

DAS MINIMUM AUDIBILE UND DIE KONTRASTSCHWELLE

von J. L. VAN SOEST und P. D. GROOT

Zusammenfassung

Bei psychischen Messungen muss immer ein Störungsniveau berücksichtigt werden, da man sonst häufig falsche Ergebnisse erzielt. Das Weber-Fechnersche Gesetz wird in eine dazu geeignete Form gebracht. Das Minimum audible erhält dadurch eine einfache und geeignete Formulierung als lineare Funktion der Kontrastschwelle.

Der Puls beeinflusst die Schallempfindung; mittels der Pulsperiode lässt sich die Kontrastschwelle in statistischer Weise bestimmen.

1. Das Störungsniveau und das Minimum audible

Jede Empfindung ist durch eine psychische Grösse ψ darstellbar und jede ψ ist der Erfolg einer physikalischen, bzw. physiologischen Grösse φ .

Das psycho-physikalische Gesetz Weber-Fechners¹⁾ lautet:

$$\psi = \lg \frac{\varphi}{\varphi_a} \quad (1)$$

Der Kontrast γ zweier physikalischen Grössen φ_1 und φ_2 sei definiert:

$$\gamma = \lg \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad \lg \frac{\varphi_1}{\varphi_a} = \lg \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad (2)$$

Ausser der wahrzunehmenden Grösse φ sei immer ein überlagerndes Störungsniveau φ_0 anwesend gedacht; der Kontrast von $(\varphi + \varphi_0)$ gegenüber φ_0 allein wird:

$$\gamma = \lg \frac{\varphi_0 + \varphi}{\varphi_0} = \lg \left(1 + \frac{\varphi}{\varphi_0} \right) \quad (3)$$

1) Fechner, Elemente der Psychophysik I., II. 3e Aufl.

Da der Kontrast eine Schwelle γ_D überschreiten muss, ehe derselbe zu empfinden ist, muss φ , um über das Störungsniveau hinaus beobachtet werden zu können, einen Wert

$$\varphi_D = \varphi_0 (e^{\gamma_D} - 1)$$

überschreiten; bei der Annahme $\gamma_D \ll 1$ vereinfacht sich das zu

$$\varphi_D = \varphi_0 \cdot \gamma_D \quad (4)$$

Da φ_0 immer empfunden wird, muss $\psi_0 = \lg \varphi_0 / \varphi_a > 0$ und folglich $\varphi_0 > \varphi_a$; demgemäss ist φ_a für die Empfindung nur eine fiktive Schwelle, φ_D dagegen die wirkliche. Das Weber-Fechner'sche Gesetz, das bei Berücksichtigung des Störungsniveaus die Form

$$\psi = \lg \left(\frac{\varphi_0 + \varphi}{\varphi_a} \right) \quad (5)$$

annimmt, wird dann bei $\varphi < \varphi_a$ auch nicht mehr sinnlos.

Bei Schallstärkeempfindung erhält sich die obige Betrachtung bis zur Ueberbelastung des Gehörorgans; Messungen bestätigen die φ_D - φ_0 -Linearität (4).

In einer „Camera silenta“ kann man durch Ausschaltung aller äusserlichen Geräusche das Störungsniveau bis zu einem sehr geringen Werte herabdrücken, doch bleibt immer wenigstens ein inneres Niveau φ_i übrig, das im Gehörorgan selber erzeugt wird. In diesem Falle dürfen wir sagen dass φ_D in das „Minimum audible“ übergeht:

$$\varphi_{m.a.} = \gamma_D \cdot \varphi_i \quad (6)$$

Während γ_D — die Abhängigkeit der Tonart nicht mitgerechnet — nur wenige Variabilität zeigt, ist φ_i dagegen kaum als eine Konstante zu betrachten; demgemäss ist auch $\varphi_{m.a.}$ sehr schwankend, was sich in der Literatur äussert ¹⁾.

Aus falscher Interpretation des Weber-Fechner'schen Gesetzes schliesst man bisweilen, dass es nur eine beschränkte Gültigkeit besitzt ²⁾. Als Beispiel sei Folgendes erwähnt: neben dem Stö-

1) Vgl. z.B. H. C. Huizing, Diss. Groningen.

2) Vgl. H. Geiger und Scheel, Hndb. der Physik. VIII. S. 506.

rungsniveau φ_0 sei die physikalische Grösse φ anwesend, die mit $\Delta \varphi$ anwächst zu $(\varphi + \Delta \varphi)$. Der Kontrast zwischen der Lage vor und nach der Aenderung ist:

$$\lg \frac{\varphi_0 + \varphi + \Delta \varphi}{\varphi_0 + \varphi} = \lg \left(1 + \frac{\Delta \varphi}{\varphi_0 + \varphi} \right)$$

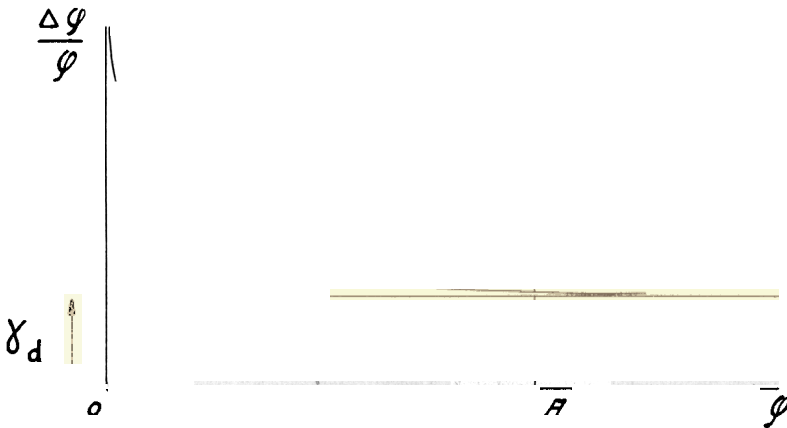
Bei der Annahme $\gamma = \gamma_D$ wird

$$\frac{\Delta \varphi}{\varphi_0 + \varphi}$$

oder

$$\varphi \left(\frac{1}{\gamma_D} \frac{\Delta \varphi}{\varphi_0 + \varphi} \right)$$

In Fig. 1 ist, in Uebereinstimmung mit dem Experiment, die Hyperbel dargestellt in der φ und $\Delta \varphi / \varphi$ funktionell zusammenhän-



gen. Falschlich bezeichnet man dabei $\Delta \varphi / \varphi$, und nicht $\Delta \varphi / \varphi + \varphi_0$ als den Kontrast und schliesst dann dass im Gebiete zwischen A und O das Gesetz seine Gültigkeit verloren hat.

2. Puls und inneres Störungsniveau

Wenn man in einer Camera silenta einen konstanten Ton geringer Stärke beobachtet, entsteht keine konstante Empfindung; ein Rhythmus tritt auf, dessen Periode sich ebenso gross zeigt wie die

des Blutstroms, also die des Pulses. Ins Besondere empfindet man in jeder Periode eine Schallstärkeschwankung; so klar als die Variation selber ist, so schwer fällt es Näheres über den weiteren Zusammenhang mit dem Puls zu ermitteln. Wir sind jetzt noch nicht im Stande etwas Sicheres mitzuteilen über die Grösse der Phasenunterschiede und über die Einflüsse der Schallfrequenz auf die Erscheinungen.

Wenn der zu beobachtene Ton so schwach ist dass dieser nahe an der Empfindungsschwelle liegt, so hört man ihn periodisch über das gleichfalls wechselnde innere Störungsniveau hinaus kommen.

Wenn man einmal diesen Pulseffekt kennen gelernt hat, spürt man ihn bald auch im Gebiete grösser Schallstärken.

3. *Ermittlung der Kontrastschwelle*

Zur näheren Untersuchung des Schwellenwertes für sukzessive Kontraste, haben wir im Experimente φ exponentiell anwachsen lassen, damit ψ , bei Vernachlässigung des relativ schwachen Störungsniveaus, linear mit der Zeit ändert und folglich auch der Kontrast gleicher Zeitintervalle.

Ein Tongenerator mit automatischer Stärkeregelung besorgte diesen Anwuchs mit einer einzustellenden Geschwindigkeit.

In statistischer Weise haben wir versucht diejenige Geschwindigkeit zu ermitteln in welcher der Schall „von Augenblick zu Augenblick“, d.h. so kontinuierlich wie möglich, noch gerade anwächst beobachtet wird. Bei einer Geschwindigkeit, kleiner als dieser kritischen, nimmt man den sukzessiven Kontrast nur über längere Intervalle wahr. Während der Messungen stellte sich heraus dass dieser „von Augenblick zu Augenblick“ identisch ist mit der Pulsperiode; wird die Kontrastschwelle in dieser Periode überschritten, so beobachtet man den Schall als kontinuierlich anwächst.

Die Rechnung und die Messungen ergeben Folgendes:

Die Schallstärke sei gegeben durch:

$$\varphi = \varphi_a \cdot e^{\alpha \cdot t}$$

wo φ_a die Anfangsstärke ist und α die Konstante der Anwachsgeschwindigkeit; bei den Messungen wuchs φ an bis 16 φ_a .

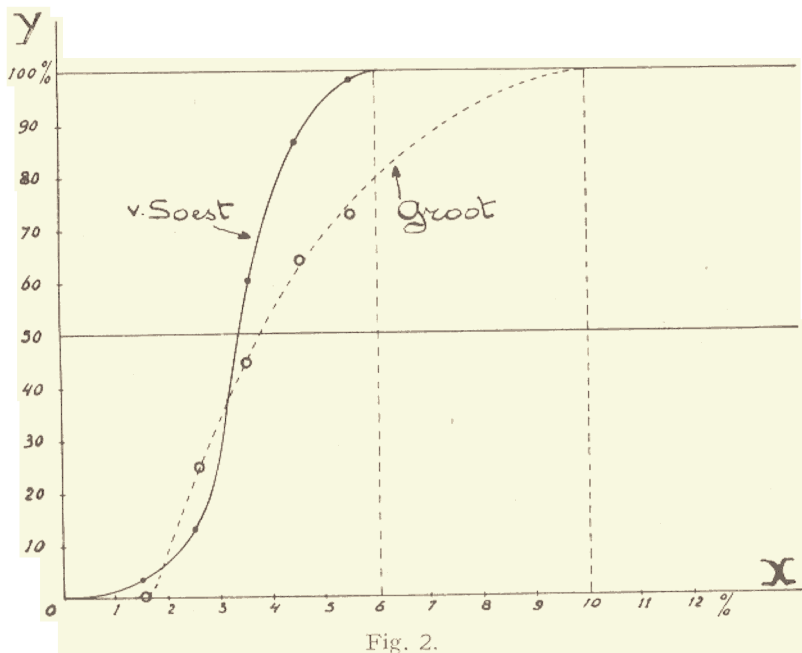
Weiter ist:

$$\sim \lg \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \alpha (t_2 - t_1)$$

und

$$\gamma_{m.a.} = \alpha \cdot \tau$$

wo τ die kritische Zeit der Pulsperiode darstellt.



Die Abszisse der Figur 2 stellt 100α dar und die Ordinate die prozentuelle Zeit, in der — bei den statistischen Messungen — für den bezüglichen α -Wert eine Schallstärkevermehrung „von Augenblick zu Augenblick“ beobachtet wurde.

Aus der Figur ergibt sich der Mittelwert bei 50% Sicherheit für die beiden Versuchspersonen auf 0,03 bzw. 0,04; und bei 100% etwa auf 0,06 und 0,10.

Da τ eine bekannte Grösse ist (etwas mehr als 1 Sek. bei den Versuchen), kann man mittels obiger Werte $\gamma_{m.a.}$ berechnen: 0,04; oder bei hundertprozentiger Sicherheit: 0,08—0,10. Diese letzten Werte sind in guter Uebereinstimmung mit auf ganz anderer Weise bestimmten Schwellenwerten ¹⁾.

Eingegangen 7 Januar 1935.

1) Vgl. Zwaardemaker. Lrb. der Physiologie II S. 356.