

Integrationsprozeß hindeuten. Im Prinzip bedeutet dies, daß das menschliche Gehör nicht die Spitzenwerte, sondern gewisse Mittelwerte der Intensität im bestimmten Zeitraum auswertet. Diese Gehöreeigenschaft kommt erst dann voll zur Geltung, wenn die Impulsdauer kürzer wird als die Analysierzeit, d. h. im Bereich etwa $t < 120$ ms. Dadurch kann auch die Tatsache erklärt werden, daß auf Grund von elektrophysiologischen Daten [4] die Verfasser annehmen, daß die lautstärkemäßige Unterscheidung von Impulsen bei größeren Dauern auf der Basis von Intensitätsunterscheidung vor sich geht, obwohl es sich höchstwahrscheinlich auch in diesem Bereich um energiemäßige Unterscheidung handelt. Übersteigt die Impulsdauer jedoch die Analysierzeit, so ist das Energie- und Intensitätskriterium, was das Endergebnis anbelangt, gleichwertig und es kann daher nicht entschieden werden, auf Grund welchen die Unterscheidung geschieht.

Völlig anders ist aber die Lage im Bereich von Impulsdauern unterhalb der Analysierzeit und aus der Abhängigkeit von DLI von der Impulsdauer t in diesem Bereich kann ein gewisses Bild über den Unterscheidungsmechanismus gewonnen werden. Zu diesem Zweck ist es vorteilhaft von den numerischen Werten von DLI für Sinustöne, s. Tab. 1, auszugehen. Berücksichtigt man die Definition von DLI,

$$DLI [dB] = 10 \log [(I + \Delta I)/I], \quad (2)$$

so kann aus den angegebenen Zahlenwerten das Verhältnis $\Delta I/I$ für den Schwellwert für jede einzelne Impulsdauer errechnet werden; diese Angaben sind in Tab. 2 (zweite Spalte) angeführt. Es ist deutlich zu sehen, daß das Verhältnis $\Delta I/I$ mit sinkender Impulsdauer stark ansteigt, im Bereich 400 ms—10 ms fast um eine Größenordnung. Da I bei allen Messungen konstant war, handelt es sich offensichtlich nicht um intensitätsmäßige Unterscheidung, da wir in diesem Fall ein konstantes, von der Impulsdauer unabhängiges Verhältnis $\Delta I/I$ erhalten müßten, was aber den tatsächlich gefundenen Ergebnissen nicht entspricht.

Nehmen wir nun an, daß das Gehör die Impulsenergie, im wesentlichen also das Zeitintegral der Intensität, wobei die Integration aber auf einem gewissen Zeitraum (Analysierzeit des Gehörs) beschränkt ist, auswertet. Eine analoge Überlegung hat Scholl [5] bei der Untersuchung der Mithörschwellen von Impulsen angestellt. Die Impulsenergie, normiert auf die Analysierzeit des Gehörs, kann dann durch eine Größe I_a — in der folgenden Form wir nennen sie daher äquivalente Intensität I_a — in der folgenden Form repräsentiert werden:

$$I_a = \frac{1}{\tau_a} \int_0^{\tau_a} I(t') dt'. \quad (3)$$

Hierbei ist τ_a die Analysierzeit des Gehörs, $I(t')$ ist der zeitliche Verlauf der Intensität und der Impuls beginnt in der Zeit $t' = 0$. Beschränkt man sich der Einfachheit halber auf Rechteckimpulse¹, so bedeutet dies, daß falls ihre Dauer $t \geq \tau_a$ ist, so ist ihre äquivalente Intensität $I_a = I$, wobei I ihre wirkliche Intensität darstellt und für Impulse der Dauer $t \leq \tau_a$ ist $I_a = I \cdot t/\tau_a$. Die äquivalente Intensität ist also die Intensität eines dem gegebenen Impuls energetisch äquivalenten Impulses, dessen Dauer genau der Analysierzeit gleich ist. Nimmt man für die in der Tab. 2 angegebenen Werte die Umrechnung auf $\Delta I/I_a$ nach der Beziehung (3) mit $\tau_a = 120$ ms vor — s. letzte Spalte in der Tab. 2 — so sieht man, daß das Verhältnis $\Delta I/I_a$ im breiten Bereich von Impulsdauern recht gut von diesen unabhängig ist. Es kann daher geschlossen werden, daß die getroffene Voraussetzung über Integration im Gehörorgan begründet erscheint und die Verhältnisse bei der lautstärkemäßigen Unterscheidung von Impulsen hinreichend gut widerspiegelt.

Tabelle 2

Das Verhältnis $\Delta I/I$ und $\Delta I/I_a$ für Schwellwerte (DLI) von Sinustönimpulsen in Abhängigkeit von deren Dauer t . Ungerechnet von Tab. 1 nach den Beziehungen (2) und (3).

t [ms]	$\Delta I/I$	$\Delta I/I_a$
400	0,14	0,14
100	0,17	0,13
50	0,32	0,11
20	0,68	0,11
10	1,16	0,10

Auf Grund der durchgeführten Überlegung kommt man somit zu dem Ergebnis, daß die Integrationskonstante t_0 etwa 30 ms beträgt ($\tau_a \approx 4t_0$). Diese Feststellung sowie der Zahlenwert an sich sind nicht neu, sie stellen vielmehr nur eine weitere Bestätigung einer bekannten Tatsache dar, auf die bereits durch mehrere Autoren [6—8], die die Bildung der Lautstärkemphinderungs untersucht haben, hingewiesen wurde. In der Arbeit [3] wurde — wie bereits erwähnt — auf den Integrationscharakter dieses Prozesses auch ein Zusammenhang mit der Untersuchung von DLI, jedoch ohne Angabe eines Zahlenwertes, hingedeutet. Der Beitrag der vorliegenden Arbeit besteht in der Bestimmung der Integrationskonstante bzw. der Analysierzeit des Gehörs durch eine andere Methode, und zwar mit gutem Einklang mit Angaben anderer Verfasser [6—8].

¹ Die in dieser Arbeit zur Auswertung gelangenden Meßergebnisse sind bei Tonimpulsen mit praktisch rechteckiger Umhüllenden erzielt worden.

Im Zusammenhang mit der Diskussion des Integrationscharakters des Prozesses der lautstärkemäßigen Unterscheidung von Impulsen ist es interessant dem Verlauf von DLI in Abhängigkeit von der Impulsdauer im Bereich kurzer Dauern ($t < 10$ ms) Aufmerksamkeit zu widmen. Auf Grund der mathematischen Formulierung des gefundenen Verlaufes $DLI = f(t)$ durch die Beziehung (1) muß — zunächst rein formell — erwartet werden, daß DLI in diesem Bereich mit Verkürzung der Impulsdauer wesentlich schwächer ansteigt und einen Grenzwert von etwa 4 dB anstrebt. Obwohl dieser Teil der Kurve bis jetzt experimentell nicht bestätigt werden konnte², scheint es, daß die Begrenzung von DLI bei sehr kurzen Impulsdauern tatsächlich reell sein mag. Dies könnte dadurch bewirkt sein, daß bei kurzen Impulsdauern — wie bei neurophysiologischen Untersuchungen [9] entdeckt wurde — die Gesamtzahl der antwortenden Neurone und nicht die Anzahl der Antworten einzelner Neurone den Träger der Information über die Lautstärke darstellt. Somit handelt es sich beim neurophysiologischen Mechanismus der Informationsübermittlung über die Lautstärke von Signalen bei kurzen und langen Signaldauern um zwei qualitativ unterschiedliche Systeme. Es zeigt sich ferner, daß die Schwellwerte der in diesem Bereich verlaufenden Verteilungsfunktion verteilt sind, und zwar mit einer recht flach verlaufenden Verteilungsfunktion [9]. Daraus ergibt sich, daß im breiten Bereich der Intensitäten der Eingangssignale der Zuwachs der antwortenden Neurone im Verhältnis zum Zuwachs der Signalintensität etwa konstant ist. Da der Mechanismus der lautstärkemäßigen Unterscheidung von zwei Impulsen in diesem Bereich offensichtlich darauf beruht, daß auf die beiden Impulse unterschiedliche Anzahl von Neuronen antwortet, die sich um eine bestimmte Schwellzahl von Neuronen unterscheiden, so ist auch diese im Bereich kurzer Impulsdauern annähernd konstant, wie aus der vorhergehenden Überlegung folgt. Es kann also geschlossen werden, daß die Konstanz von DLI für kurze Impulsdauern, wie sie aus der angegebenen empirischen Approximation (Beziehung (1)) folgt — obwohl experimentell nicht bestätigt — ihre neurophysiologische Grundlage nicht entbehrt und daher möglich ist. Eine gewisse experimentelle Bestätigung und Bekräftigung der dargelegten Hypothese ist auch das experimentelle Ergebnis der Arbeit [10], in der u.a. DLI für Rauschimpulse der Dauer 0,3 ms mit einer Zwischenpause von 300 ms gemessen wurde. Wohl

² Auch in Zukunft wird man in diesem Bereich auf große Schwierigkeiten stoßen, da die Tonimpulse bei sehr kurzen Dauern ihren Toncharakter bereits verlieren; ferner muß bei Messungen bei so kurzen Dauern mit Rechteckimpulsen gearbeitet werden, wodurch Knacks in Vordergrund treten, die die Meßergebnisse wesentlich zu beeinflussen in der Lage sind.

handelt es sich in dieser Arbeit um DLI-Bestimmung für andere Signalparameter und auch mittels anderer Methode³ als bei unseren Untersuchungen, trotzdem kann aber der erzielte Wert als eine grobe Schätzung angesehen werden. Der Wert von DLI betrug beim Pegel $L = 60$ dB etwa 2,8 dB und liegt somit merklich unter jenem Wert, den man auf Grund der Beziehung (1) erwarten müßte. Es handelt sich jedoch, wie bereits erwähnt, nur um eine grobe Abschätzung und diese bestätigt sehr wohl die Begrenztheit von DLI bei kurzen Impulsdauern.

Abschließend kann also gesagt werden, daß die Integration bei der lautstärkemäßigen Impulsunterscheidung nur im beschränkten Bereich der Impulsdauern zur Geltung kommen scheint. Von oben ist dieser Bereich durch die Analysierzeit des Gehörs, d.h. etwa 120 ms, und von unten durch etwa 10 ms beschränkt; bei dieser Dauer kommt es wiederum zum Umschlag des neurophysiologischen Unterscheidungsmechanismus.

SCHRIFTTUM

- [1] Chochole R., Krütel J., Comptes rendus des séances de la Société de Biologie 162 (1968), 848.
- [2] Krütel J., Zbornik Ped. fak. UK (im Druck).
- [3] Garner W. R., Miller G. A., Journ. exp. Psychol. 34 (1944), 450.
- [4] Katsuki Y., Watanabe T., Maruyama N., Journ. Neurophysiol. 23 (1959), 343.
- [5] Scholl H., Dissertation. TH Stuttgart 1961.
- [6] Niese H., Hochfrequenztechn. und Elektroakustik 70 (1961), 5.
- [7] Port E., Acustica 13 (1963), 212.
- [8] Scholl H., Acustica 12 (1962), 91.
- [9] Радионова Е. А., Акуст. журнал 8 (1962), 447.
- [10] Аванян Р. В., Радионова Е. А., Акуст. журнал 8 (1962), 407.

Fyzikálny ústav SAV,
Bratislava

Eingegangen am 2. 3. 1970

³ Es wurde nach dem Grenzwertverfahren gemessen, und zwar immer nur in einer Richtung, ausgehend von lautstärkemäßig deutlich unterschiedlichen Impulsen zu gleichlauten. Derartig angelegte Meßmethode ist, wie bekannt, durch den konstanten Habitationsfehler belastet und führt notwendigerweise zu niedrigeren Werten von DLI.