

## Ruhehörschwellenabsenkung während der Wahrnehmung des Zwickertons LUTZ WIEGREBE\*, STEFAN WARTINI\*, MANFRED KÖSSL\* UND SABINE SCHMIDT\*

\*Zoologisches Institut LMU München, <sup>§</sup> Fachgebiet Akust. Kommunikation, TU München

### 1. Einleitung

Aus Akzentuierungsversuchen ist seit langem bekannt, daß die Mithörschwelle für einen Signalton erheblich abgesenkt werden kann, wenn er gegenüber dem Maskierer mit spektraler Lücke zentriert um das Signal (z.B. Bandsperrenrauschen oder ein harmonischer Klang mit einem fehlenden Oberton) zeitlich verzögert dargeboten wird<sup>1, 2</sup>.

An der Ruhehörschwelle ändert sich die Situation: Ist man für einige Sekunden oder wiederholt in kürzeren Abständen einem Rauschen mit spektraler Lücke ausgesetzt, so führt dies nach dem Abschalten des Rauschens zur Wahrnehmung des Zwickertons, wenn Lage und Größe der spektralen Lücke sowie der Gesamtpegel des Rauschens bestimmten Voraussetzungen gerecht werden<sup>3, 5</sup>. Der Zwickerton entsteht als leise Reintonwahrnehmung mit einer Tonhöhe immer innerhalb der spektralen Lücke des Rauschens und dauert ca. 1 bis 4 Sekunden. Zur Tonhöhe des Zwickertons existieren inzwischen recht genau Modelle<sup>3</sup>; die physiologischen Ursachen sind völlig ungeklärt. Bestehen Verwandtschaften zwischen der Akzentuierung und der Wahrnehmung des Zwickertons? Um dieser Frage nachzugehen wurden folgende Experimente unternommen:

### 2. Methoden:

Die Änderung der Ruhehörschwelle nach der Darbietung von Bandsperrenrauschen für Reintöne (130ms lang; trapezförmig ausgeschnitten mit 11ms Flanken) wurde für verschiedene Frequenzen innerhalb und außerhalb der spektralen Lücke eines Zwickertonerzeugerschalls (ZTE) (Linienspektrum mit 3,125 Hz Linienabstand und randomisierter Startphase, spektrale Lücke zwischen 3,4 und 4,8 kHz; 40 dB SPL) untersucht: Die unbeeinflusste Ruhehörschwelle wurde durch pendelndes Einregeln nach v.Bekey ermittelt. Eine ca. 4 Sekunden dauernde Darbietung des ZTE führte zur anschließenden Wahrnehmung des Zwickertons. Während der Zwickertonwahrnehmung wurden wiederum die gepulsten Signaltöne angeboten, ausgehend von einem randomisierten Signalpegel zwischen 4 und 10 dB oberhalb der direkt vorher ermittelten Ruhehörschwelle. Wiederum wurde die Methode des pendelnden Einregels verwendet, allerdings verteilt über mehrere ZTE-Präsentationen, d.h. nach einer Präsentation des ZTE konnte der Pegel des Signaltons nur einmal um 1 dB erhöht oder erniedrigt werden. Das Entscheidungskriterium in dieser Konstellation war die Wahrnehmung einer Amplitudenmodulation des ca. 1 Sekunde anhaltenden Zwickertons durch das mit einer Wiederholrate von 3,8 Hz dargebotene Signal. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, daß es sich bei der Modulation nicht um eine Schwebung handelt! Vorangegangene Versuche zeigten, daß es nicht möglich ist, Schwebungen zwischen einem Zwickerton und einem leise eingespielten Sinuston zu erzeugen. Eine Sitzung bestand aus zwei Bestimmungen der unbeeinflussten Ruhehörschwelle vor und nach der Bestimmung des Einfluß des ZTE auf die Ruhehörschwelle. Die Ergebnisse gemittelt über mindestens 3 Sitzungen ergaben eine Schwellenverschiebung.

Die Ermittlung der Zwickertonhöhe erfolgte durch die Einstellung eines Vergleichstons auf dem anderen Ohr.

### 3. Ergebnisse:

Die Ergebnisse einer solchen Meßreihe mit fünf Versuchspersonen sind in Abb.1 dargestellt: Die gemittelte Ruhehörschwellenabsenkung beläuft sich auf bis zu 8,4 dB für Frequenzen in der Nähe des Zwickertons. Die Tonhöhe des Zwickertons, ermittelt durch das Einstellen eines Vergleichstons am anderen Ohr, ist durch die senkrechte gestrichelte Linie dargestellt.

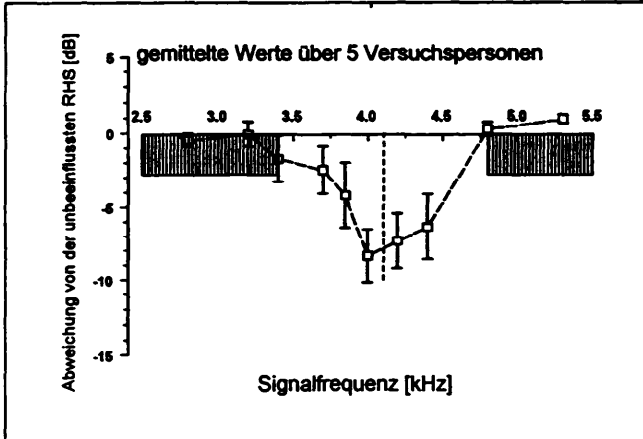


Abb. 1:

Abweichung von der unbeeinflussten Ruhehörschwelle für Signalfrequenzen innerhalb und außerhalb der spektralen Lücke des Rauschens. Das Spektrum des Rauschens ist durch die 2 senkrecht schraffierten Felder markiert, die gemittelte Tonhöhe des Zwickertons durch die senkrechte gestrichelte Linie.

Der Verlauf der Ruhehörschwelle und deren Veränderung bei einer Versuchsperson sind in Abb.2 dargestellt: Das Maximum der Ruhehörschwellenabsenkung liegt bei 4,2 kHz und beläuft sich auf 13 dB.

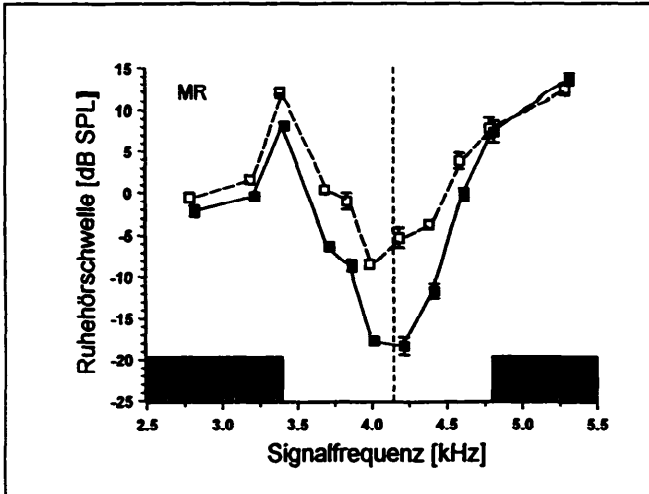


Abb. 2:

Der Verlauf der Ruhehörschwelle ohne (offene Symbole) und mit (ausgefüllte Symbole) vorheriger Darbietung von Rauschen mit spektraler Lücke. Die maximale Sensitivierung (13,4 dB) liegt bei 4,2 kHz; die Tonhöhe des Zwickertons ist durch die senkrechte gestrichelte Linie dargestellt.

Wurde der Pegel des ZTE von 40 auf 30 dB SPL verringert verschob sich der Zwickerton übereinstimmend mit den bestehenden Modellen<sup>6</sup> zu niedrigeren Frequenzen hin (ca. 3,85 kHz). Die Frequenz der maximalen Ruhehörschwellenabsenkung verschob sich analog (Abb.3); die maximale Sensitivierung verringerte sich gegenüber der Ausgangssituation.

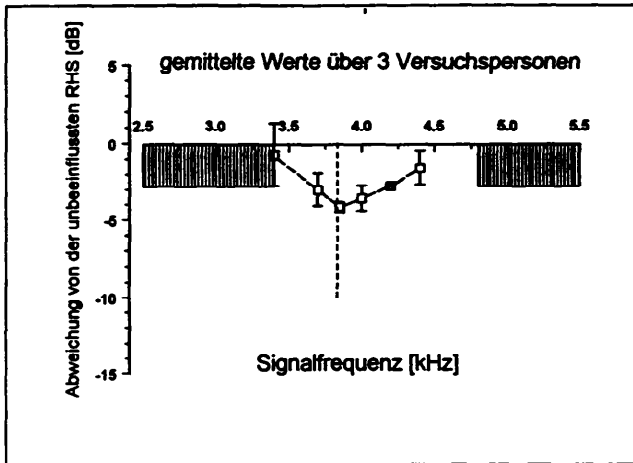


Abb.3:  
Wie Abb.1 aber mit auf 30 dB SPL verringertem Rauschpegel. Die maximale Sensitivierung beträgt 4 dB bei 3,9 kHz.

Veränderungen an der Lage und Breite der spektralen Lücke bewirken ebenfalls eine veränderte Zwickertonhöhe: Eine Verbreiterung der spektralen Lücke auf 4 bark (2,9 - 5,8 kHz) führte zu einem Zwickerton bei ca. 3,45 kHz. Die Ergebnisse der Ruhehörschwellenmessungen sind in Abb.4 dargestellt: Die Frequenz der maximalen Sensitivierung senkte sich parallel mit der Zwickertonverschiebung; der Grad der Sensitivierung ist gegenüber der Ausgangssituation ebenfalls geringer.

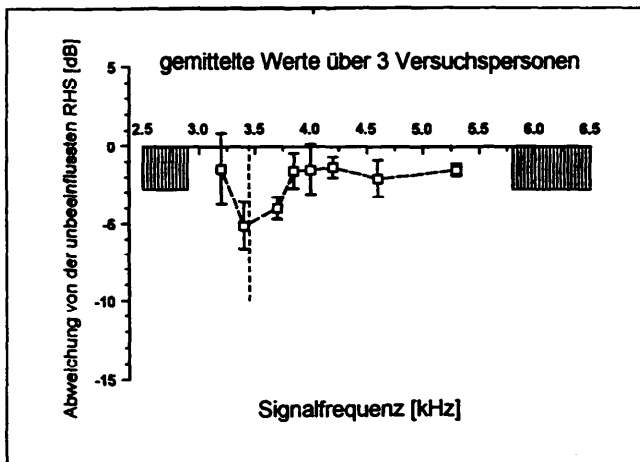


Abb.4:  
Wie Abb.1, jedoch mit breiterer spektraler Lücke (2,9 bis 5,8 kHz). Maximale Sensitivierung von 5 dB bei 3,4 kHz.

Die Sensitivierung wurde nur nach der Darbietung von Bandsperrenrauschen nachgewiesen; in keinem Fall kam es zu Sensitivierungen, wenn Frequenzen deutlich

außerhalb der spektralen Lücke oder weißes Rauschen verwendet wurden. Diese Kontrollen zeigen, daß die Empfindlichkeitserhöhung nicht durch experimentelle Artefakte zustande kommt, wie sie bei Miskiewicz et al.<sup>7</sup> berichtet werden.

Ein weiteres Experiment nach Krump<sup>6</sup> stützt die beschriebenen Ergebnisse: Eine Versuchsperson mit einer prägnanten spontanen otoakustischen Emission (+16 dB SPL bei 1654 Hz), die diese Emission kontinuierlich aber leise hört, empfand die subjektive Lautstärke dieser Emission als wesentlich höher nachdem ihr über einige Sekunden Rauschen mit einer 2 bark breiten spektralen Lücke zentriert um die Frequenz ihrer SOAE angeboten wurde. Diese Lautstärkenzunahme verringerte sich mit einem ähnlichen Zeitverlauf wie der Zwickerton. Der meßbare Schalldruckpegel der Emission im Gehörgang war allerdings nach der Rauschexposition nicht erhöht, was dafür spricht, daß die Sensitivierung nicht auf Änderungen der für die Entstehung von SOAEs verantwortlich gemachten aktiven Rückkopplungsvorgänge im Innenohr zurückzuführen ist.

Auch wurde versucht, den Zwickerton und die Sensitivierung mit Tieftonsignalen zu beeinflussen, wie sie z.B. zur Modulation von SOAEs verwendet werden können (45 Hz, 120 dB SPL). Weder der Zwickerton noch die Änderung der Ruhehörschwellen während der Wahrnehmung des Zwickertons waren signifikant beeinflussbar durch die Tieftonsignale was ebenfalls gegen eine Beteiligung der Rückkopplungsprozesse im Innenohr spricht.

#### 4. Diskussion:

Die gezeigten Ergebnisse deuten darauf hin, daß die Ruhehörschwelle offensichtlich nicht die physiologische Detektionsgrenze des peripheren Systems darstellt, sondern durch laterale Interaktion eingeregelt ist. Das Ausmaß dieser desensitivierenden Interaktion kann offensichtlich durch Bandsperrenrauschen im Spektralbereich der Lücke verringert werden, woraus sich die kurzzeitige Sensitivierung ergibt. Diese laterale Interaktion könnte entweder in Form von mechanischen Suppressionsvorgängen im Innenohr oder neuronalen Inhibitionsmechanismen etabliert sein. Die erwähnten Experimente mit Tieftonschallen sowie erste Versuche mit Versuchspersonen die unter subjektivem Tinnitus leiden und berichten, das unter Einfluß von Rauschen mit spektraler Lücke (2 bark breit, zentriert um die Tinnitusfrequenz) die Lautstärke des Tinnitus deutlich zunimmt (im Gegensatz zum Einfluß von weißem Rauschen) deuten darauf hin, daß für diese Art von Sensitivierungen eher neuronale Mechanismen eine Rolle spielen, da der Entstehungsort des Tinnitus im Bereich der synaptischen Verbindung der inneren Haarzellen zum Hörnerv oder zentraler vermutet wird.

#### Literatur:

1. Wright, B. A., *Advances in Hear. Res., Proc. 10th Int. Symp. on Hear. G. A. Manley et al.* (Edit.) World Scientific Publishers, Singapore, (in press).
2. Viemeister, N. F., Bacon, S. P., *J. Acoust. Soc. Amer.* 71, 1502 (1982).
3. Zwicker, E., *J. Acoust. Soc. Amer.* 36, 2413-2415 (1964).
4. Lummis, R.C., Guttman, N., *J. Acoust. Soc. Amer.* 51, 1930-1944 (1972).
5. Fastl, H., *Acustica* 67, 177-186 (1989).
6. Krump, G., *Beschreibung des akustischen Nachtönes mit Hilfe von Mithörschwellenmustern.* Doktorarbeit, TU München, Fakultät für Elektrotechnik (1993).
7. Miskiewicz, J, Buus, S., Florentine, M., *J. Acoust. Soc. Amer.* 96, 1492-1434 (1994).