

Schallimmissionsprognose bei tieffrequenten Geräuschen

Christoph Fritzsche¹, Lucas Eckert², Christian Schulze² und Jörn Hübelt²

¹ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, E-Mail: christoph.fritzsche@smul.sachsen.de

² Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH, E-Mail: info@akustikforschung.de

Einleitung

Um die immissionsschutzrechtlichen Pflichten des Betreibers einer Anlage hinsichtlich des Schallschutzes konkret zu benennen, sollen die höchstzulässigen Schallemissionen im Genehmigungsbescheid festgelegt werden. Diese werden in der Regel anhand einer Schallimmissionsprognose nach DIN ISO 9613-2 [1] so bestimmt, dass die in der Umgebung, d. h. außen geltenden Immissionsrichtwerte sicher eingehalten werden. Bislang gibt es jedoch kein genormtes Prognoseverfahren für tieffrequente Schallimmissionen, denn diese sind gemäß DIN 45680 [2] innerhalb von geschlossenen Räumen zu beurteilen.

Man behilft sich deshalb bei der Planung und Genehmigung von Anlagen mit verschiedenen, nicht genormten Verfahren zur Beurteilung der tieffrequenten Schallimmissionen [3]. Die Genehmigungsbehörden in den einzelnen deutschen Bundesländern machen diesbezüglich keine einheitlichen Vorgaben. Die verschiedenen Verfahren führen zum Teil zu sehr verschiedenen Ergebnissen. Anforderungen an den Schalleistungspegel der 100-Hz-Terz können sich im Extremfall um 28 dB unterscheiden.

Das Ziel der hier vorgestellten Untersuchung ist es deshalb, ein Verfahren für die Ermittlung der höchstzulässigen tieffrequenten Schallemissionen einer Anlage zu finden, für welche mit angemessener Sicherheit schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [4] ausgeschlossen werden können.

Konzept

Ausgehend von in einem Aufenthaltsraum nicht zu überschreitenden Terz-Schalldruckpegeln tieffrequenter Geräuschimmissionen, derzeit entsprechend den Anhaltswerten gemäß Beiblatt 1 zu DIN 45680:1997-03 [5], sollen also die höchstzulässigen Terz-Schalleistungspegel der Anlage ermittelt werden. Von den Terz-Schalldruckpegeln an einem Punkt vor diesem Raum außerhalb des Gebäudes lässt sich mithilfe einer Schallausbreitungsrechnung, z. B. nach [1], auf die entsprechenden Terz-Schalleistungspegel der Schallquelle zurückrechnen. Was fehlt sind die Terz-Schallpegeldifferenzen zwischen diesem Punkt außen und dem maßgeblichen Immissionspunkt innen im Raum. Diese werden von den Eigenschaften der beteiligten Außenbauteile sowie von denen des Raumes bestimmt. Selbst wenn die Bau-Schalldämmmaße der betreffenden Bauteile im hier interessierenden Frequenzbereich bekannt wären, was sie selten sind, ließen sich die Schalldruckpegel im Raum aufgrund seiner Eigenfrequenzen (Raummoden) nur schwer abschätzen. Dies wird in Abbildung 1 deutlich anhand der starken

Frequenzabhängigkeit des Schalldruckpegels bei Frequenzen unterhalb von 63 Hz. Dargestellt ist dort der bei der Voruntersuchung gemessene Schalldruckpegel im Raum an zwei Mikrofonpositionen in einer Raumecke bei breitbandiger Lautsprecher-Anregung von außen.

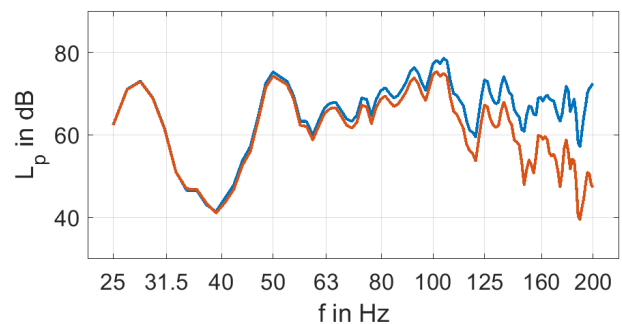


Abbildung 1: Schalldruckpegel L_p im Raum bei Rauschanregung von außen, Mikrofon in einer Raumecke mit einem Abstand zu jeder Begrenzungsfläche von ca. 0,05 m (blau) bzw. 0,5 m (rot)

Das Konzept besteht nun darin, durch Messungen an vielen repräsentativen Räumen die Mittelwerte und Standardabweichungen der Terz-Schallpegeldifferenzen zwischen außen und innen direkt zu ermitteln. Somit ließe sich einerseits die Größenordnung der zu erwartenden Schallpegeldifferenzen angeben und andererseits ein Vertrauensbereich für ein bestimmtes Vertrauensniveau, gegebenenfalls für verschiedene Fallkonstellationen.

Betrachtet wird hier der Frequenzbereich der Terzbänder mit den Mittenfrequenzen von 25 Hz bis 200 Hz – zum einen im Terzspektrum und zum anderen in einem schmalbandigeren FFT-Spektrum.

Voruntersuchungen

Beispielsweise in Veröffentlichungen von Hoffmeyer und Jakobsen [6] [7] werden solche oben genannten Schallpegeldifferenzen beschrieben. Ein Artikel von Pedersen et al. [8] befasst sich mit der Schalldruckpegelverteilung im Raum bei tiefen Frequenzen und führt zu der Frage, an welchem Punkt im Raum der für die Beurteilung maßgebliche Schalldruckpegel zu suchen ist. Nach DIN 45680 [2] ist dies derjenige mit der höchsten Belastung, wobei jedoch der Abstand zu den Raumbegrenzungsflächen nicht kleiner als 0,5 m sein darf. Abbildung 1 zeigt den Einfluss des Abstandes der Mikrofonposition von einer Raumecke anhand zweier Mikrofonpositionen. Die gemessenen Schallpegeldifferenzen zwischen den Mikrofonen an mehreren solchen Paaren von Eckpositionen und deren Mittelwerte sind in Abbildung 2 dargestellt – hier im Frequenzbereich bis 300 Hz, um zu zeigen, dass

es keine stetig steigende Kurve ist.

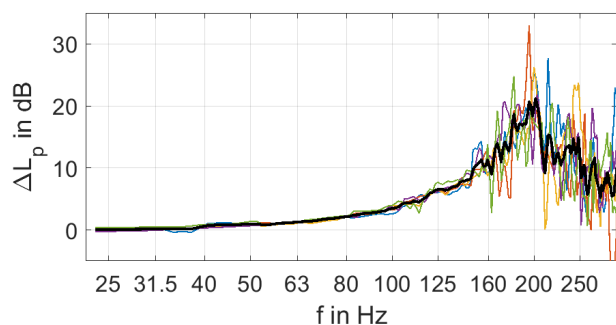


Abbildung 2: Schalldruckpegeldifferenzen ΔL_p zwischen jeweils 2 Mikrofonen in verschiedenen Raumecken mit einem Abstand zu jeder Begrenzungsfläche von ca. 0,05 m bzw. 0,5 m bei Rauschanregung von außen, farbig: einzelne Mikrofonpaare, schwarz: Mittelwerte daraus

Es ist erkennbar, dass zwischen den beiden Mikrofonpositionen zumindest im interessierenden Frequenzbereich bis zur 100-Hz-Terz eine deutliche Abhängigkeit besteht, sodass die betreffenden Pegel ineinander umgerechnet werden können. Hier sind die höheren Pegel immer direkt in den Ecken (Abstand ca. 0,05 m, auch 3D-Ecken genannt) anzutreffen, was durch die Überlagerung der reflektierten Wellen (konstruktive Interferenz) zu erklären ist. Die Schalldruckpegel in den Ecken eines Raumes wurden auch, ähnlich wie in [8], verglichen mit den Schalldruckpegeln an zufällig gewählten Punkten im Raum mit mehr als 0,5 m Abstand zu Raumbegrenzungsflächen. Die über die hier untersuchten 35 Räume gemittelten Standardabweichungen der Terz-Schalldruckpegel in 3D-Ecken bzw. an zufällig gewählten Punkten zeigt Abbildung 3.

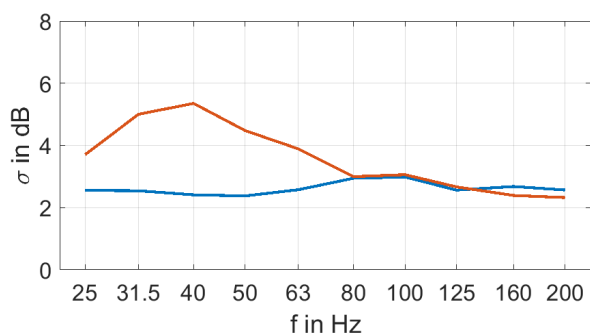


Abbildung 3: Standardabweichungen σ der Terz-Schalldruckpegel im Raum – blau: an Eckpunkten (3D-Ecken, Abstand zu Raumbegrenzungsflächen ca. 0,05 m), rot: an zufällig gewählten Punkten

Im Frequenzbereich der tiefsten Raummoden sind die Schalldruckunterschiede zwischen den zufällig im Raum verteilten Punkten offenbar besonders groß, während die Unterschiede zwischen den verschiedenen Raumecken gleichmäßig über den betrachteten Frequenzbereich verteilt sind. Die Schalldruckpegel in den 3D-Ecken erscheinen somit besser geeignet für die Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen.

Erste Ergebnisse

Insgesamt wurden an 35 Objekten, d. h. Räumen Messungen durchgeführt. Die untersuchten Räume weisen Grundflächen von ca. 10 bis 61 m² und Volumina von ca. 33 bis 214 m³ auf. Der Anteil der Fensterfläche an den Außenbauteilen lag zwischen 10 und 90 %. Die Auswertungen der Messungen sind jetzt, im März 2020 noch nicht abgeschlossen. Hier werden deshalb noch keine endgültigen Ergebnisse veröffentlicht.

Beispielhaft sind in Abbildung 4 Terz-Schalldruckpegel-Differenzen zwischen außen und innen von acht Messobjekten angegeben – innen jeweils für vier Mikrofonpositionen in den Ecken (3D-Ecken) und vier Mikrofonpositionen verteilt im Raum. Außen wurde an drei Punkten gemessen: direkt vor der Außenwand, direkt vor der Fensterscheibe und 0,5 m vor dem geöffneten Fenster, welches für die Innenmessungen jedoch geschlossen war. Der Messpunkt vor dem geöffneten Fenster stellt den Bezug her zum Immissionsort außen, für welchen Schallimmissionspegel bei Schallimmissionsprognosen z. B. nach [1] berechnet werden. Bei letzteren wird die Rückwirkung des Raumes hinter dem geöffneten Fenster standardmäßig vernachlässigt. Der Vergleich der Schalldruckpegel direkt vor der Fassade und vor dem geöffneten Fenster zeigt jedoch, dass gerade bei tiefen Frequenzen diese Raumrückwirkung relevant ist, d. h. der Pegel vor dem geöffneten Fenster ist nicht identisch mit dem, der sich einstellte, wenn dort kein Gebäude stünde, sondern eine große Freifläche wäre.

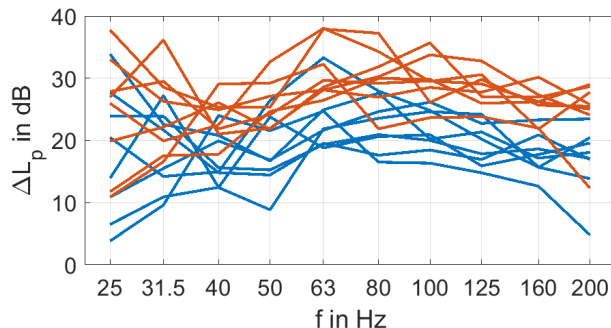


Abbildung 4: Beispiel-Ergebnisse von acht Messobjekten: jeweils mittlere Terz-Schalldruckpegel-Differenzen ΔL_p zwischen außen und innen – blau: Raumecken, rot: verteilt im Raum

Wie man in Abbildung 4 sehen kann, sind im Mittel die Schalldruckpegeldifferenzen zu den Messpunkten in den Ecken geringer als zu den im Raum verteilten Punkten. Die Streubreite der Ergebnisse ist allerdings erheblich.

Gegenstand der Untersuchungen ist auch der Einfluss von Einzeltönen im Anregungsspektrum. Hierzu zeigt Abbildung 5 beispielhaft in einem Raum die Schalldruckpegeldifferenzen im Terzspektrum und im FFT-Spektrum mit einer Linienbreite von 1,5625 Hz. Die höhere Frequenzauflösung der FFT zeigt eine stärkere Frequenzabhängigkeit der Pegeldifferenz. Bei Anregung durch einen Einzeltönen wie z. B. durch die Zündfrequenz eines Verbrennungsmotors kann, je nach Frequenz, die Pegeldifferenz von außen nach innen in gewissem Maß von der

abweichen, die bei breitbandiger Anregung für das entsprechende Terzband ermittelt wurde. Anhand der Statistik der vielen Messwerte kann für die Prognose ein Sicherheitszuschlag abgeleitet werden, der diesen Effekt berücksichtigt.

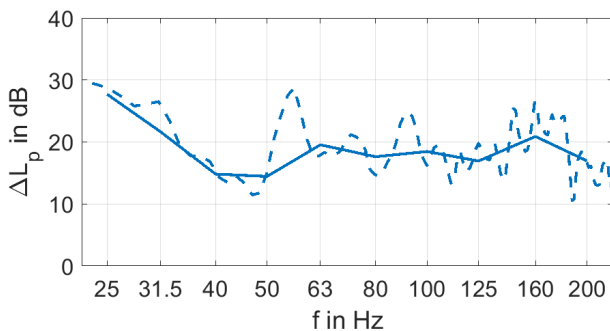


Abbildung 5: Schalldruckpegeldifferenzen ΔL_p zwischen außen und innen (3D-Ecke) in Terzbändern (durchgezogen) bzw. im FFT-Spektrum (gestrichelt)

Ausblick

Nach Auswertung aller Messergebnisse wird sich zeigen, inwieweit eine Klassifizierung der Eigenschaften der Außenbauteile und der Räume möglich ist und zu geringeren Streubreiten der Schalldruckpegeldifferenzen zwischen außen und innen führt. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass das aus den Untersuchungen abgeleitete Verfahren praktikabel sein muss, auch hinsichtlich der Prüfbarkeit der Annahmen und Ergebnisse.

Die Messergebnisse der hier vorgestellten Untersuchungen sollen außerdem noch mithilfe von publizierten Messergebnissen sowie Simulationsberechnungen eingeordnet und validiert werden. Der Abschlussbericht mit den wesentlichen Ergebnissen wird für Sommer 2020 erwartet. Er soll in der Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) veröffentlicht werden. Das LfULG plant außerdem für den 22. September 2020 in Dresden eine Veranstaltung, auf welcher u. A. die Ergebnisse dieses Projektes vorgestellt werden sollen.

Danksagung

Die Autoren danken all jenen, die das Projekt unterstützt und ihre Räumlichkeiten für die Messungen zur Verfügung gestellt haben.

Literatur

- [1] DIN ISO 9613-2:1999-10, Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO 9613-2:1996), Beuth-Verlag, Berlin, 1999
- [2] DIN 45680:1997-03, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft, Beuth-Verlag, Berlin, 1997
- [3] Schmidt, M.: Forschungsvorhaben zur Messung und Prognose der Einwirkung tieffrequenter Schalle an Immissionsorten für DIN 45680 - Abschlussbericht Nr. M111460/05, Müller-BBM GmbH, 2016, S. 121 ff.

- [4] Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17.5.2013 I 1274; zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 8.4.2019 I 432
- [5] DIN 45680 Beiblatt 1:1997-03, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft - Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen, Beuth-Verlag, Berlin, 1997
- [6] Hoffmeyer, D., & Jakobsen, J. (2010). Sound insulation of dwellings at low frequencies. *Journal of low frequency noise, vibration and active control*, 29(1), 15-23
- [7] Jakobsen, J. (2012). Danish regulation of low frequency noise from wind turbines. *Journal of low frequency noise, vibration and active control*, 31(4), 239-246
- [8] Pedersen, S., Møller, H., & Waye, K. P. (2007). Indoor measurements of noise at low frequencies—Problems and solutions. *Journal of low frequency noise, vibration and active control*, 26(4), 249-270