichprobe konnte der Summen-Score des SSEQ bei 49 der 62 befragten Anwohnern/innen berechnet werden. Bei zehn Anwohnern/innen gab es *nie* körperliche Beschwerden in den letzten sechs Monaten, bei drei Fragebögen konnte aufgrund unvollständiger Angaben kein Summen-Score berechnet werden. Die berechneten Scores der Wilstedt-Stichprobe erreichten Werte zwischen 4 und 34, d. h. bei drei Anwohnern/innen lag der Summen-Score knapp oberhalb des *cut-off* Wertes von 31 und weist damit auf eine mögliche psychosomatische Belastung hin (Tab. 32).

Die Summen-Scores von drei Beschwerdeträger/innen lagen zwischen 17 und 27, also im Bereich der hausärztlichen Referenzstichprobe mit $22,1 \pm 9,5$ (Tab. 32). Der Score des Beschwerdeträgers W3 wurde aufgrund der Filterfrage nicht ermittelt, da dieser in den letzten 6 Monaten *nie* Beschwerden hatte.

In beiden Stichproben befand sich insgesamt nur eine kleine Anzahl an Personen, bei denen der SSEQ-Summen-Score Rückschlüsse auf psychosomatisch bedingte Beschwerden erlaubte. Zu diesen Personen zählt aber keiner der Beschwerdeträger/innen, die körperliche Beschwerden auf den WEA-Betrieb zurückführen.

Außerdem gaben Wilstedt drei Beschwerdeträger/innen an, in den letzten 6 Monaten *nie* oder *selten* körperlichen Beschwerden gehabt zu haben (eine Angabe fehlt), in Ingersheim hatten vier Beschwerdeträger/innen *nie* oder *sehr selten* körperliche Beschwerden. Lediglich zwei Beschwerdeträger gaben an in den letzten 6 Monaten oft körperliche Beschwerden gehabt zu haben.

Tabelle 32 Ergebnisse der SSEQ-Analyse für Wilstedt und Ingersheim.

Vergleich der Summen-Scores von Anwohnern/innen ohne und mit WEA-bedingten Beschwerden im Vergleich zu einer hausärztlichen Stichprobe und mit Patienten mit einer life-time Diagnose einer somatoformen Störung. SD = Standardabweichung

Stichprobe	Ingersheim	Wilstedt	Hausärztliche*	Patienten/innen*
Anzahl (n)	90	49	1401	104
<i>Summen-Score (cut off =31)</i>				
min–max (0–65)	1–44	4–34		
Mittelwert (±SD)	18.7 (9.4)	20.6 (8.0)		
Anzahl cut off < 31	79	44		
Mittelwert (±SD)	16.3 (6.9)	19.2 (7.3)	22.1 (9.5)	
Anzahl cut off ≥ 31	11	5		
Mittelwert (±SD)	36.6 (4.7)	32.6 (1.5)		32.1 (9.7)
Beschwerdeträger/innen (n)	5	3		
Score-Range	8–27	17–27		

* (Herzog, Voigt, Fabisch et al. 2014)

II.1.3.4.7 Lärmempfindlichkeit

Die Individuelle Lärmempfindlichkeit der Anwohner/innen wurde mittels der *Weinstein Lärmempfindlichkeitsskala* erfasst. Die Weinstein-Summen-Scores können Werte zwischen 0–105 erreichen, wobei ein höherer Wert eine höhere Lärmempfindlichkeit indiziert. In der Ingersheim-Stichprobe wurde von 93 % (n=101) der befragten Anwohner/innen der Summen-Score bestimmt (Abb. 7). Die Werte lagen bei den Befragten in einem Bereich von 14 bis 75, im Mittel betrug der Summen-Score der Stichprobe 48.0 ± 12.8 SD. Tendenziell erreichten die Summen-Scores der Befragten eher Werte im mittleren bis unteren Score-Bereich (Abb. 7).

Bei den Beschwerdeträgern lagen die Scores in zwei Fällen im unteren und in drei Fällen im mittleren Drittel des Score-Bereichs, was auf eine geringe bis durchschnittliche Lärmempfindlichkeit hindeutet. Nur ein Beschwerdeträger (17) erreichte mit 73 einen Score, der gerade im oberen Drittel einzuordnen ist und die Tendenz einer höheren Lärmempfindlichkeit anzeigt.

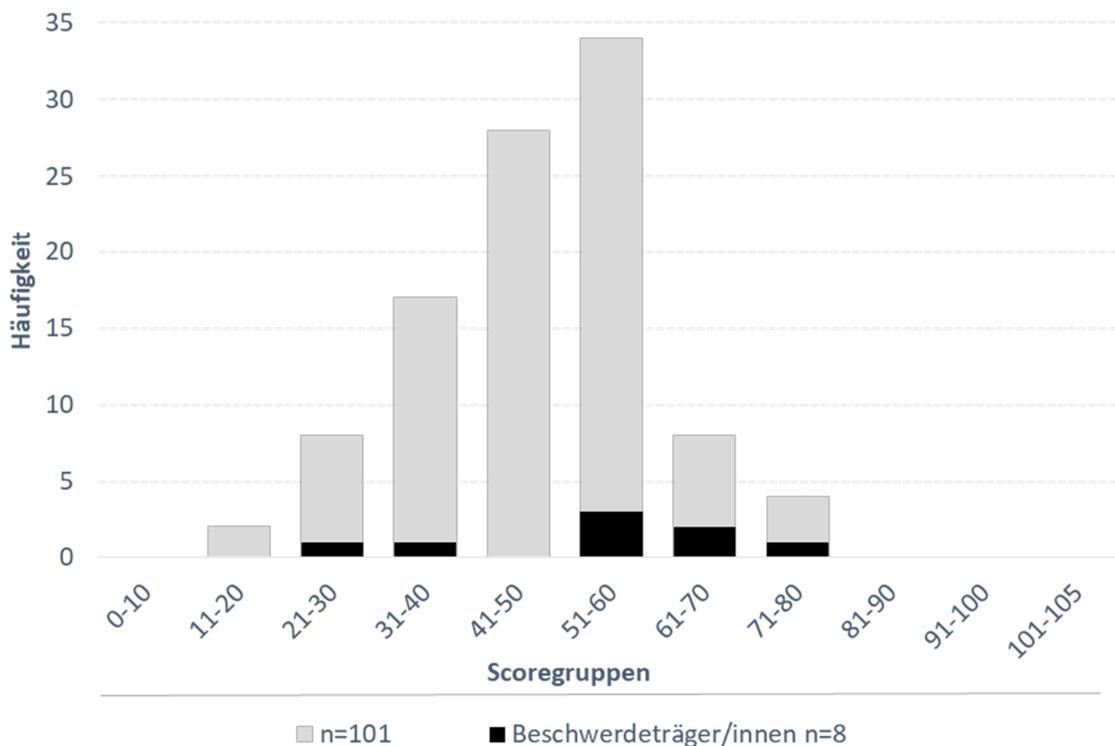


Abbildung 7 Lärmempfindlichkeit (Weinstein-Skala) – Ingersheim.

Verteilung der Häufigkeiten der Summen-Scores in der Stichprobe, zusammengefasst in 10er Gruppen, für die Ingersheim-Stichprobe; n=101, davon n=8 Beschwerdeträger/innen.

In der Wilstedt-Stichprobe konnte der Summen-Score von 90.3 % (n=56) der befragten Anwohner/innen bestimmt werden (Abb. 8). Die Werte der Summen-Scores verteilten sich bei den Befragten in einem Bereich von 27 bis 76. Im Mittel lagen die Werte bei 48.8 ± 11.8 SD, womit nahezu der gleiche Mittelwert erreicht wurde wie in der Ingersheim-Stichprobe.

Die Summen-Scores von drei Beschwerdeträger/innen aus Wilstedt lagen mit Werten zwischen 47 und 68 im mittleren Bereich des Score-Ranges, was auf eine durchschnittliche Lärmempfindlichkeit hindeutet. Nur eine Beschwerdeträgerin (W2) mit einem Score von 76 sowie ein weiterer Anwohner mit einem Score von 71 lagen im oberen Drittel und besitzen damit tendenziell eine erhöhte Lärmempfindlichkeit.

In beiden Stichproben konnten demzufolge mittels der Weinstein-Lärmempfindlichkeitsskala keine Personen identifiziert werden, bei denen ein weit überdurchschnittlich hoher Summen-Score auf eine besondere Lärmempfindlichkeit hinweist.

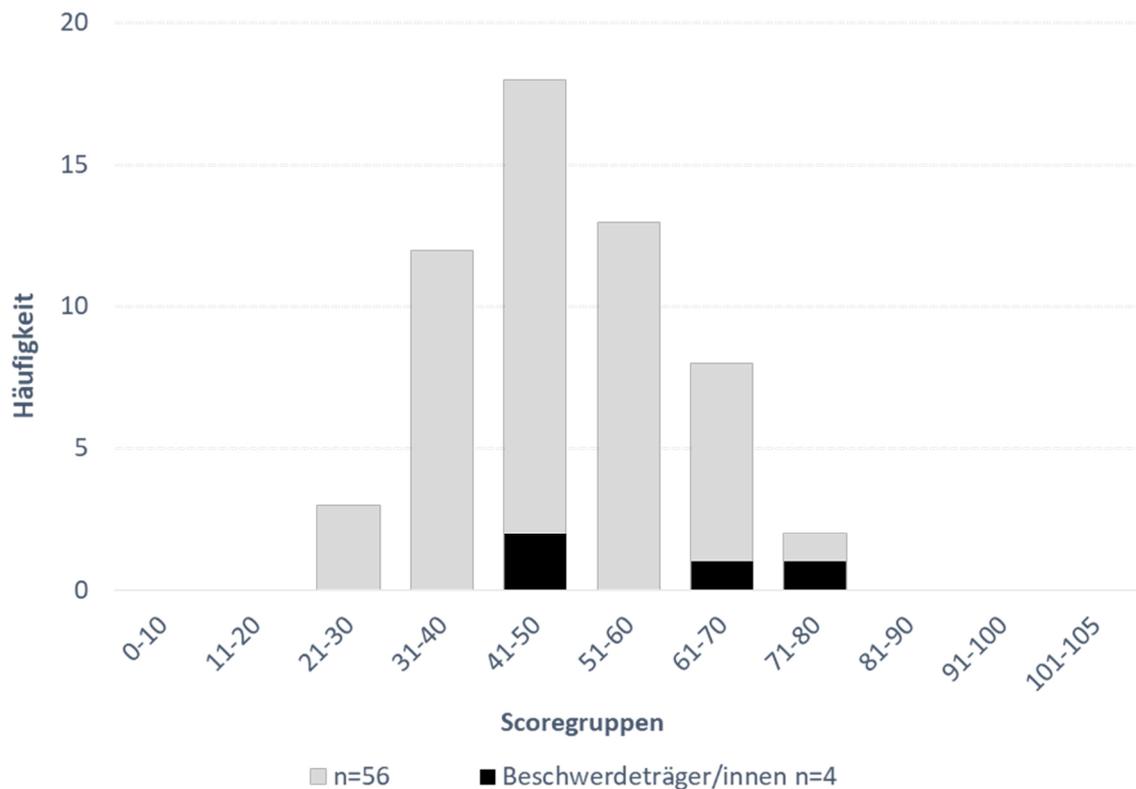


Abbildung 8 Lärmempfindlichkeit (Weinstein-Skala) – Wilstedt.
Verteilung der Häufigkeiten der Summen-Scores in der Stichprobe, zusammengefasst in 10er Gruppen, für die Wilstedt-Stichprobe; n=56, davon n=4 Beschwerdeträger/innen.

II.1.3.4.8 Wohnumfeld und Belästigung durch Umwelteinflüsse

Die Analyse des Wohnumfelds der Anwohner/innen beinhaltete eine Erfassung von potentiellen Lärm- und tieffrequenten Schallquellen neben WEA, sowie von anderen gesundheitsrelevanten Umwelteinflüssen und -stressoren, die sich negativ auf das Wohlbefinden der Anwohner/innen auswirken könnten.

Die Befragten konnten in einer vorgegebenen Liste Angaben dazu machen, ob sich bestimmte Lärmquellen in ihrem Wohnumfeld befinden bzw. andere Störquellen als freie Antworten unter *Sonstige* angeben. Es bestand die Möglichkeit von Mehrfachnennungen. Von den Befragten (n=108) in Ingersheim wurden 196 Angaben zu Schallquellen im Wohnumfeld gemacht (Abb. 9). Am häufigsten wurden dabei *Hauptverkehrsstraßen* (n=69) und *Mobilfunkantennen* sowie *Gewerbebetriebe* (n=31) genannt. Tieffrequente Schallquellen, wie *Biogasanlagen*, *Blockheizkraftwerke* sowie *Transformatorstationen* und *Wärmepumpen* wurden nur von einzelnen Personen angegeben. Vier der Befragten führten die *WEA* auf. Der Straßenverkehr, d. h. *Hauptverkehrsstraßen* und *Autobahnen*, stellt demnach die potentiell häufigste Geräuschquelle im Wohnumfeld der Anwohner/innen von Ingersheim dar.

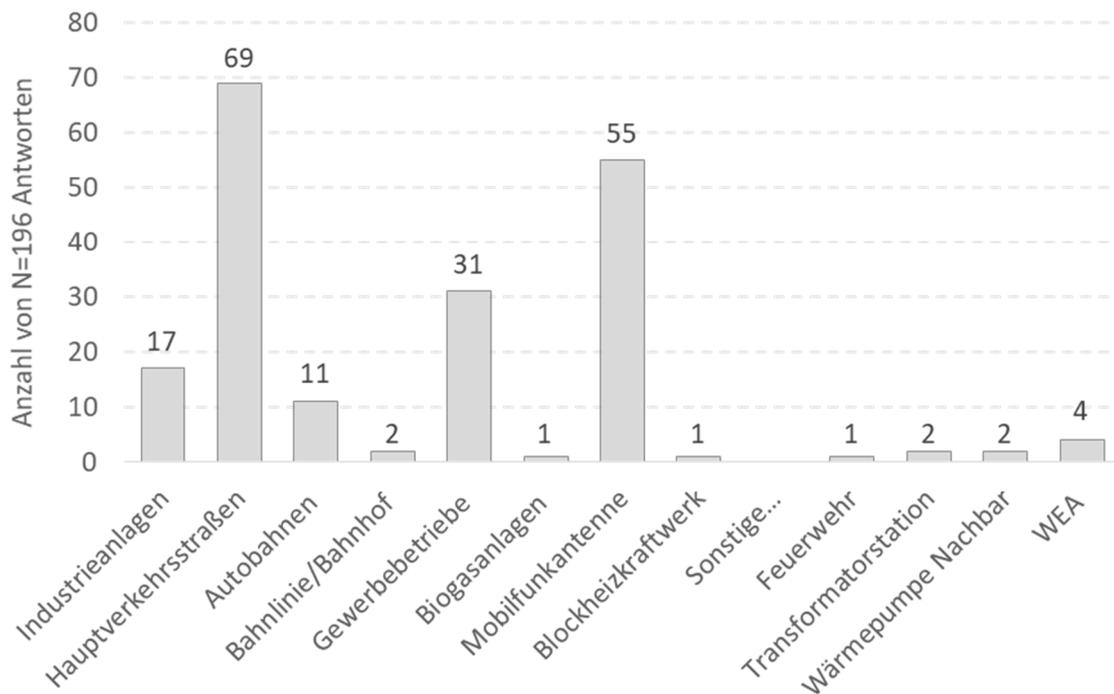


Abbildung 9 Analyse des Wohnumfelds der Ingersheim-Stichprobe.

Angabe von potentiellen Schallquellen im Wohnumfeld und freie Antwortmöglichkeiten (=Sonstige). Anzahl der Befragten n=108, Mehrfachantworten möglich, insgesamt N=196 Angaben zum Wohnumfeld.

Um eine mögliche Belästigung und dessen Ausmaß durch die verschiedenen Umwelteinflüsse und Lärmquellen zu erfassen, konnten die Teilnehmer/innen angeben, ob sie sich *gar nicht*, *wenig*, *mittelmäßig*, *ziemlich* oder *sehr* durch die angegebenen Quellen belästigt fühlten.

Im Rahmen der Analyse wurden die Antworten *gar nicht* und *wenig* als Kategorie *nicht belästigt* und die Antworten *ziemlich* und *sehr* als „*belästigt*“ zusammengefasst.

Von den befragten Anwohnern/innen in Ingersheim gaben 93.3 % (N=1999 von insgesamt N=2142 Antworten) an, sich nicht durch Umweltstressoren belästigt zu fühlen (Abb. 10). Nur

4.3 % (N=92) der Antworten ergaben eine mittelmäßige Belästigung und lediglich 2.4 % (N=51) der Antworten zeigten eine Belästigung durch Umweltstressoren an.

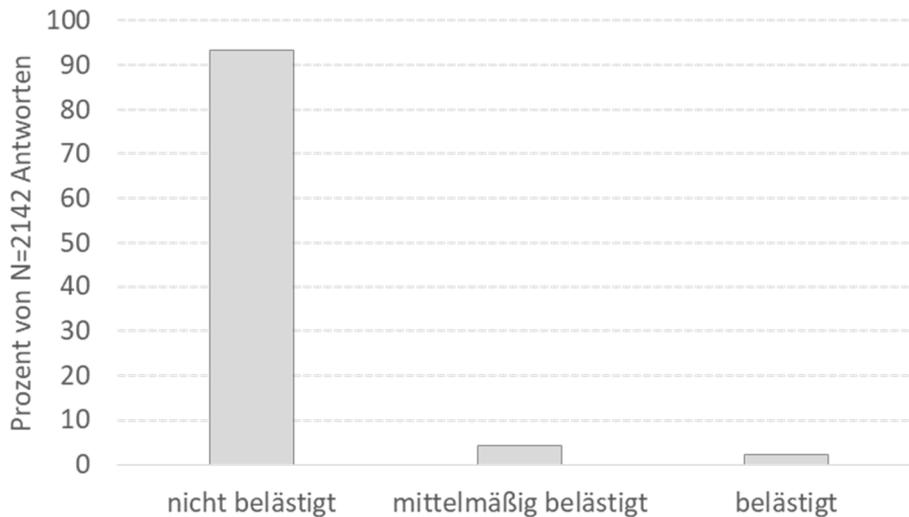


Abbildung 10 Belästigungsgrad durch Umweltstressoren bei den Befragten in Ingersheim in Prozent. n=109, Mehrfachantworten möglich, insgesamt N=2142 Antworten.

Als häufigste Antwort wurde in Ingersheim eine Belästigung durch *Verkehrslärm* (31.4 %) und *Abgase* (25.5%) genannt, gefolgt von 13.7 % Belästigung durch die *WEA* (Abb. 11). In 12 % der Fälle von Belästigung durch die *WEA* wurde die Antwort von Beschwerdeträgern/innen gegeben, während *Verkehrslärm* bei den Beschwerdeträgern/innen in Ingersheim höchstens eine mittelmäßige Belästigung verursacht. Alle anderen der potentiellen Umweltstressoren besaßen nur in vereinzelt Fällen eine belästigende Wirkung.

In Ingersheim verursacht *Verkehrslärm* demzufolge insgesamt ein erheblich höheres Maß an Belästigung in der Bevölkerung als die *WEA*.

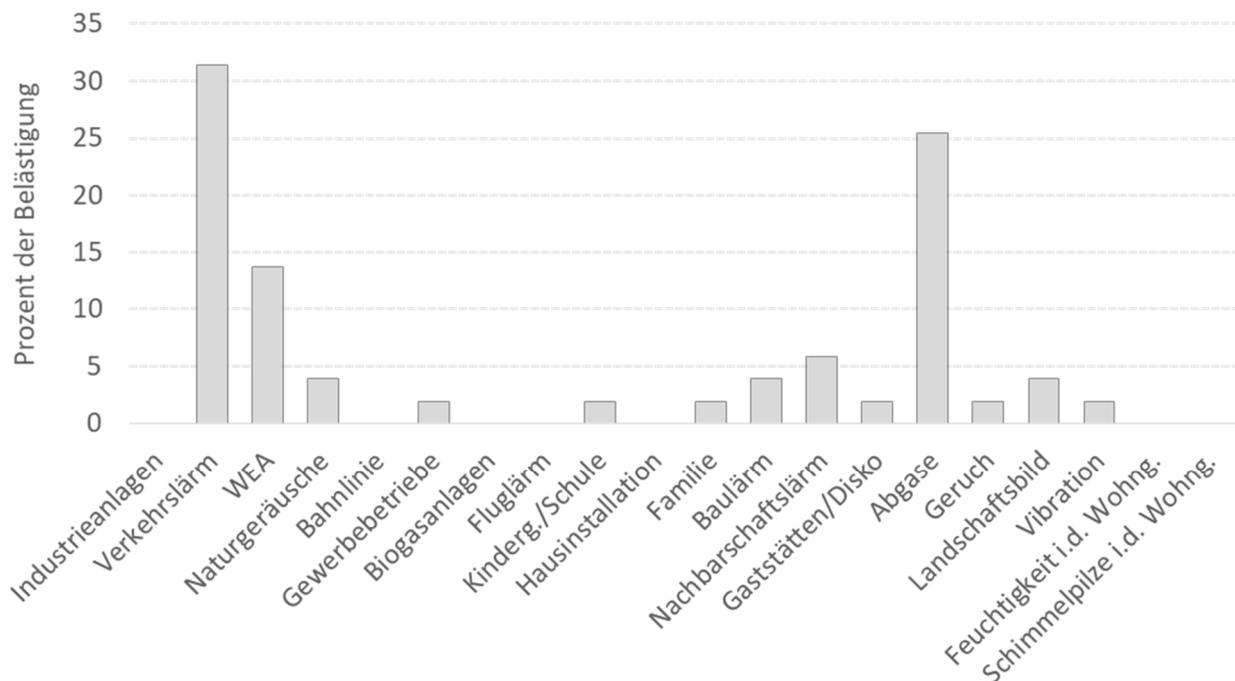


Abbildung 11 Prozent der Belästigung durch Umweltstressoren in der Ingersheim-Stichprobe. n=109, N=51 Antworten Belästigte (=100%)

In Wilstedt wurden bei der Analyse von Schallquellen im Wohnumfeld 196 Angaben von den Befragten (n=62) gemacht (Abb. 12). Am häufigsten wurden dabei *Hauptverkehrsstraßen* (n=49) genannt, gefolgt von *Mobilfunkantennen* (n=37), *Blockheizkraftwerk* (n=31), *Gewerbebetrieben* (n=29) und *Biogasanlagen* (N=28). Der *Windpark* wurde zweimal genannt. Auch in Wilstedt stellt demnach der Straßenverkehr, d. h. *Hauptverkehrsstraßen*, die potentiell häufigste Geräuschquelle im Wohnumfeld der Anwohner/innen dar.

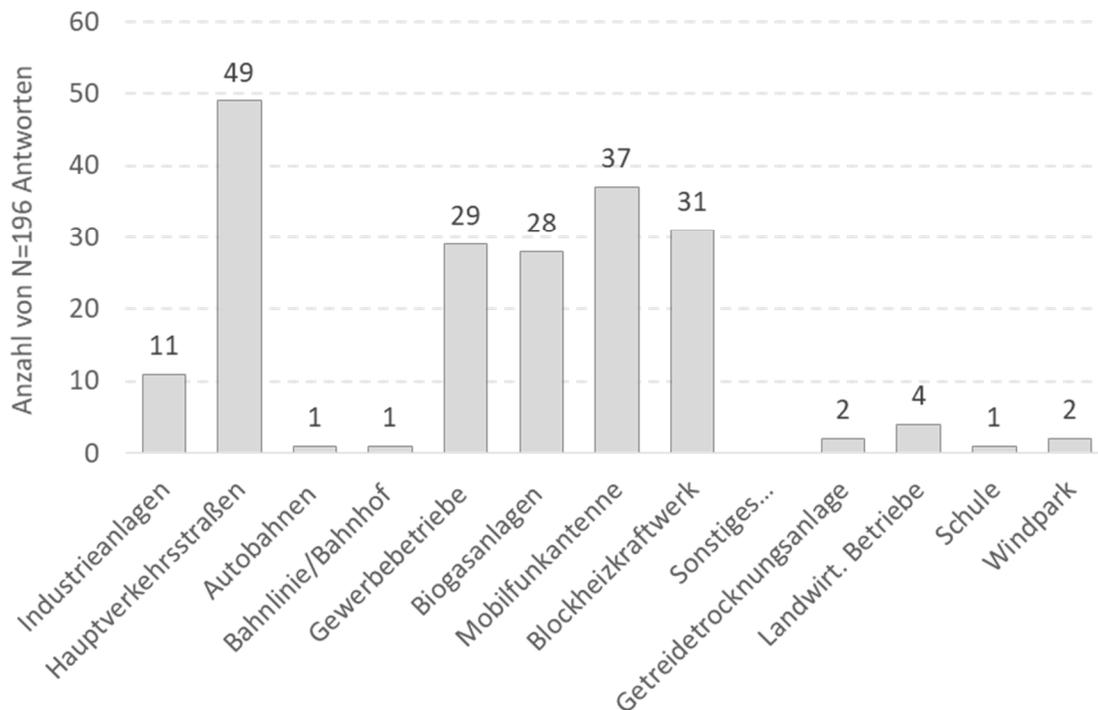


Abbildung 12 Analyse des Wohnumfelds der Wilstedt-Stichprobe. Angabe von potentiellen Schallquellen im Wohnumfeld und freie Antwortmöglichkeiten (Sonstige). Anzahl der Befragten n=62, Mehrfachantworten möglich, insgesamt N=196 Angaben zum Wohnumfeld.

Von den befragten Anwohnern/innen der Wilstedt-Stichprobe gaben 90.2 % (N=1113 von insgesamt N=1234 Antworten) an, sich nicht durch lokale Umweltstressoren belästigt zu fühlen (Abb. 13). Von den Antworten ergaben 6.2 % (N=77) eine mittelmäßige Belästigung und 3.6 % (N=44) Antworten indizierten eine Belästigung durch einzelne oder verschiedene Umweltstressoren.



Abbildung 13 Belastigungsgrad durch Umweltstressoren bei den Befragten in Wilstedt in Prozent. n=62, Mehrfachantworten möglich, insgesamt N=1234 Antworten.

Als häufigster Auslöser für eine Belästigung wurde auch in der Wilstedt-Stichprobe der *Verkehrslärm* (27 %) genannt, gefolgt von Belästigung durch *Geruch* (16 %) und *Abgase* (11%) (Abb. 14). Auch *Gewerbebetriebe* (11 %) und *Industrieanlagen* (9 %) sowie *Nachbarschaftslärm* (9 %) wirken belästigend auf Anwohnern/innen. Die *WEA* wurde in der gesamten Stichprobe nur von einem Beschwerdeträger (W3) als belästigende Quelle angegeben. Zwei Beschwerdeträgerinnen (W1 und W2) stuften die *WEA* als mittelmäßig und ein Beschwerdeträger (W4) als nicht belästigend ein. Verkehrslärm wurde nur vom Beschwerdeträger W4 als belästigend eingestuft.

Die Analyse der Belästigung durch Umweltstressoren hat auch in der Wilstedt-Stichprobe ergeben, dass der *Straßenverkehr* die wichtigste Quelle für Belästigung bildet, während die *WEA* insgesamt nur eine eher untergeordnete Rolle als Auslöser für Belästigung spielt.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass die *WEA* nur bei einer kleinen Anzahl von Anwohnern/innen, d. h. bei rund 5 % der in beiden Stichproben 170 befragten Anwohnern/innen, ein Belästigungsempfinden auslöst. Der *Straßenverkehr* bildet in beiden Stichproben mit insgesamt 17 % Belästigten (von n=170) eine wesentlich häufigere Quelle.

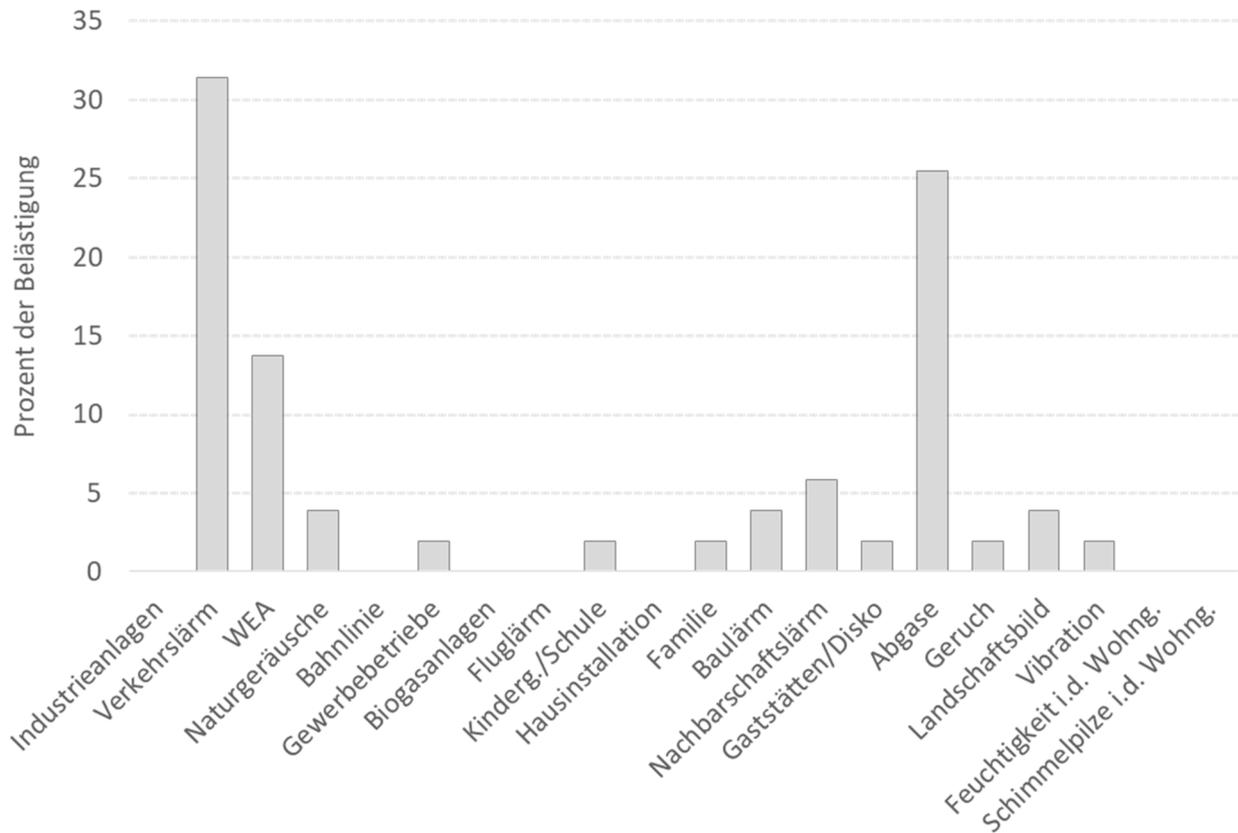


Abbildung 14 Prozent der Belästigung durch Umweltstressoren in der Wilstedt-Stichprobe. n=62, N=44 Antworten Belästigte (=100%).

II.1.3.4.9 Subjektives Wohlbefinden in der Wohnung und dem Wohnumfeld

Als eine weitere Kennzahl für das Maß an allgemeiner Zufriedenheit wurde das subjektive Wohlbefinden in der eigenen Wohnung und dem Wohnumfeld abgefragt.

Von den befragten Anwohnern/innen in Ingersheim fühlten sich 98 % (n=106) in ihrer Wohnung und 96.3 % (n=104) in ihrem Wohnumfeld *wohl* oder *sehr wohl*. Insgesamt zwei Personen gaben an sich in ihrer Wohnung nur *mäßig wohl* zu fühlen (Abb. 15 a) und drei Personen fühlten sich in ihrem Wohnumfeld nur *mäßig wohl* (Abb. 15 b). Dazu zählte ein Beschwerdeträger (16), der sich sowohl in seiner Wohnung als auch im Wohnumfeld nur *mäßig wohl* fühlt. Niemand fühlte sich in seiner Wohnung oder dem Wohnumfeld *unwohl*.

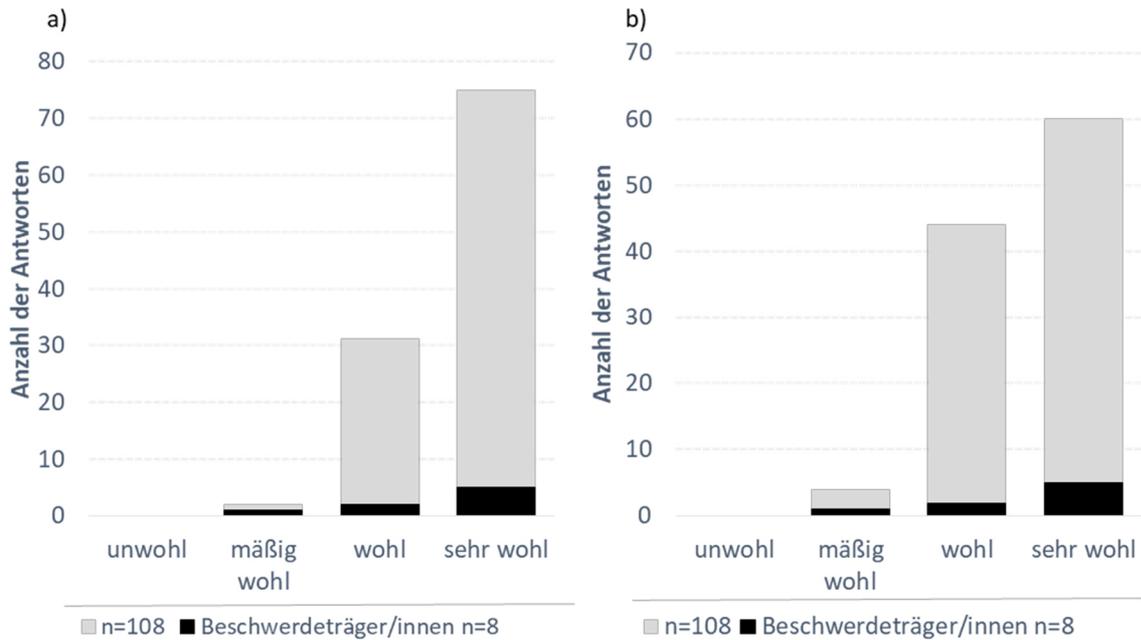


Abbildung 15 Angaben zur Zufriedenheit mit der Wohnsituation in Ingersheim. Anzahl der Antworten zum a) Wohlfühlen in der Wohnung und b) Wohlfühlen im Wohnumfeld.

Auch in Wilstedt fühlten sich 98,4 % (n=61) der Befragten (n=62) in ihrer Wohnung *wohl* oder *sehr wohl*, nur eine Beschwerdeträgerin fühlt sich in ihrer Wohnung lediglich *mäßig wohl* (Abb. 16). In ihrem Wohnumfeld gaben 95 % (n=59) an, sich *wohl* oder *sehr wohl* zu fühlen, drei Personen ohne WEA-Assoziierte Beschwerden fühlen sich nur *mäßig wohl* in ihrem Wohnumfeld. Auch in Wilstedt fühlte sich keiner der befragten Anwohner/innen in seiner Wohnung oder dem Wohnumfeld *unwohl*.

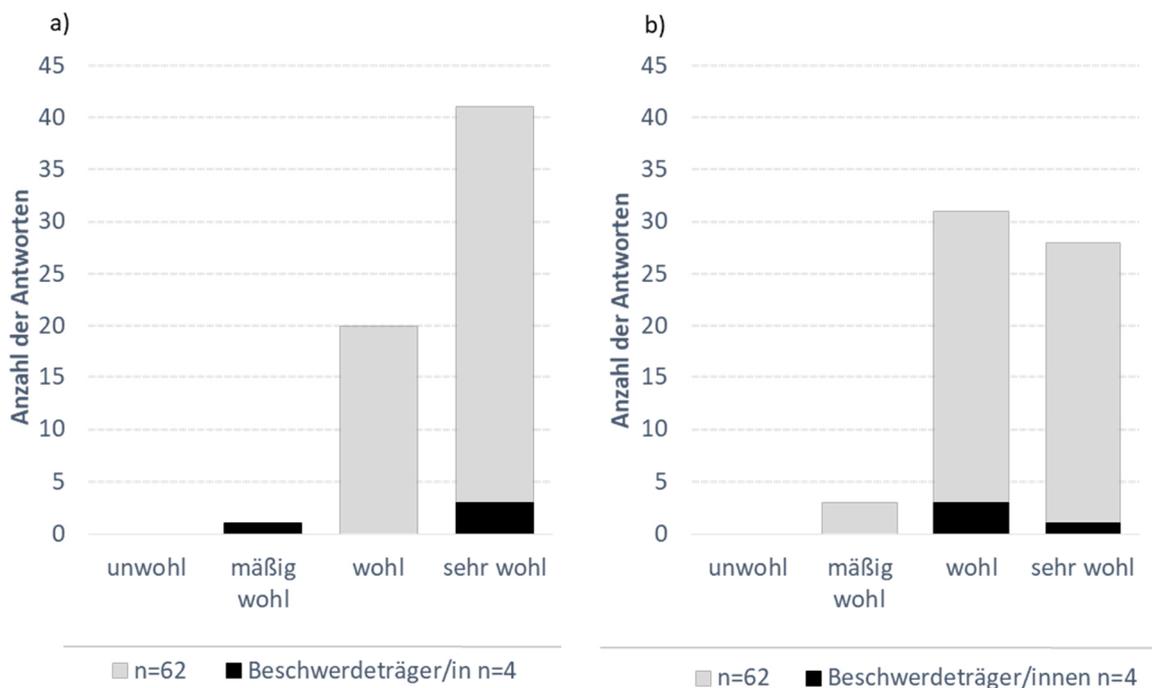


Abbildung 16. Angaben zur Zufriedenheit mit der Wohnsituation in Wilstedt. Anzahl der Antworten zum a) Wohlfühlen in der Wohnung und b) Wohlfühlen im Wohnumfeld.

Aus den Antworten kann insgesamt geschlossen werden, dass die Beschwerdeträger/innen an beiden Standorten mit ihrer Wohnsituation, mit einer Ausnahme, im Allgemeinen zufrieden sind. Die WEA trägt demzufolge im Allgemeinen nicht zur Unzufriedenheit mit der Wohnsituation bei.

II.1.4 Akustische und mikroseismische Messungen im WEA-Umfeld und in Gebäuden

Um mögliche Zusammenhänge zwischen gesundheitlichen Beschwerden und tieffrequenten Schall-Expositionen prüfen zu können, wurden von den TremAc-Kooperationspartnern/innen die Schall-Emissionen (AP B3.2 vom SWE) und seismischen Effekte (AP C7.1 vom GPI) im Umfeld der WEA messtechnisch erfasst sowie einzelne Immissionsmessungen in (Wohn-) Gebäuden von Anwohnern/innen durchgeführt (AP 7.2 vom KIT-IBF). Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messungen kurz zusammengefasst und anschließend im Kontext der umweltmedizinischen Befragungsergebnisse betrachtet. Die ausführlichen Ergebnisse der Messungen sind den jeweiligen, separat verfassten Teilberichten zu entnehmen.

II.1.4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse Luftschallmessungen (AP-B3.2, SWE)

Dem Arbeitspaket B3.2 sind die Ergebnisse der akustischen Messungen im Bereich der WEA zu entnehmen. In Ingersheim erfolgten zwei einmonatige Messkampagnen, im August 2018 und im Februar 2019. In Wilstedt wurde der Schalldruck von November 2018 bis Januar 2019 in der Mitte des Windparks westlich von Wilstedt gemessen. In Absprache aller Projektpartner, die akustische und seismische Messungen an den WEA durchgeführt haben, wurden geeignete 10-Minuten Zeiträume ausgewertet. Um die Geräusche verursacht von den WEA identifizieren zu können, wurden die Frequenzspektren für den Frequenzbereich von 0.1 bis 200 Hz für einen 10 Minuten Abschnitt bei Anlagenbetrieb und einem 10 Minuten Abschnitt bei stillstehender WEA verglichen.

Für die akustischen Messungen des SWE an der WEA in 140 m bis 240 m (abhängig welches Spektrum und welche Messkampagne betrachtet wird) konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

Frequenzen von 0 bis 10 Hz heben sich bei entsprechenden Windbedingungen deutlich vom Hintergrundgeräusch ab und können dem Blattdurchgang und höher Harmonischen zugeordnet werden. Weitere Frequenzen sind ebenfalls höher harmonische der Blattdurchgangsfrequenz (BDF). Diese könnten auf den Triebstrang der WEA zurückgeführt werden und sind von der Drehzahl, also von der Windgeschwindigkeit, abhängig.

Die Spektren wurden anschließend mit der menschlichen Hörschwelle nach DIN 45680 verglichen. Demnach liegen die unbewerteten Schalldruckpegel im Frequenzbereich unter 100 Hz, gemessen im Bereich der WEA, unterhalb des hörbaren Bereiches. Allerdings kann die Hörschwelle nach DIN 45680 (DIN 45680:2011-09 2011)] in Kombination mit der von Møller und Pedersen (2004) gezeigten Hörschwelle für Werte unterhalb von 8 Hz abhängig von der Sensitivität der Menschen variieren und wird nur hinweisend genutzt.

II.1.4.2 Zusammenfassung der seismischen Messungen (AP C7.1, GPI)

An den Lokationen Ingersheim und Wilstedt wurde mit Seismometern die Bodenschwinggeschwindigkeit an mehreren Messpunkten aufgenommen. Die von den WEA emittierten Bodenbewegungen konnten im Frequenzbereich von ca. 0.5–25 Hz über mehr als einen Kilometer Entfernung beobachtet werden. Diese Beobachtungen sind in Frequenz- bzw. Leistungsdichtespektren der Bodenschwinggeschwindigkeit zu erkennen. Dort sind Überhöhungen der

Hintergrund-Bodenbewegung sichtbar, die an diskrete Frequenzen gebunden sind und mit baulichen Anregungsfrequenzen der WEA übereinstimmen. Dies sind die Biegeeigenmoden oder Eigenfrequenzen der WEA und die Blattdurchgangsbewegungen am Turm (entspricht bei den üblichen drei Flügeln der WEA der dreifachen Rotationsfrequenz). Man kann also vereinfacht feststellen, dass man die WEA als große schwingende Systeme verstehen kann, die über das Fundament mechanisch in den Boden einkoppeln und seismische Schwingungen, d. h. sich ausbreitende Bodenbewegungen, emittieren.

Diese Emissionen wurden als Immissionen an den Messpunkten registriert. Ihre Amplituden sind messbar, aber außerhalb des Fundaments der WEA praktisch nicht fühlbar. Zur Feststellung einer Fühlbarkeit werden die Messwerte mit den Anhaltswerten der DIN 4150 verglichen. In DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2 „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ werden Belästigungsgrenzen für verschiedene Lebenssituationen festgelegt (DIN4150-2:1999-06 1999). Die empfindlichste Grenze liegt bei ca. 0.05 mm/s Bodenschwinggeschwindigkeit („besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte“). Hierbei wird auf die in der DIN empfohlene Frequenzbewertung verzichtet, weil an den WEA deutlich kleinere Bodenbewegungen auftreten, d. h. die Frequenzbewertung hier nicht relevant ist.

Sowohl bei dem Messexperiment in Ingersheim als auch in Wilstedt wurden im Bereich der Bebauung, d. h. bei den nächsten Anwohnern/innen, Bodenschwinggeschwindigkeiten gefunden, die ca. zwei Größenordnungen unterhalb den Anhaltswerten der DIN4150-2 lagen. Das bedeutet, dass eine Fühlbarkeit oder gar Belästigung durch Bodenerschütterungen ausgeschlossen werden kann.

II.1.4.3 Zusammenfassung von Messungen in Gebäuden (AP C7.2, IBF)

Im Rahmen des TremAc-Projektes wurden vom Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik (IBF) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) kombinierte mikroseismische und akustische Messungen im Inneren von Gebäuden durchgeführt. Diese bilden eine grundlegende Basis für die Bewertung von tieffrequenten Erschütterungs- und Schallimmissionen im Frequenzbereich 1 Hz bis 150 Hz auf Anwohner im Umfeld von WEA. Dabei wurden die Erschütterungen in einer vertikalen und zwei horizontalen Raumrichtungen (in Form der Bodenschwinggeschwindigkeit) und der Schalldruck mit einem Infraschallmikrofon zeitsynchron gemessen sowie ein 10 Sekunden-Schalldruckpegel parallel dazu aufgezeichnet. Die Messungen erfolgten an vier unterschiedlichen Standorten je zwei im Bereich WEA Ingersheim (Einzelanlage) und zwei im Bereich Windpark Wilstedt (neun Anlagen), welche sich hinsichtlich der Entfernung zu den Anlagen, der Gebäudesubstanz und -struktur sowie der Geologie unterscheiden. Grundlegend für die Auswertung der Messdaten waren regelmäßige, geplante Abschaltungen der Anlage(n), um die Schall- und Erschütterungsemissionen eindeutig dem Betrieb der WEA zuordnen zu können.

Die Ergebnisse der durchgeführten kombinierten Messungen zeigen, dass bis zu einer Entfernung von mindestens 2.5 km zu einer WEA oder einem Windpark seismische und akustische Emissionen im Inneren von umliegenden Gebäuden messbar sind. Sowohl in den Daten von Erschütterungen als auch im Luftschall konnten vor allem niederfrequente Anteile unter 20 Hz infolge des WEA-Betriebs festgestellt werden. Dabei zeigt sich eine relativ eindeutige Frequenzcharakteristik von WEA, welche sich hauptsächlich infolge des Durchgangs der Rotorblätter am Turm ergibt. Die gemessenen Bodenschwinggeschwindigkeiten weisen Amplituden auf, welche um ein Vielfaches unterhalb der Spürbarkeitsgrenze des Menschen liegen. Erschütterungen sind hinsichtlich der Beurteilung der Wahrnehmbarkeit von WEA-Emissionen auch im Zusammenspiel mit Luftschall daher für Anwohner nicht relevant, bei erschütterungs-

sensitiven Anlagen oder seismischen Beobachtungsstationen jedoch schon. Der Schalldruckpegel verstärkt sich erwartungsgemäß infolge des Betriebs einer Anlage über den Grundpegel hinaus, es konnte jedoch nicht festgestellt werden, dass einzelne oder mehrere akustische Signalanteile im niederfrequenten Bereich Schalldruckpegel erreichen, welche als wahrnehmbar eingestuft werden können.

II.1.5 Vergleichende Zusammenführung von Befragungsergebnissen und Messungen (AP E3)

Im Rahmen des AP E3 sollten Ergebnisse/Aspekte der umweltmedizinischen Befragung im Kontext der umweltpsychologischen Befragungs- sowie der seismischen und akustischen Messergebnisse betrachtet werden.

II.1.5.1 Zusammenführung der Daten von Beschwerdeträgern/innen -Erstellung einer Analysematrix

Ein Kernziel der umweltmedizinischen Analyse bestand darin festzustellen, ob eine Assoziation des von WEA emittierten tieffrequenten Schalls (inkl. Infraschall) mit adversen Gesundheitseffekten bei Anwohnern/innen besteht. Dafür wurde ein Studienkonzept entworfen, das eine systematische, z. T. auf standardisierten Test basierende Analyse des Allgemeinen Gesundheitszustands sowie von subjektiven, WEA-attribuierten Gesundheitsbeschwerden bei Anwohnern/innen ermöglicht. Die Ergebnisse der Prävalenz-Analyse von körperlichen und psychischen Symptomen sollte schließlich in einem Symptomkatalog zusammengestellt werden, der die mit tieffrequentem Schall assoziierten Symptome enthält.

Die am häufigsten genannten Symptome in der Gesamtstichprobe von Beschwerdeträgern/innen in Ingersheim und Wilstedt (n=8) waren *Druckempfinden* und *Schlafstörungen* sowie *Unruhezustände* und *Kopfschmerzen*. Bei den genannten Symptomen handelt es sich generell um unspezifische Beschwerden. Die Beschwerde *Druckempfinden* und *Unruhezustände* könnten prinzipiell auf eine tieffrequente Schallbelastung unterhalb der Hörschwelle hinweisen (Krahé et al. 2014, S. 44). Ein zweifelsfreier Nachweis der Zusammenhänge von den beobachteten Beschwerden mit einer lokal auftretenden, tieffrequenten Schallexposition, erfordert eine äußerst komplexe Analyse. Um mögliche Fehlattribuierungen auszuschließen, ist neben der Kenntnis über die individuellen, lokal bestehenden Immissionsbelastungen, eine sorgfältige Gegenüberstellung von möglichen Einflussfaktoren und der zweifelsfreie Ausschluss von WEA-unabhängigen Störfaktoren erforderlich. Das bedeutet, es müssen alle potentiell relevanten Auslöser, einschließlich möglicher gesundheitlicher Ursachen für die Gesundheitsbeschwerden, kritisch hinterfragt werden. Auch die Möglichkeit, dass Beschwerden aus einer sekundären Stressbelastung resultieren, z. B. im Zusammenhang mit hörbaren Geräuschbelastigungen durch die WEA muss geprüft werden.

Um eine solche ganzheitliche Charakterisierung der Beschwerdeträger/innen durchzuführen, wurden alle im Rahmen der umweltmedizinischen Befragung gewonnenen Parameter, d. h. die subjektiven Gesundheitsdaten sowie andere gesundheitsrelevante Einflussvariablen, in einer Analysematrix für einen kritischen Vergleich zusammengeführt (Tab. 33).

So stellte sich beispielsweise bei einer gegenüberstellenden Betrachtung der gewonnenen Parameter des Beschwerdeträgers I7, der seine Schlafstörungen auf die WEA zurückführt, heraus, dass er unter *Gelenk- bzw. Gliederschmerzen* sowie *Rückenschmerzen* leidet (Tab. 33). Diese von ihm subjektiv als *stark* belästigend eingestuften Leitbeschwerden könnten durchaus auch als plausible Ursache für seine Schlafstörungen infrage kommen. Auch die Angabe von einem Beschwerdeträger, dass er *Herzrasen* verspürt, wenn er das *Windrad hört*,

deutet eher auf eine sekundäre Stressreaktion infolge von Belästigung hin und gibt keine Hinweise auf einen expliziten Zusammenhang mit tieffrequenten Schallexpositionen. Für das Wohnumfeld dieses Beschwerdeträgers standen keine Immissionsmessdaten zur Verfügung, die eine tieffrequente Schallbelastung belegen könnten.

Für die objektive Bewertung der gesundheitlichen Folgen und Risiken durch tieffrequente Schallimmissionen ist zudem die kritische Prüfung der Antworten von Beschwerdeträger/Innen auf inkonsistente Angabe unerlässlich. Beispielsweise traten bei der Angabe von Gründen für schlechten Schlaf im Rahmen des PSQI widersprüchliche Antworten auf. So wurde von einem Beschwerdeträger die WEA als Auslöser für schlechten Schlaf in den letzten 4 Wochen angegeben, obwohl er im gleichen Fragebogen angibt nicht schlecht geschlafen zu haben und auch keinen PSQI-Score erreicht, der auf Schlafstörungen hinweist.

Des Weiteren müssen die Angaben über das Auftreten von gesundheitlichen Beschwerden im Zusammenhang des WEA-Betriebs sehr differenziert erfragt werden. Im Rahmen der Analyse von möglichen somatoformen Störungen mittels SSEQ gaben bspw. nur zwei Beschwerdeträger aus Ingersheim an, in den letzten sechs Monaten oft körperliche Beschwerden gehabt zu haben. Ansonsten gaben die Beschwerdeträger/innen sowohl in Ingersheim als auch in Wilstedt an, in den letzten sechs Monaten nie oder nur selten körperlichen Beschwerden gehabt zu haben. Solche Aussagen gilt es im Kontext der genannten körperlichen Beschwerden, die im Zusammenhang mit dem WEA-Betrieb aufgetreten sind, differenzierter zu hinterfragen.

Die kritische Gegenüberstellung der verschiedenen (Gesundheits-)Parameter der einzelnen Beschwerdeträger/innen sollte außerdem zur Identifikation von Ursachen dienen, die für eine besondere Sensitivität bzw. Sensibilität oder Vulnerabilität bei den Betroffenen verantwortlich sein könnten. In der vorliegenden Stichprobe von Beschwerdeträgern/innen konnten bei den gewonnenen Gesundheitsparametern keine klaren Hinweise auf relevante Gemeinsamkeiten bei Betroffenen bzw. Häufungen von ggf. relevanten Einflussfaktoren festgestellt werden. Eine sinnvolle statistische Prüfung zur Identifikation von Gemeinsamkeiten und Zusammenhängen zwischen den Parametern der Beschwerdeträger/innen war aufgrund der kleinen Fallzahl nicht möglich.

Anhand dieser Beispiele wird deutlich, dass der Nachweis einer Assoziation des von WEA emittierten tieffrequenten Schalls (inkl. Infraschall) mit adversen Gesundheitseffekten sehr komplex und mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet ist.

Grundsätzlich konnte im Rahmen der umweltmedizinischen Befragung festgestellt werden, dass sich an beiden Standorten jeweils nur ein kleiner Teil von Anwohnern/innen gesundheitlich durch die WEA belastet fühlt und unter eher unspezifischen Symptomen leidet. Es lässt sich anhand der Befragungsdaten allein nicht eindeutig differenzieren, ob diese Beschwerden von den Betroffenen explizit auf eine Belastung durch tieffrequenten Schall zurückgeführt werden oder, ob sie eher im Zusammenhang mit einer allgemeinen Geräuschbelästigung durch die WEA stehen.

Um einen Zusammenhang von WEA-assoziierten tieffrequenten Schallexpositionen und gesundheitlichen Beschwerden zu erlauben, bedarf es einer gemeinsamen und vergleichenden Betrachtung der individuellen Gesundheitsparameter und von anderen möglichen Einflussvariablen, einschließlich der umweltsychologischen Befragungsergebnissen zur Belästigung und Akzeptanz (Vergl. Kap II.1.5.3), sowie der lokal auftretenden Immissionen in (Wohn-)Gebäuden (Vergl. Kap II.1.5.2).

Tabelle 33 Analyse-Matrix: Befragungsdaten von Beschwerdeträgern/innen

ID	I1	I2	I3	I4	I5	I6
Alter	57	58	51	56	57	65
Geschlecht	w	w	m	m	m	m
Maß der Belästigung durch WEA	ziemlich	sehr	sehr	mittelmäßig	sehr	ziemlich
Beschwerden durch WEA	Herzrasen (wenn WEA hörbar)	Schlaf- störungen	Kopfschmerzen Druck	Druckgefühl im Kopf	Innere Unruhe Schlafstörung	Tinnitus Herzstolpern Drückgefühl Herz
GBB-24 starke Leitbeschwerden	keine	keine	keine	keine	keine	Herzklopfen, -jagen oder stolpern
Beschwerdekomplex (Prozentrang)						
Erschöpfung	81	50		17	61	77
Magenbeschwerden	21	21		20	20	76
Gelenkbeschwerden	44	53		30	51	80
Herzbeschwerden	52	52		25	25	94
Beschwerdedruck	62	48		13	46	85
Subj. Schlafqualität (PSQI Nr.6)	*gut	*schlecht	*schlecht	*ohne SS	*gut	*schlecht
PSQI-Σ-Score (cut off >5)	5	7	8		5	7
WEA als Grund für Schlafstörung	k.A.	Brummen/ Vibration			x	
Lärmempfindlichkeit	58	55	51	30	62	62
SSEQ (Cut off =31)	fehlt	16	fehlt	8	27	27
SF12- KSK (Alters-Norm ±SD)	57,9 (47,7±9,3)		58,4 (46,7±8,3)	56,2 (46,7±8,3)	57,6 (46,7±8,3)	51,9 (44,9±10)
SF12- PSK (Alters-Norm ±SD)	45,0 (50,5 ±9,3)		45,9 (52,2 ±8,7)	59,8 (52,2±8,7)	42,5 (52,2±8,7)	44,4 (53,6±8,0)
Wohlbefinden in Wohnung	wohl	sehr wohl	sehr wohl	sehr wohl	sehr wohl	mäßig wohl
Wohlbefinden im Wohnumfeld	wohl	sehr wohl		sehr wohl	sehr wohl	mäßig wohl
Anzahl WEA	1	1	1	1	1	1
¹ Modellierte Schallbelastung LATges [dB(A)]	30,8	20,5	37,0	41,9	29,0	31,6
² WEA-Geräuschbelastung insgesamt (Skala 0 bis 4)	3	3	4	4	3	hört keine Geräusche
² stark belästigt, Belästigung ≥ 2, mind. 1 Symptom 1x pro Mo	x	x	keine Symptome	x	x	keine Geräusch- belästigung

ID	I7	I8	W1	W2	W3	W4
Alter	80	81	43	58	50	68
Geschlecht	m	m	w	w	m	m
Maß der Belästigung durch WEA	k.A.	sehr	mittelmäßig	mittelmäßig	sehr	wenig
Beschwerden durch WEA	Angstzustand Schlaflosigkeit Erhöhter Herzschlag	Kopfschmerzen	Schlafstörung Kopfschmerzen Innere Unruhe	Tinnitus Nervosität	Müdigkeit	Ein- und Durch- schlafstörung
GBB-24 starke Leitbeschwerden	Gelenk- oder Gliederschmerzen Kreuz- oder Rückenschmerzen	keine	keine	keine	keine	keine
Beschwerdekomplex (Prozentrang)						
Erschöpfung	98	52	89	86	67	44
Magenbeschwerden	17	68	63	96	20	17
Gelenkbeschwerden	96	16	83	34	41	43
Herzbeschwerden	80	56	88	52	25	14
Beschwerdedruck	92	44	86	79	6	29
Subj. Schlafqualität (PSQI Nr.6)	*schlecht ≥ 9*		gut	gut	schlecht	gut
PSQI-Σ-Score (cut off >5)	x		6	8	14	4
WEA als Grund für Schlafstörung						x
Lärmempfindlichkeit	73	36	58	76	49	47
SSEQ (Cut off =31)	fehlt	17	27	22	fehlt	17
SF12- KSK (Alters-Norm ±SD)	38,0 (42,6±11,5)	51,9 (42,6±11,5)	56,0 (48,1±8,0)	49,7 (44,7±9,1)	49,6 (49,5±7,5)	48,8 (44,9±9,9)
SF12- PSK (Alters-Norm ±SD)	29,2 (54,1±7,8)	54,1(54,1±7,8)	52,7 (49,5±9,1)	52,3 (50,5±9,3)	57,4 (52,5±7,9)	56,5 (53,6±8,0)
Wohlbefinden in Wohnung	wohl	sehr wohl	sehr wohl	mäßig wohl	sehr wohl	sehr wohl
Wohlbefinden im Wohnumfeld	wohl	sehr wohl	wohl	wohl	sehr wohl	wohl
Anzahl WEA	1	1	9	9	9	9
¹ Modellierte Schallbelastung LATges [dB(A)]	37,0	32,7	30,3	31,7	27,9	37,8
² WEA-Geräuschbelastung insgesamt (Skala 0 bis 4)	4	4	2	2	4	1
² stark belästigt, Belästigung ≥ 2, mind. 1 Symptom 1x pro Mo	x	x	x	x	x	keine Geräuschbel.

*Beschwerdeträger/innen: Ingersheim-Stichprobe = I1-8, B Wilstedt-Stichprobe = W1-4; *im Fragebogen der Ingersheim-Stichprobe wurde der PSQI nur von Teilnehmern/innen mit schlechtem Schlaf in den letzten 4 Wochen ausgefüllt (Filterfrage). Daten von ¹KIT bzw. ²MLU, SD = Standardabweichung; x=zutreffend; Beschwerden/Werte ≥ cut off in Fettdruck;*

II.1.5.2 Zusammenhang zwischen objektiven Immissionsparametern und subjektivem Gesundheitszustand

Die Analyse der individuellen Belastung durch tieffrequente Schallimmissionen sollte im TremAc Vorhaben mittels einer objektiven Bewertung der Zusammenhänge von Schall-Exposition und gesundheitlichem *Outcome* erfolgen.

Das Ziel einer Prüfung der Assoziation zwischen den expositionsseitigen Erschütterungs- und Schallemissionen sowie Immissionen und der subjektiven Gesundheit und Wahrnehmung bei Beschwerdeträgern/innen (im Rahmen des AP E3), war im Zusammenhang mit den umweltmedizinischen Befragungsergebnissen, nur in zwei Einzelfällen am Standort Ingersheim möglich. An beiden Untersuchungsstandorten wurden in jeweils zwei (Wohn-) Gebäuden mikroakustische und mikroseismische Immissionsmessungen durchgeführt (Vergl. Kap II.1.4.3). Allerdings konnten nicht von allen Anwohnern/innen der vier Messstandorte umweltmedizinische Daten gewonnen werden. In Wilstedt waren die Bewohner/innen eines Messstandorts aus persönlichen Gründen nicht bereit, einen umweltmedizinischen Fragebogen auszufüllen. Im zweiten Fall gaben die Bewohner/innen im Fragebogen keine Gesundheitsbeschwerden an, die sie auf die WEA zurückführen. Damit zählten sie per Definition nicht zu den Beschwerdeträgern/innen. Eine mögliche Assoziation einer Exposition mit einem gesundheitlichen Outcome konnte in diesen Fällen nicht geprüft werden.

In den vier verfügbaren (Wohn-)Gebäuden wurden mikroseismische und mikroakustische Messungen im Frequenzbereich von 1 bis 150 Hz durchgeführt. Dabei konnten sowohl WEA-assoziierte Frequenzen im Infraschall-Bereich, d. h. unterhalb von 20 Hz nachgewiesen werden, als auch tieffrequente Signale bis einschließlich 120 Hz (Vergl. Kap II.1.4.3). Die in den Gebäuden gemessenen Schalldruckpegel lagen aber deutlich unterhalb der menschlichen Hörschwelle (DIN 45680:2011-09 2011). Es gibt daher keine Hinweise darauf, dass explizit von den tieffrequenten Schallkomponenten, eine belastende Wirkung auf die Anwohner/innen ausgeht. Ob diese tieffrequenten Schallkomponenten ggf. über extra-aurale Wirkung zu den gesundheitlichen Beschwerden bei den Betroffenen beitragen, kann nicht beantwortet werden.

Als Ergebnis der seismischen Messungen konnte an beiden Standorten herausgestellt werden, dass es keine Hinweise auf eine belastende Wirkung durch WEA-assoziierte Erschütterungen oder Vibrationen in den (Wohn-)Gebäuden von Beschwerdeträgern/innen gibt. Auch im Bereich außerhalb der Wohnbebauungen, d. h. bereits im Abstand von ca. 400 m von der WEA waren keine für den Menschen spürbaren Erschütterungen mehr nachweisbar (Vergl. II.1.4.2.).

Die in zwei Fällen gewonnenen Messparameter in (Wohn-)Gebäuden geben demzufolge keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen den von den Bewohnern/innen subjektiv der WEA zugeordneten Symptomen und den tatsächlich lokal auftretenden tieffrequenten und Infraschall-Immissionen sowie Erschütterungen.

Aufgrund der geringen Anzahl von Messstandorten zur Erfassung der lokal auftretenden Expositionen und den zugehörigen umweltmedizinischen Befragungsdaten, konnte im verfügbaren Zeitrahmen von TremAc keine umfassendere Untersuchung einer möglichen Dosis-Wirkungs-Beziehung erfolgen. Auch eine Einteilung der Anwohner/innen in Kategorien mit wenig und hoch Exponierten konnte im Vorhaben nicht umgesetzt werden.

Da die erfassten Gesundheitsbeschwerden auch mögliche Stress-assoziierte gesundheitliche Folgen einer anhaltenden Belästigung durch hörbare WEA-Immissionen darstellen können, wurde auch die akustische Belastung der Anwohner/innen durch hörbare WEA-Geräusche betrachtet. Die akustischen Emissionsmessungen im Umfeld der WEA erfolgten im Rahmen

von TremAc nur in einem Abstand bis 240 m von der WEA und damit nicht im direkten Umfeld von Wohngebäuden (Vergl. Abschnitt II.1.4.1). Anhand der gewonnenen Messdaten war es jedoch möglich, die Geräuschbelastung von Anwohnern/innen in unterschiedlichen Wohnabständen zur WEA bzw. zum Windpark mittels eines Berechnungsverfahrens abzuschätzen. Die Kooperationspartner vom KIT hatten dafür die nach DIN ISO 9613-2 "äquivalenten A-bewerteten Dauerschalldruckpegel" (LATges, in dB) berechnet (Vergl. II.1.2.1).

Für Ingersheim ergab der LATges-Wert im Mittel $28 \pm 3,5$ dB(A). Bei gesundheitlich Betroffenen, die in < 500 m Entfernung von der WEA wohnen, erreichten die höchsten geschätzten Pegel Werte von 40,6 bis 41,9 dB(A). In Wilstedt lag der höchste, extrapolierte Schalldruckpegel bei 38,4 dB, in einem der WEA am nächsten gelegenen Wohngebäude in ca. 1400 m Entfernung.

Generell treten demzufolge an beiden Standorten keine Überschreitungen der Immissionsrichtwerte von 40 dB(A) nachts und 55 dB(A) tagsüber auf (TA-Lärm 1998). Trotz der formalen Unterschreitung der Grenzwerte ist eine Geräuschbelästigung bei den Betroffenen Anwohnern/innen aber nicht grundsätzlich auszuschließen.

II.1.5.3 Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Belästigung und subjektivem Gesundheitszustand

Bei der Prüfung von möglichen Zusammenhänge einer tieffrequenten und bzw. Infraschall-Belastung mit körperlichen Symptomen, muss auch das Maß des Belästigungsempfindens und der Einstellung der Anwohner/innen gegenüber der WEA als wichtiger Confounder bzw. als relevanter Einflussfaktor mit berücksichtigt werden. Ein hohes Maß an Belästigung, ausgelöst durch bspw. störende WEA-Geräusche oder durch eine Ablehnung der WEA im Allgemeinen, kann auf Stress-assoziierte, sekundäre Gesundheitsfolgen hinweisen. Daher wurde im Rahmen des TremAc-Vorhabens, erfasste Aspekte der umweltmedizinischen Befragung, mit denen des Teilprojektes „Umweltpsychologische Analyse der WEA-Immissionswirkungen auf Akzeptanz und Wohlbefinden der Anwohner“ gegenübergestellt.

Zum einen ergab sich hinsichtlich der Belästigung durch die WEA bei der umweltmedizinischen Befragung der beiden Stichproben ($n=170$), dass die WEA nur bei einer kleinen Anzahl von Anwohnern/innen, d. h. bei insgesamt rund 5 % ($n=8$) der befragten Anwohner/innen, ein Belästigungsempfinden auslöst. Von den Personen, die subjektive Gesundheitsbeschwerden explizit auf den Betrieb von WEA zurückführen ($n=12$), fühlen sich nur sieben durch die WEA (ziemlich bzw. sehr) belästigt.

Im Rahmen der umweltpsychologischen Analyse von Anwohnern/innen wurden Beschwerdeträger/innen als stark belästigte Personen definiert. Dieser Definition wurden andere Kriterien zugrunde gelegt, als in der umweltmedizinischen Erhebung. Die Umweltpsychologie betrachtet diejenigen Personen als Beschwerdeträger/innen, deren Belästigungsempfinden durch die WEA auf einer Skala von 0 bis 4 einen Wert von ≥ 2 erreicht und bei denen mindestens ein psychisches oder körperliches Symptom mindestens einmal pro Monat durch die WEA-Geräusche ausgelöst wird. Aus umweltmedizinischer Perspektive erfolgte die Zuordnung als Beschwerdeträger/in, durch die Angabe von subjektiven, WEA-assoziierten Gesundheitsbeschwerden.

Insgesamt konnten von der MLU 14 Personen identifiziert werden, bei denen die Kriterien für eine Zuordnung zur Gruppe der stark Belästigten vorliegen.

Bei den nach umweltmedizinischen Kriterien festgestellten Beschwerdeträgern/innen ($n=12$) und den aus umweltpsychologischer Sicht als stark Belästigte definierten Personen ($n=14$) gab es bei insgesamt zehn Personen übereinstimmende Zuordnungen. Von drei Personen,

die von der MLU als stark Belästigte eingestuft wurden, lagen keine umweltmedizinischen Fragebögen vor. Drei Beschwerdeträger/innen, die gesundheitliche Beschwerden auf die WEA zurückführen, zählen per Definition nicht zu den stark Belästigten, da sie bei der umweltpsychologischen Befragung entweder nur eine Geräuschbelästigung ohne Symptome angaben, oder Symptome nannten, aber keine starke Belästigung durch WEA-Geräusche empfinden. Ein stark Belästigter, in dessen Haushalt Messungen durchgeführt wurden, gab im umweltmedizinischen Fragebogen keine Symptome an, die er auf den WEA-Betrieb zurückführt, allerdings litt dieser Teilnehmer mit einem PSQI-Score von 11 unter Schlafstörungen.

II.1.6 Verallgemeinerungen und Schlussfolgerungen aus den Befragungen (AP E3)

Die umweltmedizinische Befragung von WEA-Anwohnern/innen an zwei Standorten im Rahmen des TremAc-Vorhabens hat ergeben, dass offensichtlich nur eine kleine Anzahl von Anwohnern/innen WEA-assoziierte Gesundheitsbeschwerden entwickelt. Die geringen Fallzahlen bestätigen die Ergebnisse aus anderen Studien zur gesundheitlichen Wirkung von WEA auf Anwohner/innen (Jalali, Bigelow et al. 2016; Pohl et al. 2018). In der vorliegenden Studie konnte bei den betroffenen Personen eine Häufung von Symptomen erfasst werden, die subjektiv auf den WEA-Betrieb zurückgeführt wurden. Auch die von den Beschwerdeträgern/innen erfassten Symptome umfassen Beschwerden, die bereits in anderen Studien zur subjektiven Wirkung von WEA von Betroffenen genannt wurden (Bakker et al. 2012; Magari et al. 2014; Michaud et al. 2016). Allerdings handelt es sich bei den Symptomen generell um unspezifische Beschwerden, die eine Vielzahl von auslösenden Ursachen haben können.

Im Rahmen des TremAc-Vorhabens war es nicht möglich, klar zu differenzieren, ob die hier genannten Beschwerden auf aurale oder extra-aurale Effekte auf tieffrequente oder Infraschall-Expositionen zurückzuführen sind oder ob sie ggf. sekundäre, Stress-assoziierte Beschwerden darstellen, die als Folge von Belästigung durch hörbare Geräusche ausgelöst wurden.

Zudem wurden im TremAc-Vorhaben Messverfahren etabliert und optimiert, um in (Wohn-)Gebäuden von Betroffenen tieffrequente und Infraschall-Immissionen von WEA messen zu können. Im vorgegebenen Zeitrahmen des TremAc-Vorhabens war es aber nicht möglich, bei allen gesundheitlich betroffenen Anwohnern/innen die (zeit-)aufwendigen Immissionsmessungen im Wohnumfeld durchzuführen. Daher standen bei den meisten identifizierten Beschwerdeträgern/innen nach Abschluss des Projektes keine Daten zur Verfügung, um den Zusammenhang zwischen den beschriebenen Symptomen und der lokalen Exposition durch tieffrequente Schallimmissionen auf Plausibilität zu prüfen.

In zwei Wohngebäuden von Beschwerdeträgern/innen erfolgten allerdings Immissionsmessungen, bei denen tieffrequenter bzw. Infraschall akustisch nachgewiesen und explizit dem WEA-Betrieb zugeordnet werden konnten. Die gemessenen Schalldruckpegel lagen jedoch unterhalb der menschlichen Hörschwelle (bis 8 Hz gemäß DIN 45680). Es müsste daher zum einen geprüft werden, ob die Beschwerdeträger/innen eine besondere Sensibilität (oder ggf. verstärkte Sensitivität besitzen) und tieffrequenten Schall bereits bei niedrigen Schalldruckpegeln wahrnehmen können. Eine solche audiologische Charakterisierung erfordert allerdings eine Analyse unter Laborbedingungen.

Sollten die Betroffenen tatsächlich tieffrequenten Schall bei Schalldruckpegeln unterhalb der Hörschwelle wahrnehmen können, gilt es weiterhin zu differenzieren, ob es sich bei den resultierenden Gesundheitseffekten um Folgen einer „Belästigung“ handelt oder ob pathophysiologische Effekte im Zusammenhang mit der tieffrequenten Schallexposition ausgelöst werden.

Aus der Literatur ist bekannt, dass tieffrequenter und Infraschall, ohne eine bewusste Wahrnehmung bzw. der Möglichkeit einer Ursachenzuweisung, eine belastende und irritierende Empfindungen bei Betroffenen auslösen kann (Krahé et al. 2014, S. 46). Eine solche Differenzierung ist anhand von Befragungsdaten und Immissionsmessungen im Feldversuch allein nicht möglich.

Im Rahmen einer epidemiologischen Studie aus Dänemark wurde analysiert, ob ggf. ein erhöhtes Erkrankungsrisiko für bestimmte gesundheitliche Outcomes, unter verschiedenen Expositionsbedingungen mit Schall von WEA bestehen könnte (Poulsen et al., 2018a, b, c, d). Die Ergebnisse der Studie ergaben letztlich keine belegbaren Hinweise auf häufige oder sichere Zusammenhänge.

Notwendig wäre es, zukünftig sichere Kenntnisse darüber zu gewinnen, ob generell pathophysiologische Wirkungen von tieffrequenten Schallwellen im Ohr bzw. im Organismus ausgelöst werden. Ob überhaupt pathophysiologische Wirkungen bei niedrigen tieffrequenten Schalldruckpegeln auftreten können, ist noch offen. Diese Kenntnisse würden ein vertieftes Verständnis subjektiv beobachteter Beschwerden bei Anwohnern/innen ermöglichen.

Es konnte im Rahmen von TremAc nicht abschließend geklärt werden, ob und wenn ja, warum einzelne Anwohner/innen – explizit – unter tieffrequenten Schallbelastungen in ihrem Wohnumfeld leiden. Eine Ableitung von konkreten Maßnahmen zum vorbeugenden Gesundheitsschutz bei WEA-Anwohnern/innen ist an dieser Stelle aus umweltmedizinischer Sicht noch nicht möglich. Es wird empfohlen, eine größere Datenbasis auf Grundlage einer systematischen, „ganzheitlichen Anamnese“ einer größeren Stichprobe von Beschwerdeträgern/innen zu schaffen. Da jeweils nur wenige Anwohner/innen Beschwerden berichten, wäre dafür eine Stichprobe aus mehreren Windparkstandorten notwendig. Der im Rahmen von TremAc entwickelte umweltmedizinische Fragebogen könnte dafür in angepasster Form genutzt werden.

Empfehlungen zur methodischen Optimierung

Die Analyse einer ausreichend großen Stichprobe von Beschwerdeträgern/innen ist zum einen notwendig, um eine mögliche Häufung von Gesundheitseffekte durch WEA-Schallimmissionen herauszustellen. Zum anderen müssen auch für die Feststellung möglicher Gemeinsamkeiten bei Betroffenen, und damit möglicher Ursachen für ihre Vulnerabilität, umfassende Daten zur Verfügung stehen. Es wird daher empfohlen, in zukünftigen umweltmedizinischen Studien den Fokus explizit auf die Rekrutierung von gesundheitlich betroffene Teilnehmern/innen zu legen und diese bspw. mit Nicht-Betroffenen aus dem direkten Wohnumfeld, d. h. mit Personen unter gleichen Expositionsbedingungen, zu vergleichen.

Dafür ist es notwendig, die Rekrutierungsstrategie für Teilnehmer/innen an zukünftige Studien zu optimieren. Eine Erweiterung der Erhebungsoptionen durch einen Online-Fragebogen könnte bspw. insbesondere zur verbesserten Erreichbarkeit von Beschwerdeträgern/innen in jüngeren Altersgruppen beitragen.

Der für das TremAc-Vorhaben entwickelte umweltmedizinische Fragebogen ist prinzipiell als Instrument für weitere umweltmedizinische Befragungen einsetzbar, um eine systematische, „ganzheitliche“ Charakterisierung bei den Beschwerdeträgern/innen zu ermöglichen. Die Ergebnisse der Befragung im Rahmen von TremAc haben allerdings auch aufgezeigt, dass eine Anpassung und konkretere Abfrage verschiedener Aspekte in zukünftigen Erhebungen erforderlich ist.

Zum einen muss eine spezifischere Eingrenzung bzw. gezieltere Abfrage bezüglich der subjektiven WEA-assoziierten Gesundheitsbeschwerden erfolgen. Das bedeutet bspw., es muss für die umweltmedizinische Analyse klar abgefragt werden, in welchem genauen Zeitfenster

die genannten Beschwerden aufgetreten sind, d. h. in naher oder eher ferner Vergangenheit seit der Inbetriebnahme und ob mit der Zeit Veränderungen aufgetreten sind. Generell sollte aufgrund der retrospektiven Erfassung von WEA-assoziierten Beschwerden, eine mögliche Verzerrung der Ergebnisse bei der Interpretation mitberücksichtigt werden.

Insgesamt hat sich die Integration von standardisierten Fragebögen, wie dem GBB-24 und PSQI, als zielführend für eine höhere Aussagekraft und verbesserte Einschätzung bestimmter Gesundheitsparameter herausgestellt. Für die subjektive Einschätzung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität von Anwohner/innen im Kontext von Belastungen durch WEA hat sich der SF12 allerdings als nicht geeignetes Instrument herausgestellt. Aufgrund der geringen Fallzahl von Beschwerdeträgern/innen ist der Einsatz des SF-12 im gegebenen Kontext nicht aussagekräftig. Es wird daher empfohlen, für die Einschätzung der (gesundheitsbezogenen) Lebensqualität von WEA-Anwohnern/innen ein anderes Erhebungsinstrument zu nutzen (z. B. EQ-5D (Ludwig et al. 2018)).

Die Ergebnisse der umweltmedizinischen Befragung im Rahmen von TremAc haben die Komplexität der Zusammenhänge von gesundheitlichen Beschwerden, die subjektiv auf den Betrieb von WEA zurückgeführt werden, erneut verdeutlicht. Die Betrachtung und der Vergleich von relevanten Gesundheitsparametern allein erlaubt weder zuverlässige Rückschlüsse auf die Ursachen einer Vulnerabilität noch auf mögliche Kausalitäten. Solche Rückschlüsse können ausschließlich durch eine parallele Erfassung der lokal auftretenden Immissionen bei Betroffenen hergestellt werden.

Für eine sichere Ableitung von kausalen Expositions-Wirkungs-Zusammenhängen ist zudem ein weitaus spezifischeres Studiendesign erforderlich, bei dem idealerweise eine langfristige Betrachtung von Anwohnern/innen in einem Vorher-Nachher-Szenario erfolgt. Da aber offensichtlich nur eine kleine Anzahl von Anwohnern/innen WEA-assoziierte gesundheitliche Beschwerden entwickelt, könnte der Aufwand einer prospektiven Studie unverhältnismäßig hoch sein, um diese kleine Anzahl Betroffener zu identifizieren und monitoren zu können. In einem ersten umweltmedizinischen Studienansatz wäre es daher sinnvoll, den Fokus auf die Rekrutierung von Betroffenen und Nicht-Betroffenen aus dem direkten Wohnumfeld, d. h. mit gleicher Exposition zu legen und diese Fälle auf Basis der TremAc-Studie, hinsichtlich ihrer körperlichen und psychischen Gesundheit umfassend zu charakterisieren und zu vergleichen.

Empfehlungen für weitere Studien

In folgenden interdisziplinären Studien sollten gezielt weitere Problemwindparks untersucht werden, indem eine größere Stichprobe von Anwohnern/innen befragt werden, stark Belästigte identifiziert und diese für akustische Messungen zu Hause und Erfassung von Beschwerden über einen längeren Zeitraum gewonnen werden (Anwohnermonitoring). Dabei sollte das zeit-synchrone Messen und Registrieren von lästigen Geräuschen verstärkt zum Einsatz kommen.

Weiterhin wird empfohlen, WEA-Betriebszustände zu variieren und deren Einfluss auf die Lästigkeit zu untersuchen. Auch sollten Geräuschminderungsmaßnahmen weiter evaluiert werden. Es sollten stärker die Geräuschqualitäten erforscht werden, die Anwohner/innen als belästigend bewerten.

Die Suche nach akustischen Phänomenen, die zur Lästigkeit beitragen, sollte fortgesetzt werden.

Insgesamt gilt es, die physikalischen und psychischen Faktoren, die zu einer WEA-Geräuschbelastigung beitragen, weiter interdisziplinär zu erforschen und die Mess- und Befragungsdiagnostik zu optimieren und standardisieren.

II.2 Empfehlungen mit Blick auf Akzeptanz und Gesundheitsschutz (AP E4)

Die Broschüre mit Empfehlungen befindet sich noch in Arbeit.

III. 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. H., Pedersen, E., van den Berg, G. P., Stewart, R. E., 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. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.03.005
- Berglund, B., & Hassmen, P. (1996). Sources and effects of low-frequency noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 99, 2985–2998.
- Bolin, K., Bluhm, G., Eriksson, G. & Nilsson, M. E. (2011). Infrasound and low frequency noise from wind turbines: Exposure and health effects. *Environmental Research Letters*, 6, 1–6.
- 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.
- Brähler, E. (2008). Die Geschlechts- und Altersabhängigkeit von Körperlichen Beschwerden in Deutschland im Wandel der Zeit. In M. Franz & J. Frommer (Hrsg.), *Medizin und Beziehung* (1. Aufl., S. 143–165). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Brähler, E., Hinz, A. & Scheer, J. W. (2008). Der Gießener Beschwerdebogen [GGB-24]. Manual (3. neu normiert). Bern: Huber (S. 109).
- Buysse. (1989). Schlafqualitäts-Fragebogen (PSQI). Fragebogen zur Erfassung der Schlafqualität der letzten vier Wochen. http://www.dgsm.de/fachinformationen_fragebogen_psqi.php. Zugegriffen: 4. Mai 2016.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale: Erlbaum.
- Colby, W. D., Dobie, R., Leventhall, G., Lipscomb, D. M., McCunney, R. J., Seilo, M. T. & Søndergaard, B. (2009). Wind turbine sound and health effects: An expert panel review. Prepared for American Wind Energy Association and Canadian Wind Energy Association.
- DIN 45680:2011-09 (2011). Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschemissionen. Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN u. VDI; Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN. Berlin: Beuth.
- DIN4150-2:1999-06 (1999). DIN 4150-2:1999-06, Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Teil 2: Einwirkung auf Menschen in Gebäuden. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Ellenbogen, J. M., Grace, S., Geiger-Bernays, W. J., Manwell, J. F., Mills, D. A., Sullivan, K. A. & Weisskopf, M. G. (2012). Wind turbine health impact study: Report of independent expert panel. Prepared for: Massachusetts Department of Environmental Protection, Massachusetts Department of Public Health.
- DSGVO (2018). Datenschutz-Grundverordnung. Brüssel: Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union. (<https://dsgvo-gesetz.de>)

FA Wind. (2018). Umfrage zur Akzeptanz der Windenergie an Land – 2018. Ergebnisse einer repräsentativen Umfrage zur Akzeptanz der Nutzung und des Ausbaus der Windenergie an Land in Deutschland (Forsa). gefördert durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Fachagentur zur Förderung eines natur- und umweltverträglichen Ausbaus der Windenergie an Land e.V., Hrsg.), Berlin. Zugegriffen: 23. Mai 2019.

Farboud, A., Crunkhorn, R. & Trinidad, A. (2013). 'Wind turbine syndrome': Fact or fiction? *The Journal of laryngology and otology* 127 (3), 222–226. doi: 10.1017/S0022215112002964

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.

Havas, M. & Colling, D. (2011). Wind turbines make waves: Why some residents near wind turbines become ill. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 31, 414–426.

Herzog, A., Voigt, K., Fabisch, A.-B., Groß, B. & Löwe, B. (2014). Psychische und interaktionale Merkmale somatoformer Störungen bei Patienten in der Primärversorgung: Einsatz des Somatic Symptoms Experiences Questionnaire (SSEQ), Berlin. Zugegriffen: 8. Oktober 2018.

Herzog, A., Voigt, K., Meyer, B., Rief, W., Henningsen, P., Hausteiner-Wiehle, C. & Lowe, B. (2014). The Somatic Symptoms Experiences Questionnaire (SSEQ): a new self-report instrument for the assessment of psychological characteristics of patients with somatoform disorder. *Psychotherapie, Psychosomatik, Medizinische Psychologie* 64 (3-4), 115–121. doi:10.1055/s-0032-1333303

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., Hoen, B., Firestone, J., Rand, J., Elliott, D. & Haac, T. R. (2019a). Monitoring annoyance and stress effects of wind turbines on nearby residents: A comparison of U.S. and European samples. *Environment International*, 132. (DOI 10.1016/j.envint.2019.105090)

Hübner, G., Pohl, J., Warode, Gotchev, B., Nanz, P., Ohlhorst, D., Krug, M., Salecki, S. & Peters, W. (2019b). Naturverträgliche Energiewende: Akzeptanz und Erfahrungen vor Ort. Bonn: Bundesamt für Naturschutz.

ISO 9613-2 (1996). Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation. Geneva, Switzerland: ISO.

- Jalali, L., Bigelow, P., McColl, S., Majowicz, S., Gohari, M. & Waterhouse, R. (2016). Changes in quality of life and perceptions of general health before and after operation of wind turbines. *Environmental pollution* (Barking, Essex: 1987). doi:10.1016/j.envpol.2016.06.020
- Jalali, L., Nezhad-Ahmadi, M.-R., Gohari, M., Bigelow, P. & McColl, S. (2016). The impact of psychological factors on self-reported sleep disturbance among people living in the vicinity of wind turbines. *Environmental research* 148, 401–410. doi:10.1016/j.envres.2016.04.020
- Knopper, L. D. & Ollson, C. A. (2011). Health effects and wind turbines: a review of the literature. *Environmental health: a global access science source* 10, 78, 1-10. doi:10.1186/1476-069X-10-78
- Knopper, L. D., Ollson, C. A., McCallum, L. C., Whitfield Aslund, M. L., Berger, R. G., Souweine, K. & McDaniel, M. (2014). Wind turbines and human health. *Frontiers in public health* 2, 63, 1-20. doi:10.3389/fpubh.2014.00063
- Krahé, D., Schreckenber, D., Ebner, F., Eulitz, C. & Möhler, U. (Umweltbundesamt, Hrsg.). (2014). Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_40_2014_machbarkeitsstudie_zu_wirkungen_von_infraschall.pdf. Zugegriffen: 13. April 2016.
- Krogh, C., Gillis, L. & Kouwen, N. (2011). A self-reporting survey of adverse health effects associated with industrial wind turbines: The need for vigilance. (http://www.windvigilance.com/windvoice_home/download-a-copy-of-windvoice-results)
- Lane, J. D., Bigelow, P. L., Majowicz, S. E. & McColl, R. S. (2016). Impacts of industrial wind turbine noise on sleep quality: Results from a field study of rural residents in Ontario, Canada. *Journal of Environmental Health* (79), 8–12. https://www.netforumpro.com/eweb/shopping/shopping.aspx?site=neha&webcode=shopping&shopsearchcat=merchandise&productcat=jeh%20articles&prd_key=b7177bae-728d-4e57-a1e5-35a6bc58e8bb. Zugegriffen: 4. August 2016.
- Leventhall, G. A. (2003). Review of published research on low frequency noise and its effects. London: Defra.
- Leventhall, G. (2009). Low frequency noise: What we know, what we do not know, and what we would like to know. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 28, 79–104.
- MØller, H. & Pedersen, C. S. (2011). Low-frequency noise from large wind turbines. *Journal of the Acoustical Society of America*, 129, 3727–3744.
- LfU. (2016). Windkraftanlagen – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit? Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_117_windkraftanlagen_infraschall_gesundheit.pdf. Zugegriffen: 15. September 2016.
- Ludwig, K., Graf von der Schulenburg, J.-M. & Greiner, W. (2018). German Value Set for the EQ-5D-5L. *PharmacoEconomics* 36 (6), 663–674. doi:10.1007/s40273-018-0615-8
- Magari, S. R., Smith, C. E., Schiff, M. & Rohr, A. C. (2014). Evaluation of community response to wind turbine-related noise in western New York State. *Noise & health* 16 (71), 228–239. <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2014/16/71/228/137060>.

- McCunney, R. J., Mundt, K. A., Colby, W. D., Dobie, R., Kaliski, K. & Blais, M. (2014). Wind Turbines and Health. A Critical Review of the Scientific Literature. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 56 (11), e108-e130. doi:10.1097/JOM.0000000000000313
- Michaud, D. S., Feder, K., Keith, S. E., Voicescu, S. A., Marro, L., Than, J., Guay, M., Denning, A., Bower, T., Villeneuve, P. J., Russell, E., Koren, G. & van den Berg, F. (2016). Self-reported and measured stress related responses associated with exposure to wind turbine noise. *The Journal of the Acoustical Society of America* 139 (3), 1467–1479. doi:10.1121/1.4942402
- Møller, H. & Pedersen, C. S. (2004). Hearing at low and infrasonic frequencies. *Noise & health* 6 (23), 37–57. <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2004/6/23/37/31664>.
- Morfeld, M., Kirchberger, I. & Bullinger, M. (2011). Fragebogen zum Gesundheitszustand: SF-36 (dt. Version des Short form-36 health survey. 2., erg. und überarb. Aufl.). Göttingen [u.a.]: Hogrefe, Verl. für Psychologie (S. 221).
- Nagel, S., Zieger, T., Luhmann, B., Knödel, P., Ritter, J. & Ummenhofer, T. (2019). Erschütterungsemissionen von Windenergieanlagen. *Stahlbau* 88 (6), 559–573. doi:10.1002/stab.201900039
- Nieminen, P., Lehtiniemi, H., Vähäkangas, K., Huusko, A., Rautio, A. (2013). Standardised regression coefficient as an effect size index in summarizing findings in epidemiological studies. *Epidemiology Biostatistics and Public Health* 10, e8854-1–e8854-15.
- Pawlaczyk-Luszczynska, M., Dudarewicz, A., Zaborowski, 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. (2011). Health aspects associated with wind turbine noise – results from three field studies. *Noise Control Engineering Journal*, 59, 47–53.
- 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.
- Pierpont, N. (2009) *Wind turbine syndrome: A report on a natural experiment*. Santa Fe, NM: K-Selected Books.
- Pierpont, N. (2010, Oktober). *Wind Turbine Syndrome & the Brain*. First International Symposium on Global Wind Industry and Adverse Health Effects: Loss of Social Justice? Picton, Ontario, Kanada.

- 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., Gabriel, J. & Hübner, G. (2014). *Untersuchung der Beeinträchtigung von Anwohnern durch Geräuschemissionen von Windenergieanlagen und Ableitung übertragbarer Interventionsstrategien zur Verminderung dieser*. Halle (Saale): Institut für Psychologie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Pohl, J., Gabriel, J. & Hübner, G. (2018). Understanding stress effects of wind turbine noise – The integrated approach. *Energy Policy*, 112, 119–128. (DOI 10.1016/j.enpol.2017.10.007)
- Pohl, J., Hübner, G. & Mohs, A. (2012). Acceptance and stress effects of aircraft obstruction markings of wind turbines. *Energy Policy*, 50, 592–600.
- Poulsen, A.H., Raaschou-Nielsen, O., Pena, A., Hahmann, A. N., Bastrup Nordsborg, R., Ketznel, M., Brandt, J., Sorensen, M. (2018a). Short-term nighttime wind turbine noise and cardiovascular events: a nationwide case-crossover study from Denmark. *Environ. Int.* 114, 160-166.
- Poulsen, A.H., Raaschou-Nielsen, O., Pena, A., Hahmann, A. N., Bastrup Nordsborg, R., Ketznel, M., Brandt, J., Sorensen, M. (2018b). Long-term exposure to wind turbine noise at night and risk for diabetes: a nationwide cohort study. *Environ. Res.* 165, 40-45.
- Poulsen, A. H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A. N., Nordsborg, R. B., Ketznel, M., Brandt, J. & Sørensen, M. (2018c). Long-term exposure to wind turbine noise and redemption of antihypertensive medication: A nationwide cohort study. *Environment international* 121 (Pt 1), 207–215. doi:10.1016/j.envint.2018.08.054
- Poulsen, A. H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A. N., Nordsborg, R. B., Ketznel, M., Brandt, J. & Sørensen, M. (2018d). Pregnancy exposure to wind turbine noise and adverse birth outcomes: a nationwide cohort study. *Environmental research* 167, 770–775. doi:10.1016/j.envres.2018.09.011
- Salt, A. N. & Hullar, T. E. (2010). Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hearing Research* 268 (1-2), 12–21. doi:10.1016/j.heares.2010.06.007
- Salt, A. N. & Lichtenhan, J. T. (Hrsg.). (2011). *Responses of the inner Ear to Infrasound*. Zugriffen: 3. Mai 2016.
- Schmidt, J. H. & Klokner, M. (2014). Health effects related to wind turbine noise exposure: A systematic review. *PLoS ONE* 9(12): e114183. (DOI 10.1371/journal.pone.0114183)
- Schomer, P. D., Erdreich, J., Pamidighantam, P. K. & Boyle, J. H. (2015). A theory to explain some physiological effects of the infrasonic emissions at some wind farm sites. *The Journal of the Acoustical Society of America* 137 (3), 1356–1365. doi:10.1121/1.4913775.
- 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.
- Tabassum-Abbasi, Premalatha, M., Tasneem Abbasi & Abbasi, S. A. (2014). Wind energy: Increasing development, rising environmental concern. *Renewable and Sustainable Energy Re-views*, 31, 270–288.
- TA-Lärm (Die Bundesregierung, Hrsg.). (1998). *Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA*

- Lärm). http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwwbund_26081998_IG19980826.htm. Zugegriffen: 29. Januar 2020.
- Tesarz, M., Kjelberg, A., Landström, U. & Holmberg, K. (1997). Subjective Response Patterns Related to Low Frequency Noise. *Journal of Low Frequency Noise* (16), 145–149. <https://docs.wind-watch.org/Tesarz-et-al-Subjective-Response-LFN.pdf>. Zugegriffen: 11. Juli 2016.
- TNS Emnid (2013). Umfrage zum Thema Erneuerbare Energien im Auftrag der Initiative Erneuerbare Energiewende jetzt! Bielefeld: TNS Emnid.
- Unterausschuss NA 001-02-03-19 UA "Schallausbreitung im Freien" (2015). Dokumentation zur Schallausbreitung – Interimsverfahren für Windkraftanlagen, Fassung 2015-05.1. Berlin: Unterausschuss NA 001-02-03-19 UA.
- van den Berg, G. P. (2005). The beat is getting stronger: The effect of atmospheric stability on low frequency modulated sound of wind turbines. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 4, 15–40.
- van den Berg, F., Pedersen, E., Bouma, J. & Bakker, R. (2008). WINDFARM perception. Visual and acoustic impact of wind turbine farms on residents. Final report. European Research Program FP6-2005-Science-and-Society-20 Specific Support Action, Project no. 044628 (University Groningen, U. G., Hrsg.). <http://www.rug.nl/research/portal/files/14620621/WFp-final.pdf>. Zugegriffen: 1. September 2016.
- Walker, C., Baxter, J. & Ouellette, D. (2015). Adding insult to injury. The development of psychosocial stress in Ontario wind turbine communities. *Social Science & Medicine* 133, 358–365. doi:10.1016/j.socscimed.2014.07.067
- Weichenberger, M., Bauer, M., Kühler, R., Hensel, J., Forlim, C. G., Ihlenfeld, A., Ittermann, B., Gallinat, J., Koch, C. & Kühn, S. (2017). Altered cortical and subcortical connectivity due to infra-sound administered near the hearing threshold – Evidence from fMRI. *PloS one* 12 (4), e0174420. doi:10.1371/journal.pone.0174420
- Weinstein, N. D. (1978). Individual differences in reactions to noise: a longitudinal study in a college dormitory. *The Journal of applied psychology* 63 (4), 458–466.
- WHO. (1997). WHOQOL -Measuring Quality of Life (World Health Organization, Hrsg.). Zugegriffen: 11. Dezember 2019.
- Zimmer, K. & Ellermeier, W. (1997). Lärmempfindlichkeitsskala von Weinstein – deutsche Fassung. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 44, 107–110.
- Zimmer, K. & Ellermeier, W. (1998). Konstruktion und Evaluation eines Fragebogens zur Erfassung der individuellen Lärmempfindlichkeit". *Diagnostica* 44 (1), 11–20.

IV. Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis erfolgt für UBI und MLU gesondert an den Drittmittelgeber in Form des Schlussverwendungsnachweises.

IV.1 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Forschungsarbeiten im Teilvorhaben sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, da sie der im Teilprojektantrag formulierten Planung entsprachen und alle wesentlichen im Arbeitsplan formulierten Aufgaben erfolgreich bearbeitet wurden.

IV.2 Nutzen und Verwertbarkeit

Sowohl das gesamte TremAc-Verbundvorhaben, als auch die dazugehörigen Teilprojekte tragen zur Erzeugung von Wissen zur weiteren Aufklärung der Belastung von Anwohnern/innen durch (tieffrequente) Schallimmissionen von WEA bei und zur Bewertung von den damit einhergehenden möglichen gesundheitlichen Risiken. Das Wissen kann genutzt werden, um die Akzeptanz von WEA zu steigern.

IV.3 Fortschritt bei anderen Stellen

Im Rahmen des Gebiets des umweltmedizinischen Teilvorhabens ist kein Fortschritt bei anderen Stellen während der Durchführung des Vorhabens bekannt.

IV.4 Veröffentlichungen

Eine Veröffentlichung der Ergebnisse ist angedacht