

Infraschall und Vibrationen von Windkraftanlagen – Physikalische Messungen, biologische Wirkmechanismen und gesundheitliche Relevanz

1. Physikalisch-technische Grundlage: FFT-basierte Infraschallmessungen

a) Messungen durch NOISE CONTROL ENGINEERING, LLC (Bahtiarian, 2014)

Am **13. Dezember 2014** führte **Michael Bahtiarian** (Noise Control Engineering, Billerica, MA, USA) hochauflösende Messungen am Standort **211 Blacksmith Shop Road, Falmouth (MA)** bei Wind aus Nordwest, 8 mph, durch. Untersucht wurde eine **Vestas V82-1,65 MW Windkraftanlage**, mit **Nabenhöhe 78 m**, in Entfernungen von **1421 m und 2792 m**.

Die Messdaten wurden mittels **Fast Fourier Transformation (FFT)** analysiert – **ohne** Terz- oder Oktavbandfilterung und **ohne A- oder G-Bewertung**, sodass die tatsächliche spektrale Energieverteilung sichtbar blieb.

Ergebnisse:

- Deutlich erkennbar waren die **Rotordurchgangsfrequenzen (Blade Passing Frequency, BPF)** und ihre Harmonischen: **1x BPF, 2x BPF, 3x BPF, 4x BPF ...**
- Bei der Vestas-Anlage (Drehzahl ≈ 16 rpm $\rightarrow 0,27$ Hz) ergab sich eine **BPF von ca. 0,8 Hz**, mit messbaren Oberwellen bis etwa **10 Hz**.
- Der **Schalldruckpegel** blieb auch in 2,8 km Entfernung über **80 dB (re 20 μ Pa)** im Infraschallbereich.
- Die Spektren zeigten **pulsierende Amplitudenmodulationen** im Sekundenrhythmus – typisch für Windkraftanlagen mit 3-Blatt-Rotoren.

♣ *Quelle:* NOISE CONTROL ENGINEERING, LLC, Billerica, MA 01821, USA.
„FFT Measurement of Wind Turbine Infrasound, Falmouth, MA – December 13, 2014.“

Diese Messung gilt als eine der **präzisesten unabhängigen Erfassungen von niederfrequenten Emissionen** einer modernen Windkraftanlage, da keine psychoakustischen Gewichtungen angewendet wurden, die Frequenzen unter 20 Hz unterdrücken.

b) Messungen der BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover)

Die **BGR** untersuchte bereits an einer **200-kW-Windkraftanlage** die **Ausbreitung von Infraschall** unter realen Geländebedingungen.

Dabei wurde dokumentiert, dass die **niederfrequenten Druckschwankungen** bis in Entfernungen von **10 km** nachweisbar waren.

- Die **Amplitude** blieb oberhalb der Wahrnehmungsschwelle technischer Sensoren bei **0,5 Hz–8 Hz**, mit dominanten Linien bei der **Rotordurchgangsfrequenz (BPF)**.
- Die Ergebnisse zeigten, dass **Boden- und Luftschallanteile** gekoppelt auftreten.
- Die BGR stellte fest, dass **Gebäude keine wirksame Abschirmung** gegen diese langen Wellenlängen bieten.

♣ *Quelle:* BGR – Infraschallmessungen an einer 200-kW-Windenergieanlage, Forschungsbericht 2004–2005 (veröffentlicht 2007).

c) Physikalische Implikation

- Die FFT-Spektren zeigen eine **kohärente Signatur** (regelmäßige periodische Druckimpulse), die sich **über mehrere Kilometer** nahezu verlustfrei ausbreitet.
- Diese Frequenzen **fallen exakt in den biologisch relevanten Resonanzbereich** menschlicher und tierischer Körperstrukturen (0,5–10 Hz).
- Damit ist ein **physikalischer Kopplungsmechanismus** zwischen technischer Quelle (Windrad) und biologischem System plausibel.

2. Biologische und medizinische Zusammenhänge

Die von **Dr. med. Ursula Maria Bellut-Staeck (2023–2025)** beschriebenen pathophysiologischen Mechanismen basieren auf denselben Frequenz- und Pulsationsparametern, die in den FFT-Messungen erfasst wurden.

a) Endothel und Mikrozirkulation

- Bellut-Staeck (*J. Biosciences & Medicine, 2023; Medical Research and Its Applications, 2024*) zeigt, dass **chronische mechanische Mikroschwingungen** im Bereich 0,5–5 Hz eine **Dysregulation der Gefäßinnenhaut (Endothel)** auslösen.
- Diese wird durch **irreguläre Aktivierung mechanosensitiver Ionenkanäle (PIEZO1/2)** verursacht.
- Folge: **Fehlinformationen der Gefäßsteuerung, oxidativer Stress, Mikrozirkulationsstörungen, Entzündungsprozesse** und potenzielle **Endothelschäden**.
[DOI: 10.4236/jbm.2023.116003](https://doi.org/10.4236/jbm.2023.116003)

b) Verknüpfung zur FFT-Messung

Die durch FFT gemessenen **BPF-Harmonischen (1–10 Hz)** überlappen exakt mit den Frequenzfenstern, die Bellut-Staeck als **kritisch für endotheliale Mechanoantworten** beschreibt.

Damit ergibt sich eine **direkte biophysikalische Kompatibilität** zwischen gemessenen Schallereignissen und medizinisch relevanten Resonanzen.

c) Unterstützende klinische Evidenz

- Dr. **Albert Scheuer** dokumentierte in seiner Zusammenstellung (2020) zahlreiche Befunde zu **oxidativem Stress, Apoptose, Herzzellschäden und Lymphozytenveränderungen** durch niederfrequenten Schall.
- Diese korrelieren mit den **mechanisch erzeugten Druckfluktuationen** in den FFT-Messungen.
A92_Dr_Scheuer_Vorbemerkung_Lärmbelästigung_und_seine_Auswirkungen_auf_die_Gesundheit_, Seite 2

3. Regulatorische und messtechnische Bewertung

- Die FFT-Messung nach Bahtiarian und die BGR-Daten zeigen, dass **A- und G-Bewertungen sowie Terzbandverfahren** wesentliche Frequenzanteile **systematisch ausblenden**.
- In Deutschland (DIN 45680, TA Lärm) werden Frequenzen **unterhalb 8 Hz** derzeit **nicht messtechnisch berücksichtigt**, obwohl sie physikalisch und biologisch relevant sind.
- Dies führt zu einer **Fehleinschätzung der tatsächlichen Belastung**, insbesondere in Wohngebieten.

4. Gesamtzusammenhang: Physik – Biologie – Gesundheit

Faktor	Physikalischer Nachweis	Biologischer Effekt
0,5–10 Hz Frequenzen (BPF + Harmonische)	FFT-Spektren Bahtiarian (2014) & BGR-Messungen	Resonanz mit Endothel und Zellmembranen
Periodische Amplitudenmodulation	Rotorimpuls pro Umdrehung (1x BPF)	Chronische mechanische Reizung → Gefäßdysregulation
Weitreichende Ausbreitung (>10 km)	BGR-Reichweitenstudie	Exposition auch außerhalb direkter Parknähe
Fehlende Filterung bei FFT	Unverfälschte Spektralanalyse	Tatsächliche Exposition deutlich höher als TA Lärm-Werte
Mechanotransduktion (PIEZO-Kanäle)	Frequenzbereich deckungsgleich	Nachweisbare endotheliale Fehlreaktionen

5. Schlussfolgerung

Die Integration der FFT-Messungen (Bahtiarian, 2014), der BGR-Daten und der medizinischen Arbeiten von Scheuer und Bellut-Staeck ergibt ein **konsistentes interdisziplinäres Modell**:

Infraschall von Windkraftanlagen erzeugt niederfrequente, periodisch modulierte Druckimpulse (0,5–10 Hz), die sich über Kilometer nahezu verlustfrei ausbreiten. Diese wirken mechanisch auf biologische Strukturen, insbesondere auf das Endothel, und können dort Fehlregulationen der Mikrozirkulation auslösen.

Damit wird eine **wissenschaftlich plausible Kausalkette** von der **technischen Quelle** über die **physikalische Messung** bis zur **biologischen Wirkung** belegt.

🔗 Quellenbasis (Auszug)

- Bahtiarian M. (2014): *FFT Measurement of Wind Turbine Infrasound*, Falmouth MA. NOISE CONTROL ENGINEERING, LLC, USA.
- BGR (2007): *Infraschallmessungen an einer 200 kW Windenergieanlage*.
- Bellut-Staeck U.M. (2023–2025): *Journal of Biosciences and Medicine, Medical Research and Its Applications, SCIREA Journal of Clinical Medicine*.
- Scheuer A. (2020): *Vorbemerkung Lärmbelästigung und seine Auswirkungen auf die Gesundheit*.
- Dtsch Med Wochenschrift (2022); Dumbrille et al. (2021); Ebeling et al. (2024); Li et al. (2023); Garthe et al. (2023).