

BERECHNUNG PARTIELL MASKIERTER LAUTHEITEN AUF DER GRUNDLAGE VON ISO 532 B

Eberhard Zwicker

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München, Arcisstrasse 21, D-8000 München 2, F.R.G.

Einführung: Im Alltag des Lärmschutzes muß häufig die Wirkung einer zusätzlichen, neuauftretenden Schallquelle neben einem Hintergrundgeräusch beurteilt werden. Dieser Maskierer kann die Lautheit des zusätzlichen Schalles drosseln, d.h. partiell maskieren. Gerade diese gedrosselte Lautheit ist es, die interessiert. Die Möglichkeit, das bewährte Verfahren der Lautheitsberechnung von unverdeckten Schallen auch für partiell maskierte Schalle zu benutzen, wurde schon früher erläutert (Zwicker 1963). Was für die unverdeckten Schalle gilt, behält auch für den partiell maskierten Schall Gültigkeit, wenn anstelle der unmaskierten nun die partiell maskierten spezifischen Lautheiten benutzt werden. Auch dann ist die gesuchte, partiell verdeckte Lautheit das Integral über die partiell verdeckten spezifischen Lautheiten als Funktion der Tonheit. Letztere sind Funktionen des Erregungspegels des Testschalles und des Erregungspegels des Maskierers. Beide werden aus den Frequenzgruppen bzw. Terzpegeln und den zugehörigen oberen Flanken gebildet. Die früher schon abgeschätzten Zusammenhänge (Zwicker 1963) sind in Fig. 1 unter Anpassung an ISO 532 B dargestellt (Exponent 0,25 anstelle von 0,23). Mit Hilfe dieses Diagrammes kann bei gegebener Terzpegelverteilung sowohl des Testschalles als auch des maskierenden Schalles die bei den einzelnen Tonheiten herrschende partiell maskierte spezifische Lautheit N'_p abgeschätzt und die Gesamtlautheit - in diesem Fall partiell maskiert - berechnet werden. Dieses Verfahren ist allerdings mühsam. Es wurde daher versucht, unter Benützung des für ISO 532 B entwickelten Rechenprogrammes (Zwicker, Fastl und Dallmayr, 1984) und mit Hilfe von sinnvollen Näherungen ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung von partiell maskierten Lautheiten zu entwickeln.

Sinnvolle Näherungen: Zwei Näherungen sind schon aus Fig. 1 ersichtlich. Für Pegel unter seiner Mithörschwelle ist ein Sinuston unhörbar. Dort hat er die Lautheit Null. Diese Mithörschwelle liegt bei der Frequenz des Testtones um das Verdeckungsmaß (2 dB bei tiefen Frequenzen, 6 dB bei hohen Frequenzen) unter dem Frequenzgruppen- bzw. Terzpegel des Maskierers. Wird ein Verdeckungsmaß von

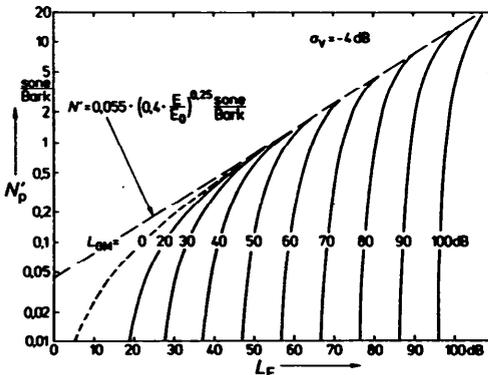


Fig. 1: Partiiell maskierte spezifische Lautheit N'_p in Abhängigkeit vom Erregungspegel L_E mit dem Maskiererpegel L_{GM} in der Frequenzgruppe als Parameter. Daten (Zwicker 1963, Fig. 23) ungezeichnet für die angegebenen Randbedingungen.

im Mittel -4 dB eingesetzt, dann gilt

$$N'_p = 0 \text{ für } L_{\text{DOBT}} - L_{\text{DOEM}} < -4 \text{ dB.}$$

DOB: Drittel Oktav Band

M : Maskierer

T : Testschall

Ist andererseits ein Sinuston sehr stark im Pegel, z.B. 12 dB stärker als ein Schmalbandrauschen gleicher Mittenfrequenz, dann wird das Schmalbandrauschen kaum mehr wahrgenommen, d.h. es hat auch keine partiell maskierende Wirkung mehr. Die partiell maskierte spezifische Lautheit geht dann über in die unmaskierte spezifische Lautheit. Die Grenze hängt von der Art der Testschalle und der maskierenden Schalle ab (Konfiguration Testtrauschen und Maskiererton: etwa 4 dB; Konfiguration Testton Maskiererrauschen: etwa 20 dB; siehe Fig. 10 in Zwicker 1963). Wird ein mittlerer Wert von 12 dB angenommen, so kann eine zweite Näherung angegeben werden:

$$N'_p = N'_T \text{ für } L_{\text{DOBT}} - L_{\text{DOEM}} > 12 \text{ dB}$$

Um für den zwischen diesen beiden Grenzen liegenden Bereich, der eine Pegeldifferenz von 16 dB umfaßt, eine brauchbare Näherung zu finden, ist aus Fig. 1 die auf die spezifische Lautheit des Maskierers bezogene partiell maskierte spezifische Lautheit (Ordinate) als Funktion der ebenfalls auf die spezifische Lautheit des Maskierers bezogene spezifische Lautheit des Testschalles in Fig. 2 aufgetragen. Für einen Maskiererpegel von $L_{GM} = 60$ dB und einen Test-Erregungspegel von 65 dB beispielsweise ergeben sich aus Fig. 1 folgende Werte: $N'_M = 1,35$ sone/Bark, $N'_T = 1,8$ sone/Bark und $N'_p = 1,1$ sone/Bark. Zum bezogenen ungedrosselten Wert $N'_T/N'_M = 1,33$ gehört also ein bezogener partiell maskierter Wert $N'_p/N'_M = 0,81$ (siehe Pfeile und Kreuz in Fig. 2). Das Verdeckungsmaß bewirkt, daß bei einem Abszissenwert von 0,8 die partiell maskierte spezifische Lautheit Null ist. Der Anstieg der partiell maskierten spezifischen Lautheit hängt, wie Fig. 2 zeigt, vom Pegel des Störers ab. Bei sehr kleinen Pegeln des Maskierers schmiegen sich die Kurven langsamer an die 45° Gerade an, als bei mittleren und großen Pegeln. Dennoch ist die Abhängigkeit vom Pegel des Maskierers verhältnismäßig gering, so daß eine Gerade zwischen den Werten 0,8/0 und 2/2 für Abszisse/Ordinate sich als einfache Näherung anbietet. Da Werte des Maskiererpegels unter etwa 30 dB pro Terz für die Praxis weniger wichtig sind, scheint diese Näherung (durchgezogene Gerade in Fig. 2) erlaubt. Folgende Gleichung entspricht dieser Näherung:

$$N'_p = (N'_{\text{DOBT}} / 0,6) - (8 N'_{\text{DOEM}} / 6); \text{ für } -4 \text{ dB} \leq L_{\text{DOBT}} - L_{\text{DOEM}} \leq 12 \text{ dB.}$$

Da die spezifischen Lautheiten von Testschall (N'_T) und von Maskierer (N'_M) aus den zugehörigen Terzpegel-Diagrammen mit Hilfe des Verfahrens ISO 532 B inklusive der Flankenlautheiten bestimmt werden können, ist dieses Verfahren für die Berechnung von Lautheiten von partiell maskierten Schallen erweitert worden. Mit seiner Hilfe wurden in der Literatur angegebene, psychoakustisch ermittelte Lautheiten von partiell maskierten Schallen berechnet.

Beispiel: Lautheit eines durch Rauschen partiell maskierten 1 kHz-Tones. Das Verfahren beschreibt die Lautheit ebenfalls als eine Fläche, die von den spezifischen Lautheiten als Funktion der Tonheit gebildet wird. Für maskierendes Rosa Rauschen mit 60 dB pro Terz sind in Fig. 3 diese Lautheitsmuster dargestellt. Im Teilbild 3a beträgt der Pegel des 1 kHz-Tones nur 60 dB. Er ist demnach genauso stark wie das Rauschen in der Terz bei 1 kHz. Der 1 kHz-Ton ist zwar wahrnehmbar, wird aber von dem Rosa Rauschen stark gedrosselt, was sich in der kleinen Fläche unter der durchgezogenen Kurve ausdrückt. Der Vergleich mit dem punktiert dargestellten, ungedrosselten Muster macht den Unterschied zwischen gedrosselten und ungedrosselten Lautheiten sehr deutlich. Im Teilbild 3b ist der 1 kHz-Ton mit einem Pegel von 75 dB so stark, daß er das Rauschen in

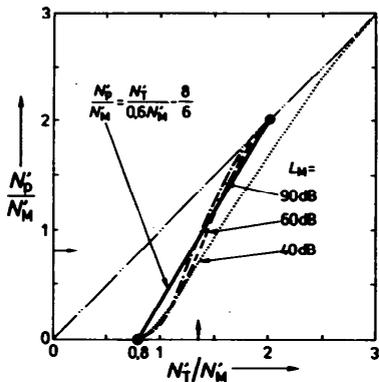


Fig. 2: Für das Auffinden einer brauchbaren Näherung (durchgezogene Gerade) zur Berechnung der partiell maskierten spezifischen Lautheit N'_p , benützte Darstellung in Werten, die auf die unmaskierte spezifische Lautheit des Maskierers bezogen sind.

der Terz bei 1 kHz um 15 dB überragt. Dementsprechend ist in diesem Bereich die ungedrosselte Lautheit und die partiell maskierte Lautheit gleich. Die untere und die obere Flanke dagegen werden vom Rosa Rauschen unterdrückt. Dementsprechend nimmt die Gesamtlautheit des partiell maskierten 1-kHz Tones ab, obwohl die spezifische Lautheit im Tonheitsbereich, der zu 1 kHz gehört, nicht reduziert wird. Die Darstellung in Lautheitsmustern wirkt auch hier außerordentlich veranschaulichend.

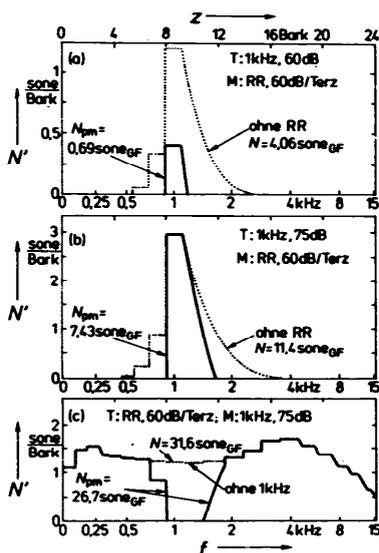


Fig. 3: Lautheitsmuster (spezifische Lautheit N' als Funktion der Tonheit bzw. der Mittenfrequenz von Terzen) von partiell maskierten 1 kHz-Tönen (a,b) und von partiell maskiertem Rosa Rauschen (c). Parameter sind angegeben (T: Testschall; M: Maskierer).

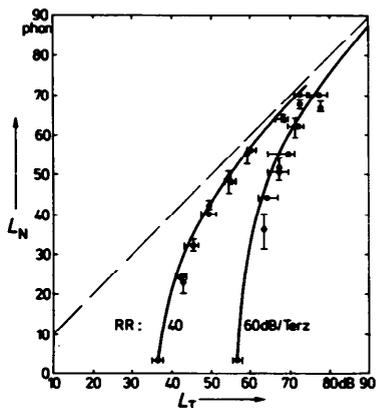


Fig. 4: Subjektiv gemessene, gedrosselte Lautstärkepegel L_N (Zentralwerte und wahrscheinliche Schwankungen aus Zwicker, 1963) in Abhängigkeit vom Schallpegel L_T der 1 kHz-Töne und berechnete Abhängigkeiten (durchgezogene Kurven). Parameter: Pegel des maskierenden Rosa Rauschens.

Im Berechnungsverfahren können Testschall und Maskierer auch vertauscht werden. Im Teilbild 3c wirkt der 1 kHz-Ton drosselnd auf das Rosa Rauschen. Die partiell maskierende Wirkung ist im Frequenzbereich nahe 1 kHz am stärksten. Der Vergleich mit dem punktiert eingetragenen Lautheitsmuster des ungedrosselten Rosa Rauschens macht dies deutlich.

Vergleich mit Daten aus der Literatur: In einer früheren Arbeit (Zwicker 1963) wurde die partiell maskierte Lautheit eines 1 kHz-Tones im Gleichmäßig Anregendem Rauschen mit Pegeln von 40 bzw. 60 dB je Frequenzgruppe gemessen. Gleichmäßig Anregendes Rauschen und Rosa Rauschen unterscheiden sich im mittleren und hohen Frequenzbereich so wenig, daß dort ihre drosselnde Wirkung als gleich angesehen werden kann. Die psychoakustischen Daten aus Fig. 12 der genannten Arbeit wurden in Fig. 4 übernommen. Aufgetragen ist der Pegel des gleich lauten ungedrosselten 1 kHz-Tones in Abhängigkeit vom Pegel des gedrosselten 1 kHz-Tones bei gleichzeitiger Darbietung von Rosa Rauschen mit 40 bzw. 60 dB pro Terz. Die mit dem angegebenen Verfahren näherungsweise berechneten Lautheiten wurden in Lautstärkepegel umgerechnet und in Fig. 4 als durchgezogene Kurven eingetragen. Die Übereinstimmung zwischen den psychoakustisch gemessenen und den berechneten Werten ist sehr gut. Dies kann als Hinweis dafür angesehen werden, daß das an ISO 532 B angelehnte Berechnungsverfahren für die Lautheiten von partiell maskierten Schallen trotz der Einfachheit der benutzten Näherung sehr brauchbare Werte liefert.

Gesamtschallpegel oder (A)-bewertete Schallpegel sind für solche Berechnungen unbrauchbar. Die Nachbildung der Eigenschaften des menschlichen Gehörs gelingt jedoch näherungsweise mit Terzpegeln. Mit Hilfe des Lautheitsberechnungsverfahrens und seinen Erweiterungen kann die Lautheit von zwei Schallen A und B sowohl bei einzelner Darbietung als auch bei gemeinsamer Darbietung (Zwicker und Fastl, 1986) bestimmt werden. Das hier erläuterte Verfahren bietet zusätzlich die Möglichkeit, die Lautheit des Schalles A partiell maskiert von B oder die Lautheit des Schalles B partiell maskiert von A zu berechnen.

Die Untersuchungen wurden innerhalb des SFB 204 "Gehör", München, durchgeführt, der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wird.

Literatur

- Zwicker, E. (1963) Über die Lautheit von ungedrosselten und gedrosselten Schallen. *Acustica* 13, 194-211.
- Zwicker, E., Fastl, H. and Dallmayr, C. (1984) BASIC-Program for calculating the loudness of sounds from their 1/3-oct. band spectra according to ISO 532 B. *Acustica* 55, 63-67.
- Zwicker, E. and Fastl, H. (1986) Examples for the use of loudness: Transmission loss and addition of noise sources. In: Proc. inter-noise '86, 861-866.