

Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen

Ulrich Ratzel¹, Lorenz Herrmann², Christoph Westerhausen³, Otto Bayer⁴,
Klaus-Georg Krapf², Martin Hoffmann⁴, Janosch Blaul², Clemens Mehnert⁴

¹ Umweltministerium Baden-Württemberg, 70173 Stuttgart, E-Mail: Ulrich.Ratzel@um.bwl.de

² Wölfel Engineering, 97204 Höchberg, E-Mail: Herrmann@woelfel.de

³ Universität Augsburg Inst. für Physik, 8615 Augsburg, E-Mail: Christoph.Westerhausen@physik.uni-augsburg.de

⁴ LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen..., 76187 Karlsruhe, E-Mail: Windenergie@lubw.bwl.de

Introduction

In the years 2013-2015, the State Institute for Environment, Measurements and Nature Conservation (LUBW) and company Wölfel Engineering performed extensive measurements of low-frequency noise (incl. infrasound of 1 Hz and higher) in the immediate vicinity of six wind turbines within urban and rural areas as well as in areas explicitly dominated by road traffic. Measurements of household appliances like oil-fired heating and washing machines completed the data. The aim was to collect current comparable data about the occurrence of infrasound and low-frequency noise of wind turbines and other sources.

Einleitung

Im Rahmen des baden-württembergischen Messprojektes führten die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg und die Fa. Wölfel Engineering in den Jahren 2013 bis 2015 umfangreiche Messungen tieffrequenter Geräusche (inkl. Infraschall ab 1 Hz) in der näheren Umgebung von sechs Windkraftanlagen durch. Außerdem erfolgten Messungen in urbaner und ländlicher Umgebung (ohne Quellenbezug) sowie am Straßenverkehr und an technischen Anlagen in Wohngebäuden. Ziel des Projektes war es, aktuelle Daten über Infraschall und tieffrequente Geräusche möglichst vergleichbar zu erheben.

Methodik

Für die Auswahl der Messorte spielten unterschiedliche Kriterien eine Rolle, so galt es viel befahrene Straßen, Wald und gewerbliche Anlagen strikt zu meiden. Es wurden unterschiedliche Typen von Windkraftanlagen (WKA) im Leistungsbereich zwischen 1,8 und 3,2 MW ausgewählt. An jeweils drei Messpunkten in verschiedenen Abständen zur jeweiligen WKA wurde parallel und synchron gemessen. Der nächstgelegene Messpunkt wurde in Übereinstimmung mit der FGW-Richtlinie bzw. der IEC 61400-11 abhängig von der Nabenhöhe und dem Rotordurchmesser festgelegt. Die entfernteren Messpunkte wurden, sofern möglich, in Entfernungen um 300 m und 700 m bei identischem Aufbau positioniert. Zur Aufzeichnung der tiefen Frequenzen wurden tiefton-kalibrierte Messmikrofone (G.R.A.S.) mit einer unteren Grenzfrequenz von ca. 1 Hz eingesetzt. Die Mikrofone wurden auf schallharten Platten montiert und mit doppelten Windschirmen versehen. Mit der Platzierung eines Messmikrofons in einem Erdloch konnten in relevanten Messsituationen keine zusätzlichen Pegelminderungen des windinduzierten Hintergrundgeräuschs im Infraschallbereich

erreicht werden. Bei Messungen an einer WKA wurden eventuell vorhandene, benachbarte Anlagen abgeschaltet. Alle Messpunkte wurden in Analogie zur FGW-Richtlinie bzw. der IEC 61400-11 ausgewertet [1]. Zusätzlich wurden G-Pegel und Schmalbandspektren im Nachgang der Messungen aus den aufgezeichneten Audio-Dateien bestimmt.

Windkraftanlagen

Es wurden insgesamt sechs Windkraftanlagen vermessen (Enercon E-66, E-82 und E-101, REpower MM92 und 3.2M114 sowie Nordex N117). Beispielhaft werden im Folgenden die Ergebnisse dargestellt, die an einer 2,4 MW Nordex N117 ermittelt wurden. Die Resultate für die weiteren Anlagen sind prinzipiell vergleichbar und detailliert im Projektbericht dargestellt [2].

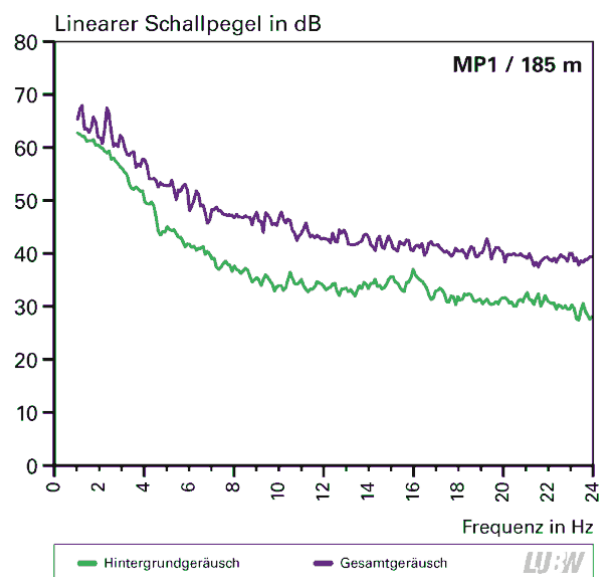


Abbildung 1: Schmalbandspektrum (Auflösung 0,1 Hz). Gesamtgeräusch (violett, obere Kurve) mit eingeschalteter WKA und Hintergrundgeräusch (grün, untere Kurve) mit ausgeschalteter WKA, gemessen im Nahfeld bei 185 m Abstand zur Anlage. Gut erkennbar die diskreten Frequenzen unterhalb 6 Hz (obere Kurve).

Abbildung 1 zeigt das Schmalbandspektrum von 1 bis 24 Hz mit einer Auflösung von 0,1 Hz, welches am Referenzmesspunkt in einem Abstand von 185 m zur Anlage gemessen wurde. In dem für diese Darstellung gewählten Zeitabschnitt betrug die mittlere gemessene Windgeschwindigkeit im Betriebsgeräusch ca. 7,6 m/s, im Hintergrundgeräusch ca. 6,9 m/s. Für die Auswertung wurden möglichst Zeitabschnitte mit ähnlicher Windgeschwindigkeit und geringer

Böigkeit ausgewählt. Dargestellt ist in der Ordinate der gemessene lineare Schalldruckpegel ohne Frequenzbewertung. Deutlich zu erkennen sind – bei eingeschalteter WKA – diskrete Maxima im Frequenzbereich unterhalb von 6 Hz. Diese entsprechen Vielfachen der Rotordurchgangsfrequenz (hier bei ca. 0,6 Hz - sichtbar: 1,2 Hz, 1,7 Hz, 2,3 Hz, 2,9 Hz, usw.) Für den Fernbereich (Abbildung 2) ist zwischen Betriebs- und Hintergrundgeräusch kaum mehr ein Unterschied zu erkennen. Die im Nahfeld deutlich erkennbaren diskreten Maxima sind hier nicht mehr vorhanden.

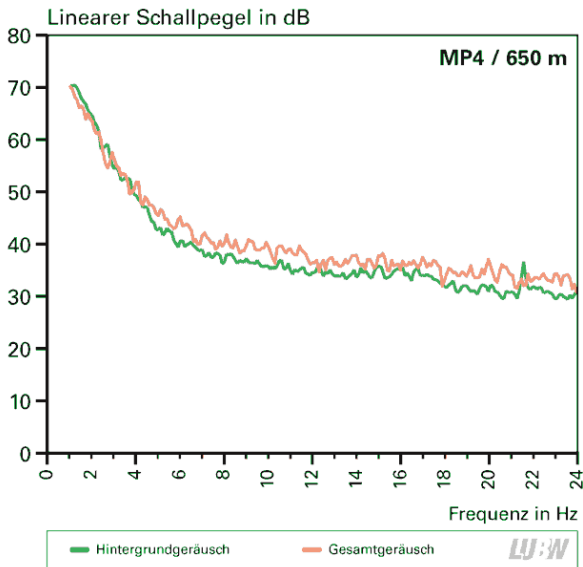


Abbildung 2: 0,1-Hz-Schmalbandspektrum von Gesamtgeräusch (orange, obere Kurve - mit eingeschalteter WKA) und Hintergrundgeräusch (grün, untere Kurve - mit ausgeschalteter WKA) gemessen in einer Entfernung von 650 m.

In Abbildung 3 (oben) sind für den gesamten Messzeitraum, in einem Abstand von 185 m zur Anlage, die gemessenen mittleren A-bewerteten sowie G-bewerteten Summenpegel (nach ISO 7196) abgebildet. Jeder Datenpunkt entspricht einem 10 s Mittelungspegel. Aufgetragen sind die Pegel über die entsprechenden Windgeschwindigkeiten (gemessen in 10 m Höhe und auf 0,1 m/s gerundet). Messzeiten mit Störgeräuschen wurden von der Auswertung ausgenommen. Die G-Pegel sind jeweils rot und grün dargestellt – rot bei eingeschalteter Anlage (Gesamtgeräusch), grün bei ausgeschalteter (Hintergrundgeräusch). Deutlich zu erkennen ist der Pegelunterschied zwischen Betriebs- und Hintergrundgeräusch in der G-Bewertung. Die A-Pegel des Betriebsgeräusches sind ergänzend mit angegeben (violett). Im Abstand von 650 m (Abbildung 3, unten) sind keine signifikanten Unterschiede in der G-Bewertung mehr zwischen Betriebs- und Hintergrundgeräusch erkennbar. Die breitere Streuung der Messwerte im A-Pegel ist durch den stärkeren Einfluss der Hintergrundgeräusche zu erklären.

In Abbildung 4 sind die gemessenen Schalldruckpegel eines repräsentativen Zeitabschnittes für das Betriebsgeräusch an den drei unterschiedlich entfernten Messpunkten als lineare Terzpegel gegenübergestellt. Für jede Messung wurde ein Zeitabschnitt mit möglichst konstanter Windgeschwindigkeit ausgewählt. Hier betrug die mittlere gemessene Windgeschwindigkeit 7 m/s.

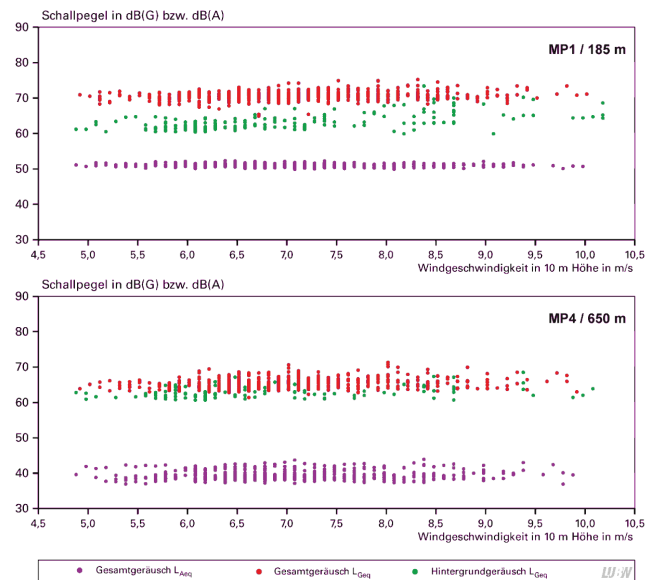


Abbildung 3: A-Pegel (violette Punkte) und G-Pegel (rote Punkte bei eingeschalteter WKA, grüne Punkte bei abgeschalteter WKA). Im Abstand von 185 m (oberes Bild) sind deutliche Unterschiede im G-Pegel zwischen ein- und ausgeschalteter WKA zu erkennen. In 650 m Abstand sind diese nur noch gering (unteres Bild).

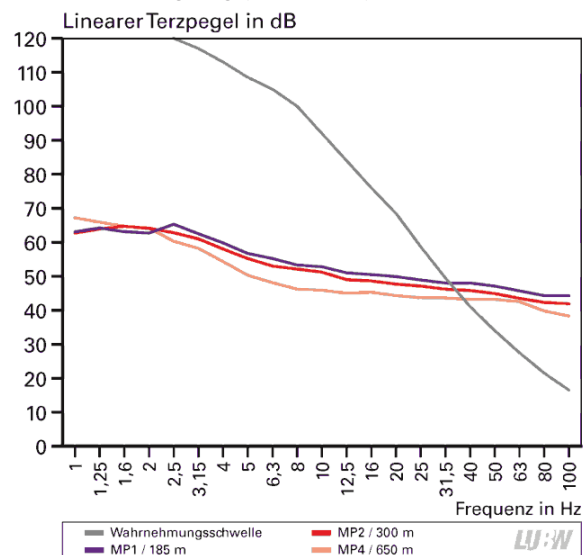


Abbildung 4: Terzspektren des Gesamtgeräusches gemessen in Abständen von 185 m, 300 m und 650 m zur WKA. Zum Vergleich wurde in die Abbildung außerdem die Wahrnehmungsschwelle (grau) eingefügt.

Zusätzlich wurde die Wahrnehmungsschwelle nach dem Entwurf der DIN 45680:2013 [3] dargestellt. Unterhalb 8 Hz wurde diese durch Literaturwerte ergänzt [4]. In den Darstellungen sind Hintergrundgeräusche, wie sie zum Beispiel durch umliegende Vegetation bei diesen Windgeschwindigkeiten entstehen, im gemessenen Gesamtgeräusch enthalten. Die Pegel liegen ab ca. 32 Hz für alle Messpunkte unterhalb der Wahrnehmungsschwelle. Beim Infraschall liegen sie sogar sehr weit, um 20 bis über 50 dB, unterhalb der Wahrnehmungsschwelle. Vergleichbare Ergebnisse wurden bei den weiteren durchgeführten Messungen festgestellt. Die G-Pegel lagen in Abständen von 120 m bis 190 m bei allen Anlagen, inkl. Windgeräusche, zwischen 60 und 80 dB(G). Einer polnischen Studie zufolge

wurden inmitten eines Windparks mit 25 Vestas V80 Anlagen Werte um 89 dB(G), am Rande des Windparks um 67 dB(G) gemessen [5].

Straßenverkehr

Im Rahmen des Projektes wurden auch intensive Messungen von Straßenverkehrsgeräuschen sowohl außerhalb als auch innerhalb von Gebäuden vorgenommen. Abbildung 5 zeigt lineare Terzstundenpegel über das gesamte Frequenzspektrum, immissionsseitig gemessen an einer innerstädtischen Straße nachmittags zwischen 16.00 und 17.00 Uhr. Zwischen 0.00 und 1.00 Uhr liegen sie um 10-15 dB niedriger. Auffällig ist die Überhöhung im tieffrequenten Bereich, hier mit einem Maximum um 40 Hz.

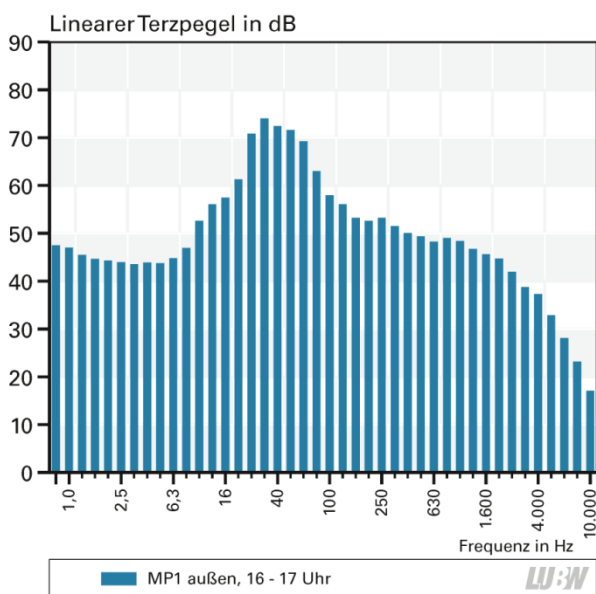


Abbildung 5: Terzspektrum Straßenverkehr (Immission), aufgenommen werktags zwischen 16.00 und 17.00 Uhr. Die Verkehrsstärke liegt bei 14.000Kfz/24h bei 3% Lkw Anteil.

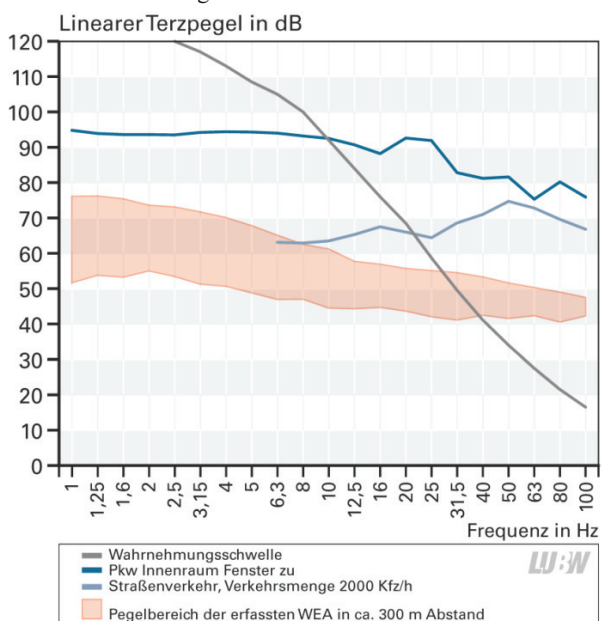


Abbildung 6: Terzspektrum Straßenverkehr an der Dauermessstation Reutlingen (blaue Kurve Mitte) bei 2.000 Kfz/h. Ergebnisse der WKA-Messungen (rot) und Pegel im Innern eines fahrenden Pkw bei geschlossenen Fenstern (obere blaue Kurve). Wahrnehmungsschwelle (grau).

Weitere Daten wurden von der baden-württembergischen Dauermessstation in Reutlingen aufgezeichnet [6] und sind in Abbildung 6 dargestellt. Zum Vergleich wurden hier die Ergebnisse aus den Messungen der Windkraftanlagen ergänzt und außerdem noch die im Innern eines fahrenden Pkw (130 km/h, mit geschlossenen Fenstern) festgestellten Werte hinzugefügt. Letztere liegen deutlich höher.

Städtischer und ländlicher Hintergrund

Die Messungen im städtischen Hintergrund ohne Quellenbezug erfolgten auf einem eher ruhigen Platz ohne direkten Einfluss von Verkehrsgeräuschen. Sie konnten bei Windstille oder bei geringem Wind durchgeführt werden. Die Pegel sinken jeweils vom Tag über den Abend und in der Nacht erwartungsgemäß ab (Abbildung 7).

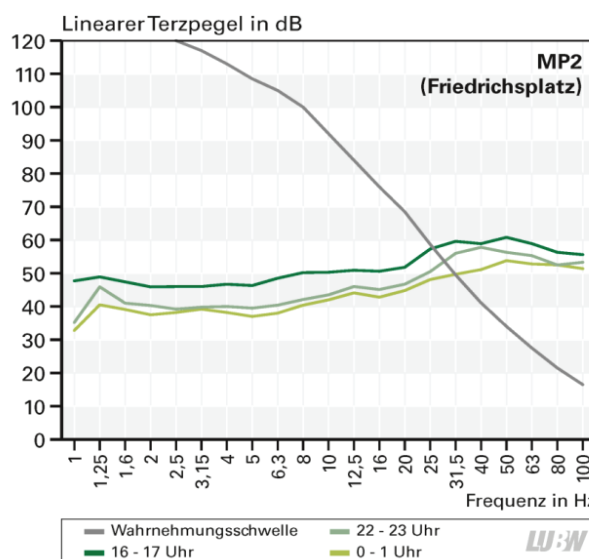


Abbildung 7: Terzspektren (grün) Innenstadt Karlsruhe auf einem eher ruhigen Platz zu unterschiedlichen Zeiten. Wahrnehmungsschwelle (grau).

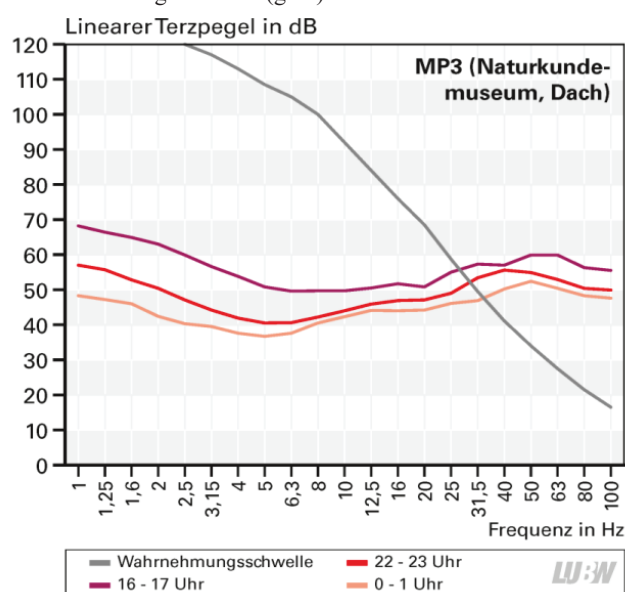


Abbildung 8: Lineares Terzspektrum Innenstadt Karlsruhe, gemessen auf einem Dach zu unterschiedlichen Zeiten. Wahrnehmungsschwelle (grau).

Auf dem Dach eines angrenzenden Gebäudes wurden tendenziell höhere Werte im Infraschallbereich gemessen als unten auf dem Platz, was möglicherweise mit Einstreuungen entfernterer Quellen zusammenhängt (Abbildung 8).

Die Messungen im ländlichen Bereich erfolgten ohne Windkraftanlagen im Umfeld. Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse auf einer Wiese, auf dem freien Feld. Dargestellt sind die Werte bei 5 bzw. 10 m/s Wind. Die gemessenen Werte liegen in einem vergleichbaren Bereich, wie bei Messungen in der unmittelbaren Umgebung von WKA. Die Pegel, die am Waldrand und im Wald gemessen wurden, lagen niedriger.

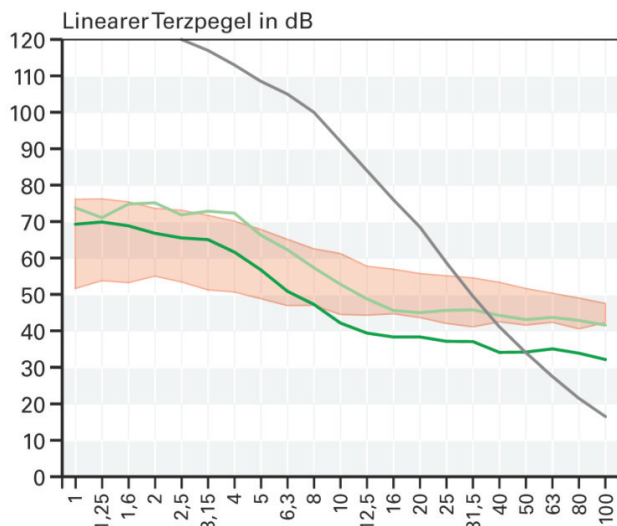


Abbildung 9: Vergleich der Geräuschsituation im freien Feld (grün - ohne WKA im Umfeld) mit dem Pegelbereich von WKA in etwa 300 m Abstand (rot). Wahrnehmungsschwelle (grau).

Geräuschquellen im Haushalt

Bei den Quellen im Haushalt fallen im tieffrequenten Bereich die Ölheizung und die Waschmaschine ins Auge (Abbildung 10). Beide enthalten während des Betriebs deutlich tieffrequente Anteile (Ölbrenner, Schleudern), während die Gasheizung vergleichsweise ruhig arbeitet.

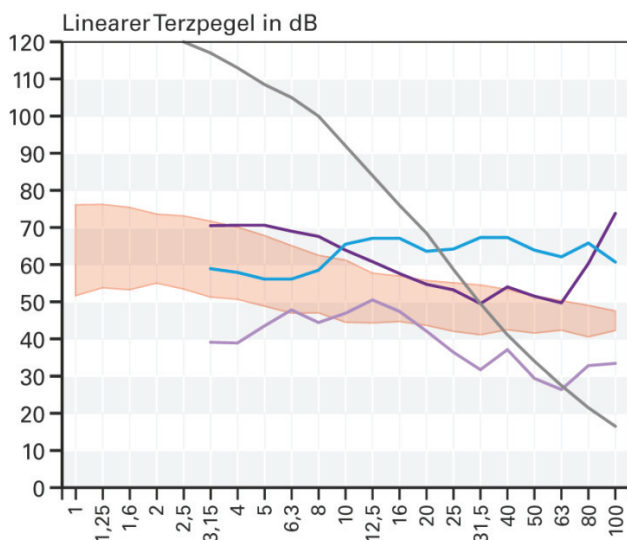


Abbildung 10: Terzspektren von Ölheizung (violett), Waschmaschine (blau) und Gasheizung (unterste Kurve). Zum Vergleich WKA (rot), Wahrnehmungsschwelle (grau).

Fazit

Infraschall wird von einer großen Zahl unterschiedlicher technischer und natürlicher Quellen hervorgerufen. Er ist alltäglicher und überall anzutreffender Bestandteil unserer Umwelt.

Windkraftanlagen leisten hierzu keinen wesentlichen Beitrag. Die von ihnen erzeugten Infraschallpegel liegen deutlich unterhalb der Wahrnehmungsgrenzen des Menschen. Die Pegel konnten bei unseren Untersuchungen in der nahen Umgebung der Anlagen gut gemessen werden, auch die Eigenfrequenzen unterhalb von etwa 6 bis 8 Hz waren feststellbar. An den weiter entfernten Messpunkten waren diese jedoch nicht mehr detektierbar. Die Unterschiede zwischen ein- und ausgeschalteter Windkraftanlage waren allenfalls noch geringfügig.

Es gibt keine wissenschaftlich abgesicherten Belege für gesundheitlich nachteilige Wirkungen von Infraschall in diesem Pegelbereich.

Der umfangreiche Projektbericht, der noch eine Vielzahl weiterer Informationen und Daten liefert, kann im Internet abgerufen werden [2].

Literatur

Weitere umfangreiche Literaturangaben siehe in [2]

- [1] IEC 61400-11: Acoustic noise measurement techniques, Ed. 2.1, Ausgabedatum 2006-11 – deutsche Fassung: DIN EN 61400-11: Windenergieanlagen – Teil 11: Schallmessverfahren, Ausgabedatum 2013-09
- [2] Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen – Bericht über Ergebnisse des Messprojektes 2013-2015, LUBW 2016 URL: <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/236904/>
- [3] DIN 45680: Entwurf: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen (September 2013), Ausgabedatum 2013-09, in Bezug auf die Wahrnehmungsschwelle identisch mit Entwurf 2011-08
- [4] Møller H. & Pedersen C.: Hearing at low and infrasonic frequencies, Noise & Health, Vol. 6, Issue 23, S. 37-57, 2004
- [5] Ingielewicz, R. & Zagubien, A.: Infrasound Noise of Natural Sources in the Environment and Infrasound Noise of Wind Turbines, Pol. J. Environ. Stud. Vol.23. No.4.1323-1327, 2014
- [6] Bayer, O. et al.: Messung von Straßenverkehrslärm 2013 - Zusammenfassende Darstellung der Messergebnisse für die stationären Verkehrslärmmessstationen Karlsruhe und Reutlingen, LUBW 2014 URL: <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/253556/>