

## **Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz**

I. STEPLINGER, A. SEITER

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

### **Einleitung**

Gemäß der Arbeitsstättenverordnung darf der Beurteilungspegel am Arbeitsplatz in Arbeitsräumen auch unter Berücksichtigung der von außen einwirkenden Geräusche bei überwiegend geistigen Tätigkeiten höchstens 55 dB(A) betragen.

In dieser Arbeit wurden verschiedene Arbeitsplätze, die entsprechend der genauen Spezifikation der Tätigkeiten in der VDI-Richtlinie 2058, Blatt 3 unter diesen Grenzwert fallen, hinsichtlich ihres typischen Geräuschbildes sowohl meßtechnisch als auch mit psychoakustischen Methoden detailliert untersucht. Dabei zeichnete sich eine Klassifizierung der Arbeitsplätze in zwei Gruppen ab: subjektiv leise Arbeitsplätze mit wenigen lauten Ereignissen (Typ A) und laute Arbeitsplätze, an denen permanent verschiedene geräuschvolle Lärmquellen vorhanden sind (Typ B). Eine eindeutige Trennung beider Kategorien anhand verschiedener Kriterien ist möglich; Ergebnisse werden vorgestellt.

### **Arbeitsplätze**

An 16 unterschiedlichen Arbeitsplätzen im Bereich Entwicklung, Service und Personalwesen sowohl in kleinen Unternehmen als auch in Großkonzernen, wurden Geräuschaufzeichnungen für die spätere Analyse auf DAT (Digital Audio Tape) erstellt. Dabei wurde das Meßmikrofon am Arbeitsplatz in Kopfhöhe des Mitarbeiters angebracht. Die einzelnen Arbeitsräume variierten von ca. 15 m<sup>2</sup> bis ca. 300 m<sup>2</sup>, die Zahl der Arbeitsplätze pro Raum von 2 bis 22. Hauptgeräuschquellen waren: Lüfter (Klimaanlage oder Computer), Sprache, Telefone sowie Bürogeräte (Drucker, Tastatur, Fax etc.).

Von den DAT-Aufnahmen wurden fünf Minuten dauernde Abschnitte für Hörversuche und meßtechnische Auswertung verwendet, wobei von einigen Arbeitsplätzen mehrere Ausschnitte der Aufnahme z.B. mit oder ohne Druckergeräusch oder mit viel bzw. wenig Sprache analysiert wurden.

### **Psychoakustische Experimente**

Die fünfminütigen Ausschnitte wurden in einer schallisolierten Meßkabine diotisch über einen elektrodynamischen Kopfhörer (Beyer DT 48) mit Freifeldentzerrer nach Zwicker und Fastl [1, S. 8] neun normalhörenden Personen (Hörverlust maximal 20 dB im Frequenzbereich 100 Hz bis 8 kHz) im Alter von 24 bis 37 Jahren dargeboten. Aufgabe der Versuchspersonen war, den Darbietungen aufmerksam zuzuhören und danach einen englisch verfaßten Fragebogen zur globalen Lautheit auszufüllen. Neben den gehörten Geräuschen mußte die Versuchsperson den „most prominent sound“ angeben. Die empfundene globale Lautheit wurde einer von sieben Kategorien zugeteilt, als absolute Größenschätzung mit einer positiven Zahl belegt und anhand einer markierten Linienlänge erfaßt. Die Resultate der Lautheitsbeurteilungen sind mit den drei verschiedenen Abfragemethoden sehr ähnlich. Pro Tag wurden von den Versuchspersonen je drei fünfminütige Darbietungen von verschiedenen Arbeitsplätzen beurteilt, die Reihenfolge der Darbietungen wurde jeweils variiert. Die intraindividuellen Schwankungen der Urteile der Versuchspersonen bei wiederholter Darbietung waren gering (meist < 10%, bezogen auf die Methode der Linienlänge).

Interindividuelle Schwankungen waren vor allem bei leisen Arbeitsplätzen (Typ A) mit einzelnen lauten Ereignissen (z.B. Nadeldrucker) relativ hoch. Die am häufigsten zugewiesenen Kategorien bei Typ A waren „slightly soft“ und „neither loud nor soft“; als „most prominent sound“ wurde das einzelne laute Ereignis oder auch das gleichmäßig leise

Hintergrundrauschen von Lüftern empfunden.

Der globalen Lautheit bei den Typ B-Arbeitsplätzen entsprachen die Kategorien „slightly loud“ bzw. „neither loud nor soft“. Die Angaben zum „most prominent sound“ waren je nach Versuchsperson sehr unterschiedlich, da sehr viele verschiedene laute Ereignisse ständig vorhanden waren; sehr oft wurde Stimmengewirr genannt. Interindividuelle Schwankungen der Lautheitsbeurteilung sind bei diesen Arbeitsplätzen geringer; sie werden alle als „laut“ bewertet.

### Meßtechnische Untersuchungen

Von den fünfminütigen Darbietungen wurden die Lautheit  $N$  in sone nach DIN 45631 ermittelt und Lautheits-Zeit-Diagramme aufgezeichnet. Mit einem Schallstatistikgerät konnte eine Statistik der Perzentillautheiten  $N_x$ , die in  $x\%$  der Meßzeit erreicht bzw. überschritten werden, erstellt werden. Mit den Lautheits-Zeit-Diagrammen und den daraus resultierenden Perzentillautheitsverteilungen kann der Lautheitsverlauf am Arbeitsplatz qualitativ und quantitativ sehr gut erfaßt werden und sie ermöglichen eine Einteilung der Arbeitsplätze in die Typen A und B.

Das gleichmäßig leise Hintergrundgeräusch von Aufnahmen an Typ A-Arbeitsplätzen erreicht bis zu 8 sone, die wenigen lauten Ereignisse sind bis zu 20 sone laut. In den ruhigen Passagen schwankt die Lautheit über lange Zeit meist nur gering, was sich durch einen fast konstanten Lautheitsverlauf bei hohen Perzentilwerten ( $50 < x < 99$ ) zeigt.

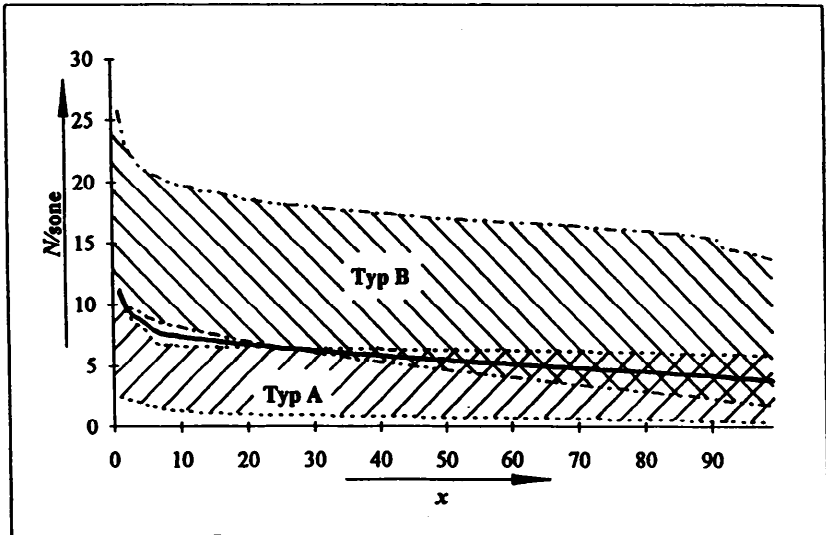
Bei den lauten Typ B-Arbeitsplätzen setzt sich der bis zu 16 sone laute „Hintergrund“ aus zahlreichen Einzelschallereignissen zusammen. Dadurch ist in der Perzentilverteilung eine größere Dynamik auch noch im Bereich der Perzentillautheiten  $N_{50}$  bis  $N_{99}$  offensichtlich. Bei Typ B vorhandene laute Ereignisse erreichen in Einzelfällen bis zu 40 sone.

In Abbildung 1 wurden die Maximal- und Minimalwerte der Lautheit der beiden Arbeitsplatz-Typen A und B über den Perzentilwerten  $N_1$  bis  $N_{99}$  aufgetragen. Bis zum Perzentil 25 überlappen sich die Bereiche nicht, die durchgezogene Linie stellt hier eine Grenzkurve zwischen beiden Bereichen dar. Überschreitet die Perzentillautheit des zu untersuchenden Arbeitsplatzes diese Werte, so gehört der Arbeitsplatz zum Typ B, liegen die Lautheitswerte darunter, so ist es ein Typ A-Arbeitsplatz.

Neben der Lautheit wurde auch der energie-äquivalente Dauerschallpegel  $L_{eq}$  in dB(A) ermittelt. Es zeigte sich, daß alle Typ A-Arbeitsplätze den geforderten Grenzwert von 55 dB(A) einhalten, oft sogar liegen die Meßwerte weit darunter (39,2 bis 52,4 dB(A)). Bei einigen der Typ B-Arbeitsplätzen dagegen wird dieser Grenzwert während des willkürlich herausgegriffenen fünfminütigen Ausschnittes überschritten (53,2 - 59,0 dB(A)). Der energie-äquivalente Dauerschallpegel gibt jedoch nur Aufschluß über die gemittelte Schallenergie, nicht jedoch über den Schallpegelverlauf. So kann der  $L_{eq}$  bei einem leisen Arbeitsplatz mit wenigen sehr lauten Ereignissen identisch sein mit dem  $L_{eq}$  bei einem Platz, an dem verschiedene laute Ereignisse permanent vorhanden sind.

### Ergebnisse

Nachdem nun sowohl meßtechnisch erfaßte Werte als auch die subjektiven Urteile der Versuchspersonen zur Verfügung standen, wurden die Ergebnisse, die unter Anwendung der akustischen Meßtechnik und mit Hörversuchen gewonnen wurden, gegenübergestellt. Bei den leisen Typ A-Arbeitsplätzen orientierten sich die Versuchspersonen bei der Lautheitsbewertung an den wenigen lauten Einzelereignissen. Diese Ereignisse, wie z.B. Nadel-drucker, besonders lautes Telefonklingeln oder Sprache, wurden von den Personen auch als herausragendste Schalle bezeichnet. Diese subjektive Einschätzung läßt sich sehr gut durch den Perzentilwert  $N_{10}$  der Lautheit nachbilden.



**Abb. 1:**  
 Bereiche der Maximal- und Minimalwerte der Lautheit der Arbeitsplatz-Typen A und B; durchgezogen die Grenzkurve zwischen Typ A und Typ B im Bereich von  $N_1$  bis  $N_{25}$ .

Bei den lauten Typ B-Arbeitsplätzen dagegen ziehen die Versuchspersonen zur Bewertung das komplexe Hintergrundgeräusch (Stimmengewirr, Drucker oder ständiges Telefonklingeln) heran. Der Lautheitsperzentilwert  $N_{70}$  entspricht dieser Wahrnehmung.

Als Maß für die Übereinstimmung von subjektiven und objektiven Werten wurde der mittlere quadratische Fehler zwischen Zentralwerten der Versuchspersonenurteile und Meßwerten berechnet. Dazu wurde der Dauerschallpegel (logarithmischer Wert) in lineare Größen (Intensität, Schalldruck und mittels einer Faustformel „10 dB mehr entspricht doppelt so laut“) umgerechnet. Als Lautheitswerte wurden je nach Arbeitsplatztyp die Perzentile  $N_{10}$  bzw.  $N_{70}$  verwendet. Bei einer Normierung auf Versuch V10 ergab sich der geringste quadratische Fehler bei der Lautheit (0,02); beim  $L_{eq}$  waren die quadratischen Fehler bei allen Umrechnungsmethoden größer (Bei Berechnung über Intensität: 1,24, Schalldruck: 0,19 und Faustformel: 0,08). Bei einer anders gewählten Normierung änderten sich die Zahlenwerte geringfügig, die Lautheit korreliert jedoch stets am besten mit den subjektiven Werten.

Auf der Suche nach weiteren Unterscheidungskriterien fiel auf, daß die beiden Typen verschiedenen Tätigkeitsfeldern angehören. Typ A sind Arbeitsplätze in Entwicklungs- oder Organisationsabteilungen und Personalwesen. Mitarbeiter arbeiten meist selbständig am Computer oder Schreibtisch; es findet kaum eine Unterhaltung statt. Bei Typ B dagegen sind Service- und Vertriebsabteilungen vorherrschend, ebenso Buchhaltung. In den sehr kommunikationsintensiven Bereichen werden fast ständig Kundengespräche geführt. Um sich in dem allgemeinen Stimmengewirr und Hintergrundlärm (Telefonklingeln, Drucker) noch verständlich zu machen, müssen die Mitarbeiter zwangsweise lauter reden; der Lärm nimmt zu.

Die Arbeitsraumgröße oder die Mitarbeiteranzahl spielt für die Einteilung der Arbeitsplätze in die Typen A und B keine Rolle.

Verschiedene analysierte Ausschnitte der Aufnahmen eines Arbeitsplatzes entsprachen sowohl subjektiv als auch nach der Lautheitsverteilung immer nur einem Typ. Das Geräuschbild jedes Typs ist sehr charakteristisch und grundlegend für einen Arbeitsplatz. Typ A sind leise Arbeitsplätze mit wenigen lauten Ereignissen, Typ B dagegen Arbeitsplätze in lärmfüllter Umgebung mit ständig vorhandenen lauten Ereignissen. Arbeitsplätze im mittleren Lautheitsbereich fehlen. Um die Arbeitsplätze der beiden Typen zuverlässig unterscheiden zu können, kann die angegebene Grenzkurve (Abb. 1) verwendet werden. Liegen die Lautheitswerte im Bereich der Perzentile  $1 < x < 25$  über der Grenzkurve, handelt es sich um einen Typ B-Arbeitsplatz; liegen sie darunter, um Typ A.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde der Darbietungspegel mehrerer Aufnahmen variiert um die Klassenzugehörigkeit zu überprüfen. Bei Aufnahmen aus leisen Typ A-Arbeitsräumen wurde der Darbietungspegel bei den Hörversuchen um 15 dB erhöht, bei Aufnahmen von lauten Typ B-Arbeitsplätzen der Pegel um 15 dB abgesenkt. Die Versuchspersonen beurteilten die Darbietungen nun entsprechend. Aus Typ A wurde Typ B und umgekehrt.

Eine meßtechnische Untersuchung der im Pegel veränderten Aufnahmen bestätigte den nun veränderten Typ. Durch den stark nichtlinearen Zusammenhang von Pegel und Lautheit [1, S. 183 ff] hat sich die Lautheitsperzentilstatistik der Aufnahmen ebenfalls stark geändert und entspricht nun den Kriterien der jeweils anderen Klasse. Die Lautheitswerte von ehemals Typ A-Arbeitsplätzen liegen nun über der Grenzkurve und zeigen eine größere Dynamik im Hintergrundgeräusch, sie entsprechen somit nun Typ B. Die im Pegel abgesenkten Aufnahmen des Typ B liegen bei der Lautheitsstatistik nun unter der Grenzkurve und erfüllen alle Bedingungen eines Typ A-Arbeitsplatzes.

### **Zusammenfassung**

Die Untersuchungen sowohl mit psychoakustischen als auch meßtechnischen Methoden haben folgende Ergebnisse gebracht:

Um Arbeitsplätze mit überwiegend geistigen Tätigkeiten (Arbeitsstättenverordnung, VDI-Richtlinie 2058, Blatt 3), gehörnichtig beurteilen zu können, müssen sie in zwei Klassen unterschieden werden:

**Typ A:** subjektiv leise Arbeitsplätze mit wenigen lauten Ereignissen und

**Typ B:** laute Arbeitsplätze, an denen permanent verschiedene geräuschvolle Lärmquellen vorhanden sind.

- Die Klassen lassen sich mittels einer Grenzkurve unterscheiden.
- Die subjektive Bewertung der Arbeitsplätze und Einteilung in zwei Klassen läßt sich mittels  $N_{10}$  für Typ A und  $N_{70}$  bei Typ B sehr gut nachbilden.
- Zur gehörnichtigen Bewertung ist die Lautheit besser geeignet, als der energie-äquivalente Dauerschallpegel.
- Senkt man den Pegel bei Typ B Arbeitsplätzen ab, bzw. erhöht man ihn bei Typ A-Arbeitsplätzen, so erfüllen diese Aufnahmen nun alle Forderungen der anderen Klasse. Versuchspersonen ordnen sie nun dem jeweils anderen Typ zu.

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 204 „Gehör“ München gefördert.

### **Literatur**

- [1] Zwicker, E., Fastl, H.: Psychoacoustics - Facts and Models, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, 1990.