

# „Infraschall und tieffrequenter Schall“

## Programm und Kurzfassungen der Vorträge

(Stand: 27.09.2022, Änderungen zur Vorversion sind gelb unterlegt)

27. DEGA-Workshop „Physikalische Akustik“ im Physikzentrum Bad Honnef, gemeinsam veranstaltet vom Fachausschuss Physikalische Akustik der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA) und vom Fachverband Akustik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) in Kooperation mit dem DEGA-Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz

Donnerstag, 29.09.2022

Mittlerer Hörsaal (im rechten Seitenflügel, 1. OG)	
9:30	<b>Willkommen</b> Joachim Bös, Christian Koch, Detlef Krahe
9:40	<b>1. Tieffrequenter Schall bei Open-Air-Veranstaltungen: Erzeugung, Richtwirkung, Ausbreitung und Bekämpfung</b> Elena Shabalina <sup>a</sup> , Pierangelo Libianchi <sup>a,b</sup> <sup>a</sup> d&b audiotechnik GmbH & Co. KG, Backnang <sup>b</sup> Acoustic Technology Group, Technical University of Denmark (DTU), Dänemark
10:20	<b>2. Messung von Infraschall und tieffrequentem Schall bei Windenergieanlagen</b> Esther Blumendeller Stuttgarter Lehrstuhl für Windenergie (SWE) am Institut für Flugzeugbau, Universität Stuttgart
11:00	Kaffeepause
11:20	<b>3. Messgeräte für Infraschall: Kalibrierung, Prüfung der Zuverlässigkeit und Anwendungen</b> Christian Koch Fachbereich 1.6 Schall, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig
12:00	<b>4. Optische Messtechnik für neue Energien – Berührungslose Schwingungsmessung mit Laservibrometern</b> Robert Mörl Polytec GmbH, Waldbronn
12:40	Mittagessen
13:40	<b>gemeinsame Sitzung</b> des Fachausschusses Physikalische Akustik der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA) und des Fachverbands Akustik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) – Gäste sind willkommen!
14:20	<b>5. Tieffrequente Kommunikation bei Insekten</b> Manuela Nowotny Institut für Zoologie und Evolutionsforschung, Friedrich-Schiller-Universität (FSU), Jena
15:00	<b>6. Multiphysik-Simulation tieffrequenter Anwendungen</b> Serjoscha Hylla Comsol Multiphysics GmbH, Göttingen
15:40	<b>Kaffeepause</b>

16:00	<b>7. Über technische Erfindungen, den Klang von Pfeifenorgeln trotz Platzmangel mit tiefsten Tönen zu bereichern</b> Frank Hergert Hochschule Koblenz
16:40	<b>8. Langzeituntersuchung tieffrequenter Geräusche von Windenergieanlagen</b> Sebastian Schmitter deBAKOM GmbH, Odenthal
ca. 17:20	Ende des Vortragsprogramms am Donnerstag
ab 19:00	gemeinsames Abendessen im Lichtenberg-Keller

### Freitag, 30.09.2022

<b>Mittlerer Hörsaal (im rechten Seitenflügel, 1. OG)</b>	
9:00	<b>9. Wahrnehmung und Wirkung von tieffrequentem Schall (und Infraschall)</b> Detlef Krahe Universität Wuppertal
9:40	<b>10. Wirkung tieffrequenter Nachhallzeit auf die Sprachverständlichkeit von Schulkindern</b> <u>Dustin Selbach</u> <sup>a</sup> , André Fiebig <sup>b</sup> , Jan Selzer <sup>c</sup> <sup>a</sup> ISRW – Institut für Schalltechnik, Raumakustik, Wärmeschutz, Dr.-Ing. Klapdor GmbH <sup>b</sup> Fachgebiet Technische Akustik, TU Berlin <sup>c</sup> Bereich Lärm, Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA)
10:20	<b>Kaffeepause</b>
10:40	<b>11. Wie hängt das Blattspitzengeräusch von Windturbinen mit Infraschall zusammen?</b> Frank Kameier Strömungstechnik und Akustik, Institute of Sound and Vibration Engineering ISAVE, Hochschule Düsseldorf, University of Applied Sciences, Düsseldorf
11:20	<b>12. Infraschall-Messungen zur Überwachung des Kernwaffenteststopp (CTBT) – Erfassung von Explosionen und natürliche Quellen mit den Stationen des International Monitoring System (IMS)</b> <u>Christoph Pilger</u> , Patrick Hupe, Peter Gaebler, Lars Ceranna Fachbereich B4.3: Erbebendienst des Bundes, Kernwaffenteststopp; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
12:00	<b>Zusammenfassung, Abschlussdiskussion und Verabschiedung</b> Joachim Bös, Christian Koch, Detlef Krahe
12:15	gemeinsames Mittagessen (Ende des Workshops)

# Kurzfassungen/Inhalte der Vorträge

Donnerstag, 29.09.2022

## 2. Messung von Infraschall und tieffrequentem Schall bei Windenergieanlagen

Esther Blumendeller

Stuttgarter Lehrstuhl für Windenergie (SWE) am Institut für Flugzeugbau, Universität Stuttgart

Die Nutzung von Windenergie wird einen entscheidenden Anteil am erneuerbaren Energiemix der Zukunft haben. Während der Stromgewinnung geben Windenergieanlagen (WEA) Schall und Erschütterungen (seismische Wellen) in die Umgebung ab, vor allem im tieffrequenten Bereich.

Im Zuge des Verbundprojektes Inter-Wind werden akustische Messungen zur Unterstützung psychologischer Fragebögen, kombiniert mit seismischen und meteorologischen Messungen, an Windparks auf der Schwäbischen Alb durchgeführt. Ziel des Projektes ist es, die Gründe für Belästigung der Anwohnerinnen und Anwohner in Zusammenhang mit den Immissionen der WEA zu verstehen. Hierbei liegt der Fokus auf dem tieffrequenten (20–200 Hz) und niederfrequenten (1–20 Hz) Bereich. In diesem Vortrag wird ein Überblick über die Durchführung der akustischen Langzeit-Messungen im Feld gegeben. Gemessen wurden der tieffrequente Schall und Infraschall direkt am Windpark und in 1 km Entfernung vor und in Anwohnergebäuden. Datenbeispiele zeigen, dass sowohl Störgeräusche, aber auch Anlagengeräusche eindeutig identifiziert werden können. Außerdem kann gezeigt werden, dass der von WEA erzeugte Infraschall unterhalb der menschlichen Hörschwelle liegt.

## 3. Messgeräte für Infraschall: Kalibrierung, Prüfung der Zuverlässigkeit und Anwendung

Christian Koch

Fachbereich 1.6 Schall, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig

Aufgrund der langen Periodendauern müssen infraschallmessende Sensoren und Pegelmesser besonderen Anforderungen genügen. Insbesondere der „dichte“ Kraftschluss zu einer häufig als Messsensorobjekt eingesetzten Membran ist kritisch. Auch herkömmliche Kalibrierverfahren können nicht einfach übertragen werden und müssen z. T. durch vollkommen neue Konzepte ersetzt werden. Im Vortrag wird ein vollkommen neues Verfahren zur primären Kalibrierung von Mikrofonen vorgestellt, das auf der Änderung des atmosphärischen Luftdrucks beruht. Mit einer ebenfalls neu entwickelten sekundären Kalibrieremethode können die Ergebnisse auf alle in der Praxis vorkommenden Messgeräte, auch z. B. Mikrobarometer übertragen werden. Eine solche Kalibrierung ist nicht nur zur Sicherung der Richtigkeit der Werte und Rückführung auf nationale Normale notwendig, sondern auch eine Voraussetzung für die Prüfung der Geräte auf korrekte Funktion. In einem Beispiel wird gezeigt, wie ein defektes Mikrofon fehlerhafte Messwerte bei einer Infraschallmessung liefert, das zuvor vollkommen unauffällig mit einem Kalibrator bei 1 kHz kalibriert wurde. Der Aufbau einer Infrastruktur für Kalibrierung und Prüfung von Infraschallmessgeräten ist eine wichtige Aufgabe in der Zukunft, um verlässliche quantitative Analysen vor Ort zu ermöglichen.

#### **4. Optische Messtechnik für neue Energien – Berührungslose Schwingungsmessung mit Laservibrometern**

Robert Mörl

Polytec GmbH, Waldbronn

Der Markt für erneuerbare Energien wächst sehr stark. In Wasserkraft, Wind-, Geo- und Solarenergie liegt ein sehr hohes Potenzial, das angesichts knapper Ressourcen mit Nachdruck ausgebaut und genutzt wird. Dazu werden innovative Techniken und Materialien, aber auch moderne Konstruktions- und Prüfwerkzeuge benötigt. Der Vortrag beschäftigt sich mit interessanten Anwendungen der optischen Messsysteme von Polytec zur Messung von niederfrequenten Schwingungen. Windenergieanlagen und Gebäude zum Beispiel sind im Betrieb oft starken Schwingungen ausgesetzt. Der unterstützende Einsatz von Laservibrometern für die Auslegung von Windkraftanlagen garantiert eine hohe Betriebssicherheit und Lebensdauer. Optische Messverfahren, wie beispielsweise die Laservibrometrie, sind berührungsfrei und bieten außerdem den Vorteil, dass aus großen Abständen und dank der patentierten QTec®-Technologie ohne Präparation des Messpunkts gemessen werden kann.

#### **5. Tieffrequente Kommunikation bei Insekten**

Manuela Nowotny

Institut für Zoologie und Evolutionsforschung, Friedrich-Schiller-Universität (FSU), Jena

Es gibt eine Vielzahl von Tieren, die akustische Signale benutzen, um miteinander zu kommunizieren oder mögliche Fressfeinde zu identifizieren. Meine Forschung beschäftigt sich mit der Erzeugung und Wahrnehmung von Schall in verschiedenen Tiergruppen und setzt dies in Bezug zum Verhalten der Tiere. So gibt es nicht nur Säugetiere, die tieffrequenten Schall als Kommunikationskanal nutzen, sondern vor allem auch Insekten. In meinem Vortrag möchte ich einen kleinen Einblick geben in diese weitgehend unbekannt und wenig beachtete Welt der tieffrequenten Kommunikation und einen Ausblick geben auf mögliche Störfaktoren durch anthropogenen Lärm.

#### **6. Multiphysik-Simulation tieffrequenter Anwendungen**

Serjoscha Hylla

Cmsol Multiphysics GmbH, Göttingen

Um die Erzeugung, Ausbreitung und Wechselwirkung niederfrequenter Schallwellen besser zu verstehen, ist Simulation ein geeignetes Werkzeug. Druckakustische Effekte, wie z. B. Streuung, Beugung, Emission, Strahlung und Übertragung von Schall, werden im Frequenzbereich durch Lösung der Helmholtz-Gleichung und im Zeitbereich durch Lösung der klassischen skalaren Wellengleichung berechnet. Dabei kommen sowohl FEM, BEM als auch hybride FEM-BEM-Formulierungen im Frequenzbereich zum Einsatz, während im Zeitbereich auch zeitimplizite (FEM) und zeitexplizite (dG-FEM) Formulierungen genutzt werden.

Neben der Beschreibung der Schallausbreitung in der Luft ist in zahlreichen Niederfrequenz-Anwendungen aber auch die Ausbreitung der Wellen in festen oder porösen Körpern in Form von elastischen Wellen relevant. Insbesondere spielen die Kopplungen beider Ausbreitungsformen an den Grenzflächen eine große Rolle und sollten auf möglichst einfache Weise in einem Simulationstool implementierbar sein. Auch die Wechselwirkung von Schall mit anderen physikalischen Phänomenen wie Strömung (Aeroakustik), Wärmetransport und -verlusten (thermoviskose Akustik) oder Elektromagnetik (Lautsprecher) muss berücksichtigt werden können, sollten diese Effekte einen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

Es werden unterschiedliche Anwendungsfälle für multiphysikalische Modellierung im Niederfrequenzbereich dargestellt und an einem Praxisbeispiel gezeigt, worauf es bei der realitätsnahen Modellierung akustischer Anwendungen ankommt.

## 7. Über technische Erfindungen, den Klang von Pfeifenorgeln trotz Platzmangel mit tiefsten Tönen zu bereichern

Frank Hergert  
Hochschule Koblenz

Orgelbauer haben durch zahlreiche Erfindungen und oftmals mit erheblichem Mehraufwand Orgeln mit Pfeifen für die tiefsten Töne ausgestattet, obwohl in vielen Fällen das Platzangebot hierfür knapp war. Dieser Vortrag gibt einen Einblick in die traditionellen technischen Lösungen, dem Wunsch der Musiker nach tiefen Orgelklängen nachzukommen.

Allseits bekannte Methoden sind, Labialpfeifen in halber Länge („gedackt“) zu bauen oder die Pfeifen ähnlich wie bei Blechblasinstrumenten zu kröpfen. Weniger bekannt ist die Haskell-Bauform und deren Einfluss auf das Klangspektrum. Des Weiteren werden Mehrton-Pfeifen betrachtet, die jeweils mehrere Töne (allerdings nicht gleichzeitig) erzeugen können und dadurch Platz in der Orgel einsparen. Eine Variante ist die Bauform als Helmholtz-Resonator.

Schließlich wird von Besonderheiten der weltweit größten Orgelpfeifen berichtet, der unteren Oktave des Registers „Diaphone-Dulzian 64“ in der Orgel in der Boardwalk Hall in Atlantic City, USA, dessen Pfeifen bis zum Ton C-1 (8,2 Hz) hinunterreichen. Da die Grundschwingungen der Töne der Sub-subkontra-Oktave keine Tonhöhen-, sehr wohl aber eine akustische Rauigkeitsempfindung auslösen, muss letztere in die psychoakustische Beschreibung einbezogen werden.

**Freitag, 30.09.2022**

## 10. Wirkung tieffrequenter Nachhallzeit auf die Sprachverständlichkeit von Schulkindern

Dustin Selbach<sup>a</sup>, André Fiebig<sup>b</sup>, Jan Selzer<sup>c</sup>

<sup>a</sup> ISRW – Institut für Schalltechnik, Raumakustik, Wärmeschutz, Dr.-Ing. Klapdor GmbH

<sup>b</sup> Fachgebiet Technische Akustik, TU Berlin

<sup>c</sup> Bereich Lärm, Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA)

In Untersuchungen zur Auswirkung der Nachhallzeit auf die Sprachverständlichkeit wird diese häufig spektral und räumlich gemittelt. Tiefe Frequenzen (< 200 Hz) werden hierzu üblicherweise nicht einbezogen. Dabei wird argumentiert, dass die für Sprache wichtigen Frequenzbänder in höheren Oktaven liegen. Um dies weiter zu erfassen, sollen der nationale Stand der Technik in seiner jüngeren Historie beleuchtet sowie der aktuelle Forschungsstand dargelegt werden. Es wird aufgezeigt, dass jüngere Altersgruppen stärker durch die Raumakustik in ihrem Sprachverstehen beeinflusst werden. Anschließend wird eine durchgeführte Studie zur Erfassung der Auswirkung von tieffrequenter Nachhall auf die Sprachverständlichkeit von Kindern präsentiert.

## 11. Wie hängt das Blattspitzengeräusch von Windturbinen mit Infraschall zusammen?

Frank Kameier

Strömungstechnik und Akustik, Institute of Sound and Vibration Engineering ISAVE, Hochschule Düsseldorf, University of Applied Sciences, Düsseldorf

In genügender Nähe zu einer Windturbine hört man Geräusche, die gelegentlich auch als Wusch-Wusch-Geräusch bezeichnet werden. Betrachtet man diese störende Hörbarkeit genauer, so spielen aerodynamische Entstehungsmechanismen eine Rolle, die akustisch und signalanalytisch interessant sind. Ein sogenannter Blattspitzenwirbel generiert Druckschwankungen, die im Zusammenwirken mit dem rotierenden System der Turbine als Modulation zu deuten sind. Ob es sich um eine Amplituden- oder Phasenmodulation handelt, kann messtechnisch nicht differenziert werden. Simulationsergebnisse helfen weiter, was mittels einer einfachen grafischen Programmierumgebung (DASYlab) gezeigt wird. Das Simulationsergebnis gibt auch Aufschluss über den Anteil des Infraschalls, den eine Windturbine möglicherweise emittiert.

## **12. Infraschall-Messungen zur Überwachung des Kernwaffenteststopp (CTBT) – Erfassung von Explosionen und natürliche Quellen mit den Stationen des International Monitoring System (IMS)**

Christoph Pilger, Patrick Hupe, Peter Gaebler, Lars Ceranna

Fachbereich B4.3: Erbebendienst des Bundes, Kernwaffenteststopp; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) betreibt als deutscher Repräsentant und nationales Datenzentrum für den Kernwaffenteststopp (CTBT) zwei Infraschallstationen des International Monitoring Systems (IMS), eine im bayerischen Wald und eine in der Antarktis. Die Erfassung von Infraschall mittels quadratkilometergroßer Arrays aus mehreren Mikrobarometern dient hierbei als Wellenformtechnologie zur Überwachung und Verifikation atmosphärischer Explosionen. Das IMS wurde konzeptioniert, um kontinuierlich und weltweit Sprengungen von mindestens 1 Kilotonne TNT-Äquivalent zu erfassen. Neben der Seismologie für unterirdische Tests und der Hydroakustik für Unterwasserexplosionen deckt Infraschall die Erfassung von Druckwellen atmosphärischer Explosionen in hunderten bis tausenden Kilometern Entfernung ab. Darüber hinaus kann mit den gegenwärtig in Betrieb befindlichen 53 (von 60 geplanten) Infraschall-Stationen des IMS eine Vielzahl natürlicher und anthropogener Phänomene registriert werden. Hierzu zählen Erdbeben, Mikrobarome, Vulkanaktivität, Meteoroiden sowie Raketenstarts, Überschallflüge und industrielle Aktivität.