

Erweiterung von Lärmprognosen durch die Psychoakustik

Klaus Genuit¹

¹HEAD acoustics GmbH, 52134 Herzogenrath, E-Mail:klaus.genuit@head-acoustics.de

Einleitung

Die Geräuschbelastigung der Bevölkerung nahm in den letzten Jahren trotz zahlreicher Maßnahmen zur Reduktion der Geräuschemissionen einzelner Geräuschquellen weiter zu. Nach Angaben des Umweltbundesamtes fühlen sich nach wie vor über 50 % der Bevölkerung durch Verkehrslärm belastigt. [1] Die Gründe dafür sind vielschichtig. Die angestrebte Verringerung der Geräuschemission wesentlicher Verkehrsmittel durch strengere Zulassungsnormen wird durch deren zunehmende Anzahl, Auftrittshäufigkeit und veränderter Auftrittsdauer kompensiert. Beispielsweise nimmt der Bestand an zugelassenen Kraftfahrzeugen kontinuierlich zu. Ein anderer Aspekt betrifft die nach wie vor unzureichende Erfassung und Beschreibung des Phänomens Lärms mittels gesetzlich vorgeschriebener akustischer Indikatoren. Dies schließt ebenfalls ein unzulängliches Verständnis vom Begriff Lärm und dessen Implikationen ein. Derartige Missverständnisse erschweren das erfolgreiche und nachhaltige Verringern von Geräuschbelastigung.

Was ist Lärm?

Lärm entsteht durch die Wahrnehmung des Menschen und beschreibt die Wirkung von Geräuschen. Lärm ist folglich nicht mit Schallpegelmessern erfassbar, sondern aus Geräuschen wird erst dann Lärm, wenn diese für Betroffene unerwünscht sind oder geeignet, sie psychisch, physisch, sozial oder ökonomisch zu beeinträchtigen. [2] Lärm stellt eine negativ bewertete Schallmission dar, existiert also nicht ohne das wahrnehmende Subjekt. Diesem Verständnis schließt sich ebenfalls der Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD) an und erklärt, dass Lärm ein bewertender Begriff sei und deshalb mit physikalischen Geräten allein nicht messbar ist. [3] Demzufolge kann ein physikalisch eindeutig beschreibbares Schallereignis durchaus zu unterschiedlichen Hörereignissen führen. Kontext, Einstellung der Exponierten zur Geräuschquelle oder zu deren Verursachern sowie Erfahrung und Erwartungshaltung der Geräuschbelasteten beeinflussen die Wahrnehmung und Beurteilung von Geräuschen. Diesem Verständnis folgend lässt sich Lärm nicht allein anhand eines A-bewerteten Schalldruckpegels zuverlässig bestimmen, wie dies mit Begriffen wie „Lärmessung“ und „Lärmkarte“ suggeriert wird. Eine sogenannte „Lärmkarte“ ist bislang nur eine Karte, die Schalldruckpegel basierend auf gerechneten Daten darstellt. Eine Schalldruckpegelkarte ist sicherlich notwendig zur Erörterung einer Geräuschbelastung, sie ist aber für die zuverlässige Bestimmung von Belästigung durch Geräusche, also im Kontext Lärm, nicht hinreichend. Geräusche bzw. Geräuschquellen weisen, neben ihrem Schalldruck, weitere akustische Eigenschaften auf, die Geräuschbelastigung provozieren können. Dazu sind bestimmte Geräuschquellen speziell konnotiert, wodurch Belästigung ebenfalls beeinflusst wird.

Warum Psychoakustik?

Die Psychoakustik beschäftigt sich mit der Beschreibung des Zusammenhanges von physikalischen Reizen und den von ihnen hervorgerufenen Hörwahrnehmungen. Aus experimentell beobachteten Zusammenhängen zwischen Reizen und Empfindungen resultieren mathematische Beschreibungen und psychoakustische Modelle. Damit lassen sich Aussagen über akustische Eigenschaften von Geräuschen und deren Empfindung vornehmen. Eine erweiterte Bewertung von Umweltgeräuschen zur Vorhersage von Lärmbelästigung kann unter Betrachtung psychoakustischer Ausprägungen der Umweltgeräusche erfolgen. Experimente haben belegt, dass die Wahrnehmung von Lautstärke besser mit dem psychoakustischen Parameter Lautheit als mit dem A-bewerteten Schalldruckpegel korreliert. [4] Der Parameter Schärfe erfasst den Aspekt, dass Geräusche, die ihren energetischen Schwerpunkt im Bereich hoher Frequenzen haben, als scharf wahrgenommen werden, was häufig zu einer erhöhten Lästigkeit führt. Weitere psychoakustische Größen, wie Rauigkeit oder Schwankungsstärke, behandeln Empfindungen, die aufgrund spezieller zeitlicher Strukturen in Geräuschen hervorgerufen werden. Die psychoakustischen Parameter verhalten sich (nahezu) orthogonal, d. h. ein psychoakustischer Parameter kann variieren, obgleich ein anderer Parameter konstant bleibt. Es entsteht ein Informationsgewinn gegenüber dem Schalldruckpegel und differenziertere Aussagen über Ausprägung und potentielle Reaktionen des Hörers werden möglich. Aufgrund der Kenntnis psychoakustischer Geräuscheigenschaften kann somit weitere Varianz in Belästigungsdaten aufgeklärt werden.

Warum sind Lautheit und dB(A) nicht redundant?

Die DIN 45631/A1 erlaubt die Bestimmung der Lautheit von zeitvarianten Schallereignissen. Als repräsentativer Wert für die mittlere empfundene Gesamtlautheit von einem zeitvarianten Geräusch wurde die Perzentillautheit N_5 definiert und in psychoakustischen Experimenten bestätigt. Diese bezeichnet den Lautheitswert, der bei der betrachteten Signallänge lediglich in 5 % der Zeit überschritten wurde. Damit orientiert sich der repräsentative Einzahlwert, der die menschliche kognitive Reizintegration berücksichtigt, weniger an einem Mittelwert als an den Lautheitsspitzen der Funktion der Lautheit über der Zeit. Grundsätzlich hängt die Lautheit von der spektralen Verteilung ab, berücksichtigt die pegelabhängige Lautheitswahrnehmung bei unterschiedlichen Tönen und die Dauer sowie Simultan- und Nachverdeckungseigenschaften des menschlichen Gehörs.

Warum lassen sich psychoakustische Parameter nicht einfach vorhersagen?

Eine Schwierigkeit hinsichtlich einer möglichen rechnerischen Verarbeitung von psychoakustischen Größen liegt

darin, dass bei der Überlagerung von Schallquellen aus deren Einzahlwerten nicht auf den Summenwert geschlossen werden kann. Der Schalldruckpegel dagegen lässt sich ohne weiteres vorhersagen, wenn Anzahl und Schalldruck der Geräuschquellen bekannt sind. Bei psychoakustischen Größen ist dies nicht möglich, da stets die Zeitsignale zur Berechnung der psychoakustischen Größen erforderlich sind. Nur anhand des resultierenden Zeitsignals nach Überlagerung einzelner Geräusche können psychoakustische Kennwerte, wie Lautheit, Rauigkeit oder Schärfe, berechnet werden. Durch eine Überlagerung können spezifische Veränderungen bei den betrachteten psychoakustischen Größen auftreten. Es ist durchaus möglich, dass die Summe zweier Schallquellen hinsichtlich Rauigkeit und Schärfe einen geringeren Wert aufweist als das Maximum der Einzelquellen. Durch das Hinzufügen einer zusätzlichen Geräuschquelle kann sogar eine psychoakustische Ausprägung einer einzelnen Geräuschquelle verringert werden. Die Geräuschmessung bleibt daher zur Ermittlung psychoakustischer Ausprägungen unverzichtbar.

Wo muss die Psychoakustik Anwendung finden?

Es zeigte sich, dass die Bestimmung der Belastung durch Flugzeuggeräusche nicht basierend auf dem Ansatz der Energieäquivalenz erfolgen dürfe, sondern die Berücksichtigung der Perzentillautheit notwendig ist. [5] Auch im Bereich von Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschen ist die Psychoakustik notwendig, um eine detaillierte, gehörbezogene Beschreibung der Geräuschsituation zu ermöglichen.

Abbildung 1 verdeutlicht exemplarisch, dass die Lautheitsberechnung bereits eine ähnliche Belästigung im Fall von drei leisen anstatt eines lauten Überfluges vermuten lässt, obwohl die einzelnen Geräuschereignisse verursacht durch unterschiedliche Flugzeugtypen einen Schalldruckpegelunterschied von 20 dB aufweisen.

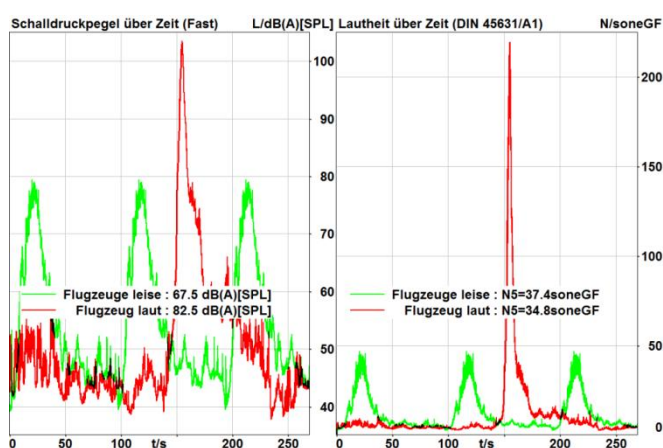


Abbildung 1: Schalldruckpegel- und Lautheitsvergleich von Flugzeugstarts. Start eines „lauten“ Flugzeuges (rot) und Start von drei „leisen“ Flugzeugen (grün). Links: Schalldruckpegel (A-bewertet) über Zeit, rechts: Lautheit (DIN 45631/A1) über Zeit

Es erscheint eindeutig, dass das Prinzip der Energieäquivalenz zur Bestimmung einer durchschnittlichen Belastung kritisch ist. Demnach könnten bis zu 100 leise Flugzeuge verkehren, um einen vergleichbaren äquivalenten

Dauerschallpegel zu erzeugen, wie das eine laute Flugzeug. Die psychoakustische Lautheit zeigt, dass bereits drei Starts von leisen Flugzeugen eine ähnliche N_5 -Perzentillautheit bedingen, wie der Start des lauten Flugzeuges. [6] Die Empfindung der mittleren Lautheit von zeitvarianten Geräuschen folgt nicht vereinfacht einer energetischen Mittelung des Schalldruckpegels. Daher müssen Psychoakustik und Kenntnisse der menschlichen Signalverarbeitung bemüht werden, um zuverlässige Aussagen über die erwartete Bewertung von Umweltgeräuschen geben zu können.

Fazit

Eine ausschließlich schalldruckpegelbezogene Bewertung von Umweltgeräuschen erscheint zur effektiven und nachhaltigen Lärmbekämpfung unzureichend. Dagegen lassen sich mithilfe der Psychoakustik kausale Zusammenhänge zwischen Geräuscheigenschaften und hervorgerufenen Reaktionen bei Belasteten erkennen und vorhersagen. Neben der Bestimmung psychoakustischer Eigenschaften eines Hörereignisses fließen aber weitere, auch nicht-akustische Aspekte in die Beurteilung von Geräuschen ein. Diese bedürfen ebenfalls der Analyse. Die Ermittlung der Ursachen für Beschwerden und Belästigungen erfordern differenzierte Betrachtungen fernab von voreiligen Schlussfolgerungen basierend auf gerechneten Schalldruckpegelkarten. Viele der lärmrelevanten Aspekte werden im Rahmen des Soundscape-Ansatzes erörtert, bei dem der Mensch im Fokus steht. Dieser Ansatz berücksichtigt jene nicht-akustischen Faktoren wie Raum und Kontext, bei der Interpretation einer Geräuschsituation. Aktuelle Standardisierungsarbeiten im Bereich Soundscape werden in naher Zukunft voraussichtlich zur verstärkten Betrachtung psychoakustischer und kontextueller Aspekte im Rahmen der Bewertung von Umweltgeräuschen führen. [7]

Literatur

- [1] Auswertung der Online-Lärmumfrage des Umweltbundesamtes, Umweltbundesamt, Fachgebiet 3.4, Information vom 14.04.2011
- [2] Guski, R. (1987). Lärm. Wirkungen unerwünschter Geräusche, Huber, Bern
- [3] Arbeitsring Lärm der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA)
- [4] Hellman, R. P., Zwicker, E. (1987). Why can a decrease in dB(A) produce an increase in loudness?, J. Acoust. Soc. Am., 82 (5)
- [5] Fastl, H. (1990). Trading number of operations versus loudness of aircraft, Inter-Noise 1990, Göteborg, Schweden
- [6] Genuit, K., Fiebig, A. (2013). Kritische Betrachtung zum Thema „Lärm“-Messung. Erweiterung von Lärmprognosen durch die Psychoakustik, Z. für Lärmbekämpfung, Nr. 1, 2014
- [7] ISO/DIS 12913-1: 2013, Acoustics. Soundscape, Part 1: Definition and conceptual framework, International Standardization Organization, Genf, Schweiz