

Messung und Bewertung von tieffrequentem Schall

Klaus Betke & Hermann Remmers

Institut für Technische und Angewandte Physik GmbH
an der Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, D-26111 Oldenburg

Die störende Wirkung von Infraschall ist weitaus schwieriger einzuschätzen als diejenige von „normalen Hörschall“. Es wurde deshalb untersucht, wie sich die Bestimmung der Lautheit nach Zwicker für die Beurteilung von sehr tieffrequentem Schall erweitern lässt. Problematisch ist außerdem die Messung von Infraschall im Freien. Hierzu wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem auch relativ niedrige Pegel bei Frequenzen unter 10 Hz sicher gemessen werden können. Anlass für diese Studie war der seit einiger Zeit geäußerte Verdacht, dass Windenergieanlagen starke Infraschallquellen seien.

Messung von tieffrequentem Schall im Freien

Am windumströmten Mikrofon entsteht intensiver „Pseudoschall“, der vom tatsächlich vorhandenen Schall nicht ohne weiteres zu unterscheiden ist. Übliche Windschirme sind für Infraschall wenig wirksam. Wird das Mikrofon dagegen unterhalb der Erdoberfläche angebracht (Bild 1), verringern sich strömungsinduzierte Störungen erheblich, da die Windgeschwindigkeit am Boden theoretisch gleich null ist. Durch Korrelation der Signale von zwei derart angeordneten Mikrofonen wird der Störabstand weiter verbessert.

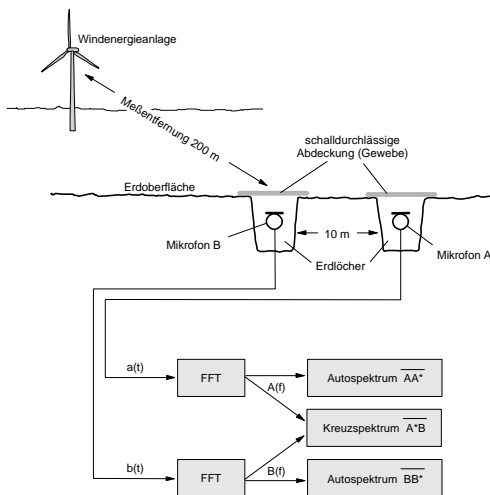


Bild 1. Anordnung zur Infraschallmessung im Freien.

Als Beispiel zeigt Bild 2 eine Messung an einer Windenergieanlage. Die Anlage strahlt bei tiefen Frequenzen ein Linienspektrum ab; bei drei Rotorblättern beträgt der Linienabstand das 3fache der Drehfrequenz, hier rund 1.5 Hz. Vor allem an den Linien bei 3 Hz und 4.5 Hz ist im Kreuzspektrum der durch Korrelation erhöhte Störabstand zu erkennen.

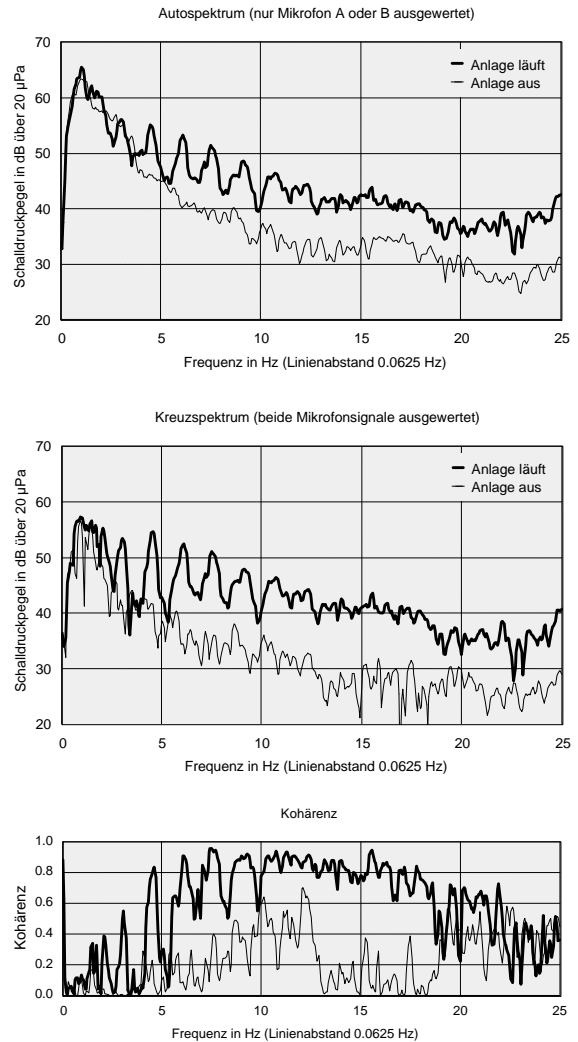


Bild 2. Oben: An Mikrofon A aus Bild 1 aufgenommenes Spektrum. Mitte: Betrag des Kreuzspektrums (Kreuzleistung) von Mikrofon A und B. Unten: Kohärenzgrad der Signale von A und B.

Methoden zur Bewertung von tieffrequentem Schall

Bei tiefen Frequenzen verlaufen die Kurven gleicher Lautstärke enger beieinander als bei höheren Frequenzen. Vereinfachend gesagt ist Infraschall somit laut und daher lästig, sobald er deutlich wahrnehmbar ist. Einige Beurteilungsverfahren (Tabelle 1) betrachten daher den tieffrequenten Bereich getrennt vom übrigen akustischen Spektrum und definieren einfache Schwellkriterien [2, 3]. Andererseits wäre es oft wünschenswert, das gesamte Frequenzspektrum mit einem einzigen Verfahren abdecken zu können. Dieser Weg wird im übernächsten Abschnitt mit einer erweiterten Lautheitsberechnung besprochen.

Verfahren	Eigenschaften, Vor- und Nachteile
G-Bewertung (ISO 7196): Infraschall ab 90 - 100 dB(G) wahrnehmbar	+ einfach - nur für den Bereich 1 Hz bis 20 Hz
DIN 45680 („Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft“)	+ einfach + gibt Richtwerte für Wohnräume - keine Aussage unter 10 Hz - Hörschwelle möglicherweise zu unempfindlich angesetzt
Hörbarkeitskriterium nach Vercammen (1992): Schwelle 86 dB SPL bei 10 Hz, mit 12 dB/Oktave fallend	+ einfach, für Terzpegel konzipiert + berücksichtigt individuelle Streuung der Hörschwelle - nur bis etwa 20 Hz geeignet
Erweiterung der „Zwicker-Lautheit“ auf Frequenzen unter 25 Hz	+ alle Frequenzen werden mit einer einzigen Bewertung erfasst - noch Forschungsbedarf

Tabelle 1. Einige Verfahren zur Bewertung tieffrequenter Geräusche.

Beispiele für Geräusche mit tieffrequenten Anteilen

Bild 3 zeigt die Spektren einiger tieffrequenter Schalle zusammen mit der Hörschwelle nach [1]. In Tabelle 2 sind die Geräusche näher spezifiziert. Da die in Tabelle 1 aufgeführte G-Bewertung noch wenig gebräuchlich ist, sind zur Orientierung außerdem die G-bewerteten Pegel angegeben. Demnach sind die Infraschallanteile des Geräusches der Windenergieanlage und des Geräusches im Büro nicht hörbar.

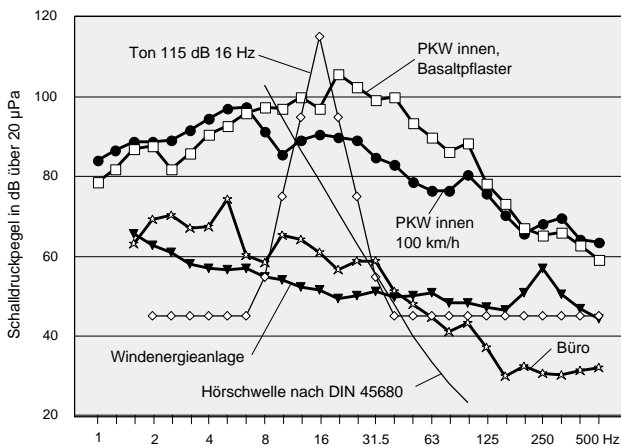


Bild 3. Spektren einiger tieffrequenter Geräusche.

Geräusch	G-bewerteter Schalldruckpegel
Geräusch im PKW bei 100 km/h	102.7 dB(G)
Geräusch im PKW bei 30 km/h auf Basaltplaster	115.7 dB(G)
Büro 60 m ² mit Klimaanlage und mehreren PCs	73.6 dB(G)
Windenergieanlage 500 kW in 200 m Entfernung	63.9 dB(G)
Testton 115 dB SPL bei 16 Hz in rosa Rauschen mit 45 dB SPL Terzpegel	122.8 dB(G)

Tabelle 2. G-bewertete Schallpegel der Geräusche aus Bild 3.

Erweiterung der Lautheitsberechnung nach Zwicker auf Frequenzen unter 25 Hz

Bei der Bestimmung der Lautheit nach DIN 45631 werden Terzpegel gewichtet zu Frequenzgruppenpegeln zusammengefasst [4]. In der vorgeschlagenen Erweiterung nach Bild 4 werden die Terzen 2 Hz bis 20 Hz der 1. Frequenzgruppe zugeordnet. Für die Gewichtung wurde angenommen, dass die Empfindlichkeit des Gehörs zu tiefen Frequenzen hin mit 12 dB/Oktave abnimmt.

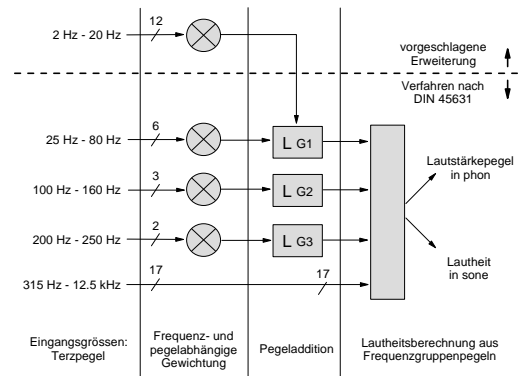


Bild 4. Berechnung der Lautheit mit tieffrequenter Erweiterung.

Berechnungen mit den Spektren aus Bild 3 legen nahe, dass die Infraschallanteile von „Alltagsgeräuschen“ kaum zur Lautheit beitragen (Bild 5). Nur bei starken tonalen Komponenten im Infraschallbereich (z.B. Geräusche in Hubschraubern, Schiffsdiesel) kann die mit dem erweiterten Verfahren berechnete Lautheit höher sein als mit der herkömmlichen Methode.

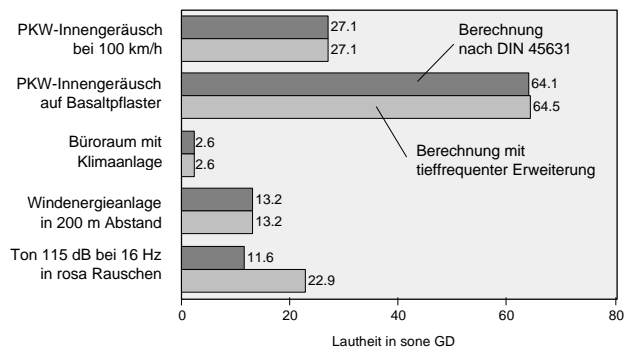


Bild 5. Mit dem erweiterten Verfahren berechnete Lautheiten.

Literatur

- [1] DIN 45680 (März 1997): Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft.
- [2] ISO 7196 (1995): Acoustics – Frequency weighting for infrasound measurements.
- [3] M.L.S. Vercammen (1992): Low-Frequency Noise Limits. J. Low Freq. Sound Vib. **14**, 105-107.
- [4] DIN 45631 (März 1991): Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum.