

Dr. Rainer Kubicek – Fachgebietsleiter Lärmschutz im Staatlichen Umweltfachamt Chemnitz (zum Zeitpunkt des Seminars),
jetzt freier Mitarbeiter des Ing.-Büros für Lärmschutz Förster & Wolgast, Chemnitz

Mitautor der DIN 45680 und des Beiblattes 1 der DIN 45680 von 1997

Schutz vor tieffrequenten Geräuschen nach DIN 45680 – Anforderungen an Messung und Beurteilung

1. Problemstellung

Der bei der Auswertung von Nachbarschaftsbeschwerden über Lärmbelästigungen durch Anlagen sowie in der Lärmwirkungsforschung in den zurückliegenden Jahren erreichte Erkenntnisgewinn führte zu der begründeten Forderung, für spezielle Geräuschmissionen gesonderte Lärmbewertungsverfahren zu entwickeln und in das Regelwerk zur Lärmbewertung aufzunehmen.

Eine spezielle Geräuschart, deren Störf Wirkung nicht mittels der herkömmlichen Lärmbewertungsverfahren auf der Grundlage des weltweit angewandten A-bewerteten Schalldruckpegels lästigkeitsadäquat beurteilt werden kann, ist der tieffrequente Schall (einschließlich des Infraschalls). Für Geräuschmissionen infolge tieffrequenten Schalls sind Mess- und Bewertungsverfahren anzuwenden, die auf die besonderen wirkungsspezifischen Eigenschaften tieffrequenter Schallenergien abstellen.

Die für Anlagengeräusche seit 01.11.1998 gültige TA LÄRM bietet die Möglichkeit, auch tieffrequente Geräuschmissionen zu beurteilen. Hierzu wird in der TA Lärm folgendes ausgeführt:

7. Besondere Regelungen

7.3 Berücksichtigung tieffrequenter Geräusche

Für Geräusche, die vorherrschende Energieanteile im Frequenzbereich unter 90 Hz besitzen (tieffrequente Geräusche), ist die Frage, ob von ihnen schädliche Umwelteinwirkungen ausgehen, im Einzelfall nach den örtlichen Verhältnissen zu beurteilen.

Schädliche Umwelteinwirkungen können insbesondere auftreten, wenn bei deutlich wahrnehmbaren tieffrequenten Geräuschen in schutzbedürftigen Räumen bei geschlossenen Fenstern die nach Nummer A.1.5 des Anhangs ermittelte Differenz $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ den Wert 20 dB überschreitet. Hinweise zur Ermittlung und Bewertung tieffrequenter Geräusche enthält Nummer A.1.5 des Anhangs.

Anlage A 1.5 Hinweise zur Berücksichtigung tieffrequenter Geräusche

DIN 45680, Ausgabe März 1997: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft

Beiblatt 1 zu DIN 45680: Hinweise zur Beurteilung gewerblicher Anlagen

Zur messtechnischen Untersuchung und Beurteilung tieffrequenter Geräusche verweist die TA LÄRM auf die in den Jahren 1989 bis 1992 von einer Expertengruppe unter Federführung des Umweltbundesamtes Berlin (Prof. Dr. Gottlob) erarbeiteten und seit 1997 verbindlichen DIN 45680.

Im Folgenden soll durch den Autor dieses Seminarvortrages, der selbst Mitglied dieser Arbeitsgruppe war, das Mess- und Bewertungsverfahren für tieffrequente Geräuschmissionen begründet und kommentiert werden.

Der Erläuterung der tieffrequenten Schallproblematik soll die Schilderung eines schallschutztechnisch paradoxen Fallbeispiels vorangehen. Folgender Fall hat sich in der Lärmbekämpfungspraxis zugetragen:

„Nach Errichtung einer großen Entlüftungsanlage im Freien auf dem Gelände eines Gewerbebetriebes führten die unmittelbaren Anlieger der Wohnnachbarschaft Beschwerde wegen erhebliche Lärmbelastigungen durch das stationäre Geräusch dieser Entlüftungsanlage.

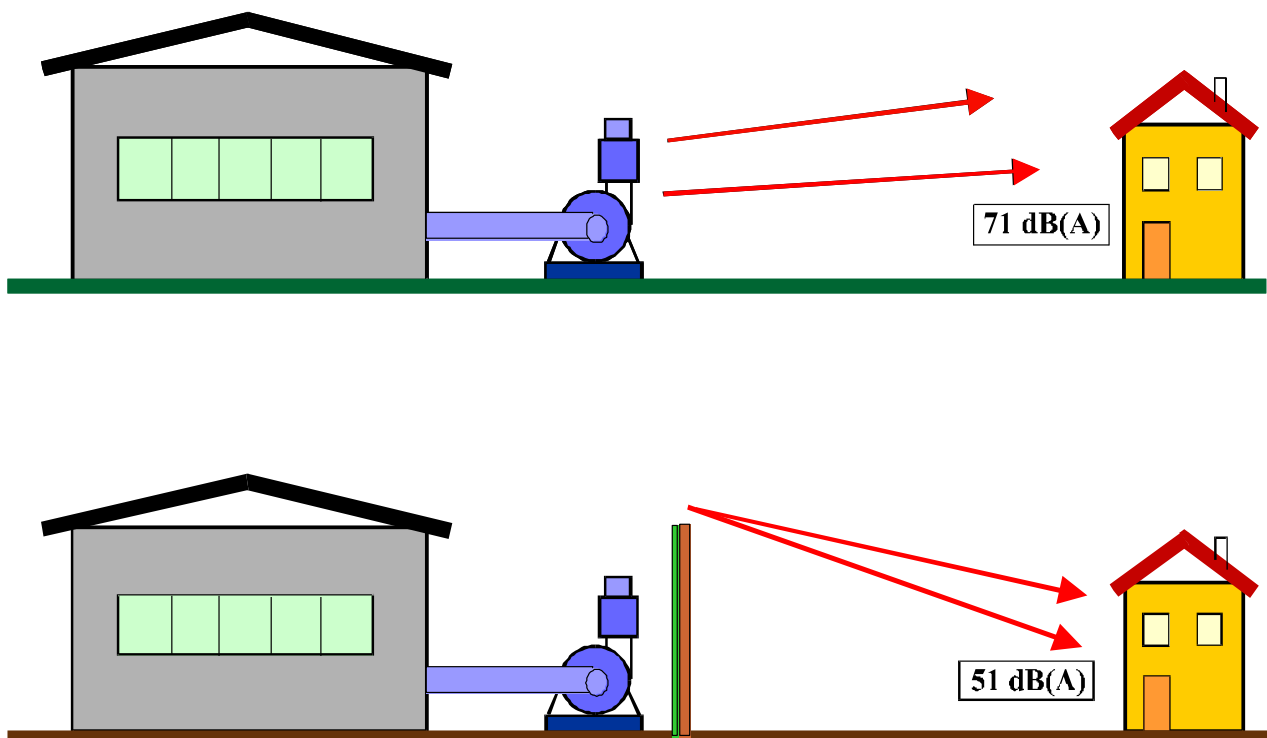
Bei Prüfung der Immissionssituation wurde am maßgeblichen Immissionsort messtechnisch ein Beurteilungspegel von **71 dB(A)** tagsüber festgestellt. Auf Veranlassung der Behörde wurde daraufhin vom Betreiber eine Schallschutzwand zur Abschirmung der Lüftergeräusche errichtet (BILD 1).

Bei der Nachmessung wurde am maßgeblichen Immissionsort nur noch ein Beurteilungspegel von **51 dB(A)** bei Betrieb der Entlüftungsanlage festgestellt, d.h. durch die errichtete Schallschutzwand war der Schalldruckpegel der lärmverursachenden Geräuschimmission um **20 dB(A) gesenkt** worden (!).

Erwartungsgemäß wäre dies als großer Erfolg der Lärmbekämpfung zu bewerten.

Paradoxe schilderten die betroffenen Anwohner, dass durch die Errichtung der Lärmschutzwand das Anlagengeräusch zwar nicht mehr so laut sei, die Störwirkung des Geräusches sei aber geblieben bzw. wäre sogar noch größer als vorher.

BILD 1: Fallbeispiel aus der Lärmbewertungspraxis



Für das geschilderte Fallbeispiel stellt sich die Frage:

Warum konnte durch den realisierten baulichen Schallschutz mit einer messtechnisch nachweisbaren Senkung des dB(A)-Pegels um 20 dB(A) die Lärmstörung nicht beseitigt werden?

Hierfür kommen zwei wesentliche Gründe in betracht, die bereits die Problematik der Beurteilung tieffrequente Geräusch verdeutlichen:

1. Offensichtlich verursacht das verbleibende tieffrequente Geräusch (die tieffrequenten Schallenergieanteile werden durch die Lärmschutzwand nur gering bzw. garnicht gedämpft) bei den Betroffenen Störwirkungen, die sich von der Wirkung des „Normalschalls“ gravierend unterscheiden müssen – und
2. die mittels der Frequenzbewertungskurve A (A-Bewertung) vorgenommene Lärmbewertung beruht auf Vorraussetzungen und Bedingungen, die offensichtlich im tieffrequenten Bereich nicht mehr gelten können.

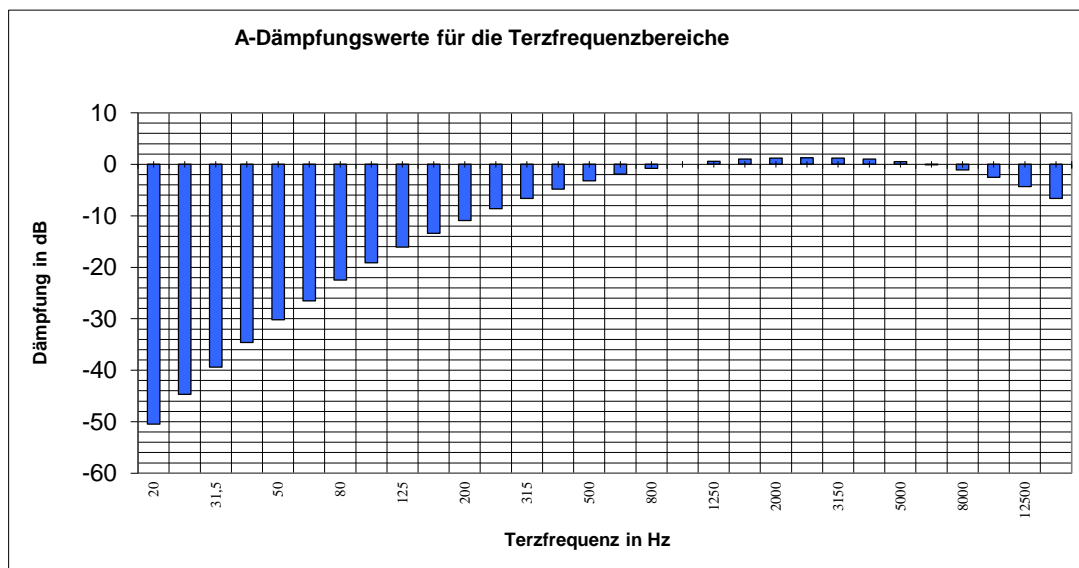
Hieraus ergibt sich als Konsequenz, dass Störwirkungen durch tieffrequente Geräusche weder durch den Betrag des dB(A)-Pegels noch durch Änderungen desselben lästigkeitsadäquat beurteilbar sind, d.h. der weltweit zur Beurteilung von Geräuschimmissionen benutzte dB(A)-Pegel ist für diese Geräuschart nicht ausreichend bzw. sogar ungeeignet.

Zur Begründung eines für tieffrequente Geräusche notwendig anzuwendenden geeigneten Lärmbewertungsverfahrens bedürfen die oben genannten beiden Fakten 1. und 2 einer Erläuterung, wobei mit letzterem, der A-Bewertung, begonnen werden soll:

2. Prinzip der A-Bewertung und Konsequenzen für den technischen Schallschutz

Die Verwendung des A-bewerteten Schalldruckpegels zur Beurteilung der Störwirkung von Geräuschen beruht auf der Lautstärkeempfindung des Menschen. Dies ist für mittel- und hochfrequente Geräuschimmissionen richtig und sinnvoll, denn für diese Geräuscharten existiert ein enger Zusammenhang zwischen Lautstärke und Lästigkeitsempfindung. Je lauter ein Geräusch gehört wird, desto lästiger ist es für den Betroffenen. Die Kenntnis der durch ein Geräusch verursachten Lautstärke wäre deshalb im Rahmen der Lärmbewertung von vorrangigem Interesse. Für eine objektive Lärmbewertung, d.h. der Verwendung objektiver und physikalisch messbare Bewertungsgrößen wie den Schalldruckpegel besteht die Schwierigkeit darin, dass die Lautstärkeempfindung nicht nur vom Schalldruckpegel abhängt sondern darüber hinaus maßgeblich vom Frequenzspektrum der an das Ohr gelangenden Schallenergie abhängt. Diese Frequenzabhängigkeit der Lautstärkeempfindung des menschlichen Ohres ist dadurch gekennzeichnet, dass Schalldruckpegel gleicher Größe für tieffrequente Schallenergien eine weitaus geringer Lautstärke bewirken als dies bei mittel- und hochfrequenten Schallenergien der Fall ist. Für Geräusche unterschiedlicher Frequenzzusammensetzung hat dies zur Konsequenz, dass das tieffrequente Geräusch wesentlicher leiser als das hochfrequente Geräusch gehört wird obwohl beide Geräusche den gleichen gemessenen Schalldruckpegel aufweisen. Um verschiedene Geräuschpegel hinsichtlich ihrer Wirkung miteinander vergleichen zu können, muss die Frequenzabhängigkeit der Lautstärkeempfindung des Ohres bei der Schalldruckpegelmessung berücksichtigt werden, indem Schallenergien tiefer Frequenzen gedämpft und Schallenergien hoher Frequenzen angehoben werden. Diese Korrektur geschieht mittels der A-Dämpfungskurve (A-Bewertungskurve) die in BILD 2 dargestellt ist.

BILD 2:



Bei der Messung des dB(A)-Pegels werden tieffrequente Schallenergieanteile um so stärker gemindert, je kleiner die Frequenz ist. Demzufolge trägt z.B. der Schallpegel der Frequenz 31,5 Hz nur um 40dB gemindert zum A-bewerteten Gesamtschalldruckpegel bei.

Besteht eine Geräusch aus dominierenden mittleren und hochfrequenten Energieanteilen, so wird deren dB(A)-Pegel alleinig durch diese gebildet. Hohe tieffrequente Spektralanteile – ob sie nun vorhanden sind oder nicht - haben keine Auswirkung auf den dB(A)-Pegelwert.

Besteht andererseits eine Geräusch nur aus dominierenden tieffrequenten Energieanteilen, ergeben sich sehr niedrige dB(A)-Pegel, weil die A-Frequenzbewertung diese tieffrequenten Spektralanteile stark dämpft.

Die A-Bewertung und die auf ihr basierenden gültigen Immissionsrichtwerte in dB(A) der TA LÄRM geben somit auch die Zielstellung der Technischen Lärmbekämpfung vor:

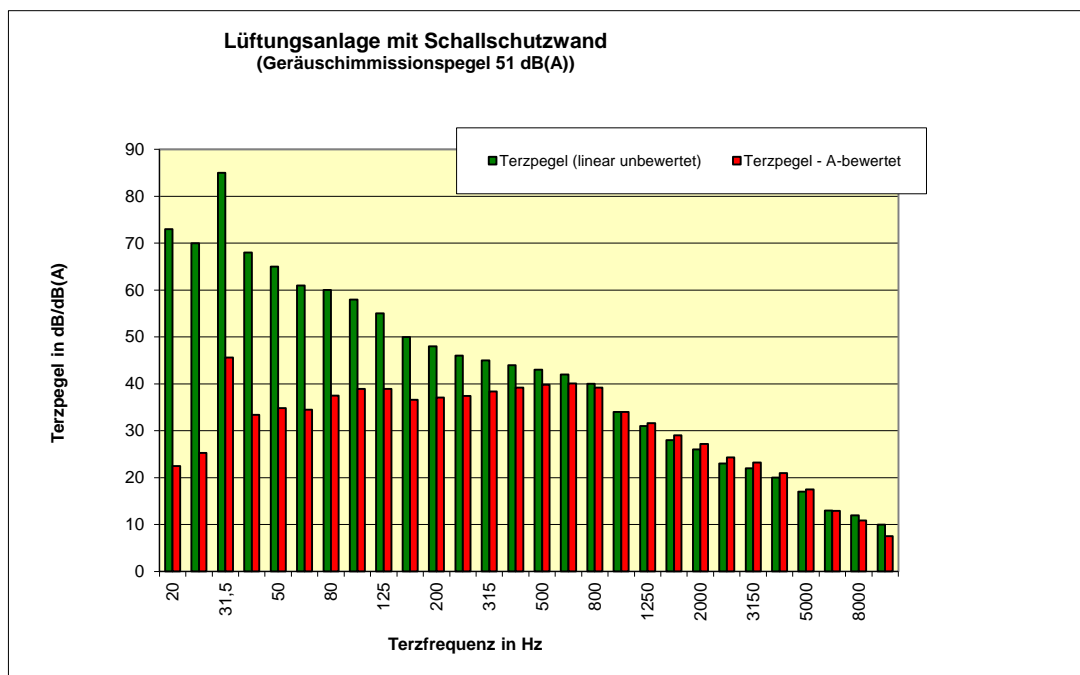
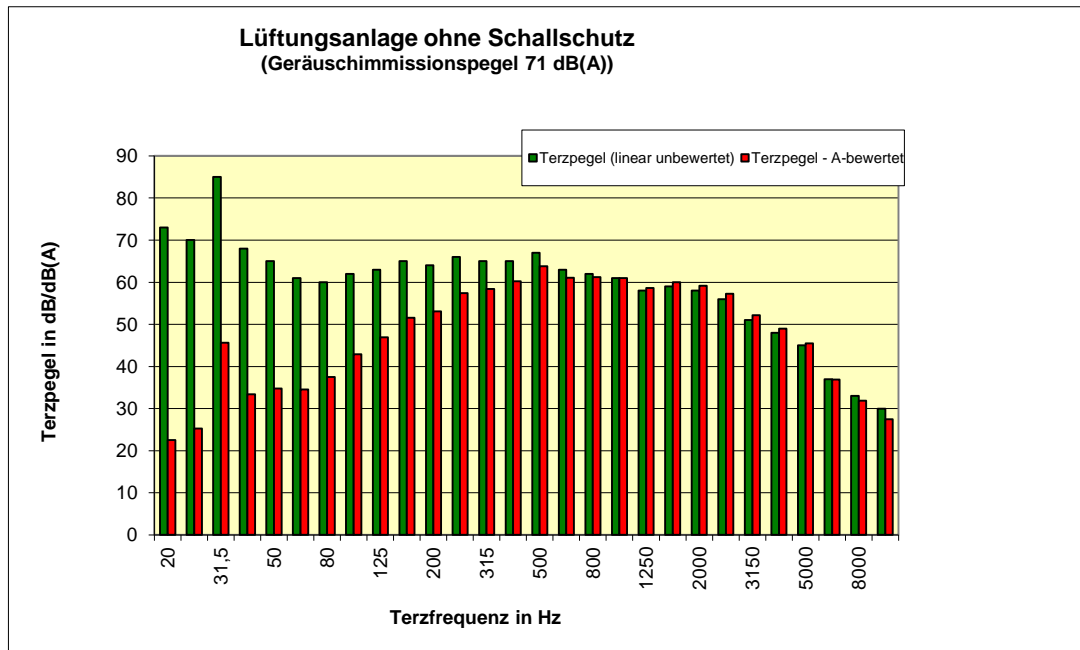
Diese wird auf die Minderung der mittleren und hochfrequenten Energieanteile im Geräuschspektrum abgestellt, weil diese in erster Linie zur Senkung des dB(A)-Pegels führen, während die tieffrequenten Schallenergieanteile erhalten bleiben können, da diese ohnehin durch die A-Dämpfungskurve gemindert werden.

Für das eingangs geschilderte Fallbeispiel ist mittels Errichtung der Lärmschutzwand dieser Effekt nachvollziehbar:

- In dem zunächst vorwiegend mittelfrequenten Anlagengeräusch ist zwar die herausragende tieffrequente Frequenzkomponente bei 32 Hz im Frequenzspektrum erkennbar, sie leistet aber aufgrund der A-Dämpfung keinen Beitrag zum dB(A)-Gesamtschalldruckpegel
- Die Errichtung der Lärmschutzwand führt erwartungsgemäß zu einer Abschirmung der mittleren und hohen Schallfrequenzen (die maßgeblich den dB(A)-Gesamtpegel bestimmen) und damit zu einer bedeutenden Senkung des dB(A)-Gesamtpegels. Dadurch wird das Geräusch im Anliegerbereich folgerichtig leiser wahrgenommen. Die tieffrequente Komponente von 32 Hz ragt nun noch deutlicher aus dem Frequenzspektrum heraus und kann jetzt unverdeckt die für tieffrequenten Schall typischen

Störwirkungen verursachen (die im nächsten Abschnitt beschrieben werden), obwohl diese Frequenz weiterhin den Wert des dB(A)-Gesamtschallpegel nicht vorrangig bestimmt (siehe Bild 3)

BILD 3:

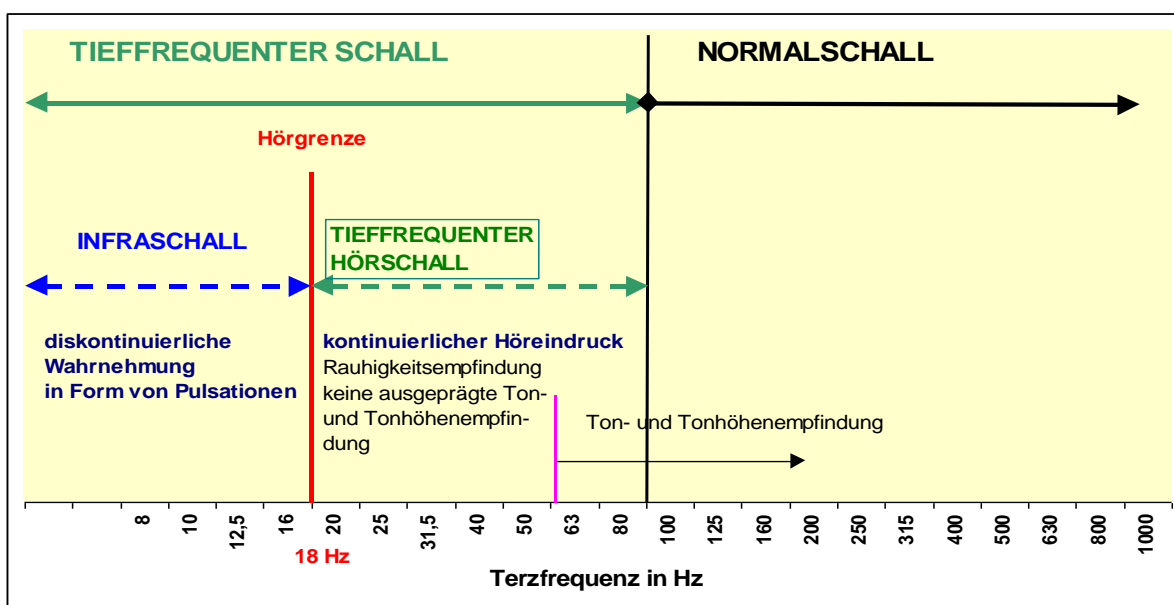


3. Zur besonderen Störwirkung tieffrequenter Geräusche

In DIN 45680 wird unter dem Begriff „Tieffrequentes Geräusch“ Schall verstanden, der vorwiegend Energieanteile im Frequenzbereich mit den Terzmittenfrequenzen von 8 Hz bis 80 Hz besitzt. Für die Wahrnehmung, Hörempfindung und Störwirkung dieser Frequenzkomponenten sind drei Bereiche zu unterscheiden (siehe auch BILD 4):

- Der Bereich unterhalb 100 Hz bis etwa 60 Hz – „Übergangsbereich“ zum normalen Hörschall – Ton- und Tonhöhenempfindung* sowie Lautstärkeempfindung** sind noch deutlich ausgeprägt
*,**Nach der Hörtheorie ist die Hörbarkeit des Frequenzbereiches mit den Terz-Mittenfrequenzen von 20 bis 20 000 Hz durch Lautstärkeempfindung und durch Ton- und Tonhöhenempfindung gekennzeichnet: Dies ist die Fähigkeit der Ohres, Schallwellen unterschiedlicher Energie laut oder leise zu hören sowie niedrige und hohe Frequenzen als tiefe oder hohe Töne und Frequenzgemische als Klänge oder Geräusche zu hören.
- Der Bereich unterhalb 60 Hz bis zur Hörgrenze (18 Hz) – Bereich des „**extrem tieffrequenter Schall**“
Ton- und Tonhöhen- sowie Lautstärkeempfindung sind nur noch schwach ausgeprägt und verschwinden zur Hörgrenze zu völlig – Töne werden nicht mehr glatt sondern rauh gehört (Rauhigkeitsempfindung), es entsteht zusätzlich eine Vibrationsempfindung
- Der Bereich unterhalb 18 Hz - Bereich des **Infraschalls** – für diese Schallfrequenzen entsteht kein kontinuierlicher Höreindruck mehr, vielmehr erfolgt nur noch eine diskontinuierliche Wahrnehmung von Pulsationen
Bei der Einwirkung von Infraschall auf Menschen kann deshalb nur noch von „Wahrnehmung“, nicht mehr von „Hörbarkeit“ die Rede sein (die Hörbarkeit setzt nach der klassischen Hörtheorie Ton- und Lautstärkeempfindung voraus)

BILD 4



Besondere Bedeutung kommt dem Bereich des extrem tieffrequenten Schalls zu, weil dort die besonderen, sich vom höherfrequenten Normalschall unterscheidenden typischen

Störwirkungen besonders ausgeprägt sind und zusätzlich infraschalltypische Wirkungen auftreten.*

Dem Infraschall kommt in der Lärmbewertungspraxis eher geringe Bedeutung zu, da Fälle von Geräuschbelästigung, die nicht nur spekulativ sondern objektiv dem Infraschall als Belästigungsursache zugeordnet werden konnten, sehr selten sind.**

*,** - eine ausführliche Darstellung und Auswertung von Untersuchungen enthält die Dissertation: **Kubicek: "Vorkommen, Messung, Wirkung und Bewertung von extrem tieffrequentem Schall einschließlich Infraschall in der kommunalen Wohnumwelt" Technische Hochschule Zwickau 1989** sowie der Vortrag auf dem Fünften Chemnitzer FACHSEMINAR SCHALL-IMMISSIONSSCHUTZ 28./29.Oktober 2002 - Dr. Rainer Kubicek : Wirkung von Infraschall auf Menschen und Beurteilung von Infraschallemissionen errichteter Windenergieanlagen

Typische Störwirkungen von tieffrequenten Schallenergien

Folgende wirkungsspezifische Eigenschaften kennzeichnen tieffrequenten Schall im Unterschied zur Wirkung von mittel-und höherfrequentem Normalschall:

- ◆ Extrem tieffrequenter hörbarer Schall löst subjektive Empfindungen aus in Form von im Kopf des Menschen sofort spürbarem Schwingungs-, Dröhn- und Druckgefühl
- ◆ Extrem tieffrequenter hörbarer Schall erzeugt außerdem infraschalltypische Wirkungen, d.h. es treten zusätzlich Störwirkungen auf die für den nicht mehr hörbaren aber wahrnehmbaren Infraschall charakteristisch sind:
 - Druck in den Ohren
Der sich etwa 60 Sekunden nach Expositionsbeginn aufbauende Ohrendruck ist eine charakteristische Störwirkung auf Betroffene bei Einwirkung hörschwellen-überschreitender Schallenergien im Frequenzbereich unterhalb 60 Hz
 - Erschütterungen
Durch Einwirkung tieffrequenter Luftschallenergien werden leichte bzw. lose befestigte Gegenstände in Räumen zu mechanischen Schwingungen angeregt (Zittern von Papier, Blumenpflanzen, Ampeln; Schwingungen von Fenstern, Türen, Glastüren in Möbeln)
 - Sekundärschall
Die zu mechanischen Schwingungen angeregten lose befestigten Bauteile (Fenster, Türen) oder Möbelteile können durch Resonanzanregung Sekundärschall (Normalschall) abstrahlen
- ◆ Als kritischer Frequenzbereich gelten 20 bis 55 Hz, weil die geschilderten Wirkungen bei diesen Frequenzen deutlich ausgeprägt sind, besonders herauszuheben ist die Frequenz 30 Hz – weil das Schwingungssystem „Mensch“ im Systembereich „Kopf-Schädel-Gehirn“ die Resonanzfrequenz 30 Hz besitzt (Kopfresonanz) – das ist nach Auffassung des Autors ein wesentlicher Grund für das geschilderte Dröhn-, Druck-und Schwingungsgefühl im Kopf der Betroffenen
- ◆ Alle beschriebenen Belästigungsreaktionen sind im Unterschied zum „Normalschall“ nicht mittels der Lautstärkeempfindung erklärbar und die verursachten Störwirkungen

lassen sich weder durch den A-bewerteten Schalldruckpegel lästigkeitsadäquat beurteilen noch durch Änderungen des dB(A)-Pegels indizieren.

4. Voraussetzungen und Bedingungen für das Auftreten der durch tieffrequente Geräusche verursachten Störwirkungen

Für die Auswahl und Festlegung eines auf die Eigenschaften tieffrequenter Geräusche abgestellten Mess- und Bewertungsverfahrens, wie es in die DIN 45680 Eingang fand, war außerdem die Frage zu beantworten, unter welchen Bedingungen die geschilderten Störwirkungen auftreten. Diese Bedingungen sind:

- Die an das Ohr gelangende Energie des tieffrequenten Schalls/Infraschalls muss die Hörschwelle (für Hörschall) bzw. die Wahrnehmbarkeitsschwelle (für Infraschall) überschreiten.

Wie die graphische Darstellung ANLAGE 1 zeigt, ist die Hörschwellenkurve unter 100 Hz bis 20 Hz und die sich anschließende Wahrnehmbarkeits-Schwellenkurve stark frequenzabhängig. Bei 50 Hz liegt die Schwelle bei 40 dB(LIN), bei 20 Hz bei 70 dB(LIN) und bei 10 Hz bei 100 dB(LIN). Liegt die tieffrequente Geräuschemission unterhalb dieser Schwellenpegel, treten die unter 3. genannten Störwirkungen nicht auf.

Wird der Schwellenpegel allerdings gerade überschritten, ist bereits mit den genannten Störwirkungen zu rechnen und diese nehmen dann bei bereits geringer weiterer Erhöhung des Schalldruckpegel stark zu. Dies ist aus ANLAGE 2 – den dargestellten „Kurven gleicher Lästigkeit“ erkennbar, die im tieffrequenten Bereich näher zusammenrücken.

Die starke Frequenzabhängigkeit der Hör-/Wahrnehmbarkeitsschwellen und die Entstehung von Belästigungsreaktionen bereits knapp über der Schwelle sowie deren dann sofortiges Anwachsen stellt einen weiteren markanten Unterschied des tieffrequenten Schalls zum „Normalschall“ dar, dem in der DIN 45680 dadurch Rechnung getragen wird, dass

- die Messung der Geräusche in Terzschritten erfolgen muss
- die Lärmbewertung auf Anhaltswerte des linearen unbewerteten Terz-Schalldruckpegels abgestellt wurde, die dem Schwellenpegel für die jeweilige Terzmittenfrequenz entsprechen

Eine wirkungsbezogene Interpretation von Schalldruckpegel-Messwerten, die ursächlich dem Infraschall oder dem tieffrequenten Schall zugeschrieben werden, hat nur Sinn, wenn ein Vergleich mit der Schwellenkurve geschieht. Deshalb sollte die Schwellenkurve nach TABELLE 1 in das gemessene Terzfrequenz mit eingetragen werden.

TABELLE 1: Wahrnehmbarkeitsschwelle des IS und des tieffrequenten Hörschalls

Terz-Mitten-Frequenz in Hz	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Schwellen-Pegel in dB	130	128	125	120	115	110	103	95	86,5	79	71	63	55,5	48	40	33,5	28

- Der tieffrequente Hörschall und Infraschall wird durch „lauten“ höherfrequenten Normalschall verdeckt.

Unter „Verdeckung“ soll der Effekt verstanden werden, dass tieffrequente Schallenergien nicht mehr auffällig empfunden und als Lärmursache aufgefasst werden, wenn zusätzlich höherfrequenter Normalschall auf Betroffene einwirkt.

Für die Geräuschimmissionsbeurteilung ergibt sich die Relevanz des Verdeckungseffektes aus der Tatsache, dass in der Praxis „Normalschall“ und „tieffrequenter Schall“ gemeinsam in den Wohn- und Erholungsbereich des Menschen eindringen können.

Hieraus folgt die für die Lärmbewertung von Geräuschimmissionen wesentliche Fragestellung: Wann werden tieffrequente Schallenergieanteile durch mittel- und höherfrequente Anteile nicht mehr verdeckt und müssen demzufolge einer speziellen Bewertung – nämlich der nach DIN 45680 - unterzogen werden:

Unter der Voraussetzung, dass bei einer Geräuschimmission tiefe Frequenzen und mittlere sowie hohe Frequenzen koexistieren, wie dies bei verschiedenen Anlagengeräuschen ohnehin der Fall ist, verdecken die mittleren und hohen Frequenzanteile des Spektrums infolge ihrer Lautstärkebildung den tieffrequenten Schall, so dass dieser zunächst kaum auffällt. Werden jedoch durch technischen und baulichen Schallschutz die höherfrequenten Schallenergieanteile gedämpft, so geht mit diesem Prozess eine Lautstärkereduzierung einher und der tieffrequente Schall tritt als Störfaktor hervor. Der Verdeckungseffekt lässt sich somit an Hand der Neigung der Kurve des Terz-Oktav-Spektrums des Schalldruckpegels (Energieabfall mit Vergrößerung der Frequenz in dB/Oktave) darstellen. Ist die Neigung dieser Kurve klein, überwiegt vom Höreindruck her lauter Normalschall, ist die Neigung groß, wird das Geräusch leise und die Wahrnehmung der tieffrequenten Schallanteile überwiegen. Diese Bedingung wird erfüllt, wenn die Neigung der Pegel-Frequenzkurve mindestens 6 dB/Oktave beträgt, d.h. dann werden die tieffrequenten Schallenergieanteile nicht mehr durch die höherfrequenten verdeckt. Wird für ein solches Terz-Oktavspektrum der **A**-bewertete und der **C**-bewertete Schalldruckpegel gemessen, dann beträgt bei einer Neigung der Pegel-Frequenzkurve ≥ 6 dB/Oktave die Differenz $L_C - L_A \geq 20$ dB.

Die dargelegten Zusammenhänge begründen, warum nach DIN 45680 zur Prüfung des Vorhandenseins und der Wirkung tieffrequenter Geräusche zunächst sowohl der A-bewertete und der C-bewertete Schalldruckpegel gemessen und zu prüfen ist ob die Differenz $L_C - L_A \geq 20$ dB beträgt.

- Die Störwirkungen stellen sich nur dann in der geschilderten Weise ein, wenn der tieffrequente Schall als stationäres Dauergeräusch auftritt (für kurzzeitige Einwirkung z.B in Form eines vorüberfahrenden LKW`s können sich die Wirkungen wie z.B. Ohrendruck nicht ausbilden).
Die DIN 45680 in der vorliegenden Form in Verbindung mit Beiblatt 1 ist deshalb nur für tieffrequente Dauergeräusche ein sinnvolles Bewertungsverfahren.

5. Akustische Eigenschaften tieffrequenter Geräusche

Bei der Ausbreitung tiefer Luftschallfrequenzen im Gelände sowie der Reflexion an Gebäuden und der Übertragung durch Fenster in Räume mit Schutzanspruch vor Lärm treten akustische Effekte in den Vordergrund, die bei „mittel- und hochfrequenten Normalschall nicht deutlich herausragend in Erscheinung treten bzw. sich aufheben. Solche Effekte, die bei der Festlegung des Mess- und Bewertungsverfahrens nach DIN 45680 ebenfalls zu berücksichtigen waren, sind:

- Resonanzanregung der ersten Raumeigenfrequenzen innerhalb der Wohnräume
Bei üblichen Raumabmessungen von 3 bis 7 m liegen die ersten Raumeigenfrequenzen gerade im kritischen tieffrequenten Bereich zwischen 16 bis 50 Hz. Beim Eindringen tiefer Schallfrequenzen entsteht eine resonanzüberhöhte stehende Welle mit einem Schalldruckpegel, der trotz geschlossener Fenster gleich groß wie (oder größer als) der vor der Gebäudefassade auftretende Schalldruckpegel ist, d.h. das Fenster besitzt für tiefe Frequenzen scheinbar ein Schalldämm-Maß von 0 dB.

Diesem bei Normalschall nicht in Erscheinung tretenden Effekt musste in der DIN 45680 dadurch Rechnung getragen werden, dass für die Bewertung tieffrequenter Geräusche generell Immissionsnachweisort **innerhalb** der Räume von betroffenen Gebäuden zu wählen sind, auch wenn die tieffrequente Geräuscheinwirkung in Form von Luftschalleinwirkung von außen auf das Gebäude geschieht..

Die Ausbildung stehender Wellen hat darüber hinaus Konsequenzen für die Auswahl des Messortes innerhalb des Raumes:

Bildet sich innerhalb einer Raumabmessung l eine tieffrequente stehende Welle aus ($l = \lambda/2$, dies ist z.B. für die Frequenz 40 Hz bei einer Raumlänge oder -breite mit $l = 4,25\text{m}$ der Fall), so ist in Zimmermitte der Schalldruckpegel sehr klein und steigt zu den Wänden und Ecken stark an (siehe ANLAGE 3. Pegeldifferenzen von 30 dB(!) zwischen Raummitte und Wand-/Eckenbereich sind möglich. Messungen tieffrequenter Schalldruckpegel lediglich in Raummitte führen zu falschen Ergebnissen. Deshalb wird in DIN 45680 gefordert, die Immissionsmessorte bis in 0,5m Abstand von den Wänden zu legen.

- Interferenzen durch Bodenreflexion
Für tieffrequente Schallwellen interferieren bei Schallausbreitung im freien Gelände die direkte und die am Boden reflektierte Schallwelle mit der Wellenlänge λ derart, dass sich örtliche Schwankungen des Schalldruckpegels mit Maxima jeweils bei den Laufwegunterschieden von λ , 2λ , 3λ ... ergeben. Dies führt dazu, dass der Schalldruckpegel der tieffrequenten Schallwelle mit zunehmendem Abstand von der Quelle nicht nach dem „6 dB-Gesetz“ monoton sinkt, sondern periodisch an- und absteigt. In analoger Weise bilden Interferenzen durch Schallreflexion an Wänden örtliche Schwankungen des Schalldruckpegels mit Maxima in Abständen von 0 , $\lambda/2$, $3\lambda/2$, $5\lambda/2$... vor den reflektierenden Wänden.
Für breitbandigen Normalschall heben sich diese Interferenzeffekte gegenseitig auf, für monofrequenten langwelligen Schall treten sie deutlich in Erscheinung und sind bei der Auswahl von Immissionsmessorten zu beachten.

▪ Mikrofoneffekt

Hierbei handelt es sich um den Druckstau vor einer reflektierenden Fläche in Form einer kreisrunden Scheibe, wenn der Radius der Scheibe mit $\lambda/2$ übereinstimmt.

Der Mikrofoneffekt bewirkt beim Auftreffen einer tieffrequenten Schallwellenfront auf eine Hausfassade einen Pegelanstieg bis 9 dB vor der Hauswand, wenn die Fassadenhöhe ein ungeradzahliges Vielfaches von $\lambda/2$ beträgt. Für ein- bis fünfgeschossige Wohngebäude wird diese Bedingung häufig erfüllt.

6. Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräusche nach DIN 45680

Unter Hinweis auf die in den vorangegangenen Abschnitte 2. bis 5. gegebenen Begründungen ist für die Messung und Beurteilung tieffrequenter Anlagengeräusche zusammenfassend folgendes Verfahren anzuwenden:

- ◆ Grundsätzlich Messung innerhalb betroffener Räume (auch wenn das Geräusch von außerhalb auf das Gebäude einwirkt)
- ◆ Zunächst Messung des A-bewerteten Schalldruckpegels L_A und des C-bewerteten Schalldruckpegels L_C innerhalb der betroffenen Räume bei geschlossenen Fenstern
- ◆ Tieffrequenter Schall ist als Geräuschimmission zu berücksichtigen und zu beurteilen, wenn die Differenz $L_C - L_A > 20 \text{ dB}$ (1) beträgt.

HINWEIS: Die Bedingung (1) kann zunächst auch erst einmal vor dem betroffenen Gebäude durch A- und C-bewertete Schalldruckpegelmessungen im Freien geprüft werden. Ist bereits vor dem Gebäude diese Bedingung erfüllt, kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass die Messung innerhalb der betroffenen Räume zu keinem anderen Ergebnis führt und tieffrequenter Schall als besondere Lärmart berücksichtigt und beurteilt werden muss

Ergibt sich im Freien jedoch für die Differenz $L_C - L_A$ ein Wert kleiner 20 dB, so sind zwei Fallsituationen zu schlussfolgern :

FALL 1: Das einwirkende Geräusch enthält keine maßgeblichen tieffrequenten Energieanteile, die Messung von $L_C - L_A$ in den betroffenen Räumen ergibt wiederum einen Wert kleiner 20 dB

FALL 2: Der einwirkende tieffrequente Schall wird noch durch höherfrequenten verdeckt. Beim Schalleintritt in die Räume werden die höheren Frequenzen durch die Tiefpassfilterwirkung der Fenster gedämpft und die Bedingung (1) in den Räumen erfüllt, was durch Messung von $L_C - L_A$ in den betroffenen Räumen nachweisbar ist .

- ◆ Bei Erfüllung der Bedingung (1) Differenz $L_C - L_A > 20 \text{ dB}$: Messung des linearen unbewerteten Terz-Schalldruckpegels L_{Terz} für die Terzmittenfrequenzen von 10 bis 80 Hz (Terz-Frequenzspektrum)
- ◆ Vergleich der gemessenen Terz-Schalldruckpegel mit der auf den Infraschall-Frequenzbereich erweiterten Hörschwellenkurve und Markierung der Terz-Frequenzbereiche mit Überschreitung der Hörschwelle (maßgebliche Terz-Frequenzen)

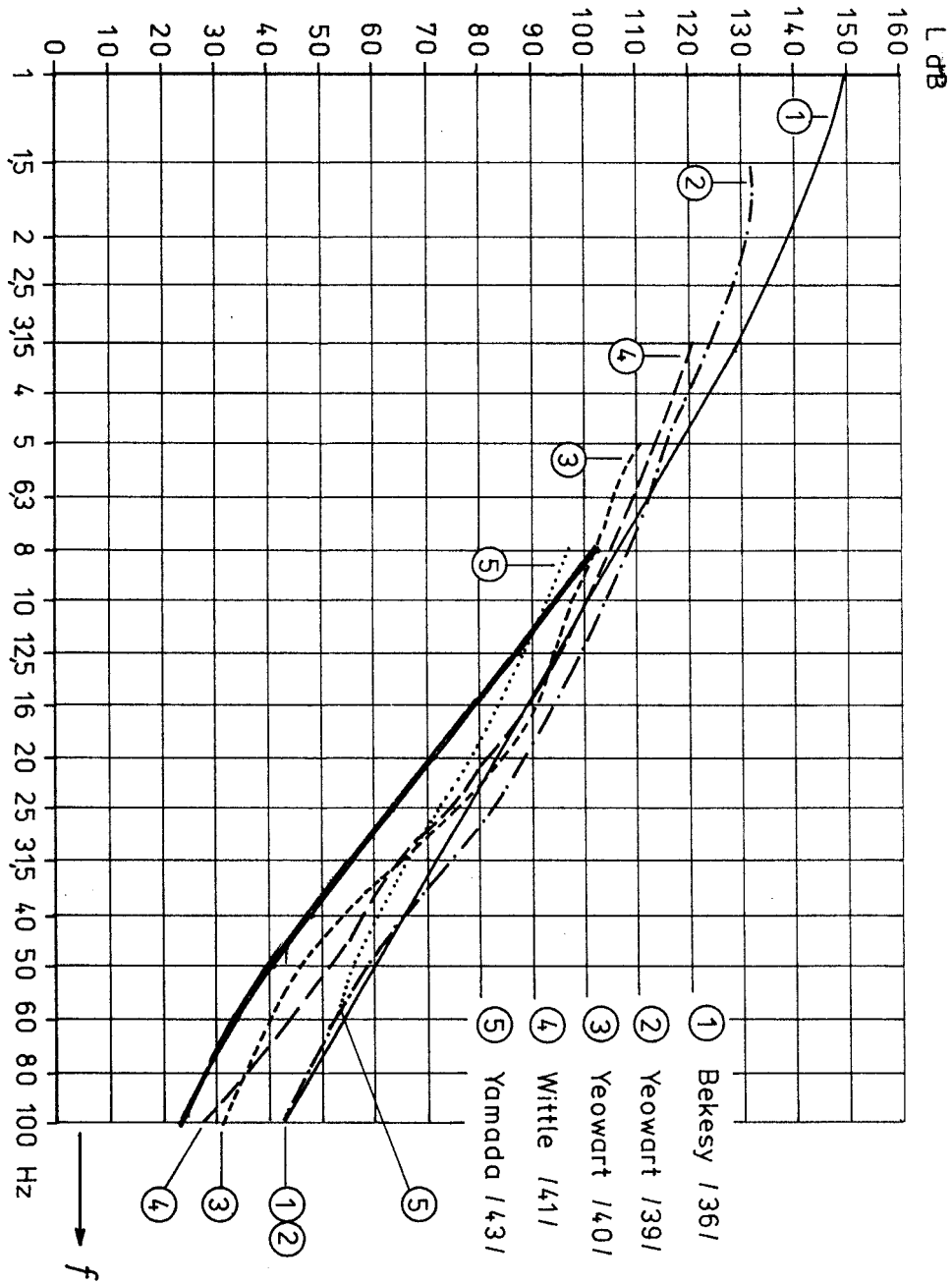
- ◆ Prüfung auf deutlich hervortretende Einzeltöne
- ◆ Bestimmung des $L_{\text{Terz,eq}}$, $L_{\text{Terz,Fmax}}$ und des $L_{\text{Terz,r}}$ für die maßgeblichen Terzfrequenzen und Vergleich mit den Anhaltswerten der Tabelle 1 des Beiblattes 1 der DIN 45680
- ◆ Das Bewertungsverfahren nach Beiblatt 1 der DIN 45680 ist in ANLAGE 3 in zusammengefasster Form beigelegt.

Kontakt Daten des Verfassers:

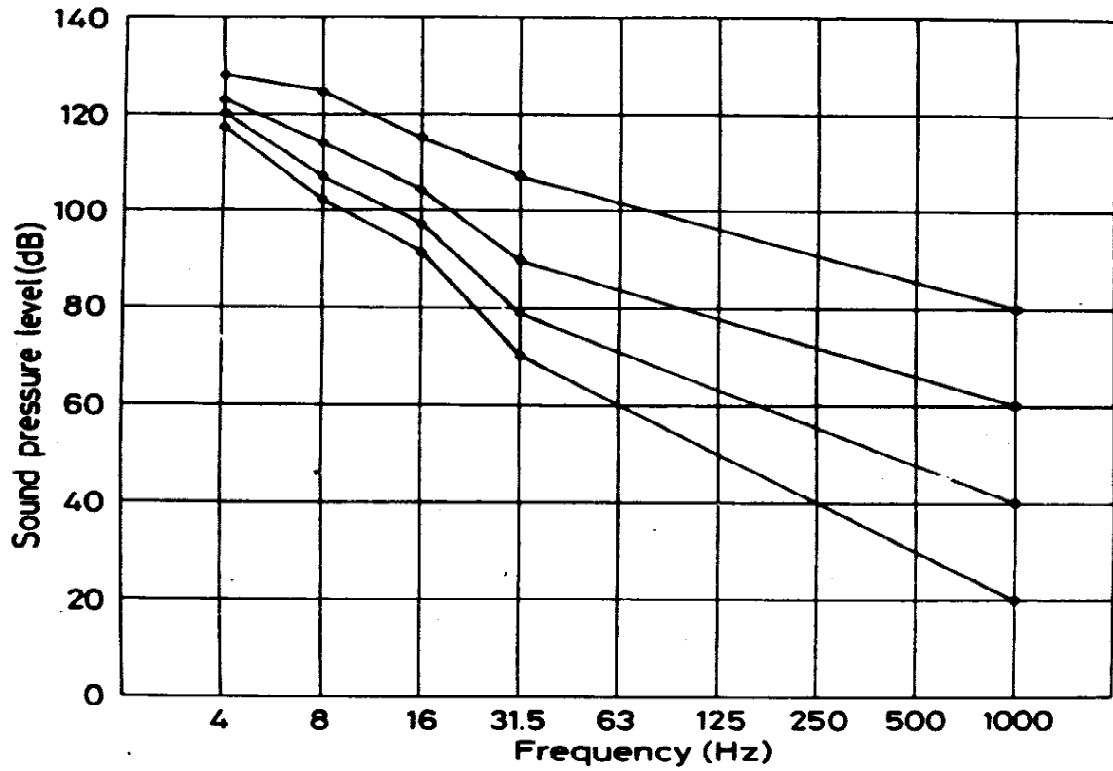
Dr.-Ing. R. Kubicek
Messung, Prognose und Bewertung spezieller Geräuschimmissionen

Schloßstraße 30
67229 Laumersheim
Tel. 06238-9896909
Handy: 0173-5671077
E-Mail: drkubi.weissb@t-online.de

**ANLAGE 1: Wahrnehmbarkeitsschwelle für Infraschall
Hörschwelle für hörbaren Schall**



ANLAGE 2: Kurven gleicher Lästigkeit nach Möller



ANLAGE 3: Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen nach DIN 45680 und Beiblatt 1 der DIN 45680

Das Geräusch ist tieffrequent, wenn innerhalb des schutzbedürftigen Raumes die Differenz der Werte von L_{Ceq} und L_{Aeq} oder in Fällen mit kurzfristiger Einwirkung die Differenz der Werte von L_{CFmax} und L_{AFmax} einen Betrag von 20 dB übersteigt. In diesem Falle sind folgende Untersuchungen in den betroffenen Räumen bei geschlossenen Fenstern und Türen durchzuführen:

- Terzanalyse für die Terzbänder mit den Mittenfrequenzen von 10 bis 80 Hz mit Ermittlung der äquivalenten Dauerschallpegel $L_{Terz,eq}$ und der maximalen Terz-Schalldruckpegel $L_{Terz,Fmax}$
- Berechnung der Terz-Beurteilungspegel $L_{Terz,r}$ aus $L_{Terz,eq}$ und der Einwirkzeit.
- Prüfung auf deutlich hervortretende Einzeltöne. Das Geräusch enthält einen deutlich hervortretenden Einzelton, wenn die Differenz zwischen $L_{Terz,eq}$ in einer Terz und den entsprechenden Pegeln in den beiden Nachbarterzen größer als 5 dB ist.

Beurteilung bei deutlich hervortretenden Einzeltönen

- (a) Prüfung, in welcher Höhe die festgestellten Terz-Beurteilungspegel $L_{Terz,r}$ die Hörschwelle L_{HS} bei der betreffenden Terzfrequenz überschreiten, d.h., Bildung der Differenzen

$$\Delta L_1 = L_{Terz,r} - L_{HS} \quad (1a)$$

$$\Delta L_2 = L_{Terz,Fmax} - L_{HS} \quad (1b)$$

mit $L_{Terz,r}$ und $L_{Terz,Fmax}$ - Terzbandpegel des hervortretenden Einzeltones
 L_{HS} - zugehöriger Hörschwellenpegel nach DIN 45680:

Terzfrequenz f_{Terz} in Hz	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Hörschwellenpegel L_{HS} in dB	103	95	87	79	71	63	55,5	48	40,5	33,5	28	23,5

- (b) Vergleich der Werte für ΔL_1 und ΔL_2 mit den Anhaltswerten nach Tabelle 1:

Tabelle 1: Anhaltswerte nach Beiblatt 1 zu DIN 45680 bei deutlich hervortretenden Einzeltönen

Beurteilungszeit	Differenzen nach Gleichung 1							
	ΔL_1 in dB				ΔL_2 in dB			
	bei Terzmittenfrequenz				bei Terzmittenfrequenz			
	8 Hz	10 bis 63 Hz	80 Hz	100 Hz	8 Hz	10 bis 63 Hz	80 Hz	100 Hz
Tagesstunden	5	5	10	15	15	15	20	25
Nachtstunden	0	0	5	10	10	10	15	20

Anmerkung: Die Terzen mit den Mittenfrequenzen von 8 Hz und 100 Hz sollen nur in Sonderfällen berücksichtigt werden (siehe DIN 45680)

Beurteilung ohne deutlich hervortretende Einzeltöne

- (a) Diejenigen Terz-Beurteilungspegel $L_{\text{Terz},r}$, die den entsprechenden Hörschwellenpegel L_{HS} überschreiten, sind nach ihrer A-Bewertung energetisch zu addieren. Der resultierende Beurteilungspegel L_r ist mit den Anhaltswerten nach Tabelle 2, Spalte 1 zu vergleichen.
- (b) Die entsprechend der A-Bewertung korrigierten Werte von $L_{\text{Terz},F_{\text{max}}}$ sind mit den Anhaltswerten nach Tabelle 2, Spalte 2 zu vergleichen.

Tabelle 2: Anhaltswerte nach Beiblatt 1 zu DIN 45680 in sonstigen Fällen (ohne deutlich hervortretende Einzeltöne)

Beurteilungszeit	L_r in dB	L_{max} in dB
Tagesstunden	35	45
Nachtstunden	25	35

Die Anhaltswerte der Tabellen 1 oder 2 der DIN 45680, Beiblatt 1 gelten - unabhängig von der Lage des Gebäudes (und unabhängig vom Schutzanspruch vor Lärm des Gebietes nach BauNVO /3/) - in Aufenthaltsräumen, die Wohnzwecken dienen, und in Räumen mit vergleichbarer Schutzwürdigkeit.

Schädliche Umwelteinwirkungen sind nicht zu erwarten, wenn die in Beiblatt 1 zu DIN 45680 genannten Anhaltswerte nicht überschritten werden.