

*Die Grenzen der  
bei Tonimpulsen*

über die Pause hinweg mit der Tonhöhe des nächstfolgenden Impulses vergleichen. Dies wird um so schwieriger, je größer die Pause wird. Vom Standpunkt der Meßgenauigkeit wäre demnach eine sehr kleine Pausenzeit zweckmäßig. Andererseits bewirkt eine sehr kleine Pausenzeit, daß bei kurzen Impulsen die Pulsfolgefrequenz so groß wird, daß man die Impulse nicht mehr eindeutig als Einzelimpulse wahrnehmen kann. Die gewählte Pausenzeit von  $t_p = 0,25$  s stellt einen Kompromiß zwischen beiden Forderungen dar. Die Pulsfolgefrequenz ist dann stets kleiner als 4 Hz; die Impulse sind also noch deutlich als Einzelimpulse wahrnehmbar.

Aus Bild 3 ist zu ersehen, daß die eben hörbare Frequenzdifferenz für  $t_i > 300$  ms von der Dauer der Impulse praktisch unabhängig ist. Im Abschnitt 4 dieser Arbeit werden diese Meßwerte mit den eben hörbaren Frequenzänderungen eines Dauertones verglichen. Dieser Vergleich läßt sich leichter durchführen, wenn wir an Stelle der eben hörbaren Frequenzänderung die eben hörbare Tonzahländerung betrachten. Ist die Dauer der Impulse kleiner als 300 ms, so wird die eben hörbare Frequenzdifferenz um so größer, je kürzer die Impulse werden. Das Gehör ist also um so weniger in der Lage, die Tonhöhe eines Tonimpulses zu analysieren, je kürzer der Tonimpuls ist.

#### 4. Die eben hörbare Tonzahländerung von Tonimpulsen

Ein Sinuston erregt das Cortische Organ nur auf einer bestimmten Länge. Das Maximum dieser Erregung entfernt sich um so mehr vom Helikotrema, je höher die Frequenz ist. Der Abstand der Maximalerregung vom Helikotrema steht in einem linearen Zusammenhang zur Tonzahl  $z$ . Die Tonzahl dient uns als Maß für die subjektiv empfundene Tonhöhe. Sie steht in einem eindeutigen Zusammenhang zu der Frequenz des Sinustones. Für Frequenzen unter 500 Hz besteht zwischen Tonzahl und Frequenz ein linearer Zusammenhang. FELDTKELLER und ZWICKER [3] haben deswegen die Einheit „mel“ für die Tonzahl so gewählt, daß unterhalb 500 Hz Tonzahl und Frequenz den gleichen Zahlenwert erhalten<sup>1</sup>. Bild 4 zeigt die Abhängigkeit der so definierten Tonzahl  $z$  von der Tonfrequenz  $f$ .

STEVENS und DAVIS [5], sowie FELDTKELLER und ZWICKER [6], [3], haben auf Grund des Zusammenhangs zwischen Tonzahl und Frequenz die eben hörbaren Frequenzänderungen eines Sinustones in die eben hörbaren Tonzahländerungen umgerechnet. Sie fanden, daß für alle interessierenden Tonfrequenzen eine Tonhöhenänderung dann wahr-

<sup>1</sup> Nach amerikanischer Norm besteht davon abweichend die Beziehung [5]: für  $f = 1000$  Hz ist  $z = 1000$  mel.

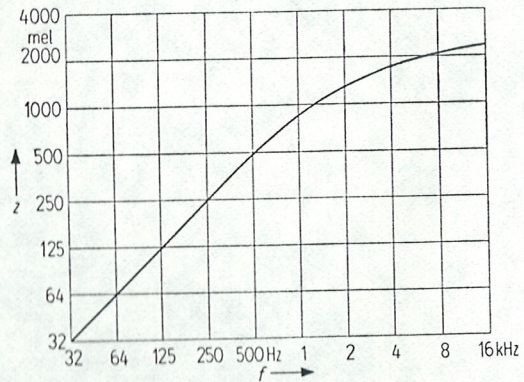


Bild 4. Die Tonzahl  $z$  in Abhängigkeit von der Frequenz (nach FELDTKELLER und ZWICKER [3]).

genommen wird, wenn die entsprechende Änderung der Tonzahl eine bestimmte Größe überschreitet. FELDTKELLER und ZWICKER fanden für einen Schalldruckpegel von 80 dB den mittleren Wert von  $\Delta z = 2,5$  mel. Es erhebt sich die Frage, ob dieses einfache Gesetz auch für die eben hörbaren Tonhöhendifferenzen von Tonimpulsen gilt.

Die in Bild 4 abgebildete Funktion  $z(f)$  läßt sich an einer bestimmten Stelle  $f_T$  in eine Taylorsche Reihe entwickeln. Da die Frequenzänderungen relativ gering sind, kann die Reihe nach dem ersten Glied abgebrochen werden. Es besteht dann der lineare Zusammenhang

$$\Delta z = \frac{dz(f_T)}{df} \Delta f. \quad (5)$$

Die Größe  $dz(f_T)/df$  ist von der Frequenz  $f_T$ , um die die Änderungen ausgeführt werden, abhängig. Aus Bild 4 entnimmt man:

$$\begin{aligned} \text{für } f_T = 250 \text{ Hz: } & \frac{dz}{df} = 1 \frac{\text{mel}}{\text{Hz}}, \\ \text{für } f_T = 1 \text{ kHz: } & \frac{dz}{df} = \frac{1}{2} \frac{\text{mel}}{\text{Hz}}, \\ \text{für } f_T = 4 \text{ kHz: } & \frac{dz}{df} = \frac{1}{8} \frac{\text{mel}}{\text{Hz}}. \end{aligned} \quad (6)$$

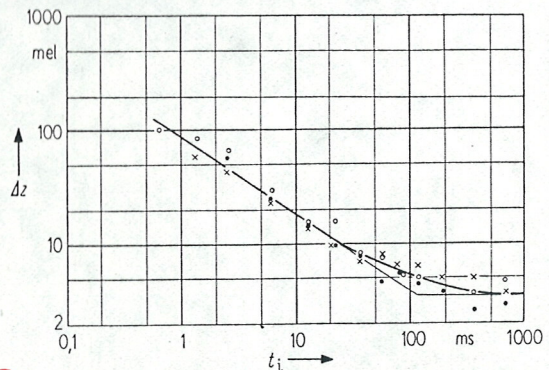


Bild 5. Gerade hörbare Tonzahländerung von Tonimpulsen in Abhängigkeit von der Impulsdauer  $t_i$  ( $L_{p_i} = 60$  dB,  $t_p = 0,25$  s,  $\bullet$   $f_T = 250$  Hz,  $\times$   $f_T = 1$  kHz,  $\circ$   $f_T = 4$  kHz).

*1959 Acustica 9, 430-434  
Die Grenzen der Hörbarkeit von  
Frequenz- u. Tonzahländerungen bei  
Tonimpulsen*

*Die  
13/2*

*Die  
13/3*