

# Beeinträchtigungen der Umwelt durch ausgeprägt tieffrequente Schalle

## Erkenntnisse aus einer Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall im Auftrag des Umweltbundesamtes

Christian Eulitz<sup>1</sup>, Ulrich Möhler<sup>1</sup>, Detlef Krahe<sup>2</sup> und Dirk Schreckenberger<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Möhler+Partner Ingenieure AG

<sup>2</sup>Bergische Universität Wuppertal

<sup>3</sup>ZEUS GmbH

### Zusammenfassung

Seit einigen Jahren klagen Bürgerinnen und Bürger vermehrt über Beeinträchtigungen durch Infraschall. Das Umweltbundesamt Deutschland hat deshalb eine "Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall – Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Ermittlung der Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen" in Auftrag geben. In der Machbarkeitsstudie wurde der Stand des Wissens über die Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen, die Identifizierung von Infraschallquellen und die potentiellen Betroffenheiten in Deutschland durch Infraschall erarbeitet. Darüber hinaus wurde ein Studiendesign für eine Lärmwirkungsstudie über Infraschallimmissionen entwickelt. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurden Vorschläge für die Weiterentwicklung des Regelwerkes zum Immissionsschutz unterbreitet. Der vorliegende Artikel fasst die wesentlichen Erkenntnisse aus der Machbarkeitsstudie zusammen.

**Schlagerwörter:** Infraschall, tieffrequenter Lärm, Lärmwirkung, Infraschallquellen, Infraschallexposition, Brummtönen, Beschwerdesituation, Lärmbelastung

### Abstract

Citizens have increasingly complained about detrimental effects caused by infrasound in the recent years. The Federal Environment Agency Germany (Umweltbundesamt) has therefore commissioned a "Feasibility study on infrasound effects – Development of research designs to assess the impact of infrasound on humans by different sources". The feasibility study evaluated the state of knowledge about the effects of infrasound on human beings, the identification of infrasound sources and the potential concerns in Germany due to infrasound. Furthermore, a study design was developed for a noise impact study concerning infrasound immissions. Based on these findings, recommendations for the further development of regulations on immission control were made. This article summarizes the main findings of the feasibility study.

**Keywords:** Infrasound, Infrasonic, Low Frequency Noise, Infrasound Sources, Infrasound Exposure, Hum, Noise Pollution, Noise Complaint

## 1 Einleitung

In den letzten Jahren haben in Deutschland die Konflikte durch ausgeprägt tieffrequente Schalle und Infraschall stetig zugenommen. Als wesentliche negative Auswirkungen von Infraschalleinwirkungen werden vielfach Beeinträchtigungen des Herz-Kreislaufsystems, der Gleichgewichtsorgane, des Nervensystems und der auditiven Sinnesorgane sowie eine Abnahme der Konzentration und Reaktionszeit geschildert. Betroffene klagten häufig über Schwindel- und Unbehaglichkeitsempfindungen sowie Schlaflosigkeit bei Infraschallexposition.

In der Praxis treten Fälle auf, in denen die störenden Einwirkungen sowohl durch identifizierbare technische Anlagen als auch durch unbekannte Lärmquellen verursacht werden. Darüber hinaus werden bei der Neuplanung von Anlagen, insbesondere Windenergieanlagen, zunehmend

### Korrespondenzautor:

Christian Eulitz  
Möhler+Partner Ingenieure AG  
Paul-Heyse-Straße 27  
80336 München  
E-Mail: [christian.eulitz@mopa.de](mailto:christian.eulitz@mopa.de)

Einwendungen bezüglich einer fehlenden Einzelfallbetrachtung bezüglich des Infraschalls verzeichnet.

Gerade bei anlagenbedingten Immissionen treten neben Infraschalleinwirkungen auch Schallimmissionen im Hörbereich auf, so dass die ausgeprägt tieffrequenten Schalle häufig soweit überdeckt werden, dass diese erst in einer ruhigen Umgebung, beispielsweise im Inneren von Aufenthaltsräumen von Wohnungen im Nachtzeitraum, störend wahrgenommen werden.

Aufgrund der großen Wellenlänge von Infraschallphänomenen von mehreren Metern, der äußerst geringen Abnahme von Infraschall über den Abstand und des spezifischen Einflusses der Wohnumgebung (Vorbelastung, Schalldämmung der Außenbauteile, raumakustische und baudynamische Einflüsse in den Wohnungen der betroffenen Anwohner) wurden auch zahlreiche Fälle von nicht identifizierbaren Infraschallimmissionen festgestellt.

Die derzeit geltenden Regelungen für ausgeprägt tieffrequente Schalle berücksichtigen nur Geräuschanteile im Frequenzbereich von mehr als 8 Hz (Terzmittelfrequenz), die eine definierte (mittlere) Hörschwelle überschreiten, sofern diese von technischen Anlagen i.S. der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) [3] ausgehen. Von Betroffenen wird auf das als unzureichend erlebte Schutzniveau bei tieffrequenten Immissionen Bezug genommen und eine stärkere Begrenzung gefordert. Die mögliche enge kausale Bindung von akustischer Wahrnehmbarkeit (Hörschwelle) und Belästigungserleben muss dahingehend überdacht werden, dass es Personen mit abgesenkter Hör- bzw. Wahrnehmungsschwelle gibt.

Es besteht Forschungsbedarf bezüglich der Häufigkeit des Auftretens, Art und Umfang von Beeinträchtigungen sowie von möglichen Gefährdungen der menschlichen Gesundheit durch tieffrequente Geräusche und Infraschall. In einem ersten Schritt wurde vom Umweltbundesamt eine Machbarkeitsstudie zur Wirkung von Infraschall in Auftrag gegeben. Ziel der Machbarkeitsstudie war es, die Immissionsbelastung durch Infraschall und tieffrequente Geräusche wissenschaftlich aufzubereiten und damit eine Grundlage für weitergehende Untersuchungen zu schaffen.

Die Machbarkeitsstudie wurde von einer Forschungsgemeinschaft aus der Bergischen Universität Wuppertal, der Zeus GmbH, Hagen und der Möhler+Partner Ingenieure AG, München, bearbeitet. Die Machbarkeitsstudie wurde in den folgenden fünf Arbeitspaketen bearbeitet.

## 2 Methodik

### 2.1 Aufbereitung des Standes des Wissens über Infraschallauswirkungen auf den Menschen

Basis der Untersuchung war eine umfassende Literaturrecherche, in der alle Literaturquellen die relevante Infor-

mation versprochen, herangezogen wurden. Über das Internet wurden fachspezifische Datenbanken abgefragt, die Datenbestände wissenschaftlicher Verbände aus der Akustik, von nationalen und internationalen Konferenzen und von Verlagen durchsucht. Dabei wurden auch Foren von Bürgerinitiativen, Beiträge von Verbänden und Presseberichte ausgewertet.

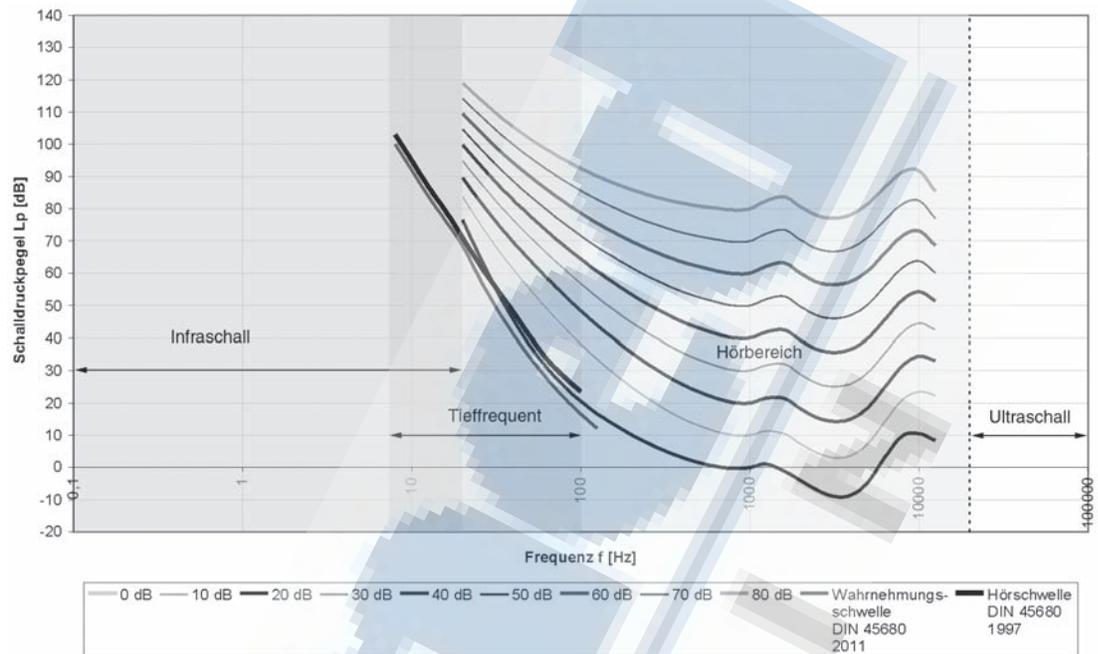
Als Ergebnis der Literaturrecherche liegt eine Datenbank mit ca. 1.200 Beiträgen vor. Die Beiträge sind nach Schlüsselwörtern und Relevanzkriterien abgelegt. Die Datenbank, die aus Urheberrechtsgründen lediglich die Quellenhinweise und – soweit vorhanden – Kurzfassungen enthält, wurde auf einem öffentlich zugänglichen Server der Webseite zu dem Forschungsvorhaben <http://www.infraschallstudie.de> abgelegt, sodass ein Zugriff auf die Datenbank für Interessenten möglich ist.

Aus der Literaturrecherche konnte kein einheitliches Bild zu Ursache und Wirkung von Infraschall abgeleitet werden. Bemerkenswert ist weiterhin, dass sich insbesondere in Deutschland bisher nur wenige Untersuchungen mit Infraschall beschäftigen. Für weitergehende Untersuchungen ist eine Trennung zwischen Infraschall (Schalle unterhalb des hörbaren Frequenzbereichs) und tieffrequenten Geräuschen (im hörbaren Frequenzbereich) sinnvoll. Aus der **Abbildung 1** ist ein weiteres wesentliches Merkmal von tieffrequenten Schallen erkennbar: Die Kurven gleicher Lautstärkepegel verlaufen im tieffrequenten Bereich zunehmend dichter zusammen. Beispielsweise wird die Pegeländerung von einem Sinuston mit 1.000 Hz von 0 bis 80 dB ( $\Delta L_{1000\text{ Hz}} = 80\text{ dB}$ ) bei 20 Hz nur noch mit einer Dynamik von ca.  $\Delta L_{20\text{ Hz}} = 45\text{ dB}$  wahrgenommen. Der Unterschied einer Pegelwirkung zwischen der Hör-/Wahrnehmungsschwelle und einer erheblichen Belästigung wird somit im tieffrequenten Bereich zunehmend geringer.

Bei der Literaturswertung zeigte sich allerdings, dass sowohl die Begriffe Infraschall und tieffrequenter Schalle häufig synonym verwendet werden und auch eine klare Trennung im Hinblick auf die Wirkung, Ermittlung und Beurteilung nach derzeitigen Erkenntnissen nicht möglich ist.

Verschiedene Untersuchungen haben negative Auswirkungen von Infraschall auch bei Schalldruckpegeln unterhalb der Hörschwelle (unterschwellige Infraschallauswirkungen) mit entsprechenden Hypothesen postuliert. Die ersten negativen Auswirkungen wurden bereits bei Schalldruckpegeln von ca. 75 dB bei 8 Hz festgestellt, wobei aufgrund des dabei verwendeten Geräuschspektrums Auswirkungen des Schallanteils über der Hörschwelle nicht ausgeschlossen werden können. Für eine negative Auswirkung von Infraschall ausschließlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle konnten bislang keine wissenschaftlich gesicherten Erkenntnisse gefunden werden.

Zu Lösung dieses Defizits wäre eine Laborstudie durchzuführen, in der unter kontrollierten Bedingungen die Effekte (aural und extraaural) von tieffrequenten Geräuschen mit und ohne Infraschall mit konstantem Geräuschanteil



**Abb. 1:** Frequenzbereiche des Schalls und Kurven gleicher Lautstärkepegel

oberhalb von 100 Hz (beispielsweise über den Vergleich mit einer Kontrollgruppe) untersucht werden.

Aus der Literatur zeigt sich, dass die Schwankungsstärke des Infraschalls einen deutlichen Einfluss auf den Grad der Belästigung hat. Dabei ist nicht allein das Maß der Pegelschwankung (Modulationsgrad), sondern auch die Frequenz der Pegelschwankung (Modulationsfrequenz) relevant. Die Wirkungen modal verschiedener Reize können sich gegenseitig verstärken, zum Beispiel Vibrationen in Kombination mit tieffrequenten Geräuschen und Infraschall kann zu erhöhten Belästigungen führen.

## 2.2 Identifizierung von Quellen, von denen Infraschall-emissionen in nicht unerheblichem Maß ausgehen können

Ausgehend von den Ergebnissen der Literaturrecherche wurde ein Konzept zur systematischen Erfassung von infraschallrelevanten Geräuschquellen in Form eines Erhebungs- und Klassifizierungsbogens erarbeitet. Zu diesem Zweck wurden aus einer Medienrecherche potentielle Infraschallquellen gesammelt und anhand ihres technischen Charakters in zwölf Quellengruppen (Gr.) zusammengefasst:

- Gr.I. Raumluftechnische Anlagen, Bsp. Klima- und Lüftungsanlagen
- Gr.II. Baumaschinen, Bsp. Dieselrammen, Rüttelwalzen
- Gr.III. Anlagen von Energieerzeugung und -transport, Bsp. Windenergieanlagen, Biogasanlagen, Umspannwerke, Koronageräusche von Überlandleitungen
- Gr.IV. Verkehrstechnische Einrichtungen, Bsp. Schiffe, Lkw, Bahn

- Gr.V. Sieb- und Sortieranlagen, Bsp. Sichter, Doppeldeckersieb
- Gr.VI. Kompressoren und Pumpen, Bsp. Hochdruckreiniger, Dampfstrahler
- Gr.VII. Transport, Bsp. Förderbänder, Vibrationsrinnen, Rohrleitungen
- Gr.VIII. Sonstige technische Anlagen, Bsp. Sägegatter, Auspacktrommeln, Druckmaschinen
- Gr.IX. Natürliche Quellen, Bsp. Erdbeben, Vulkanausbrüche, Meeresbrandung, Tiere
- Gr.X. Veranstaltungen, Bsp. Diskotheken, Freiluftveranstaltungen
- Gr.XI. Produktionsstätten, Bsp. Herstellungs- und Fertigungsbetriebe
- Gr.XII. Sonstiges, Bsp. Geschütze, Explosionen, Raketenstarts

Die Auflistung zeigt, dass sich die möglichen Infraschall-emittenten über nahezu sämtliche technischen Bereiche erstrecken und diese Quellen räumlich betrachtet häufig in unserer Umgebung bzw. zunehmend in unmittelbarer Nachbarschaft von Wohnbebauung vorhanden sein können. Um mit dieser Klassifikation Beschwerdefälle mit tieffrequenten Geräuschen und Infraschall umfassend abbilden zu können, wurde eine ergänzende Gruppe Gr.0. für "Unbekannte Quellen" eingefügt.

Eine Systematik für die Beurteilung der Erheblichkeit von Infraschallimmissionen existiert bislang nicht. Es wurde eine Bewertungsmatrix für Lästigkeitsklassen konzeptionell ausgearbeitet und mit beispielhaften Datenblättern visualisiert. Bislang liegen jedoch nicht genügend Untersuchungen von einzelnen Quellen oder Quellengruppen vor, um die vorgeschlagene Klassifizierung vorzunehmen.

### 2.3 Feststellung der potentiellen Betroffenheit der Bevölkerung in Deutschland durch Infraschall- und tieffrequente Geräuscheinwirkungen

Zur Ermittlung einer konkreten Belastungssituation und der Häufigkeit von Beschwerden über tieffrequente Geräuschimmissionen wurde einer Abfrage bei den Landesämtern für Umwelt bundesweit bei rund 400 Unteren Immissionsschutzbehörden mittels Fragebogen durchgeführt. Die Rückmeldung und Auswertung der Fragebögen wurde im Juni 2013 abgeschlossen. Die Beteiligung (der Rücklauf) lag bei 34,2%.

Im Hinblick auf die Verwaltungspraxis und die behördliche Beschwerdesituation kann die Betroffenheitsanalyse mit 231 gemeldeten Beschwerdefällen als repräsentativ eingestuft werden. Allerdings spiegelt die Beschwerdesituation bei den Unteren Immissionsschutzbehörden nur einen klei-

nen Teil der tatsächlich vorhandenen Konfliktsituation bezüglich der Einwirkungen von Infraschall und tieffrequenten Geräuschen wieder. So ist davon auszugehen, dass die individuelle Toleranzschwelle der betroffenen Bürgerinnen und Bürger dazu führen kann, dass nur ein geringer Anteil von Konflikten den Behörden gemeldet wird. Um ein genaueres Bild der Situation zu erhalten, könnte zum Beispiel die Häufigkeit von gerichtlichen Auseinandersetzungen ausgewertet werden, wobei eine Rückfrage bei den Justizbehörden in Bayern ergeben hat, dass hierzu bisher keine systematische oder einheitliche Erfassung derartiger Daten stattfindet.

Es wurde versucht die unterschiedlichen Phänomene (Infraschall, Brummen, tieffrequente Geräusche, sekundärer Luftschall) zu identifizieren und zu klassifizieren. Dies erscheint notwendig, weil mögliche unterschiedliche Wirkungsweisen auch unterschiedliche Herangehensweisen bei

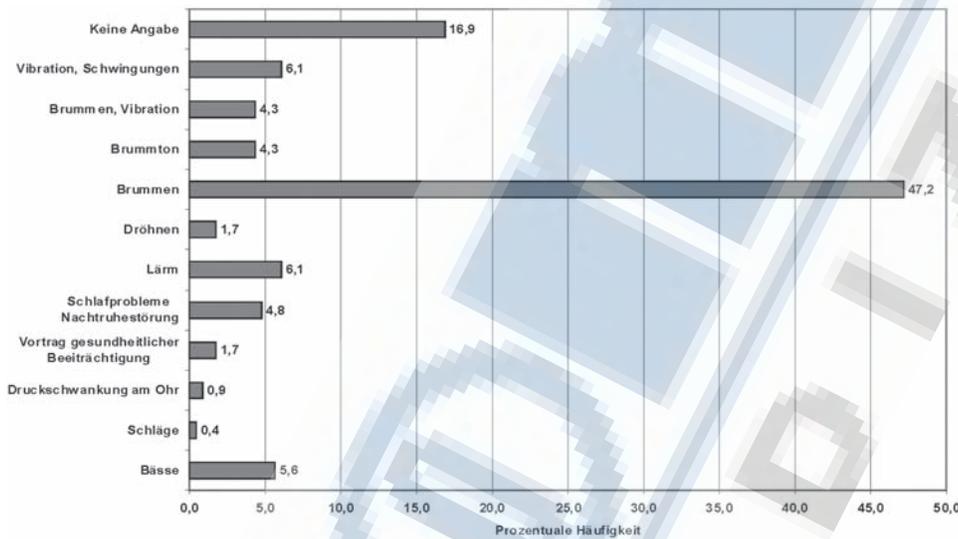


Abb. 2: Häufigkeit der Beeinträchtigung in den gemeldeten Konfliktsfällen, n = 400

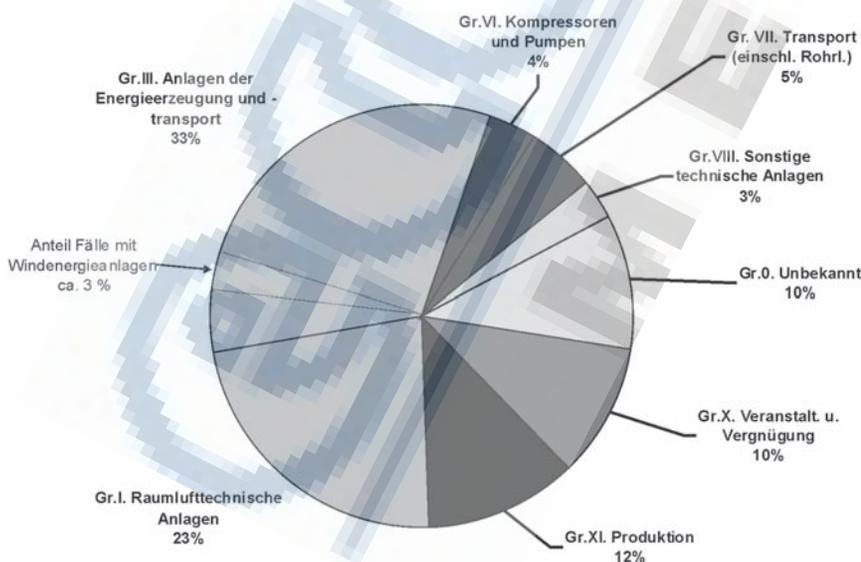


Abb. 3: Prozentuale Verteilung der ursächlichen Quellen für tieffrequente Konfliktsfälle

der Erforschung und Bewertung erfordern. Als häufigste Beschwerdeursache hat sich die Belästigung durch Brummen ergeben (vgl. ► Abb. 2). Die Belästigungsmerkmale Brummen, Brummtönen und Brummen mit Vibrationen waren in mehr als der Hälfte der Beschwerdefälle Ursache für Konflikte mit tieffrequenten Geräuschen.

Im Rahmen der Betroffenheitsanalyse konnten keine regionalen Schwerpunkte mit einer statistisch hinreichenden Sicherheit gefunden werden. Als häufigste Quellenart für Beschwerden wurden mit 33% die Anlagen der Energieerzeugung und des -transportes (Gruppe III) genannt. Innerhalb dieser Gruppe führten Wärmepumpen am häufigsten zu Konflikten: Nahezu jede Zehnte der amtlich dokumentierten Beschwerde über tieffrequente Geräusche in den letzten Jahren wurde durch Wärmepumpen verursacht. Ebenfalls etwa für jede zehnte Beschwerde konnte keine Ursache gefunden werden (► Abb. 3, Gruppe 0).

Praktisch relevante Quellen sind Wärmepumpen, Biogasanlagen, Blockheizkraftwerke, Windenergieanlagen, Kälte- und Klimaanlage, Lüftungen und Gebäudeheizungen sowie Pressen/Stanzen aus der Gruppe der Produktionsstätten. Als Ergebnis der Behördenabfrage wurde festgestellt, dass beispielsweise Windenergieanlagen, die in der Literatur zu tieffrequenten Geräuschen häufig thematisiert werden, im Betrieb in Deutschland tatsächlich mit einer Beschwerdehäufigkeit von 3,3% deutlich seltener als beispielsweise Wärmepumpen (9,3%), Lüftungsanlagen (8,5%), Biogasanlagen (8,4%), Kälteanlagen (8,0%), Blockheizkraftwerke (6,5%) oder Pressen/ Stanzen (5,1%) zu Konfliktfällen geführt haben.

Nicht berücksichtigt werden konnte die Anzahl der Beschwerdeführer bei den einzelnen Beschwerdefällen, da bei der Behördenabfrage hierzu in der Regel keine Informationen vorliegen. Es ist zu erwarten, dass die Auswirkung von Anlagen im unmittelbaren Umfeld von Wohngebäuden (z.B. Haustechnikanlagen) eine geringere Anzahl von Betroffenen auslöst, als Anlagen und Betriebe, die auf ein Wohngebiet von außen einwirken (z.B. Biogasanlagen, Blockheizkraftwerke, Industriebetriebe, Windenergieanlagen).

Die Auswertung der Behördenabfrage zeigte auch bei den bekannten oder vermuteten Ursachen für die Konfliktfälle mit ausgeprägt tieffrequenten Schallen ein breites, häufig anlagenspezifisches, Spektrum: Bei den Anlagen der Haustechnik im Wohnungsumfeld (insbesondere Wärmepumpen, Lüftungs- und Kälteanlagen von privaten Wohngebäuden) führte häufig eine unzureichende Planungstiefe bei der Errichtung der Anlagen zu Konflikten mit der Nachbarschaft. Bei Biogasanlagen und Blockheizkraftwerken beispielsweise löste oftmals das sog. "Einfahren der Anlage", also die Phase der Inbetriebnahme bis zum Regelnormalbetrieb, Konflikte mit der Nachbarschaft aus, die im späteren Betrieb beigelegt werden konnten. Bei Windenergieanlagen führten Defekte und mangelnde Wartung (zum Beispiel mechanische Schäden am Maschinenstrang) nach mehrjährigem Betrieb zu Beschwerdefällen.

Aus dem Rücklauf der Abfrage der Immissionsschutzbehörden zeigte sich der Bedarf nach einer systematischen Erhebung und Archivierung von Messdaten sowie nach einem einheitlichen Beschwerdekataster. In diesem Zusammenhang wären auch die deutschlandweite Archivierung und der Austausch von Messdaten von Beschwerdefällen (z.B. als digitale Audiosignale in einem Austauschformat wie WAVE) zum Erkenntnisgewinn zweckmäßig. Eine Archivierung von Messungen von Beschwerdefällen sollte zumindest die linearen Terzpegel des Schalldrucks im Frequenzbereich von 8 bis 100 Hz und den Zeitverlauf der störenden Einwirkungen enthalten und könnte für eine vergleichende Auswertung akustischer Kenndaten genutzt werden. Allerdings sollten im Zusammenhang mit Schallpegelmessungen zukünftig möglichst auch weitere Kenngrößen, die für eine erhöhte Belästigung ursächlich sein können (zum Beispiel Vibrationen, Sekundäreffekte, meteorologische Einflüsse, optische Reize usw.) erhoben werden. Die Angaben könnten mit dem Erhebungs- und Klassifizierungsbogen erfasst und als Grundlage für eine mögliche multimodale Grenzwertfindung für Infraschall genutzt werden.

Aus der Betroffenheitsanalyse konnten keine regionalen Schwerpunkte gefunden werden, die mit einer statistisch hinreichenden Sicherheit belegt werden könnten. Hierfür war insbesondere die Anzahl und Repräsentanz der übermittelten Beschwerdefälle zu gering. Tendenziell wurde in Süddeutschland eine höhere Anzahl an Beschwerdefällen genannt.

### 2.4 Entwicklung eines Studiendesigns für Wirkungsuntersuchungen über Infraschallimmissionen auf den Menschen

Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurde ein mögliches Studiendesign ausgearbeitet, das insbesondere auf die Erforschung der Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen ausgelegt wurde.

Im Hinblick auf die Belästigungswirkungen von Infraschall auf den Menschen, also Infraschall bzw. ausgeprägt tieffrequente Schalle im Bereich (unterhalb) der Wahrnehmungs- und Hörschwelle, liegen derzeit keine gesicherten Erkenntnisse vor. Zahlreiche spezifische Einflüsse sind bei der Bewertung der Belästigungswirkung von Infraschall auf Menschen zu betrachten:

- a) Spektraler und zeitlicher Verlauf des Infraschallpegels
- b) Dauer der Exposition
- c) Habituation und Sensibilisierung bei lang anhaltender Exposition
- d) Individuelle Wahrnehmungs- und Toleranzschwellen der Menschen
- e) Wechselwirkungen mit Vibrationen und Körperschall (z.B. Sekundärluftschall)
- f) Kombinatorische Wirkungen mit Hörschallanteilen

- g) Multimodale Stimulanz (wie zum Beispiel die Verstärkung durch Vibrationen und optische Reize)
- h) Individueller Einfluss der Aufenthaltsräume auf die äußeren Einwirkungen (Schalldämmung, Raummoden, bau-dynamische Einflüsse usw.)
- i) Psychoakustische Wirkungsmechanismen

Aufgrund dieser Einflussparameter ist eine Feldstudie einer Laborstudie vorzuziehen. Das Prinzip der konzipierten Feldstudie ist es, die Wirkungen bei Menschen, die nicht oder nur in geringem Maße einer Infraschallquelle ausgesetzt sind mit den Wirkungen bei Menschen, die in höherem Maße von einer Infraschallquelle betroffen sind zu vergleichen. Für die Feldstudie kommen die (quasi-experimentellen) Ansätze der sozio-akustischen Lärmwirkungsforschung in Betracht. Grunddesign ist dabei ein nach verschiedenen Expositionsabstufungen geschichtete Zufallsstichprobe von Untersuchungsteilnehmern aus Wohngebieten im Umfeld einer Infraschallquelle.

Für die systematische Erforschung der Lärmwirkungen sollten bei Feldstudien Anlagen mit einer hohen Anzahl von Betroffenen gewählt werden. Zur praktischen Konfliktvermeidung und Verbesserung der Wohnqualität im Hinblick auf Infraschall und tieffrequente Geräusche wären vorrangig Forschungen über Wärmepumpen, Kälte- und Klimaanlage, Lüftungs- und Heizungsanlagen im Wohnungsumfeld geeignet.

Im Hinblick auf die bekannten Infraschallquellen wird vorgeschlagen, zwei verschiedene Quellentypen zu untersuchen: Einen Typ mit einer Infraschallbelastung nur tagsüber und einen Typ mit einer Infraschallbelastung tags und nachts.

Weiterhin gilt es abzugrenzen, in welchem Maße sich die Wirkung von Infraschall ändert, wenn eine Fremd- bzw. Störschallquelle (z.B. Verkehrslärm, Lärm aus der Nachbarschaft oder Überlagerung durch Lärm von der Infraschallquelle im hörbaren Schallbereich) vorhanden ist.

Deshalb wird angeregt, bei der Auswahl der Infraschallquellen und Untersuchungsgebiete noch die Unterscheidung mit hohem/geringem Anteil durch Fremdschall einzuführen.

Ausgehend von dem vorgeschlagenen Mindeststichprobenumfang würde ein Untersuchungsplan mit den Faktoren Infraschallpegel (3 Stufen), Quellentyp (2 Stufen), Fremdschallquelle (2 Stufen) und Standort pro Infraschallquelle (2 Stufen) eine Anzahl von  $3 \times 2 \times 2 \times 2 = 24$  Untersuchungszellen à 30 bis 40 Personen resultieren. Die Gesamtstichprobengröße läge bei ca. 720 bis 960 Personen.

Das in folgender Tabelle abgebildete Untersuchungsdesign fasst die vorgeschlagenen Aspekte des Studienplans zusammen.

Grob eingeteilt könnte die Durchführung einer Infraschallfeldstudie in vier Schritten erfolgen:

- 1) Auswahl der zu untersuchenden Infraschallquellen und Wohngebiete inklusive Screeningmessungen.
- 2) Akustische, messtechnische Grundlagenermittlung zur Erfassung der individuellen Infraschallexposition von Untersuchungsteilnehmern.
- 3) Durchführung der Wirkungserhebungen in den ausgewählten Wohngebieten.
- 4) Schallmessungen in den Wohnräumen der an der Untersuchung teilnehmenden Personen.

Die Feldstudie kann dabei modularartig aufgebaut werden, in dem zunächst in einem Modul der Quellentyp "Belastung tags" und in einem weiteren Modul der Quellentyp "Belastung tags und nachts" untersucht werden kann.

Für die konzipierte Feldstudie erfolgten Vorschläge für statistische Analysen und eine Grobkostenschätzen, die einen Rahmen für den erforderlichen Aufwand aufzeigt. Um den Aufwand zu begrenzen wäre die vorgeschlagene systematische Erhebung und Archivierung von Messdaten sowie ein einheitliches Beschwerdekataster zweckmäßig.

**Tabelle 1:** Mögliches Studiendesign einer Felduntersuchung zur Ermittlung der Wirkung von Infraschall

Infraschallbelastung (Quellentyp)	Bsp. Quelle	Fremdschallquelle	Untersuchungsstandort pro Art der Infraschallquelle					
			Standort A			Standort B		
			Pegelklasse (z.B. $L_{Geq}$ )					
			niedrig	mittel	hoch	niedrig	mittel	hoch
Belastung tags	Gewerbeanlage (z.B. Sägewerk)	hoch	30 – 40	30 – 40	30 – 40	30 – 40	30 – 40	30 – 40
		gering	30 – 40	30 – 40	30 – 40	30 – 40	30 – 40	30 – 40
Belastung tags und nachts	Blockheizkraftwerk, Windenergieanlage	hoch	30 – 40	30 – 40	30 – 40	30 – 40	30 – 40	30 – 40
		gering	30 – 40	30 – 40	30 – 40	30 – 40	30 – 40	30 – 40
Summe			120 – 160	120 – 160	120 – 160	120 – 160	120 – 160	120 – 160
			360 – 480			360 – 480		
			720 – 960					

Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass zahlreiche medizinische Fragestellungen im Zusammenhang mit den Wirkungen von Infraschall auf Menschen bestehen, die im Rahmen einer Feldstudie nur mit sehr hohem Aufwand untersucht werden können. Deshalb ist neben der konzipierten interdisziplinären Feldstudie auch die Notwendigkeit einer Laborstudie zu physischen und psychischen Infraschalleinwirkungen im Bereich an und unterhalb der Wahrnehmungsschwelle gegeben.

### 2.5 Vorschläge für die Weiterentwicklung der vorhandenen Regelwerke zum Immissionsschutz hinsichtlich der Behandlung von Infraschall

Die Bewertung und Beurteilung von ausgeprägt tieffrequenten Geräuschen und zum Teil Infraschall erfolgt derzeit in Deutschland nach TA Lärm in Verbindung mit DIN 45680 [2][3]. Im Rahmen der Überarbeitung der DIN 45680 wurde auf die Erweiterung des Frequenzbereiches zu tieferen Frequenzen hin verzichtet, sodass der Infraschallbereich unter 8 Hz derzeit nicht beurteilt werden kann. Allerdings ist zu erwarten, dass auch bei Anwendung eines strengen Regelwerkes nicht alle Nutzungskonflikte durch tieffrequente Geräusche und Infraschall gelöst werden können, da die Konfliktbewältigung eine ganzheitliche Beurteilung, die Festlegung von Grenzwerten sowie standardisierte und genormte Prognoseverfahren erfordert.

Da tieffrequente Schalle besonders innerhalb von Aufenthaltsräumen zu Belästigungen führen, ist ein ausreichender Schutz im Innenraum anzustreben. Da die individuelle Wohnsituation die Schallexposition verändert, dämpfen, filterten oder im Einzelfall auch verstärken kann, sind bei der Prognose als auch bei der Messung die bau- bzw. raumakustischen Situationen der betroffenen Nachbarn zu berücksichtigen.

Beim derzeitigen Regelwerk für tieffrequente Schalle wird die Hörschwelle als Maßstab herangezogen. Dies ist im Rahmen einer Weiterentwicklung der vorhandenen Regelwerke zum Immissionsschutz zu hinterfragen. Die den Standards zugrunde gelegte Hörschwelle beruht auf Messungen bei Normalhörenden mit einzelnen Sinustönen. Es kann aber gezeigt werden, dass komplexe Geräusche auch schon dann wahrnehmbar sind, wenn die einzelnen Komponenten unterhalb der Hörschwelle liegen. Eine weitere Diskrepanz besteht darin, dass die tieffrequenten Geräusche häufig in der Amplitude stark schwanken (soz. pulsieren) und damit Adaptionsvorgänge im Gehör auslösen, die ebenfalls zu einer erhöhten Wahrnehmung führen. Über dies hinaus scheinen die tieffrequenten Schalle und der Infraschall bei längerer Exposition bei den Betroffenen zu einer erhöhten Wahrnehmung zu führen.

Eine weitere offene Frage ist, weshalb die Betroffenen in der Regel stark mental beeinträchtigt sind. Ähnliche Beobachtungen sind bei anderen Lärmeinwirkungen bislang nicht zu machen.

Pauschale Ansätze, die eine Prognosesituation mit dem Ziel einer Konfliktbewältigung einseitig zu überschätzen versuchen, wie zum Beispiel die Festlegung von Mindestabständen oder die Berücksichtigung von Sicherheitszuschlägen bei der Errichtung von bestimmten Anlagen, erscheinen ohne fundierte wissenschaftliche Erkenntnisse über die Wirkmechanismen und die zahlreichen spezifischen Einflüsse der Lästigkeit des Infraschalls nicht sachgerecht.

Neben dem Forschungsbedarf im konzipierten Studiendesign wäre ein vielversprechender Ansatz für die Weiterentwicklung des bestehenden Regelwerkes beispielsweise aus Untersuchungen einzelner Anlagentypen abzuleiten. Was ist der Stand der Lärminderungstechnik und die beste verfügbare Technik einer speziellen Anlage (z.B. von Wärmepumpen, Lüftungs- oder Kälteanlagen einer Leistungsklasse) im Hinblick auf die Emissionen tieffrequenter Luft- und Körperschalle? Welche bauart- oder systembedingten Anlagen führten in der Vergangenheit bereits zu Konflikten und wie können diese Konflikte bei der Neuplanung von Anlagen dieses Typs verhindert werden?

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde auch gezeigt, dass bereits die Messung von Infraschall mit nicht unerheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Windinduzierte Druckschwankungen an den Messmikrofonen oder der Einfluss von Fremdgeräuschen führen häufig zu Fehleinschätzungen der objektivierbaren Belastungssituation.

Für die beiden klassischen Ermittlungswege (Prognose und Messung) sind im Rahmen von weiteren Untersuchungen Konzepte zu erarbeiten, die die Besonderheiten von tieffrequenten Schallen und Infraschall auch im Hinblick auf ihre Wirkungen angemessen berücksichtigen. Das Ziel, die Abschätzung einer Belästigung aus den Messwerten praxistauglich zu gestalten, kann mit dem Einbezug weiterer psychoakustischer Größen verbessert werden.

Aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren der Lästigkeit von Infraschalleinwirkungen auf Menschen (► Abschn. 2.4 a bis i) sollten bei Konfliktsituationen Sonderfallbetrachtungen durchgeführt werden. In der Regel sind hierzu Langzeitmessungen von möglichst ungefilterten Luft- und Körperschallpegeln notwendig, mit dem Ziel eine gemessene Größe mit den Lästigkeitsempfindungen zu korrelieren. Für die Neuplanung von emissionsrelevanten Anlagen wären Langzeitmessungen der vorhandenen Situation an ausgewählten Immissionsorten sinnvoll (Nullfall), um die Vorbelastung und die spezifischen Eigenschaften der Wohnungen im Einwirkungsbereich von geplanten Anlagen in die Prognosebetrachtung einstellen zu können. Art, Umfang, Auswertung und Schlüsse aus derartigen Langzeitmessungen wären in Regelwerken zum Immissionsschutz festzulegen.

### 3 Schlussfolgerungen

Ziel der Machbarkeitsstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes war es, die in der Öffentlichkeit zunehmend thematisierte Immissionsbelastung durch Infraschall und tief-

frequente Geräusche wissenschaftlich aufzubereiten und damit eine Grundlage für weitergehende Untersuchungen zu schaffen. Ausgehend von den Ergebnissen einer umfangreichen Literatur- und Internetrecherche wurde ein Konzept zur systematischen Erfassung von infraschallrelevanten Geräuschquellen in Form eines Erhebungs- und Klassifizierungsbogens erarbeitet.

Als Ergebnis der Literaturrecherche liegt eine Datenbank mit ca. 1.200 Beiträgen vor. Die Beiträge sind nach Schlüsselwörtern und Relevanzkriterien abgelegt. Nähere Details zur Datenbank können auf der Webseite zu dem Forschungsvorhaben <http://www.infraschallstudie.de> abgerufen werden.

Im Rahmen der Betroffenheitsanalyse konnten keine regionalen Schwerpunkte mit einer statistisch hinreichenden Sicherheit gefunden werden. Am meisten führten Anlagen der Energieerzeugung und des Energietransportes sowie raumlufttechnische Anlagen zu Beschwerden über Infraschall und tieffrequente Geräusche. Als häufigste Quellenart für Beschwerden wurden Wärmepumpen mit einem Gesamtanteil von 9,3% genannt. Für etwa jede zehnte Beschwerde über Infraschall und ausgeprägt tieffrequente Geräusche konnte keine Ursache gefunden werden.

Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurde ein mögliches Studiendesign für eine Feldstudie ausgearbeitet, das insbesondere auf die Erforschung der ganzheitlichen Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen ausgelegt wurde.

Die Bewertung und Beurteilung von ausgeprägt tieffrequenten Geräuschen und zum Teil Infraschall erfolgt derzeit in Deutschland nach TA Lärm in Verbindung mit DIN 45680. Es ist zu erwarten, dass bei Anwendung dieses Regelwerkes nicht alle Nutzungskonflikte durch tieffrequente Geräusche und Infraschall gelöst werden können, da die Konfliktbewältigung eine ganzheitliche Beurteilung, die Festlegung von Grenzwerten sowie standardisierte und genormte Prognoseverfahren erfordert.

Die Machbarkeitsstudie hat auf dem Gebiet der Einwirkungen von Infraschall auf Menschen zahlreichen Forschungsbedarf aufgezeigt, der zukünftig eine interdisziplinäre Weiterentwicklung auf dem Gebiet erfordert.

Die Machbarkeitsstudie wurde im Juni 2014 als "UBA Texte 40/2014" durch das Umweltbundesamt veröffentlicht und ist im Internet unter <http://www.umweltbundesamt.de> zugänglich.

#### 4 Literatur

- [1] Krahe D, D. Schreckenberg, Ebner ?, Eulitz Ch, Möler U (Hrsg.) (2014): Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall – Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Ermittlung der Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen. UBA Texte 40
- [2] DIN 45680 und Beiblatt 1. Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft – Hinweise zur Beurteilung von gewerblichen Anlagen. März 1997
- [3] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI. Nr. 26/1998 S. 503)

## NACHRICHTEN

### Neu ab 2015

Unsere Zeitschrift "UHA" – der Name wurde letztes Jahr von "Umweltmedizin in Forschung und Praxis" auf "Umweltmedizin – Hygiene – Arbeitsmedizin" umbenannt, um den eng miteinander verbundenen Fachgebieten auch mittels Titel Rechnung zu tragen – ist inzwischen eine Institution geworden und wir freuen uns darüber!

In keinem anderen Medium gelingt es den Disziplinen (und somit den beteiligten Herausgebern und Autoren) so gut ineinander greifend und fachlich kompetent die Inhalte zu definieren, für die Leser interessant auszuarbeiten und stets aktuell zu bleiben.

Das gelingt den Beteiligten immer wieder aufs Neue, indem Themen gemeinschaftlich und fachübergreifend diskutiert, interessante Erweiterungen geplant und neue Impulse und Ideen entwickelt werden.

Mit dem kommenden 20. Jahrgang der Zeitschrift möchten wir nun gerne eine weitere Neuerung für die Zeitschrift einführen: die Veröffentlichung von Original- und Übersichtsbeiträgen *auch* in englischer Sprache. Wir sind überzeugt, dass wir dadurch die Vielfalt der Inhalte noch weiter befeuern und für unsere Leser interessant bleiben können.

Die Mitteilungen für die Mitglieder der Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin (GHUP) werden weiterhin in deutscher Sprache veröffentlicht. GHUP-Mitglieder erhalten die UHA zusammen mit dem International Journal of Hygiene and Environmental Health (IJHEH) zum jährlichen Mitgliedsbeitrag von 145 Euro.

Verlag und Herausgeber freuen sich über Ihre aktive Mitgestaltung bei dieser Neuerung