

Zwicker, E., & Feldtkeller, R.  
Das Ohr als Nachrichtenempfänger.

1967 2. Aufl. Stuttgart

hat. Die erste Oktave reicht von diesem  $c_0$  aufwärts bis  $h_0$ . Die zweite Oktave reicht von  $c_1$  bis  $h_1$  usw. Die Oktaven unterhalb des Tones  $c_0$  kennzeichnet man durch negative Indizes, die nächsttiefere Oktave umfaßt also die Töne von  $c_{-1}$  bis  $h_{-1}$ . Durch Einführen des  $c_0$  als Bezugston kommt man zur absoluten harmonischen Tonhöhe. Wenn das  $c_0$  die absolute harmonische Tonhöhe  $H_h = 0$ , das  $c_1$  die Tonhöhe  $H_h = 1$  Okt. usw. bekommen soll, muß man sie nach der Formel

$$H_h = \frac{1}{0,301} \lg \frac{f}{131 \text{ Hz}} \text{ Oktaven} \quad (31,1)$$

aus der Frequenz  $f$  berechnen. Der Kammerton  $a_1$  mit der Frequenz von 440 Hz hat die absolute harmonische Tonhöhe von  $1^{9/12}$  Oktaven. Durch Umkehr der Gl. (31,1) gewinnt man die Frequenz des Tones, der eine absolute harmonische Tonhöhe  $H_h$  hat, zu

$$f = 131 \cdot 10^{0,301 \frac{H_h}{\text{Oktave}}} \text{ Hz.} \quad (31,2)$$

Es ist nicht unsere Aufgabe, den Eigenschaften des temperierten Tonsystems über diese wenigen Andeutungen hinaus nachzugehen. Frequenz und harmonische Tonhöhe kennzeichnen den Reiz; wir haben in erster Linie die ihnen zugeordneten Empfindungen zu behandeln, die Tonhöhe und die melodische Tonhöhe, und deren Einheiten festzulegen. Um die Tonhöhe als Empfindungsgröße gegenüber allem, was man im allgemeinen Sprachgebrauch Tonhöhe nennt, zu kennzeichnen, soll sie mit dem Kennwort *Tonheit* bezeichnet werden.

Wir gehen von dem in Bild 30,1 dargestellten Versuchsergebnis aus, daß bei Frequenzen unterhalb 500 Hz der halben Frequenz die halbe Tonhöhe zugeschrieben wird. Es ist deshalb zweckmäßig, dafür zu sorgen, daß in diesem Frequenzgebiet auch die Zahlenwerte der Empfindungsgröße mit den Zahlenwerten der Reizgröße übereinstimmen. Als Bezugspunkt wählen wir die Frequenz  $f = 131$  Hz des Tones  $c_0$ , dem wir die harmonische Tonhöhe  $H_h = 0$  gaben.

Die Einheit der Tonheit als Empfindungsgröße, die an die Stelle der Einheit Hz der Frequenz als Reizgröße tritt, ist nach einem Vorschlag von S. S. STEVENS das *mel*. Ein Ton mit der Frequenz  $f = 131$  Hz bekommt die Tonheit  $z = 131$  mel. Dann ist unterhalb der Frequenz 500 Hz der Zahlenwert der Tonheit in mel praktisch gleich dem Zahlenwert der Frequenz in Hz. Die Fortsetzung der Tonheits-Skale nach hohen Frequenzen ergibt sich aus Bild 30,1. Töne mit den dort dargestellten Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$  müssen Tonheiten haben, deren Zahlenwerte sich um den Faktor 2 unterscheiden. Damit findet man den in Bild 31,1 dargestellten Zusammenhang zwischen der Frequenz  $f$  und der Tonheit  $z$ . Während die Frequenz der hörbaren lauten Töne bis etwa 16000 Hz steigen kann, steigt ihre Tonheit nur bis etwa 2400 mel.

Ganz entsprechend gewinnen wir aus der Oktavskale der harmonischen Tonhöhe die Oktavskale für die *melodische Tonhöhe*. Der Tonheit  $z = 131$  mel

Dia  
4/29

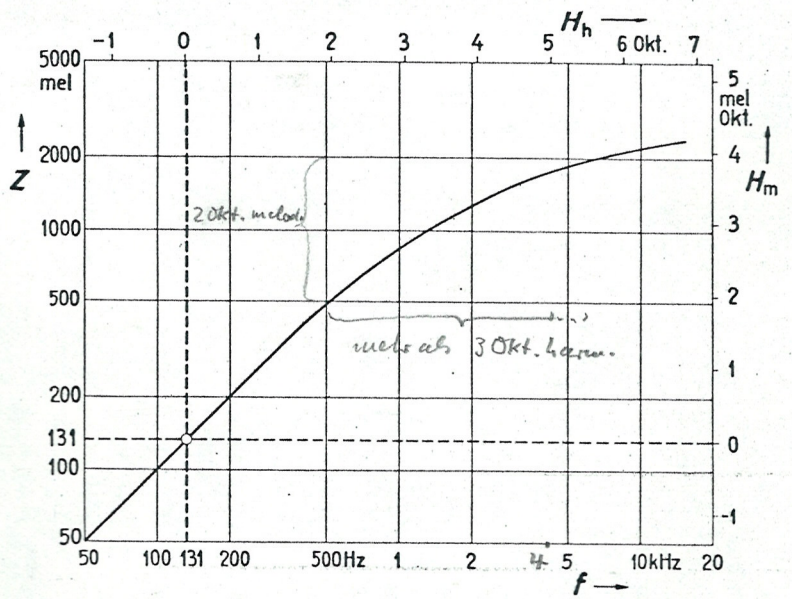


Bild 31,1 Tonheit  $z$  eines Tones als Funktion seiner Frequenz.

schreiben wir die melodische Tonhöhe  $H_m = 0$  zu, und damit allgemein der Tonheit  $z$  die melodische Tonhöhe

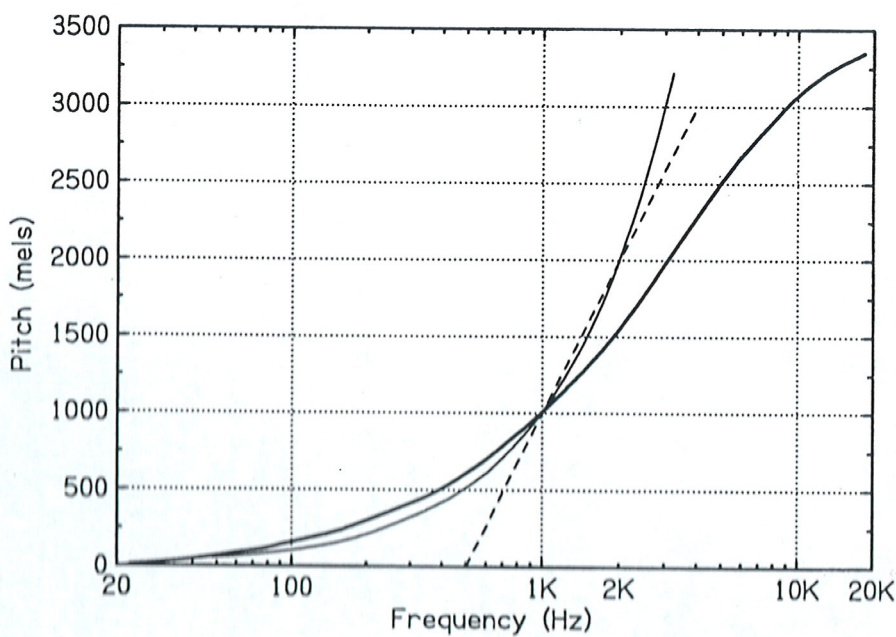
$$H_m = \frac{1}{0,301} \lg \frac{z}{131 \text{ mel}} \text{ melodische Oktaven.} \quad (31,3)$$

Die Oktavskalen der harmonischen und der melodischen Tonhöhe sind in Bild 31,1 ebenfalls eingezeichnet. Während die harmonische Tonhöhe für hörbare Töne den Wert von 7 Oktaven erreichen kann, liegt die obere Grenze für die melodische Tonhöhe bei etwa 4,3 melodischen Oktaven.

32. Anatomischer Aufbau des Innenohres

Der anatomische Aufbau des menschlichen Ohres ist in fast allen Büchern über Akustik beschrieben. An diesen Aufbau soll die schematische Zeichnung von Bild 32,1 erinnern. Die Schallwelle wird von der Ohrmuschel aufgefangen, sie gelangt durch das äußere Ohr zum Trommelfell und setzt dieses in Schwingungen. Durch die Kette der Gehörknöchelchen werden die Schwingungen des Trommelfelles auf die Membran des ovalen Fensters übertragen. Die Hebelwirkung der Gehörknöchelchen übersetzt dabei die Schwingungen großer Amplitude und kleiner Kraft in Schwingungen kleiner Amplitude und großer Kraft. Diese Umsetzung ist erforderlich, weil dabei die Luftschwingungen vor dem Trommelfell in Flüssigkeitsschwingungen hinter dem ovalen Fenster übergehen. Das innere Ohr ist nämlich mit Lymph-Flüssigkeit angefüllt.

*Ergebnis zu Dia 4/28, 4/29*



**FIGURE 12.7.** The heavy line is the mel scale from Stevens and Volkman (1940). The thinner line corresponds to pitch given by frequency in Hz, and the dashed line shows pitch proportional to octave number (the musical scale).

*nonsense!*

*Hartmann, Williams H. (1998)  
Sprell, Sound and Sensation, (N.Y.S.K.)  
New York: W.W. R.*

to a difference of  $1550 - 1000 = 550$  mels.

Zwicker and his colleagues (Zwicker and Fastl, 1990) invented a different mel scale, with 125 Hz set equal to 125 mels and spanning about 2400 mels so that 100 mels corresponded to one Bark. A comparison with physiological observations suggested that both scales might correspond to distances along the basilar membrane for points of maximum excitation, such that  $100 \text{ mels} = 1 \text{ Bark} \approx 1 \text{ mm}$  from apex to stapes. A similar calculation by Zwislocki (1965) concluded that one mel corresponded to 12 primary auditory neurons and that one critical band corresponded to 1300.

Because the critical band number (Bark) is a measure of auditory resolution, usually measured by masking in some form, the correspondence between critical band and cochlear distances seems natural. Masking occurs when excitation patterns collide. The correspondence between pitch and place, while appealing, is less necessary on logical grounds; it is more a matter of faith.

The mel scale has frequently been criticized because it contradicts the use of pitch in musical practice (e.g. Attneave and Olson, 1971). The review chapter on pitch scales by Burns and Ward (1982) does not even mention the mel scale. It has also been criticized on psychoacoustical and physiological grounds by Greenwood (1990, 1991, 1995) who argued that the cochlear map, the critical band function, and the scale of pitch should all be closer to logarithmic, with less flattening at low frequency. The Cam scale comes closer to Greenwood's (1961) critical band than does the Bark scale (see Chapter 10).

The scaling of pitch that leads to the mel scale is sensitive to many experimental