

AKUSTISCH MESSBARE STATIONÄRE, TONALE SIGNALE AUS DEM GEHÖR

E. Schloth

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

1. EINLEITUNG

Eine Analyse des akustisch meßbaren Hintergrundgeräusches im nach außen abgeschlossenen Gehörgang hat den Nachweis erbracht, daß vom Ohr akustisch meßbare Signale auch bei fehlender Fremdbeschallung erzeugt werden. Dabei sind nicht die akustischen Antworten [1, 6] gemeint, die als Reaktion auf kurze Fremdschallimpulse auftreten, sondern die bei stiller Umgebung dauernd auftretende Erzeugung schmalbandiger, tonaler Schalle. Diese für die betreffende Person selbst unhörbaren Töne treten mit einem in der Frequenzlage benachbart dargebotenen Sinuston bestimmten Pegels in Wechselwirkung [1]. Mehrere aufmerksame Beobachter haben in begrenzten Frequenzbereichen beim Messen der Ruhehörschwelle Schwebungs- und Rauhigkeitseffekte beobachtet. Dies führte zu der Annahme, daß spontane tonale Schallerzeugung im Ohr - als otoakustische Eigenschwingungen OAE bezeichnet - häufiger auftritt. Zur Klärung sowohl der Häufigkeit, der Frequenzen und der äquivalenten Schalldruckpegel als auch des Ortes der Entstehung solcher OAE wurde eine Untersuchung an einer größeren Gruppe normalhörender Personen durchgeführt.

2. MESSVERFAHREN

Ein rauscharmes Mikrofonsystem genügend kleiner Abmessungen (Membrandurchmesser ca. 12,5 mm) wird mittels eines Ohrpaßstückes an den äußeren Gehörgang angekoppelt. Ein akustisches Signal kann über eine zusätzliche kleine Öffnung in das Kammervolumen vor dem Trommelfell eingekoppelt werden. Um Fremdstörungen klein zu halten, sitzt die Versuchsperson in einem akustisch isoliertem Raum. Störungsarme Ausschnitte des akustischen Hintergrundgeräusches im Frequenzbereich 500 Hz bis 5000 Hz werden mit einer Dauer von ca. 20 Sekunden auf Magnetband aufgezeichnet. Die schmalbandige Analyse dieser Ausschnitte wird mit einem 3,16 Hz breiten Bandpaßfilter (B & K 3020) durchgeführt, welches kontinuierlich in seiner Mittenfrequenz verändert wird. Das Eigenrauschen des Gesamtsystemes liegt für Frequenzen über 1 kHz bei einem äquivalenten Schalldruck-Dichtepegel von weniger als -20 dB bezogen auf 20µPa/Hz.

3. MESSERESULTATE

Die Untersuchungen wurden an 56 normalhörenden Personen im Alter zwischen ca. 25 und 35 Jahren (willkürlich aus einem Studentenkollektiv ausgewählt) durchgeführt.

Bild 1 zeigt als Beispiel einen Ausschnitt aus einem Auswerteprotokoll; Abszisse ist die Mittenfrequenz des Analysefilters, Ordinate der Schalldruckpegel im Gehörgang. Das Eigenrauschen liegt in diesem Frequenzbereich bei ca. -26 dB (3,16 Hz Bandbreite). In die Aufzeichnung ist ein sinusförmiges Referenzsignal mit dem äquivalenten Schalldruckpegel von -18 dB und der Frequenz von 1726 Hz eingespielt. Bei dieser Analyse können neben dem Referenzsignal zwei in ihrer Frequenz benachbarte schmalbandige otoakustische Eigenschwingungen

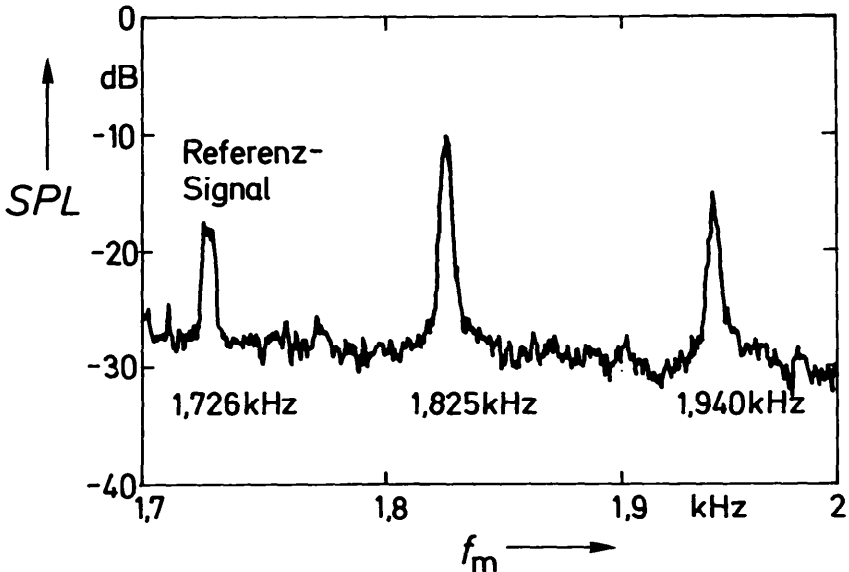


Fig.1. Beispiel der Analyse der oto-akustischen Eigenschwingungen (OAE) in spektraler Darstellung. Aufgetragen ist der Schalldruckpegel im Gehörgang in dB in Abhängigkeit der Mittenfrequenz des 3,16 Hz breiten Analysefilters. Bei 1,726 kHz ist ein in das Meßsystem eingespieltes sinusförmiges Referenzsignal zu erkennen.

beobachtet werden. Der Vergleich mit dem Referenzsignal zeigt, daß die OAE innerhalb der Meßdauer von ca. 20 Sekunden in ihrer Frequenz stabil sind. Auch bei Beobachtung über einen längeren Zeitraum zeigen sie große Langzeitstabilität [1].

Bei 33 % der untersuchten Ohren konnte mindestens eine OAE im Bereich 500 bis 5000 Hz gefunden werden, ca. die Hälfte davon zeigte mehrere schmalbandige OAE. Bei zwei Drittel aller Personen mit OAE kann eine davon verschiedene OAE auf dem anderen Ohr beobachtet werden. Gehäuft erscheinen die OAE im Frequenzbereich 1 bis 2 kHz mit einem Pegel zwischen -8 und -16 dB SPL. An 3 Ohren wurde ein Pegel größer 0 dB SPL gemessen.

4. ENTSTEHUNGSRORT

4.1 Modellvorstellung

Zwicker hat 1979 [5] in einem vorläufigen Modell für die periphere Signalverarbeitung Vorstellungen dargelegt, welche wegen der benutzten Nichtlinearitäten und Rückkopplungen im Verarbeitungsmechanismus Hinweise auf eine mögliche Entstehung der OAE innerhalb eines eng begrenzten Ortsbereiches des Innenohres liefern. Durch eine zusätzliche Erregung in demjenigen Ortsbereich der Cochlea, welcher zur Frequenz der betrachteten OAE gehört, müßten diese Rückkopplungs- und Regelungsprozesse gestört und damit die OAE meßbar verändert werden können. Ein dem Ohr dar-

gebotenes schmalbandiges Signal hat über den Bereich der Kernerregungen hinaus wegen den Flankenerregungen eine örtlich ausgedehnte Erregungsverteilung auf die Cochlea zur Folge [2]. Demnach müßten in der Frequenz zur OAE benachbarte Töne bei geeigneter Wahl des Pegels die OAE verändern.

4.2 Suppression der OAE

In Bild 2 ist der Pegel L_{OAE} der beobachteten OAE mit der Frequenz $f_{OAE} = 1015$ Hz in Abhängigkeit vom Pegel L_S eines zugesetzten Tones dargestellt.

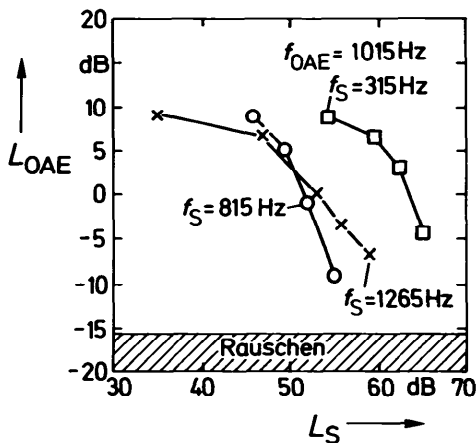
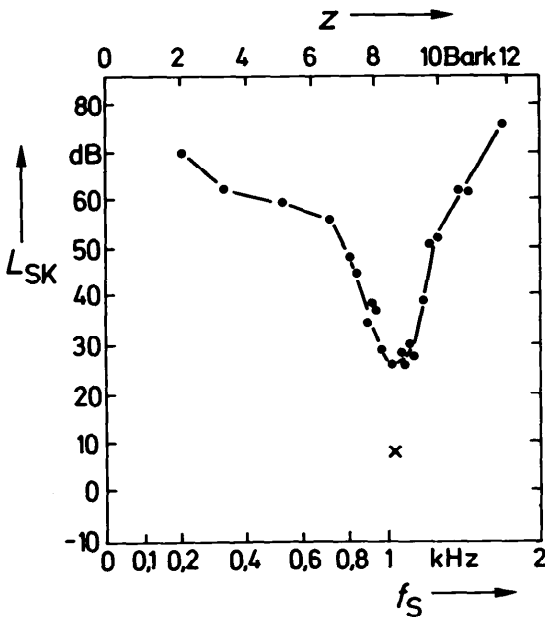


Fig. 2. Schalldruckpegel L_{OAE} der OAE in Abhängigkeit vom Pegel L_S eines von außen zugeführten Sinustones mit der Frequenz f_S (Parameter). Beobachtet wird eine schmalbandige OAE der Frequenz 1015 Hz mit einem Schalldruckpegel von 9 dB bei stiller Umgebung.

stark von seiner Frequenz f_S abhängig. Diese Abhängigkeit wird als Suppressionskurve der OAE bezeichnet. Ein Beispiel dafür ist in Bild 3 dargestellt.

Die Frequenzverteilung ist so ausgeführt, daß sich eine lineare Teilung in der Tonheit ergibt (obere Skala). Die Form dieser Suppressionskurve ist den psychoakustischen und neurophysiologischen Tuningkurven [3, 4] sehr ähnlich.

Parameter der Kurvenschar ist die Frequenz f_S des von außen zugeführten Sinustones. Für Pegelwerte L_S kleiner eines bestimmten Grenzwertes wird die OAE nicht verändert, oberhalb dieses Grenzwertes nimmt der Pegel der OAE bei Erhöhung von L_S ab, bis sie schließlich unter das verbleibende Rauschen absinkt. Der Grenzpegel L_{SG} für die Unterdrückung (Suppression) der OAE ist frequenzabhängig, wie ein Vergleich der gemessenen Abhängigkeiten bei $f_S = 315$ Hz und $f_S = 815$ Hz zeigt. Es kann eine Frequenzabhängigkeit mit selektivem Charakter beobachtet werden. Eine solche Selektivität ist in der Literatur als Tuningkurve bekannt [3, 4]. Als Maß wurde eine Suppression um 6 dB gewählt, d.h. der gemessene Pegel der OAE nimmt durch den von außen zugeführten Sinuston gegenüber dem in Ruhe gemessenen Wert um 6 dB ab. Der dazu notwendige Pegel L_{SG} des zugesetzten Tones ist



5. SCHLUSS

Die Frequenzabhängigkeit der Suppressionskurven einer OAE ist derjenigen psychoakustischer und neurophysiologischer Tuningkurven sehr ähnlich. Dies deutet darauf hin, daß der Mechanismus für die Entstehung der OAE im peripheren Teil des Hörsystemes zu suchen ist.

Fig. 3. Pegel L_{SK} eines von außen zugeführten, die OAE um 6 dB reduzierenden Sinustones in Abhängigkeit von seiner Frequenz f_s .

LITERATUR

- [1] Schloth, E., Im äußeren Gehörgang akustisch meßbare Signale aus dem Gehör. In: Fortschritte der Akustik, DAGA '80, VDE-Verlag, Berlin, 591-594 (1980)
- [2] Zwicker, E. und Feldtkeller, R., Das Ohr als Nachrichtenempfänger, 2. erw. Aufl., Hirzel-Verlag, Stuttgart (1967).
- [3] Kiang, N.Y.S., Sachs, M.B., Peake, W.T., Shapes of tuning curves for single auditory-nerve fibers. J. Acoust. Soc. Am. **42**, 1341-1342 (1967).
- [4] Zwicker, E., On a Psychoacoustical Equivalent of Tuning Curves. In: Facts and Models in Hearing, (E. Zwicker and E. Terhardt, eds.), Springer, Berlin, 132-141 (1974).
- [5] Zwicker, E., A model describing nonlinearities in hearing by active processes with saturation at 40 dB. Biol. Cybernetics **35**, 243-250 (1979).
- [6] Zwicker, E., Masking period patterns and cochlear acoustical responses. Hearing Research. Im Druck.

Die Untersuchungen wurden im Sonderforschungsbereich 50 "Kybernetik", München durchgeführt, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft.