

Zu Schallpegeln am Kopf - Grenzwerte für qualitatives Abhören

Ernst-Joachim Völker und Wolfgang Teuber
IAB Institut für Akustik und Bauphysik, Kiesweg 22, D-61440 Oberursel, Deutschland

1. Einleitung

Bei Lautsprecherwiedergabe hängt das Hörvermögen des Menschen auch von der Qualität der „guten Beschallung“ ab /1/. Nach Moser ist zum Beispiel für Schwerhörige die impulsgetreue Wiedergabe von Schallereignissen von Vorteil. Für Musiker gilt, daß beim Musizieren das eigene Instrument mit seinen frühen Schallanteilen erkannt wird. Auch Sprache, einschließlich ihrer impulsartigen Explosivlaute, ist dem Menschen vertraut, wie es aus der Menschheitsentwicklung zur Selbsterhaltung verständlich wird /2/3/. Die Frage ist, ob diese Feinstruktur des Schalles bei Lautsprecherwiedergabe erhalten bleibt. Manger behauptet, daß ungünstige Beschallung und schlechte Lautsprecher beim Abhören eine Ermüdung hervorrufen /4/. Die Folge davon kann eine höhere Abhörleistung sein. Diese wird ohnehin gern angestrebt, weil dann Diffusschallanteile und Räumlichkeit besser wahrgenommen werden /5/. Die Sucht nach sehr hohen Abhörleistungstärken wird aus Messungen bei einem Rockkonzert im Rebstockgelände bei Frankfurt erkennbar, bei dem sich in 20 m Entfernung von den Lautsprechertürmen, wo sich ca. 2000 Menschen aufhielten, 112 dB(A) als L1% ergaben /6/. Mit Sicherheit kann hier nicht mehr von qualitativem Abhören gesprochen werden. Hohe Abhörleistung mögen zeitweise erwünscht sein. Zwangsweises Mithören von Lautsprecherschall führt jedoch häufig zur Ablehnung, etwa bei Beschallungen in Großraumbüros, um Privacy zu erreichen /7/8/. Der Pegel beträgt bei derartigen Anlagen höchstens 47 dB(A) am Arbeitsplatz als gleichmäßiges Rosa Rauschen. Das Einspielen von Meeresrauschen oder Verkehrslärm wurde gänzlich abgelehnt.

2. Schalldruckpegel im Konzertsaal

Der Besuch eines Konzertes ist verbunden mit hohen Erwartungen. Dirigent und Orchester wissen davon. Die Besetzung des Orchesters ist auf den Saal abgestimmt, um die gewünschte Lautstärke im fff (forte fortissimo) zu erreichen. Erfahrungen mit dem Probensaal der Pfälzischen Philharmonie in Ludwigshafen (Volumen 5600 m³, Nachhallzeit T_m= 1,8s) haben bestätigt /9/, daß der große Klang der Probe ca. 94 dB(A) hervorbringt. Bei gleichem Musizieren in z.B. der Alten Oper Frankfurt (Volumen 22000m³, T_m=1,70 s) ergibt sich ein Pegel von nur 87 dB(A) /10/. Die Folge: Doppelbesetzungen, wie Leif Segerstam + 1987 bestätigte /11/. Aus der Schallabstrahlung vom Orchester kann mit den Raumeigenschaften der Schalldruckpegel am Hörerort berechnet werden. Meyer hat den weltweit anerkannten Musikvereinsaal in Wien zum Bezug genommen (V=14600m³, T=2,06 s). Er ermittelt den entstehenden Schallpegel nach Gleichung 1:

$$L_{pr} = 90 + 10 \lg \left(\frac{T_1}{V_1} \cdot \frac{V_{\text{Saal Wien}}}{T_{\text{Saal Wien}}} \right) \text{ dB(A)} \quad 1$$

Der Wunsch nach großer Lautstärke ergibt sich auch aus dem erforderlichen Raumeindruck, der vom Orchester erzeugt werden muß. Der hohe Direktschallpegel L_{pDir} in r Meter Entfernung in Gleichung 3 wird begleitet von einem hohen Diffusschallpegel L_{pDiff} nach der Gleichung 4, der abhängt von der Nachhallzeit T, dem Volumen V und dem Bündelungsgrad Q (hier: Q=2) für Abstrahlung in den Halbraum. Der Gesamtpegel beträgt L_{pr} in r m Entfernung nach Gleichung 2:

$$L_{pr} = L_{p1m} + 10 \lg \left(\frac{1}{r^2} + \frac{16\pi T}{0,16VQ} \right) \text{ dB(A)} \quad 2$$

$$L_{pDir} = L_{p1m} + 10 \lg \frac{1}{r^2} \text{ dB(A)} \quad 3$$

$$L_{pDiff} = L_{p1m} + 10 \lg \frac{16\pi T}{0,16VQ} \text{ dB(A)} \quad 4$$

Aus Gleichung 5 folgt mit der Pegeldifferenz ein Maß für den Beginn der Räumlichkeit /5/:

$$\Delta L_p = L_{pDiff} - L_{pDir} \text{ dB} \quad 5$$

Wird der Wert ΔL_p am Hörerplatz klein, z.B. 3 dB, dann muß der Gesamtschallpegel L_{pr} mindestens 88 dB(A) betragen. Dieses wird für das Beispiel der Alten Oper in Frankfurt am Main zwar gerade erreicht. Johnson empfiehlt für Symphonieorchester mit 9m³/Platz bei 1500 Sitzplätzen eine Nachhallzeit von 1,8s. Dieses führt zu 90 dB(A) Schallpegel im Saal /12/. Für die Alte Oper in Frankfurt ist es daher verständlich, wenn mit größerer Besetzung gespielt werden muß.

3. Schallpegel im Orchester

Im oben genannten Probensaal der Pfälzischen Philharmonie betrug der Schalldruckpegel beim fff Abschluß der Overtüre zu den Meistersängern 94 bis 96 dB(A) im Saal vor dem Orchester /9/, 5600m³ mit 260 Stühlen. Mit der Einstellung SLOW am Handschallpegelmessgerät wurde neben den Musikern im Orchester in der Nähe des Kopfes gemessen. Die Ergebnisse decken sich mit denen von Fearn von 1975 (IAB A14305), Flach und Aschoff von 1966, Irion aus 1979 und Karlsson 1983. 95 bis 105 dB(A) neben den Musikinstrumenten, Bratschen 97-110, Violinen links 80-100, rechts 85-95. Meyer gibt 1984 folgende Werte in dB(A) an: Violine 92, Violoncello 91, Oboe 93, Klarinette 94, Horn 104, Trompete 105, Posaune 107. Im Syfonieorchester 110-115 dB(A) im fortissimo /13/.

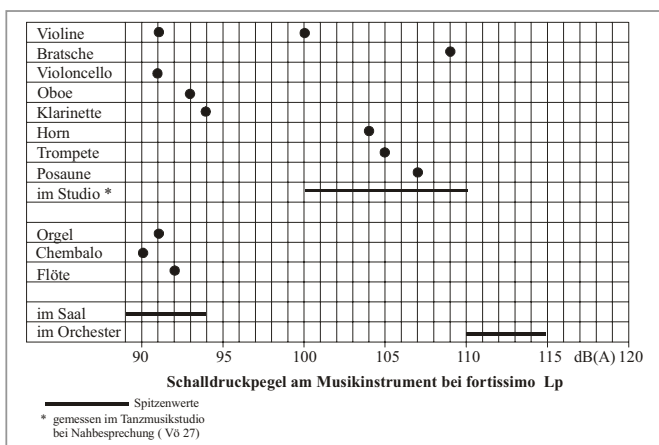


Abb. 1 Schalldruckpegel an Musikinstrumenten und im Orchester

Messungen im Konzertsaal der Pfälzischen Philharmonie/9/ und in Studios des Hessischen Rundfunks/14/

4. Lautstärke von Sprache und Zimmerlautstärke

Bei unnatürlich lauter Sprache ergibt sich in 30cm Entfernung ein Schalldruckpegel von 82 dB(A) bei Männern und 74 dB(A) bei Frauen /14/. Gemessen wurden je 6 Nachrichtensprecher des Rundfunks. Bei üblichen Wohnzimmern unterscheidet sich dieser Pegel kaum vom Diffusschallpegel nach Gleichung 4. Die geforderte Schalldämmung zwischen Wohnungen beträgt als Schallpegeldifferenz ca. 53 dB (hallige Wohnzimmer mit 12 m² Trennwand). Der eindringende Schallpegel sollte 25 dB(A) nicht überschreiten. Daraus folgt: 25 + 53 = 78 dB (A) als zulässige „Zimmerlautstärke“. 82 dB(A) für laute Männerstimme ist unzulässig. Das zukünftige Wohnzentrum wird eine höhere

Schalldämmung aufweisen von ca. 63 dB nach Abbildung 2 /15/. Das mittlere Spektrum für Sprache und Musik entspricht 93 dB(A), was gerade zulässig ist und nicht zur Störung führt.

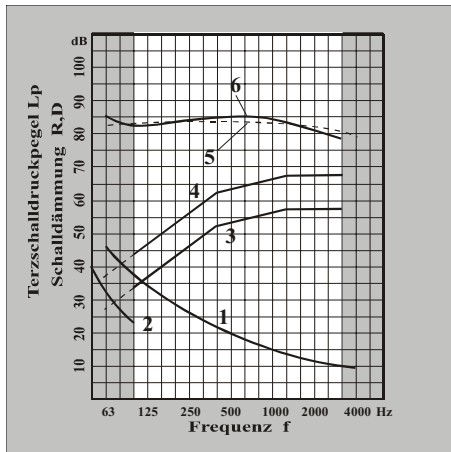


Abb.2 Erforderlicher Schallschutz

- 1 NR Kurve 20, höchstzulässig in Wohnungen nach DIN 4109 $L_p = 30$ dB(A)
- 2 Hörschwelle tieffrequenter Störgeräusche nach DIN 45680
- 3 Schalldämmmaß als Bezugscurve nach DIN 4109 $R'w=53$ dB
- 4 wie 3, 10 dB höhere Schalldämmung $R'w = 63$ dB
- 5 Mittleres Spektrum von Musik und Sprache aus Rundfunkübertragung $L_p = 93$ dB(A)
- 6 Zulässiger Pegel von Musik zur Einhaltung der Kurve 1 in benach-

barter Wohnung

Gewünscht ist die mehrkanalige Lautsprecherwiedergabe mit großem Raumeindruck im Sinne der 5.1 Technik des „Surround Sounds“. Der Wert von 93 dB(A) entspricht dem Schallpegel in einem Konzertsaal, etwa wie oben angegeben für die Pfälzische Philharmonie. Die Empfindlichkeit des Ohres bei tiefen Frequenzen (s. Kurve 2) verlangt daher ebenfalls die höhere Schalldämmung.

5. Lautes Abhören im Regieraum

Kuhl hat die Schalldruckpegel am Abhörplatz im Regieraum über 12 Arbeitstage gemessen und festgestellt /16/:

- * $L_{peq} = 93$ dB(A) als äquivalenter Schalldruckpegel
- * $L_{pmax} = 105$ dB(A) als Spitzenpegel
- * $L_r = 86$ dB(A) als Beurteilungspegel über 8h Arbeitstag

Diese Schallpegelspitzen werden vom Lichtzeiger- Aussteuerungsmesser mit einer Ansprechzeit von ca. 10 ms sichtbar gemacht und führen zur Anzeige im „Roten Bereich“ /17/. Wegen eventueller Übersteuerung des Senders (ohne Begrenzer) müßte der Gesamtpegel zurückgenommen werden. Messungen im Regieraum des IAB wurden bei Aufnahmen von Rock- und Popmusik in 2000 durchgeführt, wenn ein ganzer Set ohne Unterbrechung über ca. 40min gespielt wurde. Zwischen den Titeln gab es keine längeren Pausen. Ergebnisse:

- * $L_{peq} = 96$ dB(A) als äquivalenter Schalldruckpegel
- * $L_{pmax} = 108$ dB(A) als Spitzenpegel

Hohe Abhörpegel sind nicht nur wegen des oben beschriebenen Raumeindrucks gewünscht, sondern auch notwendig wegen des hohen Störpegels im Regieraum. Wenn dieser 40 dB(A) beträgt, weil viele Ventilatoren laufen und die Klimaanlage angeschaltet ist, muß die angestrebte Dynamik der digitalen Aufnahme auch abhörbar sein. 40 dB betrug sie bei der früheren analogen Übertragung, begrenzt auch durch die Senderstrecke. Bei digitaler Übertragung ist eine Programmdynamik von ca. 60 dB erreichbar /18/. Für den Regieraum folgt: $40+60=100$ dB(A) Abhörpegel mindestens. Noch höhere Abhörpegel sind bei Rockaufnahmen bekannt, wenn „Inline“, direkt im Regieraum, z.B. die Elektrogitarre, aufgenommen wird. Diese Pegel entsprechen dann den Pegeln im Orchester, wie dargestellt in der obigen Abbildung 1.

6. Hören am Dirigentenplatz

Der Dirigent hat den besten Hörerplatz. Er hat in der Nähe die besten Instrumentalisten an den ersten Pulten. Die hinteren Reihen sind i.a. angehoben, um die Schallabstrahlung zu verbessern. Er hört überwiegend Direktschall (als Direktschallpaket) und nimmt damit den wichtigen Impulsschall der Musikinstrumente wahr /3/. Er hört die Musik laut mit Pegeln von z.T. über 110 dB(A) (s. Abb.1). Mit diesen Pegeln entsteht die Räumlichkeit, die er auf der Bühne erleben möchte. Dieses Abhörerlebnis wird auch vor einer guten Lautsprecheranlage erwartet. Hierfür muß die Aufnahmetechnik stimmen, wonach die ersten 15 ms richtig abgebildet werden müssen. Störungen bei Aufnahme,

Übertragung und durch frühe Schallreflexionen im Regieraum sind nicht zulässig.

Die heutige Schallübertragung ist noch unvollständig. Mit Lautstärke kann nicht die Qualität erzwungen werden. Sergiu Celebidache lehnte die Mikrofonaufnahme ab, weil alles so „miserabel“ klingen würde. Wörtlich: „Das Mikrofon kann nicht die Obertöne des menschlichen Ohres aufnehmen. Sie hören auf der Aufnahme ganz andere Harmonien, ganz andere Instrumentation, andere Kontrapunkte, denn die Tragfähigkeit eines Kontrapunktes hängt von der Obertonzone ab, die das menschliche Ohr aufnehmen kann“ /19/.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Qualitatives Abhören geschieht zunehmend in häuslicher Umgebung, wo Digitaltechnik und hochwertige Lautsprecher anzutreffen sind. Die Einführung der digitalen Mehrkanalübertragung über Satelliten schließt den zwischengeschalteten Sender (ehemals Bundespost, jetzt Telecom) aus. Auf die eigene Anlage kommt es an. Die Schallpegel im Konzertsaal betragen ca. 90-94 dB(A), wenn von normaler Orchesterbesetzung ausgegangen wird. Die Musiker leben mit hohen Pegeln von 100 - 110 dB(A), was auch für den Dirigentenplatz zutrifft. Es verwundert daher nicht, daß beim Abhören im Regieraum oder zuhause Pegel von über 100 dB(A) erwünscht sind. Für das Einzelhaus gibt es keine Grenzen, wenn der Immissionsschutz der Nachbarschaft eingehalten wird. Im Mehrfamilienhaus wird ein Umdenken einsetzen müssen. Die Mehrkanalübertragung verlangt einen anderen Typ der Wohnung, z.B. das von den Autoren vorgeschlagene Wohnzentrum. Hörschädigungen treten nach Kuhl, Karlsson und anderen Autoren dann nicht auf, wenn Musik aktiv ausgeübt wird. Beim Abhören gilt für gute Anlagen das gleiche. Beurteilungspegel L_r , bezogen auf die Arbeitszeit am Tage, können Werte von ca. 86 bis 90 dB(A) erreichen, eingeschlossen Ruhe- und Erholungszeiten.

Literatur

- /1/ Moser, L.M.: Hörverlust muß nicht eine Verminderung des Hörvermögens darstellen, VDT/AES Symposium in Köln (1997), IAB Bild: A38736
- /2/ Spreng, M: Pädaudiologie, Band II, Physiologie des Gehörs, Thieme Verlag, Stuttgart (1994)
- /3/ Völker, E.-J.: Zur Bedeutung der ersten 15 ms bei der Beurteilung von Schallaufnahmen im Regieraum, Dissertation an der Technischen Universität Berlin (1996)
- /4/ Manger, J.W.: Impulverhalten von Mikrofonen und Lautsprechern, 14. Tonmeisterstagung in München, VDT Bildungswerk (1986) S. 262-276
- /5/ Kuhl, W.: Räumlichkeit als Komponente des Raumeindrucks, Acustica 40 (1978)
- /6/ Völker, E.-J.: Hohe Schallpegel bei einem Rockkonzert zur Überprüfung der Grenzwerte in benachbarter Bebauung, interner Bericht des IAB (1980), A5022
- /7/ Voelker, E.J.: Teuber, W.: Fischer, S.: Störgeräusche und Schallschutz am Büroarbeitsplatz - akustische Gestaltung und Privacy, Fortschritte der Akustik DAGA 2000 S. 394-395
- /8/ Voelker, E.J.: Teuber, W.: Sound Conditioning and Acoustical Sound Design for Office Working Places, 110th AES-Convention Amsterdam, 12.- 15.05.2001, Preprint
- /9/ Völker, E.-J.: Zur Akustik der Pfälzischen Philharmonie für Proben, Konzerte und Tonaufnahmen für Hörfunk und Fernsehen, DAGA, Tagungsband (1986)
- /10/ Meyer, J.: Raumakustik und Orchesterklang in den Konzertsälen Joseph Haydns, Acustica Nr. 3 (1978) 145-162
- /11/ Gespräch des Autors mit Leif Segerstam im März 1987 (s. IAB-A9985, Li. 1372, auch A9985 und A13249)
- /12/ Johnson, R.: Acoustical design of multi-purpose college auditoriums, American School and University (1963)
- /13/ Meyer, J.: Akustik und musikalische Aufführungspraxis, Verlag Erwin Bochinski (1995)
- /14/ Völker, E.-J.: Schallpegelverhältnisse bei der Übertragung von Sprache - Neue Wege im Studiobau, Fernseh- und Kinotechnik 30 Nr. 7 (1976) S. 211-215
- /15/ Langlotz, T., Völker, E.-J.: Zur Akustik und Bauphysik des zukünftigen Wohnzentrums - Ende des traditionellen Wohnungsbaus?, DAGA in Hamburg 2001, Tagungsband (2001) CD ROM
- /16/ Kuhl, W.: Keine Gehörschädigung durch Tanzmusik, sinfonische Musik und Maschinengeräusche beim Rundfunk, Rundfunktechnische Mitteilungen (1976)
- /17/ Völker, E.-J.: Abhörlautstärke und Dynamik im Studio und Zuhause, Studio 5 (1982)
- /18/ Völker, E.-J., Teuber, W.: Noise levels of microphones for high quality recordings - are our studios good enough? AES Convention Los Angeles (2000) preprint
- /19/ Aus einem Gespräch mit Sergiu Celebidache, TMI, Tonmeisterinformation 5/6/7 (1987), s. IAB A13722