

## Konzepte für die Prognose tieffrequenter Schalle

Maximilian Mühlbacher<sup>1</sup>, Christian Eulitz, Ulrich Möhler

Möhler + Partner Ingenieure AG, 80336 München, Germany, E-Mail: maximilian.muehlbacher@mopa.de

<sup>1</sup> Referent

### Einleitung

Störende Lärmwirkungen durch tieffrequente Schalle müssen in der Regel erst durch Messungen festgestellt werden, bevor sie erkannt werden. Die Betroffenen haben bis dahin häufig bereits einen mehrjährigen Leidensweg hinter sich und empfinden das dauerhafte Auftreten von technischen Geräuschen externer Verursacher in ihrem Wohnungsumfeld - bereits im Bereich an ihrer Wahrnehmungsschwelle - als erhebliche Belästigung oder sogar als Gesundheitsgefahr. Eine wesentliche Ursache für dieses planerisch ungelöste Konfliktpotential ist das Fehlen eines einheitlichen Prognoseverfahrens für tieffrequente Geräusche. Häufig sind bereits die Emissionsparameter von geplanten Anlagen nicht oder nur unzureichend bekannt. Bereits die Berechnungsmethode für die Luftschallausbreitung technischer Schallquellen, entsprechend der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm [1]), ist für orographisch gegliedertes Gelände, hoch liegende Schallquellen oder Schalle unterhalb der 63 Hz- Oktav nach DIN EN ISO 9613-2 [2] nicht oder nur mit Einschränkungen anwendbar. Vielschichtig sind zudem die individuellen Einflüsse in der Nachbarschaft selbst (Gebäude-/Raumreaktionen auf tieffrequente Luft- und Körperschallimmissionen). Es sollten Konzepte für die Prognose tieffrequenter Schalle aufgezeigt werden.

### Abschätz- und Prognoseverfahren Konventionelle Methode

Die Außenlärmpegel von gewerblich-technischen Geräuschen werden in der Prognose nach A.2 der TA Lärm gemäß der DIN EN ISO 9613-2 [2] in Oktaven von 63 Hz bis 8 kHz berechnet. Wobei Standardsoftware auf Terzen von 12,5 Hz bis 10 kHz extrapolieren. Seit 1999 hat sich zur Prognose tieffrequenter Schalle innerhalb eines Gebäudes in der Praxis folgender vereinfachter Ansatz nach DIN ISO 9613-2 [2] als konventionelle Methode etabliert.

$$L_{fT} = L_W - A_{div} - A_{gr} - A_{bar} - dL \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Dabei sind

$L_{fT}$  äquivalenter Dauerschallpegel (Oktav-/Terzbandbreite);

$L_W$  Schalleistungspegel (Oktav-/Terzbandbreite);

$A_{div}$  Dämpfung aufgrund geometrischer Ausbreitung (Abstandsmaß);

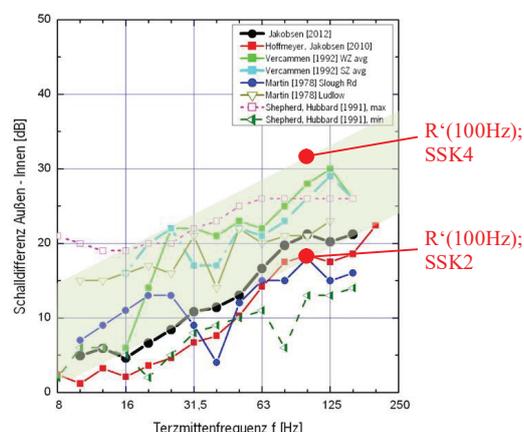
$A_{gr}$  Dämpfung aufgrund des Bodeneffektes;

$A_{bar}$  Dämpfung aufgrund von Abschirmung (Wände, Gebäude);

$dL$  Übertragungsmaß zwischen Außen- und Innenpegel,  $dL = \text{Außenpegel} - \text{Innenpegel}$ .

Die in der DIN EN ISO 9613-2 [2] genannten Ausbreitungsparameter zur Richtwirkungskorrektur, zur Luftabsorption, zur meteorologischen Korrektur sowie zusätzliche Dämpfungselemente bleiben bei diesem vereinfachten Prognoseansatz unberücksichtigt, da ihr Einfluss im tieffrequenten Bereich vernachlässigbar gering ist.

Die Schalldämmung von verschiedenen Außenbauteilen ist im (erweiterten) Frequenzbereich von 50 Hz bis 5 kHz aus Prüfungen bekannt. Für die Ermittlung des Übertragungsmaßes  $dL$  wird in Näherung das Schalldämmmaß des Fensters zum Ansatz gebracht, da das Fenster üblicherweise das schwächste Außenbauteil darstellt. Dabei wird, sofern keine genaueren Daten zur Verfügung stehen, das Schalldämmmaß des Fensters bei 100 Hz  $R'(100\text{Hz})$  (in Richtung kleinerer Frequenzen) linear mit einer Abnahme von 6 dB/Oktave (Bergersches Massengesetz) verlängert. Zur Prüfung der Repräsentativität dieses Ansatzes wurden die verlängerten Kennlinien eines mittleren SSK4 sowie eines mittleren SSK2 Fensters mit Messergebnissen von  $dL$  aus der Literatur verglichen. Nachfolgende Abbildung stellt übliche min/max - Werte für diesen Vergleich dar.



**Abbildung 1:** Übertragungsmaß  $dL$  anhand Bergerschem Massengesetz im Bereich  $< 100$  Hz für mittlere SSK4 bzw. SSK 2 Fenster (ausgegrauter Bereich) im Vergleich zu veröffentlichten Messwerten.

Das Ergebnis dieser Abschätzung bzw. Prognose ist einem gemessenen Geräusch im Innenraum äquivalent und kann gemäß Beiblatt 1 zu DIN 45680 [3] beurteilt werden. Dies bezieht sich auf die Bewertung von Einzeltönen sowie breitbandigen Geräuschen entsprechend DIN 45680 i.d.F. 1997 [3].

In Deutschland existieren verschiedene Abschätzverfahren für tieffrequente Geräusche einzelner Anlagentypen.

Beispielsweise findet im Land Mecklenburg-Vorpommern (MV) durch einen Erlass für Biogasanlagen seit 2009 ein Prognosemodell Anwendung, das Gleichung 2 ohne den Übergang  $dL$  anwendet [5]. Dieser ist Bestandteil der Bewertung, die für den tieffrequenten Terzbandpegel außen erfolgt.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (Bay. LfU) hat in dem Leitfaden für Biogasanlagen 2011 ein Prognosemodell veröffentlicht. Dabei wird im Gegensatz zu MV die Gebäudeabschirmung  $A_{bar}$  nicht angesetzt und dafür das Übertragungsmaß  $dL$  im relevanten Frequenzbereich von Biogasanlagen (50 Hz bis 100 Hz) pauschal mit 15 dB angesetzt. Zusätzlich wird der Schalleistungspegel der Quelle mit einem Raumwinkelmaß von  $K_0 = 3$  dB vergleichbar einem negativen Bodeneffekt beaufschlagt [6].

Das Thüringer Landesamt für Umwelt und Geologie TLUG hat im Jahr 2013 den Prognoseansatz des Bay. LfU erweitert, in dem die Anwendung eines spezifischen spektralen Übertragungsmaßes  $dL$  im Frequenzbereich gemäß [3] und ein modifiziertes Raumwinkelmaß von  $K_{0,mod} = 6$  dB in Ansatz gebracht werden (vgl. [7]).

Vorteile dieser Prognoseabschätzverfahren sind die hohe Prognosesicherheit, die durch die Überschätzung der tatsächlichen Immissionssituation im vorbeugenden Immissionsschutz für die Genehmigung von Einzelanlagen der Konfliktlösung dient, sowie der einfache Verwaltungsvollzug.

Nachteile dieser Prognoseabschätzmethoden sind jedoch, dass

- die Summationswirkung verschiedener Quellen unberücksichtigt bleibt, z. B. Wärmepumpen, Klimageräte, Biogasanlage und Industrie-/Gewerbebetriebe, die gleichzeitig in und auf Wohngebiete wirken,
- geometrische Ausbreitungsberechnungen (DIN EN ISO 9613-2) unterhalb 63 Hz nicht gesichert sind, insbesondere der Boden-/Geländeeffekt  $A_{gr}$  und die Bebauung  $A_{bar}$  erheblichen Abweichungen unterliegen kann,
- individuelle Einflüsse des Immissionsortes nicht explizit berücksichtigt werden können (Gebäude-/Raumreaktionen, stehende Wellen usw.),
- ausschließlich primäre Luftschallübertragungen betrachtet werden,
- die hohen Prognosesicherheiten bei zunehmend urbaner Verdichtung nicht mehr möglich sind, insbesondere kein Spielraum für die Planung von heranrückendem Wohnen erlauben,
- die Verfahren zu ungenau sind, insbesondere für Frequenzen unter 50 Hz, z. B. für Windenergieanlagen nicht ausreichend sind und
- es kein einheitliches Prognoseverfahren gibt, politische Setzungen oder normative Regelungen zur Prognose fehlen.

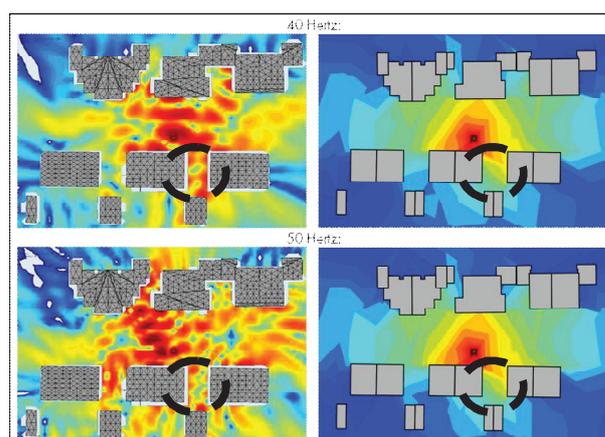
## Vorschlag eines Prognosemodells

Zur Verbesserung und Vereinheitlichung der Prognosemethodik hinsichtlich vorgenannter Nachteile wird folgendes Prognosemodell vorgeschlagen:

$$L_{JT} = L_W - A_{div} - A_{gr*} - A_{bar} - dL + K_{ABE} + K_{RAE} + (K_{KSE}) \quad [dB] \quad (2)$$

$L_{JT}$	äquivalenter Dauerschallpegel <u>innen</u> (Terzbandbreite);
$L_W$	Schalleistungspegel (Terzbandbreite);
$A_{div}$	$[20\lg(d/1m)+11]$ dB (Abstandsmaß für Abstand d);
$A_{gr*}$	für $d < 300$ m = -3 dB, für $d > 300$ m = $[-3*(1-300/d)-3]$ dB (vereinfachter Bodeneffekt $A_{gr*}$ {-3, -6});
$A_{bar}$	Dämpfung aufgrund von Abschirmung (DIN ISO 9613-2);
$dL$	$dL_{Terz} = [20\lg(f_{Terz}) + R'(100Hz) - 40]$ dB mit $R'(100Hz)$ gemäß Prüfzeugnis des Fensters, soweit keine genaueren Angaben vorliegen
$K_{ABE}$	Einflüsse bei tieffrequenter Schallausbreitung
$K_{RAE}$	Raumakustische Einflüsse (insb. stehende Wellen)
$K_{KSE}$	Einfluss Körperschall und Sekundärluftschall mit eigenem Prognoseanteil aus $L_v(f_{Terz}) + 10\lg(4S/A(f_{Terz})) + 10\lg(\sigma(f_{Terz}))$

Die Einflüsse bei tieffrequenter Schallausbreitung  $K_{ABE}$  können durch Lösung der Wellengleichung mittels der Boundary Element Method (BEM) ermittelt werden. Nachfolgende Abbildung stellt eine vergleichende Simulation typischer Ausbreitungssituationen mit BEM sowie DIN EN ISO 9613-2 [2] am Beispiel einer Wärmepumpe in einer Wohnsituation in den Frequenzen 40 Hz und 50 Hz dar.

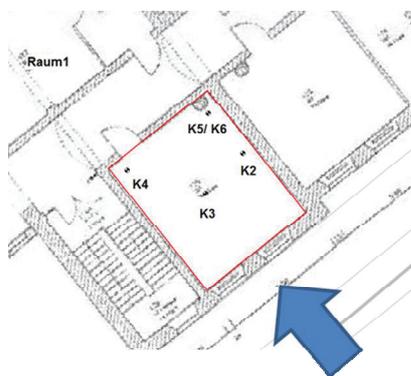
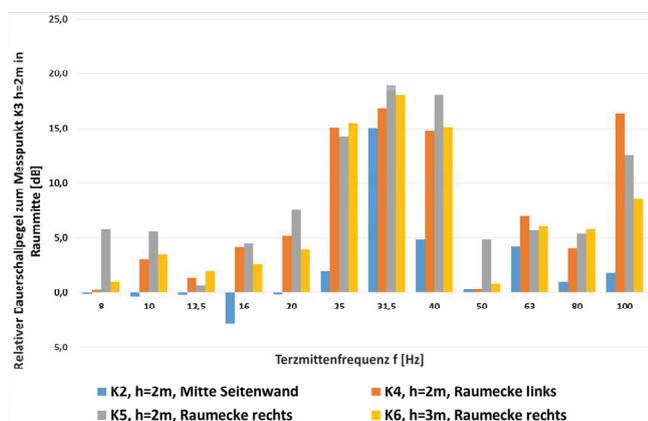


**Abbildung 2:** Vergleichende Simulation tieffrequenter Schallausbreitung mit BEM (links) und DIN EN ISO 9613-2 (rechts) für 40 Hz und 50 Hz

Abbildung 2 zeigt, dass es beispielsweise an abgeschirmten Hausfassaden zu einer deutlichen Überschätzung der Ausbreitungssituation durch  $A_{bar}$  kommen kann (in diesem

Beispiel bis zu 23 dB bei 50 Hz mit einem ungünstigen Gebäudeabstand von  $\lambda/2 = 3,6$  m), die mittels  $K_{ABE}$  korrigiert werden muss.

In bisherigen Prognosemodellen wurde vereinfacht davon ausgegangen, dass der Raumeffekt im dL enthalten ist, was jedoch nicht in jedem Fall hinreichend ist. Da die Schallverteilung innerhalb eines Raumes stark von dessen Geometrie abhängt, werden höhere Innenpegel insbesondere an den Raumbegrenzungsflächen entstehen. Der Effekt lässt sich auch messtechnisch quantifizieren. Dazu wurde eine Innenpegelmessung in einem ehemaligen Krankenhaus durchgeführt. Die Höhe des Messraums betrug 4m bei einer Grundfläche von 36m<sup>2</sup>. Die tieffrequente Geräuschquelle war in einer gegenüberliegenden Brauerei. Die Messmikrofone wurden in mindestens 0,5 m von den Begrenzungsflächen des Raumes (Raumecken, Wand) sowie in Raummitte platziert. Nachfolgende Abbildung stellt das Ergebnis dar. Der blaue Pfeil zeigt die beschallte Außenfläche (Lage der Brauerei).



**Abbildung 3:** Messwertvergleich Innenraumpegel in den Raumecken zum Innenpegel in Raummitte (oben) in einem ausgewählten Raum (unten); Mikrofonhöhen  $h = 2$  m für K2, K3, K4, K5 und  $h = 3$  m für K6

Der in Abbildung 3 dargestellte Messwertvergleich zeigt, dass im Extremfall (ohne Einrichtung) in den Raumecken bei einzelnen Terzbändern von 25 Hz, 31,5 Hz, 40 Hz und 100 Hz in den Raumecken um ca. 15 – 18 dB höhere Innenraumpegel als in Raummitte auftreten.

Für Prognosemodelle können diese raumakustischen Einflüsse mittels Finite Element Method (FEM) ermittelt werden. Anhand der Bauteileigenschaften (Materialien sowie Bauweise der Böden sowie Raumbegrenzungsflächen)

können mittels FEM die Raumresonanzen und somit die raumakustischen Einflüsse ermittelt werden. Jedoch besteht hierzu weiterer Forschungsbedarf, da einheitliche Festlegungen für die Korrekturwerte fehlen und mit verhältnismäßigem Aufwand nicht alle möglichen Raumsituationen in der Nachbarschaft vorausberechnet werden können (Erfordernis einer Kategorisierung).

## Ausblick und Fazit

Zur Einführung bundesweiter Standards bei der Prognose tieffrequenter Schalle besteht allgemein ein Bedarf nach einem einheitlichen Prognosemodell.

Es besteht weiterer Forschungsbedarf, um einerseits anhand von Musterberechnungen mittels BEM-Simulation typischer Ausbreitungssituationen pauschale Faktoren für tieffrequente Einflüsse bei der Schallausbreitung im Freien zu erhalten. Andererseits können durch Musterberechnungen anhand von typischen Raumgeometrien bzw. typisierender Bauwerkseigenschaften mittels FEM-Simulation pauschale Faktoren ermittelt werden, um Raumeffekte im Inneren abbilden zu können. In Anlehnung an andere Regelwerke (z. B. DIN 4150-3 [4]) erscheint eine Klassifizierung der Immissionsorte hinsichtlich standardisierter Bauwerkseigenschaften bzw. Ausbreitungssituationen zweckmäßig, die eine im Einzelfall widerlegbare Regelvermutung darstellen.

Naturgemäß können mit verhältnismäßigem Aufwand nicht alle Einflüsse für den Einzelfall ermittelt werden. Daher erscheinen Setzungen bzw. Festlegungen notwendig.

## Literatur

- [1] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum BImSchG, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm), vom August 1998
- [2] DIN ISO 9613-2 „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien“, Oktober 1999
- [3] DIN 45680 mit dem Beiblatt 1, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft – Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen, März 1997
- [4] DIN 4150-3, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen
- [5] Biogasleitfaden Mecklenburg-Vorpommern 8/2012, Anlage 4 zu den Nummern 3.6 und 4.2.2, Überschlägige Prognose und Beurteilung der tieffrequenten Schallimmissionen des BHKW-Abgaskamins im Freien – Hinweise für die Genehmigung und Überwachung
- [6] Bayerisches Landesamt für Umwelt, Tieffrequente Geräusche bei Biogasanlagen und Luftwärmepumpen Ein Leitfaden, Stand: Februar 2011
- [7] Freistaat Thüringen, Thüringer Landesamt für Umwelt und Geologie, Ein Ansatz für die Schallimmissionsprognose tieffrequenter Geräusche, Seminar 17/2013, Stand: 29. Mai 2013