

**Ermittlung von Schallfeldgrößen für die Daten in Abbildung 4 von: Pilger, Ceranna (2017), The influence of periodic wind turbine noise on infrasound array measurements, Journal of Sound and Vibration 388, S. 188–200.**

## Motivation

Im Jahr 2017 veröffentlichten Pilger und Ceranna Schallfeldmessungen an einer Windkraftanlage (Pilger und Ceranna 2017). Die in dieser Veröffentlichung in Abbildung 4 gezeigten Daten sind Gegenstand einer aktuellen wissenschaftlichen Diskussion, zu der diese Arbeit beitragen soll. Gegenstand ist die Berechnung von Schallfeldgrößen (DIN EN 61672-1) aus den Rohdaten, wie sie üblicherweise zur Beurteilung von Schallfeldern, z. B. in der Norm DIN 45680 (DIN 45680) verwendet werden. Insbesondere werden Schallpegel, ein Terzbandspektrum (DIN EN 61260) und die spektrale Leistungsdichte angegeben.

Im Einzelnen sind folgende Größen notiert:

$S_p$  = Spektrale Leistungsdichte für den Schalldruck, angegeben in  $\text{Pa}^2 / \text{Hz}$  bzw.  $\text{dB} / \text{Hz}$

$L_{\text{eqFFT}}$  = äquivalenter Dauerschallpegel für die gesamte Messzeit  $T$ , ermittelt aus der spektralen Leistungsdichte  $S_p$

$L_{\text{eqT}}$  = äquivalenter Dauerschallpegel für die gesamte Messzeit  $T$ , ermittelt aus den Zeitdaten

$L_{Z,\text{eqT}}$ : mit einer alternativen Software ermittelter Z-gewichteter äquivalenter Dauerschallpegel für die gesamte Messzeit  $T^1$ , nach (DIN EN 61672-1)

$L_{\text{TerzZ}}$  = Z-gewichteter Terz-Schalldruckpegel, nach DIN 45680.

Alle Angaben sind in dB und beziehen sich auf den Referenzschalldruck  $20 \mu\text{Pa}$ . Die Zeitbewertung F konnte auf Grund der sehr niedrigen Frequenzen nicht angewandt werden. Die Norm DIN EN 61672-1 sieht zwar die Möglichkeit der F-Bewertung bei tiefen Frequenzen vor, wenn die Welligkeit einbezogen wird. Das war hier aber nicht möglich. Auf Grund der erwartbaren Pegel unterhalb der Hörschwelle wurde auch keine C-Bewertung sondern eine Z-Bewertung verwendet (siehe DIN 45680).

## Methoden

Die Rohdaten wurden vom Portal <https://eida.bgr.de/> heruntergeladen. Dabei wurde in spezifizierten Links die Messtation HUF3 adressiert und die im Paper genannten Tage bzw. Zeiträume spezifiziert. Aus den Transferprotokollen wurden die Daten im ASCII-Format gewonnen. Sie stimmten mit Daten, die von der BGR bereits im Rahmen einer erbetenen Vergleichsrechnung im „blinded Modus“ mitgeteilt wurden, überein.

Für die Ermittlung einer schmalbandigen spektralen Information wurde die spektrale Leistungsdichte  $S_p$  mit einem Standardverfahren unter Verwendung der Matlab-Routine *periodogram.m* berechnet. Es kam ein *Hanning*-Fenster (Harris 1978) zum Einsatz. Zur Kontrolle wurde eine Rechnung unter Verwendung einer Standard-*fft*-Routine ebenfalls mit einem *Hanning*-Fenster durchgeführt. Die Bandbreite  $BW$  pro bin betrug einheitlich  $5.55 \cdot 10^{-4}$  Hz, errechnet wurde daraus die spektrale Leistungsdichte. Beide Methoden lieferten dieselben Ergebnisse.

Die Größe  $L_{\text{eqT}}$  wurde als rms-Wert über die gesamte Länge aller Zeitwerte ermittelt. Um auch hier einen Vergleich zu haben wurde  $L_{\text{eqFFT}}$  durch Integration der spektralen Leistungsdichte unter Verwendung der Bandbreite  $BW$  bestimmt. Die Werte, die mittels FFT berechnet wurden, weichen

---

<sup>1</sup>  $L_{Z,\text{eqT}}$  entspricht in seiner Definition  $L_{\text{eqT}}$ , da beide Größen mit unterschiedlicher Software berechnet wurden, sollte dies mit unterschiedlichen Bezeichnungen deutlich gemacht werden

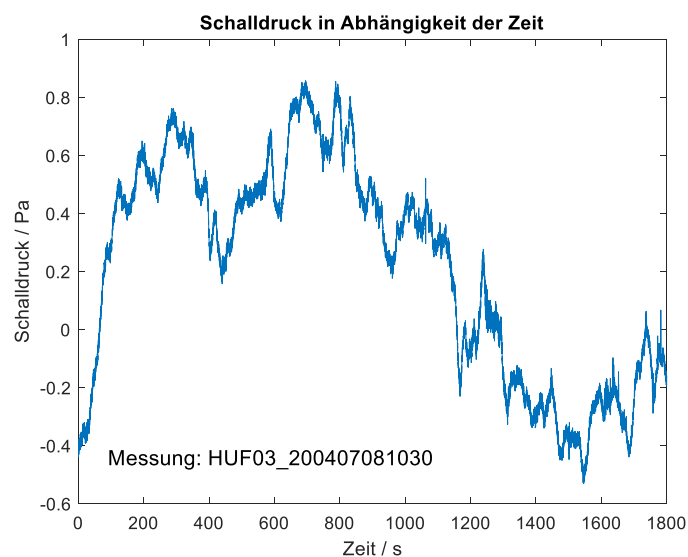
aufgrund des verwendeten *Hanning*-Fensters und der damit verbundenen Näherungen bei der Korrektur der effektiven Filterbandbreite von den anderen beiden Varianten leicht ab. Sie stimmten aber zumindest so gut überein, dass grundsätzliche Rechenfehler ausgeschlossen werden konnten.

Um eine weitere unabhängige Prüfung zu ermöglichen, wurde  $L_{Z,eqT}$  mit einer in der PTB entwickelten Software ermittelt, die in einem im Hause entwickelten Schallpegelmesssystem (Wächtler et al. 2018) eingesetzt wird. Hier ergab sich immer eine gute Übereinstimmung mit  $L_{eqT}$ . Weiterhin wurde mit dieser Software auch ein Terzbandspektrum ( $L_{TerzZ}$  für die jeweiligen Terzbandmittenfrequenzen) ermittelt, wie es die Norm DIN 45680 erfordert. Dieses Spektrum wurde über einen Zeitraum von 30 s zwischen den Zeitpunkten 150 s und 180 s nach Beginn ermittelt und war ebenfalls Z-gewichtet.

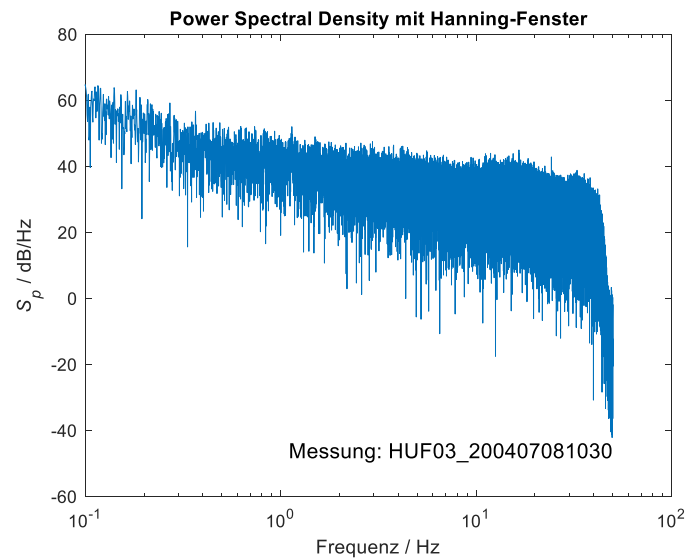
## Ergebnisse

*Spektrum mit grüner Linie in Abb. 4 der Veröffentlichung von Ceranna et. al*

Messung am 08.07.2004, 10:30 – 11:00 Uhr, Messzeitfenster: 1800 s, Samplerate  $f_s = 100$  Hz, Punktzahl  $N = 180\ 000$

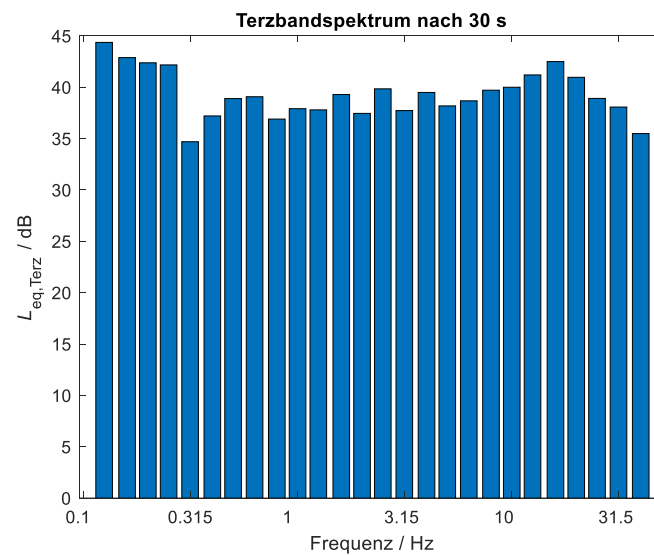


**Abb. 1:** Momentaner, unbewerteter Schalldruck in Abhängigkeit von der Zeit für Messung HUF3\_200407081030



**Abb. 2:** Spektrale Leistungsdichte für Messung HUF3\_200407081030

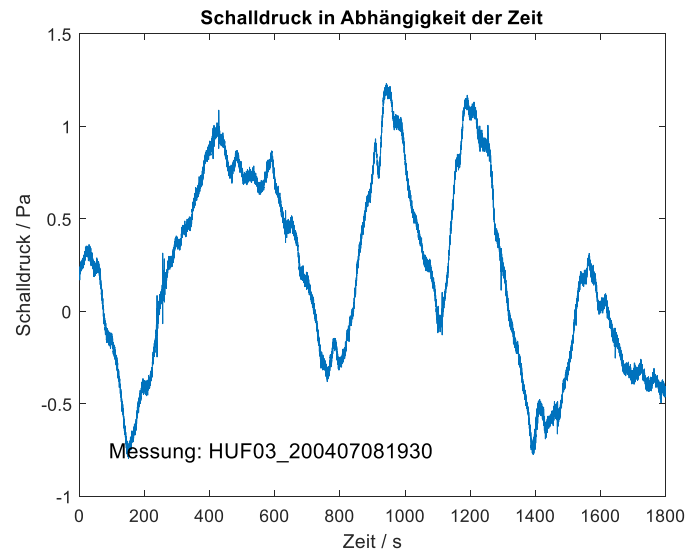
| Messgröße   | Wert    |
|-------------|---------|
| $L_{eqFFT}$ | 85,9 dB |
| $L_{eqT}$   | 86,7 dB |
| $L_{z,eqT}$ | 86,7 dB |



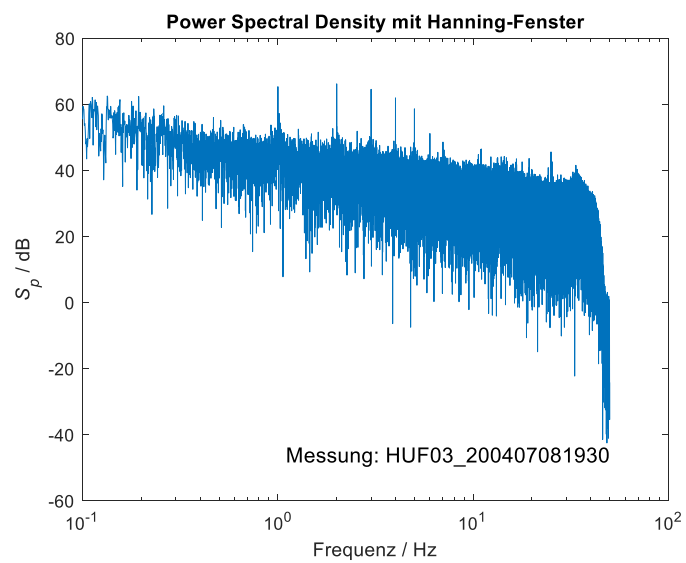
**Abb. 3:** Terzbandspektrum, ermittelt in einem Zeitraum von 30 s mit Beginn nach 150 s für Messung HUF3\_200407081030

*Spektrum mit roter Linie in Abb. 4 der Veröffentlichung von Ceranna et. al*

Messung am 08.07.2004, 19:30 – 20:00 Uhr, Messzeitfenster: 1800 s, Samplerate  $f_s = 100$  Hz, Punktzahl  $N = 180\ 000$

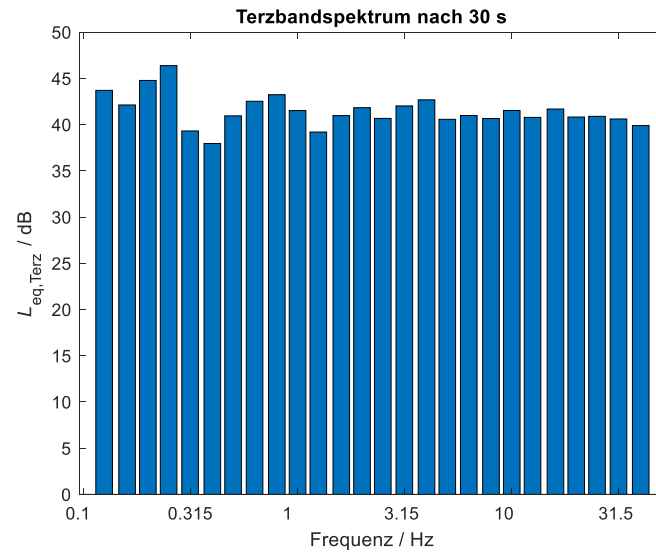


**Abb. 4:** Momentaner unbewerteter Schalldruck in Abhängigkeit von der Zeit für Messung HUF3\_200407081930



**Abb. 5:** Spektrale Leistungsdichte für Messung HUF3\_200407081930

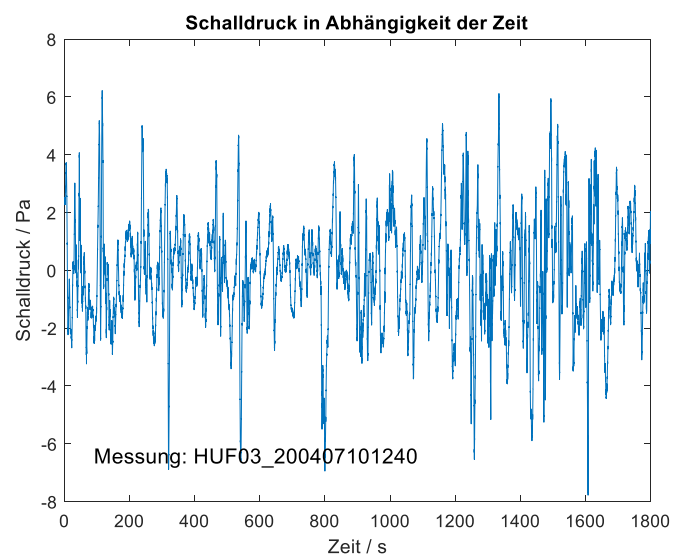
| Messgröße   | Wert    |
|-------------|---------|
| $L_{eqFFT}$ | 87,9 dB |
| $L_{eqT}$   | 88,8 dB |
| $L_{z,eqT}$ | 88,9 dB |



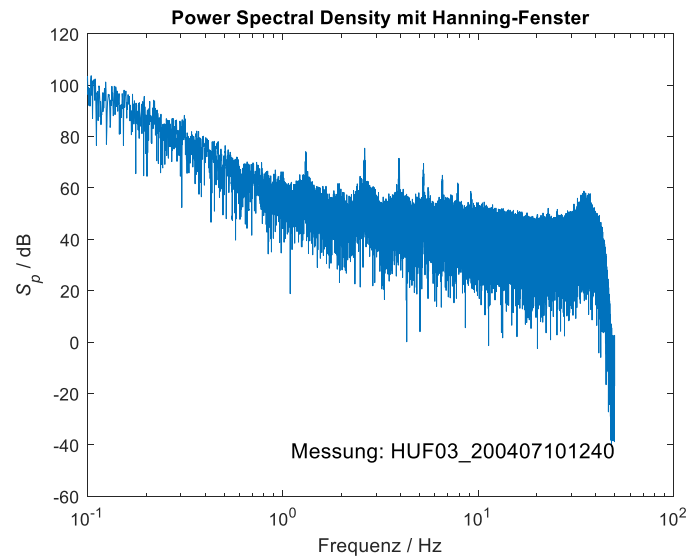
**Abb. 6:** Terzbandspektrum, ermittelt in einem Zeitraum von 30 s mit Beginn nach 150 s für Messung HUF3\_200407081930

*Spektrum mit blauer Linie in Abb. 4 der Veröffentlichung von Ceranna et. al*

Messung am 10.07.2004, 12:40 – 13:10 Uhr, Messzeitfenster: 1800 s, Samplerate  $f_s = 100$  Hz, Punktzahl  $N = 180\ 000$

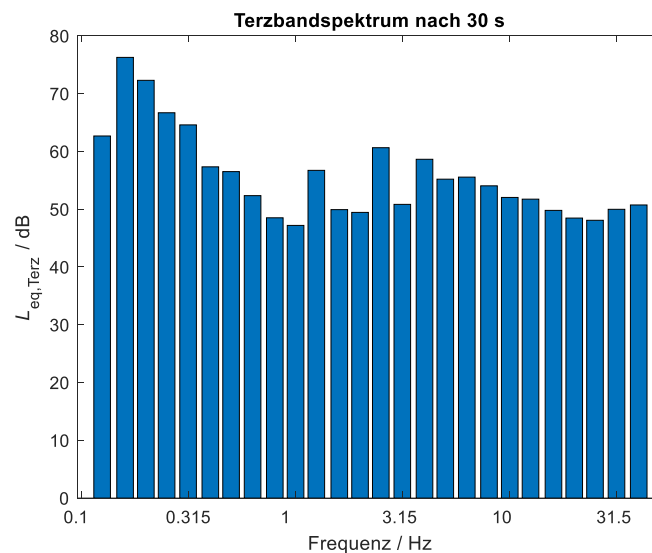


**Abb. 7:** Momentaner unbewerteter Schalldruck in Abhängigkeit von der Zeit für Messung HUF3\_200407101240



**Abb. 8:** Spektrale Leistungsdichte für Messung HUF3\_200407101240

| Messgröße   | Wert    |
|-------------|---------|
| $L_{eqFFT}$ | 96,1 dB |
| $L_{eqT}$   | 99,5 dB |
| $L_{z,eqT}$ | 99,4 dB |



**Abb. 9:** Terzbandspektrum, ermittelt in einem Zeitraum von 30 s mit Beginn nach 150 s für Messung HUF3\_200407101240

### Diskussion

Mit den vorliegenden Ergebnissen liegen Schallfeldgrößen vor, die nach bekannten und genormten Regeln ermittelt wurden. Sie können nun zu einer Diskussion herangezogen werden. Es fällt auf, dass die Schallfeldwerte größer ausfallen als in anderen vergleichbaren Arbeiten, siehe z. B. (Ratzel et al.

2014), (Keith et al. 2016; Turnbull et al. 2012; Keith et al. 2018; Hessen Agentur GmbH 2015). Auch sind sehr große Fluktuationen mit extrem niedrigen Frequenzen zu beobachten, die zum äquivalenten Schallpegel signifikant beitragen.

Für die Differenzen sind Bedingungen zum Zeitpunkt der Messung verantwortlich, die nach so langer Zeit kaum noch vollständig aufgeklärt und beurteilt werden können. Deshalb unterstützt die PTB die Planungen der BGR, eine neue Messkampagne zu starten und alle Messbedingungen, Daten und Parameter öffentlich zugänglich zu machen. Das erlaubt einen fairen wissenschaftlichen Diskurs nach den Regeln der guten wissenschaftlichen Praxis des Codes der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft 2019), zu dessen Grundsätzen sich die PTB ausdrücklich bekennt.

### Literaturverzeichnis

Deutsche Forschungsgemeinschaft (2019): Guidelines for Safeguarding Good Research Practice. Code of Conduct. DOI: 10.5281/ZENODO.3923602.

DIN 45680:2011, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft.

DIN EN 61260-1:2014-10 Elektroakustik - Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven - Teil 1: Anforderungen (IEC 61260-1:2014).

DIN EN 61672-1: DIN EN 61672-1:2014-07 Elektroakustik - Schallpegelmesser - Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1:2013).

Harris, F. J. (1978): On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform. In: *Proceedings of the IEEE* 66 (1), S. 51–83. DOI: 10.1109/PROC.1978.10837.

Hessen Agentur GmbH (2015): Faktenpapier Windenergie und Infraschall. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung.

Keith, Stephen E.; Daigle, Gilles A.; Stinson, Michael R. (2018): Wind turbine low frequency and infrasound propagation and sound pressure level calculations at dwellings. In: *The Journal of the Acoustical Society of America* 144 (2), S. 981–996. DOI: 10.1121/1.5051331.

Keith, Stephen E.; Feder, Katya; Voicescu, Sonia A.; Soukhovtsev, Victor; Denning, Allison; Tsang, Jason et al. (2016): Wind turbine sound power measurements. In: *The Journal of the Acoustical Society of America* 139 (3), S. 1431–1435. DOI: 10.1121/1.4942405.

Pilger, Christoph; Ceranna, Lars (2017): The influence of periodic wind turbine noise on infrasound array measurements. In: *Journal of Sound and Vibration* 388, S. 188–200. DOI: 10.1016/j.jsv.2016.10.027.

Ratzel, U.; Bayer, O.; Brachat, P. (2014): Tieffrequente Geräusche und Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

Turnbull, Chris; Turner, Jason; Walsh, Daniel (2012): Measurement and level of infrasound from wind farms and other sources. In: *Acoustics Australia* 40 (1), S. 45–50.

Wächtler, Moritz; Kling, Christoph; Wolff, Andrea (2018): Entwicklung eines Ultraschall-Pegelmesssystems für den Arbeitsschutz. In: *Lärmbekämpfung* 13 (1), S. 28–32.