

M A S K I E R U N G B I N A U R A L E R S C H W E B U N G E N

H.Keller

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

1. Einleitung

Binaurale Schwebungen entstehen, wenn den beiden Ohren je ein Sinuston dargeboten wird. Die Frequenz der beiden Töne muß dabei unter 1500 Hz liegen. Der Frequenzabstand darf nicht größer als etwa 50 Hz sein. In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluß verschiedener Maskierer auf die empfundene Stärke der binauralen Schwebungen untersucht. Als Maskierer wurden Bandsperr-, Bandpass- und weißes Rauschen verwendet, und auf nur einem Ohr dargeboten. Der Testtonpegel über der monauralen Mithörschwelle war 10 dB bzw. 20 dB. Die Schwebungsstärke ist am größten, wenn Bandpassrauschen als Maskierer verwendet wird, bei Bandsperrrauschen ist sie am kleinsten. Wird der Pegel über Mithörschwelle erhöht, steigt auch die empfundene Stärke der Schwebungen. Die Ergebnisse legen den Schluß nahe, daß in den Flanken des Spektrums eines peripheren Spektralanalysators die Zeitstruktur der Sinustöne noch vorhanden sein muß und daß das Gehör in jenem Bereich diese Zeitstruktur auch auswertet.

2. Versuchsdurchführung

Um ein Maß dafür zu erhalten, wie stark die binauralen Schwebungen bei verschiedenen Maskierern ausgeprägt sind, wurde eine Reihe von Paarvergleichen durchgeführt, bei denen die Versuchspersonen anzugeben hatten, bei welchem Schall die empfundene Stärke der Schwebungen größer war. Die relative Häufigkeit h , mit der ein bestimmter Schall bevorzugt wurde, ergibt sich aus dem Verhältnis der Anzahl der Vergleiche, bei denen er bevorzugt wurde, zu der Anzahl der Vergleiche, bei denen er überhaupt dargeboten wurde. Diese Häufigkeit dient als Maß für die Schwebungsstärke. In Fig.1 sind die Spektren aller acht Maskierer-Testtonkombinationen, die im Laufe der Untersuchung verwendet wurden, schematisch dargestellt. Bei allen Versuchen wurde ein Sinuston der Frequenz 417 Hz zusammen mit einem Rauschsignal, das als Maskierer diente, auf einem Ohr dargeboten. Das andere Ohr wurde mit einem 400 Hz Sinuston, dessen Schalldruckpegel jeweils genauso hoch war wie der des 417 Hz Tones, beschallt. Als Kopfhörer wurde der Typ DT 48 A (Beyer) mit vorgeschaltetem Freifeldentzerrer verwendet.

Im ersten Versuch wurden die Schalle 1, 2, 3, 4, 5 und 6 verwendet. Allen gemeinsam ist, daß der Intensitätsdichtepegel l_R des Rauschens 30 dB beträgt. Die Grenzfrequenzen des Bandsperr- bzw. des Bandpassfilters liegen bei 300 Hz und 500 Hz; die Flankensteilheiten sind größer als 30 dB/50 Hz. Der Pegel des 417 Hz Tones hat einen Wert der für die Schalle 1, 3 und 5 10 dB, für die Schalle 2, 4 und 6 20 dB über der Mithörschwelle (vom Versuchsleiter allein gemessen) liegt. Der 400 Hz Ton auf dem kontralateralen Ohr wurde bei der Bestimmung der Mithörschwelle ausgeschaltet. Da die Schalle auf Tonband aufgenommen und verschiedenen Versuchspersonen dargeboten wurden, war es nicht möglich, die Pegel über den individuellen Mithörschwellen konstant zu hal-

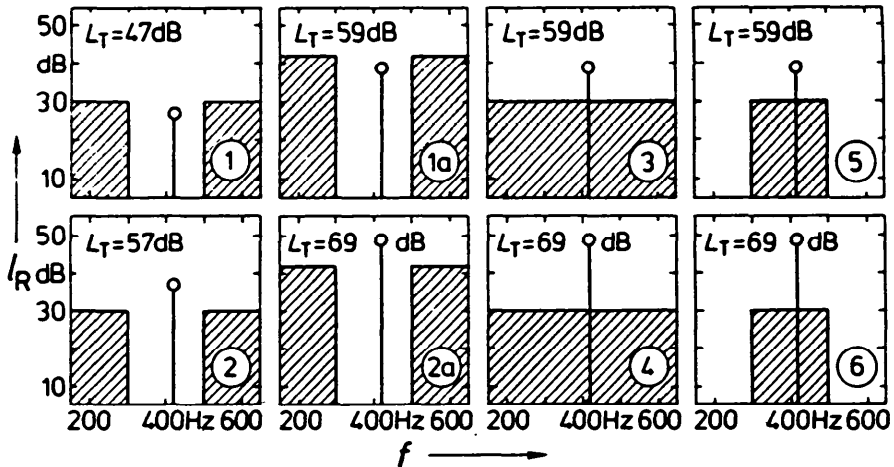


Fig. 1. Schematische Darstellung der Spektren der verwendeten Maskierer-Testtonkombinationen. Der Verlauf des Intensitätsdichtepegels I_R des Maskierers über der Frequenz f wird durch die schraffierten Rechtecke dargestellt. Der Pegel L_T des 417 Hz Tones ist gesondert eingezeichnet. Auf dem kontralateralen Ohr wurde ein 400 Hz Ton gleichen Pegels, jedoch ohne Maskierer, dargeboten.

ten. In einem Versuchsdurchgang wurden 30 Schallpaare dargeboten, so daß jeder Schall mit allen anderen fünf Schallen zweimal verglichen werden konnte, wobei er einmal in der zeitlichen Reihenfolge als erster und das andere mal als zweiter Schall dargeboten wurde. Innerhalb eines Paarvergleiches wurde zunächst der erste Schall und dann der zweite Schall dreimal dargeboten, was der Versuchsperson ermöglichen sollte, die Stärke der Schwebungen möglichst gut aufzufassen. Im Laufe der Untersuchungen hat sich jedoch gezeigt, daß schon ein einmaliges Darbieten des Schalles ausreicht, um die Schwebungsstärke zu erfassen, so daß im zweiten Versuch auf das zweimalige Wiederholen verzichtet wurde. Die Schalldauer betrug jeweils 1,85 s, die Pausendauer zwischen zwei Schallen 1,35 s und die Pausendauer zwischen zwei Paaren 2,85 s. Die Schalle wurden mit gaußförmiger Flanke ein- und ausgeschaltet. Die Zeitkonstante betrug 20 ms. Jede der acht Versuchspersonen nahm an zwei Versuchsdurchgängen teil, so daß insgesamt 480 Paarvergleiches durchgeführt wurden. Das Rauschsignal und der 417 Hz Ton wurden jeweils auf dem rechten Ohr dargeboten.

Im zweiten Versuch wurden die Schalle 1, 1a und 3 sowie die Schalle 2, 2a und 4 in zwei getrennten Versuchsreihen mit einander verglichen. Bei den Schallen 1a und 2a wurden die Sinustonpegel auf die gleichen Werte eingestellt wie bei den Schallen 3 und 5 bzw. 4 und 6, nämlich auf 59 dB und 69 dB. Der Intensitätsdichtepegel des Rauschens wurde so eingestellt, daß die Pegel der Sinustöne wieder 10 dB bzw. 20 dB über der monauralen Mithörschwelle lagen. Ein Versuchsdurchgang bestand aus 12 Paarvergleiches, so daß jeder der drei Schalle viermal mit den beiden anderen verglichen wurde. Er war dabei zweimal in der zeitlichen Reihenfolge der erste und zweimal der zwei-

te. Jede der vier Versuchspersonen nahm an zwei Versuchsdurchgängen teil, wobei das Rauschen beim ersten Versuchsdurchgang auf dem rechten Ohr und beim zweiten Durchgang auf dem linken Ohr dargeboten wurde. Die Zeitstruktur eines Paarvergleiches wurde schon im obigem Abschnitt beschrieben.

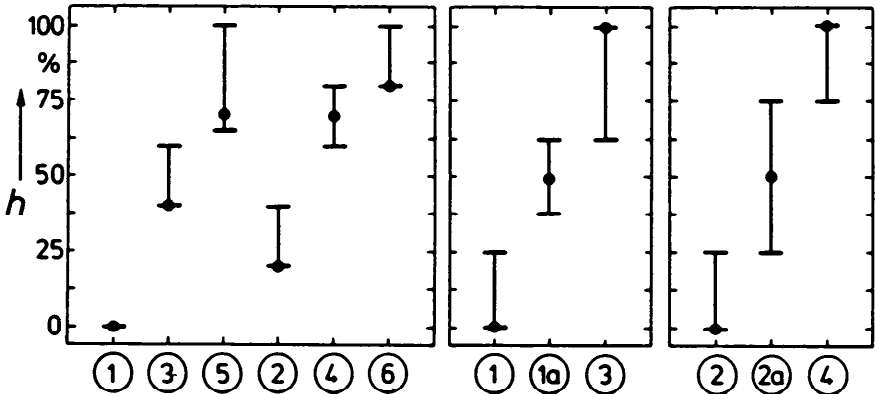


Fig. 2. Zentralwerte und 50% Vertrauensbereich der relativen Häufigkeit h der Bevorzugen in Paarvergleichen. Ein Schall wurde dann bevorzugt, wenn die empfundene Stärke der binauralen Schwebungen größer war.

3. Ergebnisse

Da bei allen Versuchen für jedes Schallpaar AB auch ein Paar BA dargeboten wurde, konnten für jeden Schall zwei relative Häufigkeiten der Bevorzugung h_1 und h_2 ermittelt werden. Außerdem nahm jede Versuchsperson an zwei Versuchsdurchgängen teil. Beim ersten Versuch waren die beiden Versuchsdurchgänge identisch, beim zweiten Versuch wurde der Kopfhörer im zweiten Durchgang seitenverkehrt aufgesetzt. Für jeden Schall und für jede Versuchsperson standen also vier Häufigkeitswerte zur Verfügung. Zunächst wurden die Zentralwerte aller Versuchspersonen getrennt für alle vier Häufigkeitswerte ermittelt. Nachdem die Zentralwerte von h_1 und h_2 die gleiche Rangfolge der Schalle ergaben, wurden die Zentralwerte von allen Versuchspersonen nur noch getrennt für die beiden Durchgänge ermittelt. Mit diesen beiden Zentralwerten ergaben sich zu mindestens 90% korrelierte Rangfolgen der Schalle, so daß schließlich der Zentralwert und der 50% Vertrauensbereich aller vier Häufigkeitswerte aller Versuchspersonen ermittelt wurde. Die Ergebnisse sind in Fig. 2 dargestellt. Wird der Pegel über Mithörschwelle konstant gehalten, dann verringert Bandsperrenrauschen, das auf einem Ohr als Maskierer zugesetzt wird, die empfundene Schwebungsstärke am meisten, Bandspassrauschen jedoch am wenigsten. Diese Aussage gilt sowohl dann, wenn die Intensitätsdichte des Rauschens konstant gehalten wird, als auch dann, wenn der Pegel der Sinustöne gleich bleibt. Weiterhin zeigen die Ergebnisse des ersten Versuches, daß eine Erhöhung des Pegels über Mithörschwelle von 10 dB auf 20 dB, bei sonst gleichbleibenden Schallparametern, die empfundene Schwebungsstärke vergrößert. Diese Vergrößerung ist weniger bzw. gleich stark ausgeprägt, als jene Vergrößerung der Schwebungs-

stärke, die durch Umschalten von Bandsperren- auf weißes Rauschen bzw. von weißem auf Bandpassrauschen, entsteht. Die Ergebnisse vom zweiten Versuch zeigen, daß sich die empfundene Schwebungsstärke auch erhöht, wenn der Pegel über Mithörschwelle des gleichen Maskierers konstant gehalten wird, sich aber der Gesamtpegel erhöht.

4. Diskussion

Nehmen wir an, dem Gehör stünden keine weiteren Informationen zur Verfügung als die Kurzzeitspektren der beiden Ohrsignale, die von zwei peripheren Analysatoren geliefert werden. Werden nun die beiden Sinustöne eingeschaltet, so entstehen nach einer Einschwingphase zwei Spektren, deren absolute Maxima in der Nähe der Analysefrequenzen, die den beiden Signalfrequenzen entsprechen, liegen. Diesen Bereich nennen wir im folgenden Kern. Aber auch in Bereichen die vom absoluten Maximum entfernt sind, werden die beiden Spektren noch auswertbare Werte liefern. Diese Bereiche seien im folgenden als Flanken bezeichnet. Die beiden Spektren werden, da es sich um Kurzzeitspektren handelt, auch im eingeschwingenen Zustand zeitlich schwanken, entsprechend der Zeitstruktur der beiden Sinustöne. Wird nun ein Rauschsignal auf dem einem Ohr zugeschaltet, werden die zeitlichen Schwankungen, die vom ipsilateralen Sinuston stammen, in gewissen Analysefrequenzbereichen viel kleiner sein als die zeitlichen Schwankungen, die vom Rauschen her stammen und somit für das Gehör nicht mehr auswertbar sein. Dieser Bereich wird, wenn Bandsperrenrauschen als Maskierer verwendet wird, schon sehr nahe beim Kern beginnen, bei weißem Rauschen weiter entfernt. Bei Bandpassrauschen wird er unter Umständen erst erreicht, wenn ein vom System selbst stammendes Rauschen zum tragen kommt. Die oben beschriebenen Versuchsergebnisse haben gezeigt, daß die empfundene Stärke der binauralen Schwebungen tatsächlich in entsprechender Reihenfolge zunimmt, was uns beweist, daß in den Flanken des peripheren Kurzzeitspektrums die Zeitstruktur des Tones noch soweit vorhanden sein muß, daß sie ausgewertet werden kann und daß diese Zeitstruktur letztendlich auch tatsächlich in diesem Bereich ausgewertet wird.

5. Literatur

- 1/ Licklider, J. C. R. et al. (1950), On the Frequency Limits of Binaural Beats, J. Acoust. Soc. Amer., 22, 468-473
- 2/ Perrot, D. R. and Nelson, M. A. (1969), Limits for the Detection of Binaural Beats, J. Acoust. Soc. Amer., 46, 1477-1481

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 204 "Gehör" von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt.