# Messung und Darstellung von Infraschall – abweichend von der DIN 45680

Frank Kameier

*Fachhochschule Düsseldorf, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Fachgebiet Strömungstechnik und Akustik, Josef-Gockeln-Str. 9, 40474 Düsseldorf, Deutschland, Email: frank.kameier@fh-duesseldorf.de*

## Einleitung

Zwei Industriebetriebe wurden in 2014 als Quellen von Infraschall erkannt. Die Grenzwerte der DIN45680 werden nicht überschritten, die Anwohner fühlen sich gestört und haben teilweise gar ihr Haus dauerhaft verlassen.

Die Verfahren und Hinweise zur Messung von tieffrequenten Druckschwankungen gemäß DIN45680 als Teil der TA Lärm bieten mit den Vergleichen von A- und C-bewerteten Pegeln in Terzen keine geeignete Hilfestellung um Infraschallemittenten zu finden.

Da Infraschall immer wieder als Negativargument angeführt wird, wenn es um Windenergieanlagen oder auch Luftwärmepumpen geht (vgl. Symposium "Energiewende und Lärmschutz" (2013)/1/), wurde die Infraschallthematik an der FH Düsseldorf verfolgt, vgl. Kameier et al. (2013)/2/ und Wahl et al.(2014)/3/. Hintergrund dieser Forschungsarbeiten war, Klärung bzgl. des Auftretens von Infraschall bei Windenergieanlagen zu schaffen, vgl. auch /4/. Zurückgegriffen wurde dabei auch auf eigene Messdaten aus 2008 und 2010 bei von Infraschall betroffenen Personen. Die Ursachen des Infraschalls wurden seinerzeit nicht gefunden. In 2014 wurden am Mast einer exemplarisch ausgewählten 2 MW Windenergieanlage tieffrequente Schwingungspegel gemessen (Wahl et al.(2014)/5/). Akustisch gut wahrnehmbar waren bei jeder Pitsch-Verstellung der Rotorblätter aber nur Geräusche mit Frequenzkomponenten außerhalb des Infraschallbereichs. Ob Windenergieanlagen überhaupt Infraschall abstrahlen, der die Bevölkerung stört, ist derzeit nicht nachgewiesen. Bisherige eigene Untersuchungen zeigen keine Schalldruckschwankungen im Infraschallbereich im Fernfeld von Windenergieanlagen. Ein kausaler Zusammenhang von großen Windenergieanlagen und von Infraschall betroffenen Personen kann objektiv bisher nicht hergestellt werden, da keine geeignet aufbereiteten Messdaten, die bei Betroffenen vor Ort in ihrer Wohnung gemessen wurden, bekannt sind. Die hier aufbereiteten Messdaten von anderen technischen Quellen zeigen sehr stabile und monotone Frequenzkomponenten, wie sie bei strömungsakustisch induzierten Mechanismen (Strömungsablösung an Rotorblättern) nicht zu erwarten sind. Es wird vermutet, dass bei einer Infraschallbelastung die strenge Monotonie für körperliche Beschwerden verantwortlich ist, obwohl die Pegel deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des menschlichen Ohres liegen.

In der Lärmwirkungsforschung ist bekannt, dass nicht erst bei einer bestimmten Pegelüberschreitung eine Störung wahrgenommen wird. Geräusche von Eisen- oder Straßenbahnen, dem KFZ Verkehr, von Flugzeugen, von Sportveranstaltungen oder Industrieanlagen müssen hingenommen werden, sofern die Pegel den gesetzlichen Vorgaben entsprechen. Die Wahrnehmung spielt dabei keine Rolle. Werden Geräusche als störend empfunden, kann es zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen praktisch unabhängig vom Pegel der Quelle kommen. Alleine der Ärger über ein Geräusch, das möglicherweise vermieden werden könnte, setzt individuell Faktoren in Gang, die im Sinne einer ingenieurwissenschaftlichen Bewertung keine Berücksichtigung finden. In diesem Prozess wird ein störendes Geräusch (z.B. einer Windenergieanlage im Hörbereich) auch schnell und physikalisch falsch zu einer Infraschallquelle, die man doch gerade nicht hören sondern eigentlich nur anderweitig fühlen kann.

## Erfahrungsbericht

Durch Veröffentlichungen aus der Presse und dem Fernsehen und auf Drängen einer Infraschall-Betroffenen wurde ich im Januar 2014 auf ein Infraschallproblem in Krefeld-Inrath aufmerksam. Nach einer Nachtmessung außerhalb des Werksgeländes vermutete ich die Ursache des Infraschalls im Lüftungs- oder Abluftbereich der Industrieanlage. Im Auftrag des Verursachers wurde es detailliert untersucht und es konnten die Quellen mit den verursachenden Maschinen gefunden werden. Eine Minderung der Belastung erfolgte bisher nicht, da gemäß TA-Lärm und der DIN45680 /8/ in alter wie neuer Fassung keine gesetzlichen Vorgaben gemäß der abgestrahlten Pegel überschritten werden (16 Hz mit Pegeln>76 dB an den Werksgrenzen zu den Wohngebieten). Abweichend von den Messverfahren der DIN 45680 /8/, die zur Beschreibung und Lokalisierung von Infraschallquellen eher ungeeignet erscheinen, wurden mit zum Standard gehörenden sehr schmalbandigen akustischen Analysen unter Anwendung konventioneller Messtechnik zwei sehr tonale 16 Hz Komponenten bei 16,2 Hz und 16,6 Hz festgestellt, die vermutlich ursächlich für das Unwohlsein der Anwohner sind.

Mittels einer zwei Mikrofonmesstechnik (Abb. 1) wurden Peilmessungen durchgeführt, die unter Ausnutzung von Laufzeitunterschieden im spektralen Bereich den Quellbereich örtlich eingrenzen konnten, vgl. Kameier (2014)/5/. Aufgrund der großen Wellenlänge z.B. bei 16 Hz von etwa 21m ist es nicht möglich, ein kommerzielles Mikrofonarray als akustische Kamera einzusetzen.

Die beiden im Abstand von etwa einem Meter positionierten Mikrofone zeigen in diesem Frequenzbereich Signale von hoher Kohärenz (Abb. 2 oben), so dass die Auswertung des Phasenspektrums im Sinne einer Laufzeitanalyse zulässig ist. Um die Ausbreitungsrichtung abzusichern, wurde zweimal mit um 180° verdrehter Mikrofonposition gemessen (Abb. 3). Notwendig waren Messzeiten von 3 bis 5 Minuten,

**Abbildung 2**: Zwei-Mikrofon-Array aus ¼“ICP-Mikrofonen und ROGA-USB Soundkarte.

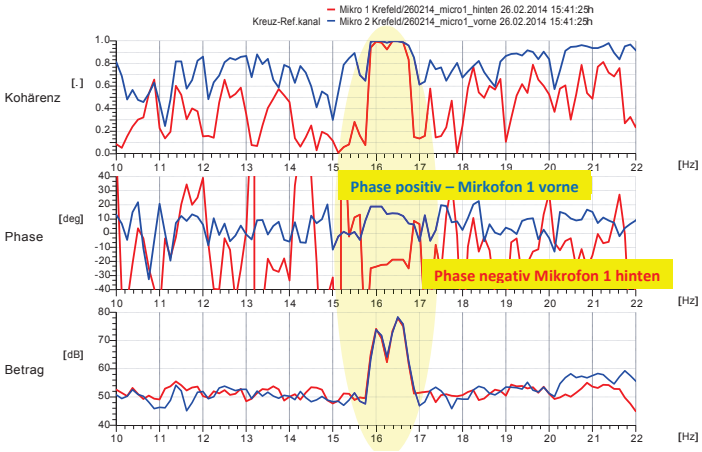


**Abbildung 3**: Messungen mit Mikrofon 1 und 2 in Richtung der Quelle ausgerichtet.

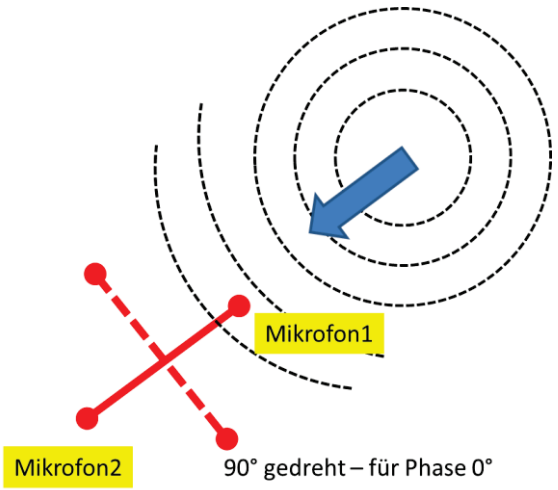


**Abbildung 4**: Schematische Wellenausbreitung und Zwei-Mikrofon-Array

um Störgeräusche durch Mittelung genügend zu reduzieren. Die Frequenzauflösung betrug 0,125 Hz. Richtet man die Mikrofone in ihrer Achse parallel zur Wellenausbreitung aus (Abb. 4), müssen beide Mikrofone das Quellereignis zur selben Zeit wahrnehmen. Die Quelle befindet sich bei dieser „Nullgradmessung“ genau 90° zur Verbindungsachse der beiden Mikrofone. Abb. 5 zeigt ein solches Messergebnis mit etwa 0° Phase bei sehr hoher Kohärenz im interessierenden Frequenzbereich zwischen 16 und 17 Hz.

Bereits die auf dem Betriebsgelände gemessenen Schalldruckpegel im Vergleich zu den Schalldruckpegeln bei den Betroffenen in der Wohnung zeigen hinsichtlich der Signatur eine auffällige Korrelation. Die Pegel klingen über die Entfernung von etwa 400 m deutlich um bis zu 40 dB auf etwa 50 dB, linear – ohne A- oder C-Bewertung, ab, vgl. Abb. 6. Für bestimmte Personen bleiben die Amplituden dennoch hörbar und vor allen Dingen spürbar. In der persönlichen Ruhephase sprechen die Betroffenen von Kribbeln in den Fingern, Armen und Beinen.

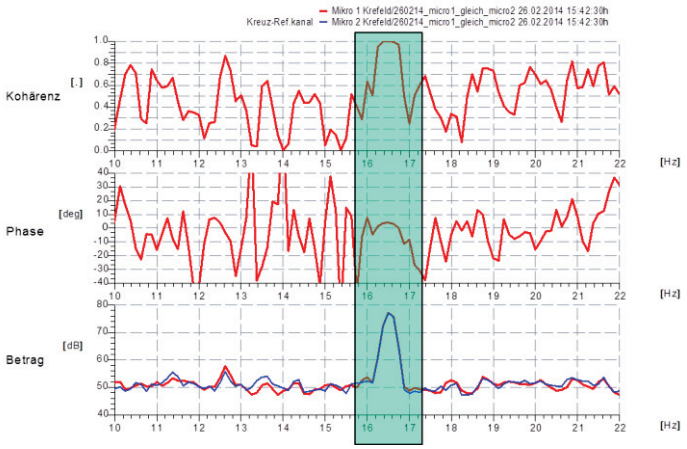


**Abbildung 5**: Messung mit „Nullgradposition“ zur Quelle.

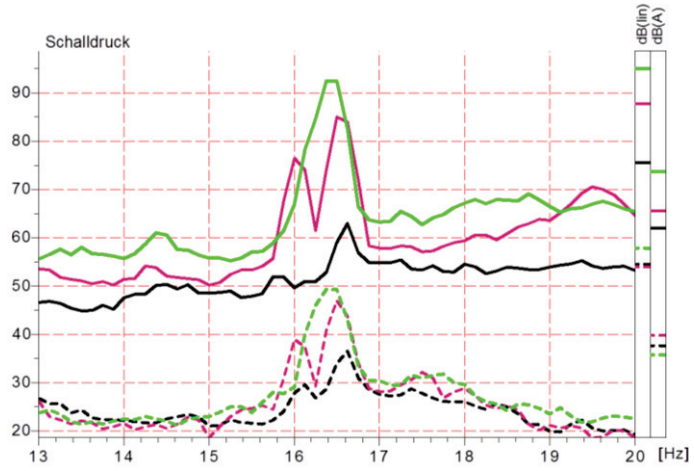


**Abbildung 6**: Synchron aufgezeichnet Schalldruckspektren auf dem Betriebsgelände und in der Wohnung der Betroffenen bei unterschiedlichen Betriebszuständen der Anlagentechnik, jeweils über 5 Minuten gemittelt, Kameier (2014)/5/.

Infraschallmessungen wurden vom mir an weiteren Orten in NRW und Bayern durchgeführt. Nachgewiesen werden konnte dabei nur teilweise, dass Personen, die sich von Infraschall betroffen fühlen, tatsächlich in ihrem Umfeld mit Druckschwankungen unterhalb von 20 Hz konfrontiert sind.

In Willich wurde eine 19 Hz Komponente mit Pegeln unter 40 dB gemessen, vgl. Abb. 7. Diese tonale 19 Hz Komponente von 34 dB bei fünfminütiger Mittelung lässt eine Familie nicht schlafen. Ihre technische Ursache ist unbekannt. Auch das Auftreten ist zeitlich eher

unregelmäßig und konnte trotz umfänglicher Suche - auch mittels der zuvor beschriebenen Peilmessungen – bisher nicht lokalisiert werden. Als Problem sind auch die ungenauen Angaben der Betroffenen zu nennen. Erforderlich wäre eine einfache Art der Protokollführung z.B. per Smartphone App – eine Programmierung eines solchen „Protokolls“ müsste öffentlich gefördert angestoßen werden.

In Mönchengladbach haben Bewohner ihr Haus verlassen, da sie aufgrund von tieffrequenten Geräuschen nicht mehr schlafen konnten. Mit dem Mikrofon-Array aus Abb. 2 konnte die Richtung einer Infraschallausbreitung bestimmt werden. Ingenieurbüros wurden von den Betroffenen wie vom potentiellen Verursacher beauftragt – mit Handschall-pegelmesser oder zeitlich viel zu kurz aufgezeichneten Messungen wurden aber nicht einmal im Ansatz Ursachen ermittelt oder ein mögliches verursachendes Signal grafisch dargestellt. Eine eigene 5-Tages-Messung im Dezember 2014 brachte weitere Aufklärung aber immer noch nicht die verursachende Quelle ans Tageslicht. Im Haus der Betroffe-nen wie auf dem Firmengelände wurde vor und an einem Wochenende gemessen, an dem die Maschinen (Kompress-oren und Webstühle) zu Revisionszwecken abgeschaltet und Montag früh wieder eingeschaltet wurden. Abb. 8 zeigt exemplarisch das Abschalten der Maschinen - in der Wohn-ung gemessen. Auf dem Firmengelände wurde in einem ruhigen Besprechungsraum gemessen, da in der Produktion sehr viele niederfrequente Töne die Interpretation zu diesem Zeitpunkt noch nicht ermöglichten. In der Wohnung der Betroffenen sind die Pegel nur um rund 4dB leiser als in dem Besprechungsraum, so dass man über mögliche Abstände zur Quelle ggf. auf Maschinen schließen könnte. Mit dem Abschalten der Maschinen reduziert sich das Grundgeräusch in der Wohnung um bis zu 15dB im Gesamt-pegelverlauf, siehe unten in Abb. 8. Abb. 9 zeigt diesen Unterschied über eine Stunde gemittelt sehr deutlich mit dem Wegfallen der Peaks beim Abschalten aller Maschinen. Weitere gerade erst durchgeführte Messungen im März 2015 zeigen, dass die Töne einzelnen Webmaschinen als Drehzahlordnungen zuzuordnen sind – die 3. Ordnung wird am deutlichsten abgestrahlt. Die Pegel in der Halle der Weberei liegen nur um etwa 15 dB über denen im etwa 250 m entfernten Haus der Betroffenen. Der Firmeninhaber ist an einer Beseitigung des Infraschallproblems interessiert und würde gar einzelne Maschinen außer Betrieb setzen.

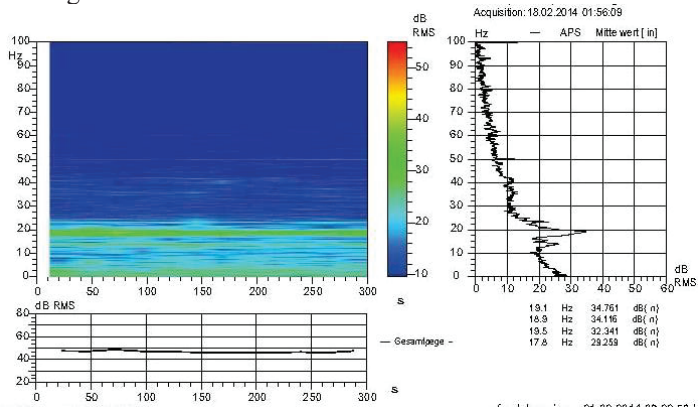

**Abbildung 7:** Messung in Willich am 18.02.14 um 01:56 Uhr – konstantes Signal bei 19 Hz mit einem Pegel von 34 dB, im Haus gemessen.

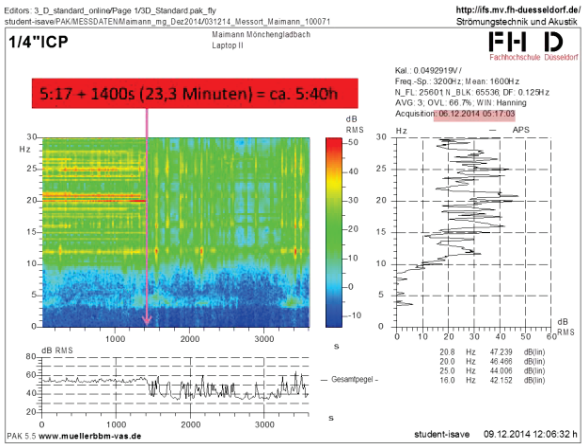


**Abbildung 8:** Wohnung - Ausschalten von Maschinen in Mönchengladbach, Messung 06.12.14 ca. 5:40 Uhr..

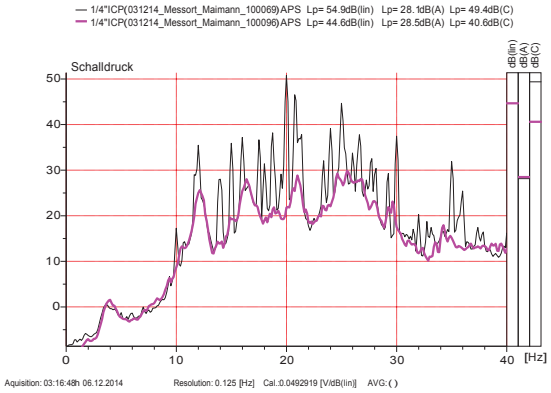


**Abbildung 9:** Spektren im Haus der Anwohner in Mönchengladbach mit Maschinen an oder aus über eine Stunde gemittelt und Vergleich A- zu C-Bewertung (delta hier knapp >20dB)..

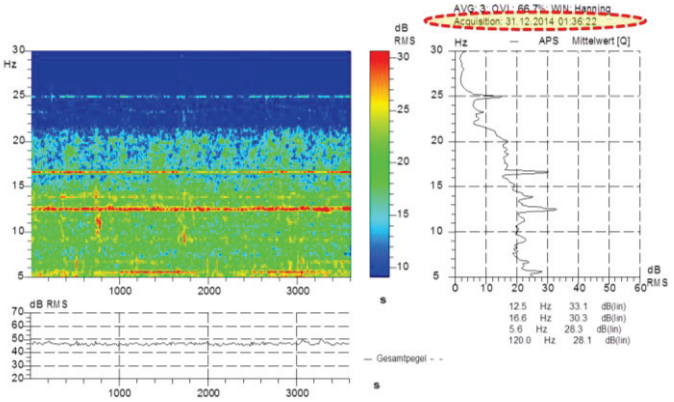

**Abbildung 10:** Krefeld-Hüls, 31.12.14, 1:36 Uhr, 60 Minuten Messung aus automatisierter 10 Tage Messung. Tonalitäten bei 12,5 und 16,6 Hz mit Pegeln <34dB.

Letztlich wird in Abb. 10 ein weiteres Ergebnis einer Langzeitmessung gezeigt. In einem Wohnhaus in Krefeld-Hüls wurde über Weihnachten und Neujahr 2014 gemessen. Nach der Wärmeisolierung des Dachs werden Signale deutlicher wahrgenommen. Gemessen wurden sehr stabile 12,5 und 16,5 Hz mit Pegeln <35dB. Eine Quelle ist nicht bekannt – der Betroffene hat mit unweit entfernten Windenergieanlagen verglichen: auch wenn sich die

Anlagen nicht drehen, sind die Störungen vorhanden. Eine Erdgasverdichterstation befindet sich in der Nähe und könnte genauer betrachtet werden.

## DIN 45680 versus „Prominent Tone Definition“

Lastenhefte aus der Automobil- oder Luftfahrtindustrie schreiben Lieferanten vor, eine Differenz von z.B. 7dB zwischen Terzpegel und Tonalität einer Schmalbandanalyse einzuhalten, vgl. Abb.11. Dies ist ein Anforderung des Hörkomforts. Eine derartige Begrenzung könnte vermutlich auch betroffene Bevölkerung vor Infraschall schützen und bekannte Verursacher zwingen, für Minderung von stabilen Tonalitäten zu sorgen. Für eine Umsetzung einer derartigen Beschränkung sind Schmalbandanalysen notwendig, so dass muss man sich konsequent von Messverfahren mit Handschallpegelmessern verabschieden müsste.

Die Wahrnehmungsschwelle oder knapp unterhalb dieser liegende Grenzwerte gemäß DIN45680 /8/ stellen offensichtlich keine sinnvolle Begrenzung dar und schützen wie bei den Lärmregelungen im Flugverkehr ausschließlich den Lärmverursacher. Es besteht erheblicher Forschungsbedarf, der bei gemessenen und sinnvoll dargestellten Messdaten beginnen muss, um die Charakteristik belastender Infraschallkomponenten in zukünftige Regelungen einfließen zu lassen.

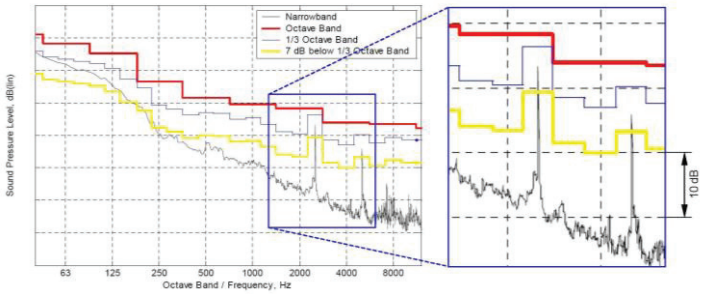


**Abbildung11:** „Prominent Tone Definition“ als Alternative zur Tonalität gemäß DIN 45681 /9/.

## Zusammenfassung

Es wurden Messdaten von Infraschall gezeigt, der für einen kleinen Teil der Bevölkerung gesundheitlich belastend ist. Verursacher konnten gefunden werden, teilweise aber auch nicht, da eine Ursachensuche nur in Zusammenarbeit mit potentiellen Verursachern möglich ist oder einen erheblichen zeitlichen Aufwand erfordert. Die hier untersuchten Pegel waren stets sehr niedrig (<50 dB) und in der Regel nur mittels langer Mittelung (bis zu 5 Minuten) bei genügend ruhiger Umgebung festzustellen. In Krefeld-Inrath und Mönchengladbach sind die Geräusche derart prägnant, dass sie bei laufenden Maschinen in einem Umkreis von einigen hundert Metern von der Quelle messbar sind. Bei der Quellenortung war ein einfaches 2-Mikrofonarry mit einem Mikrofonabstand von etwa 1m hilfreich.

Die vom hier dargestellten Infraschall betroffenen Personen fühlen sich dort, wo sich kein Infraschall messen lässt, besser. Was zu der Hypothese führt, dass auch Pegel unterhalb der in der DIN45680 /8/ genannten Werte zum Unwohlsein in Teilen der Bevölkerung führen. Die hier präsentierten Erfahrungen korrespondieren nicht mit den in der Machbarkeitsstudie „Wirkungen von Infraschall“ (Krahé et al. (2014)/6/) zusammengestellten Ergebnissen. Hinsichtlich der Dauer der Einwirkung sind lange monotone Zeiträume erforderlich, um gesundheitliche Störungen zu bewirken. Laborstudien, wie in der Machbarkeitsstudie vorgeschlagen, können daher keinerlei Aufklärung bringen. Für Betroffene ist es sehr wichtig, die Quelle genau zu kennen – Wirkungen hängen durchaus von derartigen psychologischen Faktoren ab. Die Studie /6/ zeigt keine Messergebnisse im Detail, die eine technische Quantifizierung und allgemeine Zuordnung erlauben und ist für Betroffene nicht von Nutzen.

Interdisziplinäre Zusammenarbeit (Mediziner, Psychologen und Ingenieure) ist erforderlich, um die Wirkung von Infraschall bei der betroffenen Bevölkerung zu verstehen. Betroffene schildern regelmäßig gegenüber Presse und Fernsehen, wie sehr sie an sich gezweifelt haben, weil sie etwas wahrnehmen konnten und andere nicht /7/. Ein Ansatz, um Betroffenen mittelbar zu helfen, ist es, die Störgeräusche zu visualisieren und eine Ursachensuche zu konzipieren. Globale Theorien hinsichtlich potentieller Verursacher wie Windenergieanlagen oder Luftwärme-pumpen aufzustellen, ohne Infraschall gemessen und visualisiert zu haben, ist der Sache nicht förderlich.

Vollkommen unbekannt ist der volkswirtschaftliche Schaden durch Infraschall. Gemessen an dem Behördeninteresse, Know-how zur Messung und Darstellung von Infraschall zu sammeln oder Betroffenen wirklich zu helfen, sind die Schäden wohl eher vernachlässigbar. Von echtem Infraschall Betroffenen empfehle ich, mittelfristig ihren Wohnort zu wechseln.

## Literatur

/1/ Symposium "Energiewende und Lärmschutz", Düsseldorf, 2013

/2/ Kameier, F., Köhl, M., Pohlmann, T.: Wind turbines – could they be too noisy? AIA-DAGA, Meran, 2013.

/3/ Wahl, T., Biedermann, T., Epe, C., Heinz, R., Kameier, F.: Ist Lärmschutz bei Windenergieanlagen notwendig? DAGA, Oldenburg, 2014.

/4/ Seifert, M., Eine Debatte mit Augenmaß. Der Workshop zu Geräuschen von Windenergieanlagen in Osnabrück, Lärmbekämpfung, Nr. 5, September, 2014.

/5/ Kameier, Frank, Infraschall – ein aktuelles Fallbeispiel, Forschungsreport für den Maschinenbau in NRW, Bingen, 2014.

/6/ Krahé, D., Ebner, F., Eulitz, C., Möhler, U., Schreckenberg, D., Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall, Umweltbundesamt, Texte 40/2014.

/7/ Terra Xpress vom 14.12.2014, 18:30 Uhr, Mysteriöse Beobachtungen in Deutschland. http://www.zdf.de/ZDFmediathek/kanaluebersicht/398#/beitrag/video/1997926/Mysteriöse-Beobachtungen-in-Deutschland

/8/ DIN45680, Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen, 9-2013.

/9/ DIN 45681, Akustik - Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen, 3-2005.