

## 2 Zusammenfassung

Die LUBW führte seit 2013 zusammen mit der Fa. Wölfel Beratende Ingenieure GmbH das Messprojekt „Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen“ durch. Dieser Bericht informiert über die Ergebnisse des Messprojektes.

Ziel des Projektes ist es, aktuelle Daten über das Auftreten von Infraschall (ab 1 Hz) und tieffrequenten Geräuschen in der Umgebung von Windkraftanlagen und weiteren Quellen zu erheben. Hierzu wurden bis Ende 2015 Messungen in der Umgebung von sechs Windkraftanlagen unterschiedlicher Hersteller und Größe durchgeführt, die einen Leistungsbereich von 1,8 bis 3,2 Megawatt (MW) abdecken. Die Abstände zu den Anlagen lagen, je nach örtlicher Gegebenheit, um 150 m, 300 m und 700 m. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse der Messungen an den Windkraftanlagen beschrieben und anhand von Grafiken dargestellt. Ergänzend zu den schalltechnischen Untersuchungen wurden in der Umgebung einer Windkraftanlage Erschütterungsmessungen durchgeführt, um mögliche Schwingungsemissionen der Anlage auf die Umgebung festzustellen. Die Vorgehensweise und die aufgetretenen Schwierigkeiten werden jeweils erläutert.

Da auch der Straßenverkehr als Quelle von Infraschall und tieffrequenten Geräuschen gilt, lag es nahe, das Messprojekt auf diesen hin auszudehnen. In Kapitel 5 finden sich Ergebnisse einer Messung an einer städtischen Straße, die sowohl außerhalb als auch innerhalb einer Wohnung stattfand. Außerdem wurden die Daten der LUBW-Messstationen für Straßenverkehrslärm in Karlsruhe und Reutlingen im Hinblick auf tieffrequente Geräusche und Infraschall ausgewertet und dargestellt. Zudem werden Ergebnisse eigener Messungen an einer Bundesautobahn dargestellt. Ergänzt wird dies durch Daten aus Schallpegelmessungen im Inneren eines fahrenden Pkw.

Messungen ohne Quellenbezug am Tage und in der Nacht erfolgten in der Karlsruher Innenstadt auf dem Friedrichsplatz. Parallel dazu wurde auf dem Dach des Naturkundemuseums und in einem Innenraum des Schulamtes Messungen vorgenommen (Kapitel 6). Typische in Wohngebäuden auftretende Geräusche durch weit verbreitete



**Abbildung 2-1:** Windkraftanlagen – wieviel Infraschall senden sie aus? Foto: Fa. Wölfel

technische Geräte wie Waschmaschine, Kühlschrank oder Heizung wurden ebenfalls erfasst und sind in Kapitel 7 dargestellt. Um auch Aussagen über natürliche Infraschallquellen machen zu können, wurden Messungen auf freiem Feld, am Waldrand und im Wald durchgeführt; aus der Literatur wird eine Messung der durch Meeresbrandung hervorgerufenen tieffrequenten Geräusche vorgestellt (Kapitel 8). In Kapitel 9 sind Überlegungen für eine Messstation zur fortlaufenden Erfassung tieffrequenter Geräusche inkl. Infraschall aufgenommen. Eine solche autark arbeitende Dauermessstation könnte ggf. im Rahmen von besonderen Beschwerdefällen zum Einsatz kommen.

Der vorliegende Bericht erweitert den vorangegangenen Zwischenbericht um weitere Erkenntnisse und enthält eine Vielzahl von Messergebnissen. Er richtet sich sowohl an Fachleute als auch an interessierte Bürgerinnen und Bürger. Während der gesamten Projektlaufzeit bestand großes Interesse seitens der Öffentlichkeit und der Verwaltungen an unseren Untersuchungen; über eine Messung wurde im SWR-Fernsehen berichtet. Die LUBW wird das Thema auch zukünftig weiter verfolgen.

Die Anhänge bieten neben allgemeinen Informationen zum Thema Infraschall umfangreiche Erläuterungen zu Fachbegriffen und zur verwendeten Technik sowie Angaben zu den Quellen.



**Abbildung 2-2:** Impressionen von den Messungen während der Durchführung des Messprojektes. a) Aufbau eines Windmessmastes (oben links) und b) eines Messpunkts (oben rechts) bei der Messung an einer Windenergieanlage. c) und d) Aufbau von Messpunkten in der Karlsruher Innenstadt (unten). Fotos: LUBW

## ERGEBNISSE

Zusammenfassend ergeben sich aus den Messungen folgende Erkenntnisse:

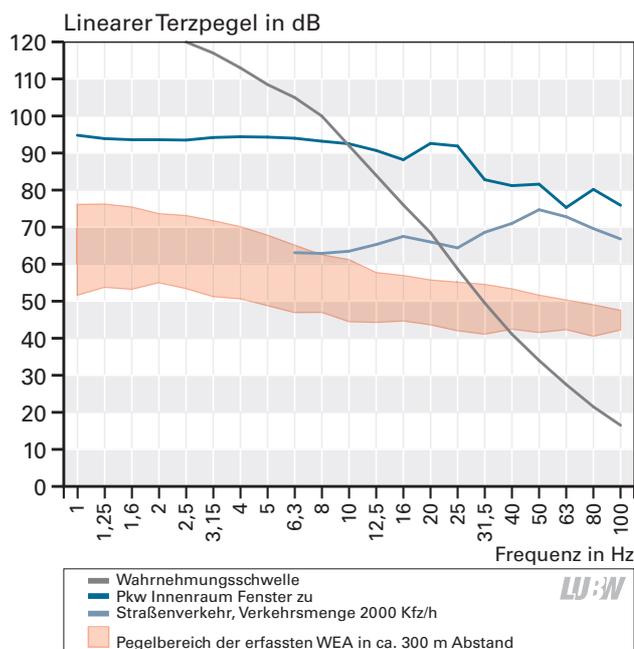
- Der von Windenergieanlagen ausgehende Infraschall kann in der näheren Umgebung der Anlagen prinzipiell gut gemessen werden. Unterhalb von 8 Hz treten im Frequenzspektrum diskrete Linien auf, welche auf die gleichförmige Bewegung der einzelnen Rotorblätter zurückzuführen sind.
- Die Infraschallpegel in der Umgebung von Windkraftanlagen liegen bei den durchgeführten Messungen auch im Nahbereich – bei Abständen zwischen 120 m und 300 m – deutlich unterhalb der menschlichen Wahrnehmungsschwelle gemäß DIN 45680 (Entwurf 2013) [5] bzw. **Tabelle A3-1**.

- In 700 m Abstand von den Windenergieanlagen war bei den Messungen zu beobachten, dass sich beim Einschalten der Anlage der gemessene Infraschall-Pegel nicht mehr nennenswert oder nur in geringem Umfang erhöht. Der Infraschall wurde im Wesentlichen vom Wind erzeugt und nicht von den Anlagen.
- Die ermittelten G-bewerteten Pegel <sup>2)</sup> lagen in Entfernungen zwischen 120 m und ca. 190 m bei eingeschalteter Anlage zwischen 55 dB(G) und 80 dB(G), bei ausgeschalteter Anlage zwischen 50 dB(G) und 75 dB(G). In

2) Der G-Pegel – angegeben als dB(G) – stellt einen frequenzgewichteten Einzahlwert der Geräusche im tieffrequenten Frequenz- und Infraschallbereich dar. Das menschliche Gehör ist für Einwirkungen in diesem Frequenzbereich unempfindlich (Definition und Bewertungskurve siehe Anhang A3).

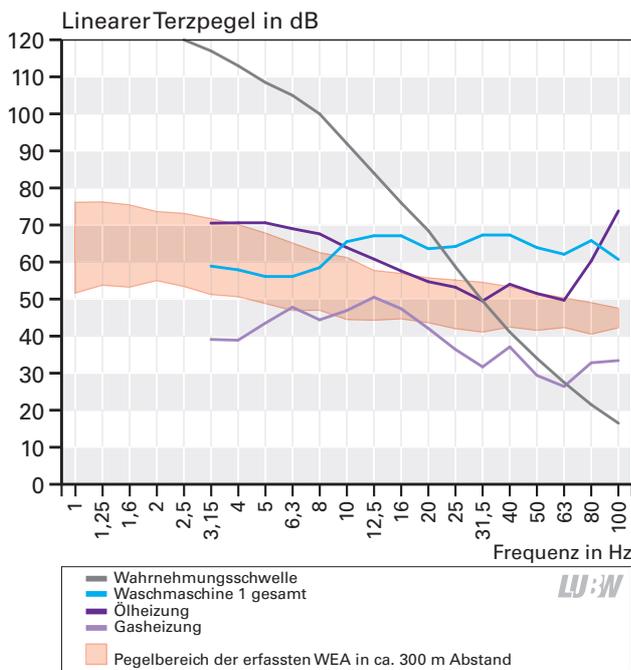
Entfernungen von 650 m und 700 m lagen die G-Pegel sowohl bei ein- als auch bei ausgeschalteter Anlage zwischen 50 dB(G) und 75 dB(G), siehe **Tabelle 2-1**. Die großen Schwankungsbreiten entstehen u. a. durch die vom Wind hervorgerufenen stark schwankenden Geräuschanteile sowie unterschiedliche Umgebungsbedingungen.

- Der in der Umgebung von laufenden Windenergieanlagen gemessene Infraschall und die tieffrequenten Geräusche setzen sich zusammen aus einem Anteil, der durch die Windenergieanlage erzeugt wird, einem Anteil der durch den Wind selbst in der Umgebung entsteht und aus einem Anteil, der am Mikrofon durch den Wind induziert wird. Der Wind selbst ist hier somit stets ein „Störfaktor“ bei der Ermittlung der Anlagengeräusche. Die Messwerte unterliegen deshalb prinzipiell einer breiten Streuung.
- Die von der untersuchten Windkraftanlage ausgehenden Erschütterungen waren bereits in weniger als 300 m Abstand sehr gering. In Entfernungen, wie sie sich für Bereiche mit Wohnnutzung allein aus Gründen des Schallimmissionsschutzes ergeben, sind an Wohngebäuden keine relevanten Einwirkungen zu erwarten.
- Die Messungen der vom Straßenverkehr ausgehenden tieffrequenten Geräusche inkl. Infraschall konnten in Zeiten ohne störende Windgeräusche durchgeführt werden. Anders als bei Windenergieanlagen treten die gemessenen Pegel unmittelbar auch dort auf, wo sich angrenzend Wohnbebauung befindet. Erwartungsgemäß konnte beobachtet werden, dass die Infraschall- und tieffrequenten Geräuschpegel nachts absanken. Es konnten auch eindeutige Korrelationen mit der Verkehrsstärke festgestellt werden. Je höher das Verkehrsaufkommen, desto höher waren die tieffrequenten Geräusch- und Infraschallpegel.
- Die Infraschallpegel des Straßenverkehrs im Bereich nahe gelegener Wohnbebauung lagen in den einzelnen Terzbändern maximal bei knapp 70 dB (unbewertet), der G-bewertete Pegel im Bereich zwischen 55 dB(G) und 80 dB(G).

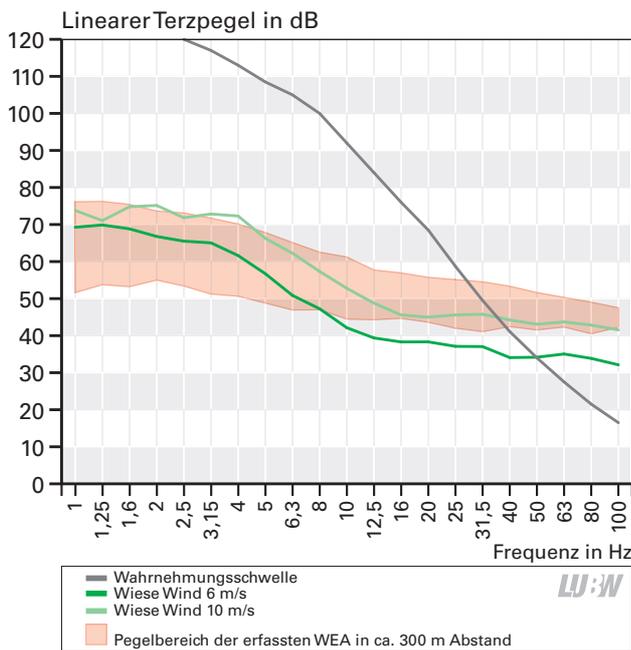


**Abbildung 2-3:** Vergleich der Fahrgeräusche inner- und außerhalb von Kraftfahrzeugen mit dem Pegelbereich von WEA in etwa 300 m Abstand sowie der Wahrnehmungsschwelle nach Tabelle A3-1 hinsichtlich Infraschall und tieffrequenten Geräuschen. Zu Messkorrekturen siehe Abschnitt 4.1.

- Bei den Immissionsmessungen des Straßenverkehrslärms konnten in den Frequenzspektren erhöhte Pegelwerte im Bereich zwischen etwa 30 und 80 Hz festgestellt werden. Tieffrequente Geräusche in diesem Bereich liegen deutlich oberhalb der Wahrnehmungsschwelle nach **Tabelle A3-1** und sind daher hinsichtlich ihrer Wirkungen relevanter als die unterschwelligeren Infraschallpegel unterhalb 20 Hz. Die Pegel der tieffrequenten Geräusche bei den betrachteten Situationen des Straßenverkehrs liegen signifikant höher als in der Umgebung von Windenergieanlagen (**Tabelle 2-1**).
- Bei den Messungen in der Karlsruher Innenstadt (Friedrichsplatz) konnte beobachtet werden, dass der G-bewertete Pegel von tagsüber 65 dB(G) auf Nachtwerte um 50 dB(G) absank. Windgeräusche spielten bei diesen Messungen keine Rolle. Zwischen 25 und 80 Hz konnten relativ hohe Terzpegel bis zu 60 dB (unbewertet) festgestellt werden, die wohl auf Verkehrsgläusche zurückzuführen sind, auch wenn der Friedrichsplatz nicht direkt an eine viel befahrene Straße angrenzt.



**Abbildung 2-4:** Vergleich der Geräusche von technischen Geräten in Wohngebäuden mit dem Pegelbereich von WEA in etwa 300 m Abstand sowie der Wahrnehmungsschwelle nach Tabelle A3-1 hinsichtlich Infraschall und tieffrequenten Geräuschen. Zu Messkorrekturen siehe Abschnitt 4.1.



**Abbildung 2-5:** Vergleich der Geräuschsituation im freien Feld (ohne Quellenbezug) mit dem Pegelbereich von WEA in etwa 300 m Abstand sowie der Wahrnehmungsschwelle nach Tabelle A3-1 hinsichtlich Infraschall und tieffrequenten Geräuschen. Zu Messkorrekturen bei WEA siehe Abschnitt 4.1.

■ Die höchsten Pegel wurden im Rahmen des Messprojekts im Innenraum eines mit 130 km/h fahrenden Mittelklasse-Pkw gemessen. Hierbei handelt es sich zwar nicht um Immissionspegel, die in der freien Umgebung

auftreten, aber um eine Alltagssituation, der viele Menschen immer wieder auch für längere Zeit ausgesetzt sind. Die gemessenen Werte liegen sowohl beim Infraschall als auch im übrigen tieffrequenten Bereich um mehrere Größenordnungen über den ansonsten im Straßenverkehr oder an den Windenergieanlagen gemessenen Werten.

■ Bei Messungen an technischen Geräten in einem Wohngebäude wurden die höchsten Infraschallpegel während des Schleudergangs von Waschmaschinen erfasst. In einzelnen Terzen reichen die Pegel an die Wahrnehmungsschwelle nach **Tabelle A3-1** heran. Erwartungsgemäß zeigte sich, dass Gebäudebauteile die höherfrequenten Geräuschanteile deutlich besser dämmen als die tiefen Frequenzen unter 20 Hz.

■ In ländlicher Umgebung ist die spektrale Verteilung der Geräusche auf einer Wiese, am Waldrand und im Wald bei Wind prinzipiell ähnlich wie in der Umgebung einer Windkraftanlage (**Abbildung 2-5**). Für offenes Gelände zeigen sich im Schmalbandspektrum um bis zu 30 dB höhere lineare Pegel als im Wald. Oberhalb 16 Hz sind die Unterschiede nicht mehr so stark ausgeprägt. Beim A-bewerteten Hörschall treten im Wald höhere Pegel auf, was auf Blätterrauschen zurückzuführen ist.

**FAZIT**

Infraschall wird von einer großen Zahl unterschiedlicher natürlicher und technischer 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. Es gibt keine wissenschaftlich abgesicherten Belege für nachteilige Wirkungen in diesem Pegelbereich.

Auch für den Frequenzbereich des Hörschalls zeigen die Messergebnisse keine akustischen Auffälligkeiten. Windkraftanlagen können daher wie andere Anlagen nach den Vorgaben der TA Lärm beurteilt werden. Bei Einhaltung der rechtlichen und fachtechnischen Vorgaben für die Planung und Genehmigung sind keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche von Windkraftanlagen zu erwarten.

**Tabella 2-1:** Vergleichende Übersicht der Ergebnisse. Die Messwerte unterlagen häufig erheblichen Schwankungen. Sie wurden hier auf 5 dB gerundet, teilweise liegen unterschiedliche Mittelungszeiten zugrunde. Näheres findet sich in den entsprechenden Kapiteln des Berichts. Für den Vergleich der Ergebnisse (Messungen mit / ohne schallharte Platte) wurde eine Korrektur durchgeführt; Näheres hierzu siehe Abschnitt 4.1.

Quelle/Situation	Kapitel	G-bewertete Pegel in dB(G)	Infraschall- Terzpegel ≤ 20 Hz in dB <sup>1)</sup>	Tieffrequente Terzpegel 25-80 Hz in dB <sup>1)</sup>
<b>Windenergieanlagen <sup>2)</sup></b>				
		<b>WEA an / aus</b>	<b>WEA an</b>	<b>WEA an</b>
– WEA 1	4.2	700 m: 55-75 / 50-75 150 m: 65-75 / 50-70	– 150 m: 55-70	– 150 m: 50-55
– WEA 2	4.3	240 m: 60-75 / 60-75 120 m: 60-80 / 60-75	– 120 m: 60-75	– 120 m: 50-55
– WEA 3	4.4	300 m: 55-80 / 50-75 180 m: 55-75 / 50-75	– 180 m: 50-70	– 180 m: 45-50
– WEA 4	4.5	650 m: 50-65 / 50-65 180 m: 55-65 / 50-65	– 180 m: 45-55	– 180 m: 40-45
– WEA 5	4.6	650 m: 60-70 / 55-65 185 m: 60-70 / 55-65	– 185 m: 50-65	– 185 m: 45-50
– WEA 6	4.7	705 m: 55-65 / 55-60 192 m: 60-75 / 55-65	– 192 m: 55-65	– 192 m: 45-50
<b>Straßenverkehr</b>				
– Würzburg innerorts, Balkon <sup>3)</sup> – Würzburg innerorts, Wohnraum <sup>3)</sup>	5.1	50-75 40-65	35-65 20-55	55-75 35-55
– Karlsruhe, Verkehrslärmstmesstation <sup>3)</sup>	5.2	65-75	45-65	55-70
– Reutlingen, Verkehrslärmstmesstation <sup>3)</sup>	5.2	70-80	50-70	55-75
– BAB A5 bei Malsch, 80 m <sup>4)</sup> – BAB A5 bei Malsch, 260 m <sup>4)</sup>	5.3	75 70	55-60 55-60	60-70 55-60
– Innengeräusche Pkw bei 130 km/h <sup>4)</sup> – Innengeräusche Kleinbus bei 130 km/h <sup>4)</sup>	5.4	105 100	90-95 85-90	75-95 80-90
<b>Städtischer Hintergrund, Karlsruhe <sup>3)</sup></b>				
– Dach Naturkundemuseum – Friedrichsplatz – Innenraum	6	50-65 50-65 45-60	35-55 35-50 20-45	bis 60 bis 60 bis 55
<b>Geräuschquellen in Wohngebäuden <sup>5)</sup></b>				
– Waschmaschine (alle Betriebsarten)	7.1	50-85	25-75	10-75
– Heizung (Öl und Gas, Volllast)	7.2	60-70	40-70	25-60
– Kühlschrank (Volllast)	7.2	60	30-50	15-35
<b>Ländliche Umgebung <sup>6)</sup></b>				
		<b>Wind 6 / 10 m/s</b>	<b>Wind 6 / 10 m/s</b>	<b>Wind 6 / 10 m/s</b>
– Wiese, 130 m vom Wald entfernt	8.1	50-65 / 55-65	40-70 / 45-75	35-40 / 40-45
– Waldrand	8.1	50-60 / 50-60	35-50 / 45-75	35-40 / 40-45
– Wald	8.1	50-60 / 50-60	35-40 / 40-45	35-50 / 35-40
<b>Meeresbrandung</b>				
– Strand, 25 m entfernt	8.2	75	55-70	keine Angabe
– Felsenkliff, 250 m entfernt	8.2	70	55-65	keine Angabe

1) Lineare Terzpegel (unbewertet)

2) Für Windenergieanlagen: Aus 10-Sekunden Werten (vgl. Abbildungen des G-Pegel in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit)

3) Für Straßenverkehr (Würzburg) und Städtischer Hintergrund (Karlsruhe): Aus Mittelungspegeln über eine Stunde

4) Für Bundesautobahn und Pkw-Innenpegel: Aus Mittelungen über mehrere Minuten

5) Für Geräuschquellen im Wohngebäude: Aus Mittelungspegeln typischer Betriebszyklen

6) Die Windmessung erfolgte stets am Messpunkt MP1 (Wiese).