

15. Prof. Dr. ERNST LÜBCKE (Berlin-Siemensstadt): *Objektive Lautstärkenmessungen.*

Eine einfache Sinusschwingung ist allein durch ihren Ausschlag und ihre Frequenz bestimmt. Ihre Schallstärke kann bei bekannter Frequenz zur Bestimmung der Lautstärke dienen. Bei zusammengesetzten Schallschwingungen, zu denen jeder Sprachlaut gehört, ist die Messung schwieriger. Wir müssen jetzt Geräusche messen. Eine jede objektive Geräuschmessung will den Eindruck, den ein Geräusch auf einen Beobachter hervorruft, durch eine Messung der akustischen Verhältnisse im Schallfelde in reproduzierbarer Weise zahlenmässig erfassen.

Im folgenden soll dargestellt werden :

1° wie man z. Zt. in Deutschland sich bemüht, dies Ziel zu erreichen,

2° unter welchen Voraussetzungen die subjektive Wahrnehmung durch eine physikalische Messung angenähert werden kann,

3° wie diesen Forderungen genügende Geräte ausgebildet werden können,

4° welche Ergebnisse mit objektiver Lautstärkenmessung erzielt sind und

5° welcher Ergänzung die Angaben des objektiven Lautstärkemessers z. Zt. noch bedürfen, um ein Geräusch hinreichend genau zu charakterisieren.

Vorbemerkungen

Eine objektive Geräuschmessung soll den praktischen Wert besitzen, dass dasselbe Geräusch unabhängig von Zeit und Beobachter unter denselben Verhältnissen des Schallfeldes auch dieselbe Beurteilung erfährt. Wir machen uns durch eine derartige Messung frei vom Beobachter und seiner augenblicklichen Einstellung zu dem Geräusch. Man strebt bewusst auf einen Mittelwert hin. Als Mass der Schallempfindung dient die Lautstärke. Sie stellt die Verbindung eines physikalischen Masstabes mit einem physiologischen dar; die physikalisch messbare Schallstärke eines Tones von 1.000 Hz, die bei einem Schalldruck p_1 dargestellt wird durch die logarithmische Beziehung $20 \log p_1/p_0$ in Dezibel (p_0 Schalldruck an der Hörschwelle), wird mit der Schallstärke eines anderen Tones unter Einschaltung des Ohres verglichen (1). Man erhält so die Kurven gleicher

(1) „Lautstärke“, Mitteilung des Deutschen Akustischen Ausschusses, *Akust. Zeitschr.*, Bd. 3, S. 59, Januar 1938.

Lautstärke in der von FLETCHER und MUNSON (1) festgelegten Form (Abb. 1). Sie geben uns einen guten Aufschluss über

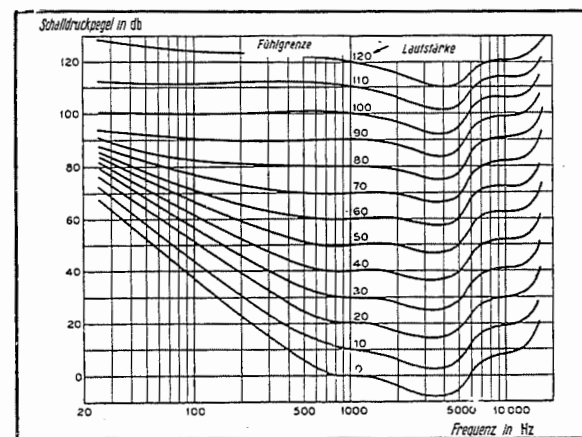


Abb. 1. Kurven gleicher Lautstärke.

Frequenzabhängigkeit des menschlichen Ohres. Ausserdem treten die Unterschiede zwischen den db- und phon-Masstab gut hervor. Die geschwungenen Kurven entsprechen den Kurven gleicher Lautstärke in Phon während die Ordinate den Schalldruckpegel in Dezibel über $p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ dyn/cm² darstellt. Der in Angleichung an das Weber-Fechnersche Gesetz als Mass für die Lautstärke gewählte Logarithmus des Reizes, des Schalldruckes, entspricht nur angenähert der Wirklichkeit. Während für mittlere Lautstärkenbereiche die Lautheit, d. h. die Stärke der Schallempfindung bei einer Erhöhung der Lautstärke um etwa 8-10 phon auf den doppelten Wert steigt, sind für niedrige Lautstärkenwerte, aber auch für hohe, weniger Phon zur Verdopplung der Lautheit erforderlich. Diese Beziehung wird etwa durch den Verlauf der Lautheitsfunktion nach FLETCHER und MUNSON wiedergegeben. Bei der objektiven Geräuschmessung benutzt man sie noch nicht. Man beschränkt sich hier allein auf die Lautstärkenmessung.

Richtlinien für Geräuschzeiger

Zur objektiven Lautstärkenmessung genügt es nicht, die Schallstärke durch Messung des Schalldruckes zu gewinnen, sondern es muss der Mess-Schall nach seiner Frequenzzusammen-

(1) H. FLETCHER und G. A. MUNSON, *Journ. Acoust. Soc. Am.*, Bd. 5, S. 82, 1933.

setzung gewertet werden. Dies geschieht entweder durch die Messung der Schalldrucke innerhalb kleiner Frequenzbereiche, ihrer frequenzmässigen Bewertung nach den Kurven gleicher Lautstärken und ihrer Addition nach der Lautheitsfunktion, wie es z. B. THILO und STEUDEL mit Hilfe des Oktavsiebes vorgeschlagen haben (1). Oder man verlegt die Frequenzbewertung in den Apparat selbst. Für derartige Geräuschzeiger sind seitens des Deutschen Akustischen Ausschusses Richtlinien aufgestellt worden, um die Ohreigenschaften nach Möglichkeit zu berücksichtigen (2). Die amerikanischen Verschriften sind ähnlich. Es wird folgendes verlangt :

1° Eichung der Lautstärkenskala in phon.

2° Frequenzbewertungskurven in Vereinfachung der Fletcher-Munson-Kurven nebst Toleranzen ± 3 phon bis 6.000 Hz und ± 6 phon von 6.000 bis 10.000 Hz, abhängig von der Lautstärke des Geräusches (vgl. Abb. 2). Man sagt nur etwas aus über eine Aufnahme in dem Frequenzbereich von 50 bis 10.000 Hz.

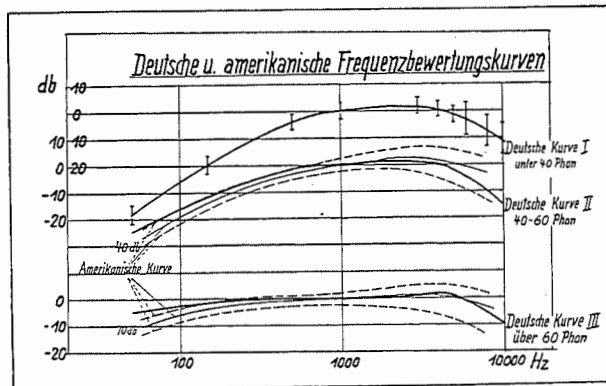


Abb. 2. Frequenzbewertungskurven für Geräuschmesser nebst Toleranzen.

3° Die Anzeige des Gerätes soll beim Einschalten eines Sinustones innerhalb 0,2 sec den Endwert erreichen, der Zeiger darf um nicht mehr als 1 db überschwingen.

4° Da die Schallstärke mit dem Quadrat des Druckes wächst, ist für die Anzeige des Effektivwertes eine quadratische Gleichrichtung zu wählen.

(1) H. G. THILO und U. STEUDEL, *Wiss. Veröff. Siemens Konzern*, Bd. 14, Heft 1, S. 78, 1935.

(2) Mitteilungen des Deutschen Akustischen Ausschusses, „Richtlinien für Geräuschzeiger und -schreiber“, *Akust. Zeitschr.*, Bd. 2, S. 54, 1937.

5° Das Gerät muss wenigstens für einen Festpunkt am Mess-Orte nachziehbar sein.

Geräte zur Lautstärkenmessung

Für jede objektive Schallmessung ist ein zuverlässiger Energieumwandler die Hauptbedingung. Auf Grund vieler sorgfältiger Messungen halten wir ein Kondensator-Mikrophon mit einer hochabgestimmten Membran für den besten Wandler, der für einen grossen Zeitraum seine Eichwerte beibehält und durch äussere Einflüsse am wenigsten beeinflusst wird. Ein derartig hochwertiges Messkondensator-Mikrophon zeigt in seiner Eichkurve keinen Frequenzgang (1). An das Mikrophon wird entweder der Schalldruckmesser oder der Geräuschmesser angeschlossen. Abb. 3 lässt die Unterschiede zwischen beiden Mess-

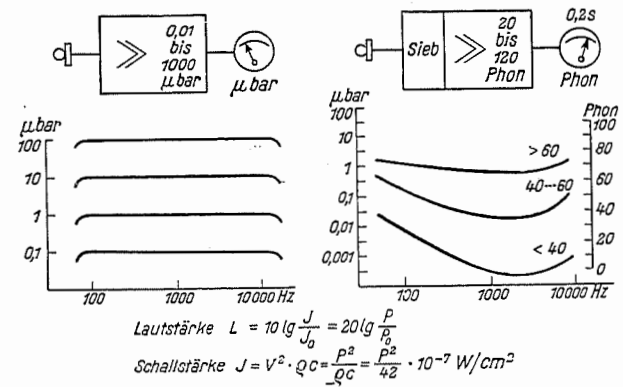


Abb. 3. Schalldruck- und Lautstärkenmesser. Aufbau und Frequenzgänge.

geräten durch die Art der Skala und der Frequenzgänge hervortreten. Mit beiden Geräten kann man über den ganzen Frequenzbereich oder auch in einzelnen Oktaven messen und den zeitlichen Verlauf aufzeichnen. Abb. 4 stellt eine ältere Ausführung des Universal-Geräuschmessers von Siemens und Halske A. G. Berlin-Siemensstadt dar für den Bereich von 35 bis 110 phon, wie ich ihn für meine Untersuchungen vor mehreren Jahren mit Erfolg nebst Oktavsieb benutzt habe (2). Zur polizeilichen Ueberwachung der Verkehrsgeräusche sind seitens der Physika-

(1) Vgl. hierzu z. B. E. LÜBCKE, *Zs. f. phys. u. chem. Unterr.*, Bd. 51 (1938), S. 3; W. JANOVSKI, *Schweiz. Arch.*, Bd. 4, S. 219 (1938).

(2) Z. B. E. LÜBCKE, *Die Naturwissenschaften*, Bd. 26, S. 17 u. 33, 1938.

lisch-Technischen Reichsanstalt, Charlottenburg, mehrere Geräte genehmigt worden (1).

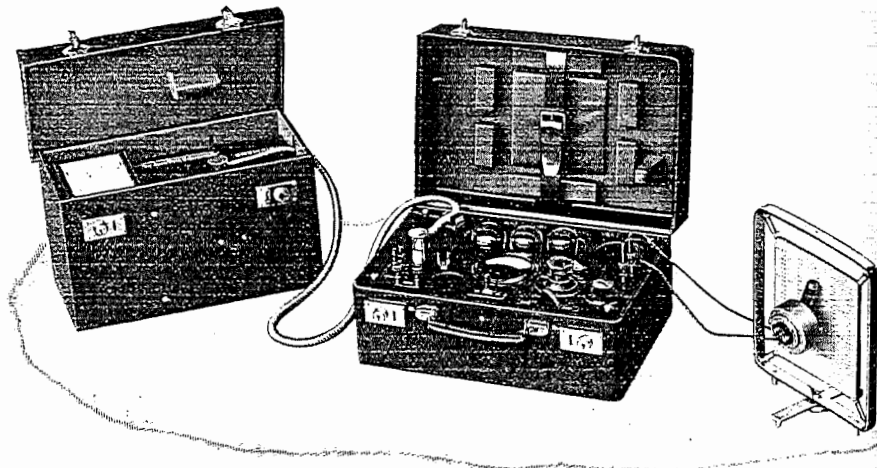


Abb. 4. Universal-Geräuschmesser von S. u. H.

*Vergleich zwischen subjektiver und objektiver
Lautstärkemessung*

Nach den Festlegungen des Deutschen Akustischen Ausschusses wird die subjektive Lautstärke eines Geräusches dadurch bestimmt, dass man in einer von vorn auf den Beobachter einfallenden Schallwelle abwechselnd den Normalton von 1.000 Hz und den Vergleichsschall darbietet und durch Verändern der Schallstärke des Normaltones die Gleichheit beider Schalle erreicht. Als Lautstärke des Vergleichsschalles in Phon wird der db-Wert des Vergleichstons angegeben, für den die Hälfte der Beobachtungen zu gross und die andere Hälfte zu klein ist. In einem derartig von einer grossen Zahl von Beobachtern subjektiv ausgemessenen Schallfelde kann man jetzt leicht die Ablesungen objektiver Lautstärkemesser vergleichen. Für einige Geräuscharten sind derartige Messungen von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt durchgeführt worden (Abb. 5). Die Ablesung an dem objektiven Geräuschmesser, angedeutet durch den senkrechten Strich, lag stets bei 85 phon. Es zeigte sich hier, dass die subjektiven Messungen

(1) „Erlass des Reichs- und Preussischen Verkehrsministers über Geräte zur Messung von Lautstärken“, *Akust. Zeitschr.*, Bd. 2, S. 112, 1937.

verhältnismässig weit streuen, am weitesten bei Klopfgeräuschen. Diese Messungen sind durch die kleinen Kreise angedeutet, deren jeder dem Mittelwert eines Beobachters entspricht. Die subjektiven Werte liegen bei einzelnen Geräuscharten im

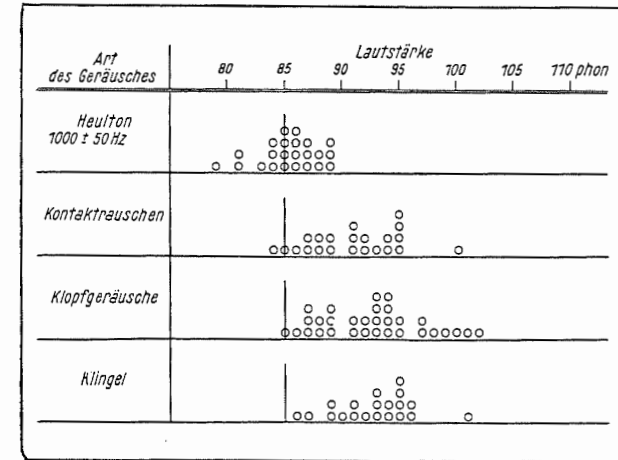


Abb. 5. Vergleichsmessungen des Akust. Lab. der P. T. R.

Mittel bis zu 10 phon höher als die objektive Feststellung (1). Die objektive Ablesung liegt dabei meist noch an der unteren Grenze der subjektiven Messungen. Bei nicht geübten Beobachtern sind die Streuungen noch wesentlich grösser und können, wie STEINBERG und MUNSON für 100 Beobachter zeigten, sogar bis zu insgesamt 45 db anwachsen (2). Es zeigte sich bei derartigen Messungen an vielen Stellen, dass spitzenthaltige Geräusche objektiv stets geringer bewertet werden als subjektiv. Gleichmässige Geräusche werden von den verschiedenen objektiven Lautstärkemessern meist mit einer kleineren Streuung als ± 2 phon angezeigt. Daraus ergibt sich der Wert eines objektiven Lautstärkemessers, dass sich mit ihm Messungen gleichmässiger Geräusche in Übereinstimmung mit dem Mittelwert subjektiver Messungen stets erzielen lassen. In Verfolgung von Vorstellungen über die Messung und Bewertung von spitzenthaltigen Geräuschen, wie Knacken, Stössen usw., die zuerst U. STEUDEL (3) entwickelt hat, sind vom Zentral-

(1) Mitteilung der Phys. Techn. Reichsanstalt, Ak. Lab. an Deutschen Akust. Ausschuss am 15. April 1937.

(2) J. C. STEINBERG und W. A. MUNSON, *Journ. Acoust. Soc. Am.*, Bd. 8, S. 71, 1936.

(3) U. STEUDEL, *Hochfr. techn. u. Elektroakust.*, Bd. 41, S. 116, 1933.

Laboratorium der Siemens und Halske A. G. Messungen in Räumen mit spitzenhaltigen Geräuschen durchgeführt worden.

Raum	objektive Anzeige		subjektive Messung		5 Differenz AB-Spitzenwert	6 Differenz AB-Effektivwert
	7 Effektivwert	8 Spitzenwert	3 Gesamt- mittel	4 Mittel AB		
REMA Tabellierstelle	81	82	88,5	84	2	3
Schraubendreherei	82	84	92	86	2	4
Feindreherei	72,4	74,4	80	79	4,6	6,6
Zahnradfräseerei	70,8	72,8	72	70	-2,8	-0,8
Malerei Wandrohrstoßen	75,8	77,8	78	75	-2,8	-0,8
Wählergestell	79,8	80,8	89	85	4,2	5,2
Schüttelmaschine	82	85	94	90	5	8
VSa Rechenzimmer	71,6	74	79,5	77,5	3,5	5,9
Werkzeugschleiferei	76,6	78,4	81	80	1,6	3,4
Kleinstanzerei	83,6	85,6	90	85	-0,6	1,4
Schwabbelei	70,1	72,1	72	69	-3,1	-1,1
					+1,4db	+3,5db

Abb. 6. Vergleich von subjektiver Messung mit objektiver Effektiv- und Spitzenwert-Messung.

Die Tabelle (Abb. 6) zeigt, dass die subjektive Messung grössere Werte liefert als der Effektivwertmesser, für den Mittelwert der Beobachter auch bei Spitzenwertanzeige. Eine Gruppe von Beobachtern (AB) lässt sich scheinbar durch die Geräuschbelastung nicht beeinflussen, bei ihr stimmen die Mittelwerte mit der Spitzenwertanzeige recht gut überein. Ehe hier aber eine endgültige Entscheidung gefällt werden kann, müssen noch weitere Messreihen von anderen Stellen vorliegen.

Ergänzungen der Geräuschzeiger

Ändert sich die Lautstärke eines Geräusches zeitlich, so genügen häufig nicht Feststellungen des zeitlichen Mittelwertes. Den zeitlichen Verlauf des Schalldruckes über den ganzen Frequenzbereich kann man z. B. mit dem Dämpfungsschreiber nach NEUMANN im db-Masstab auf Wachspapier aufschreiben oder den genauen Schwingungsverlauf, auch innerhalb einzelner Oktaven, mit dem Oszillographen leicht aufzeichnen. Besondere Vorteile, über die Herr Professor Dr. FERD. TRENDELENBURG in einem Vortrag an Hand von Beispielen ausführlich berichtet, erzielt man bei gleichzeitiger Aufzeichnung des Schallverlaufes in mehreren parallel geschalteten Frequenzbereichen z. B. Oktaven. Die Verwendung des Oktavsiebes als

Analysiergerät zur Bestimmung der in dem Schall hauptsächlich enthaltenen Frequenzen bietet noch den Vorteil der

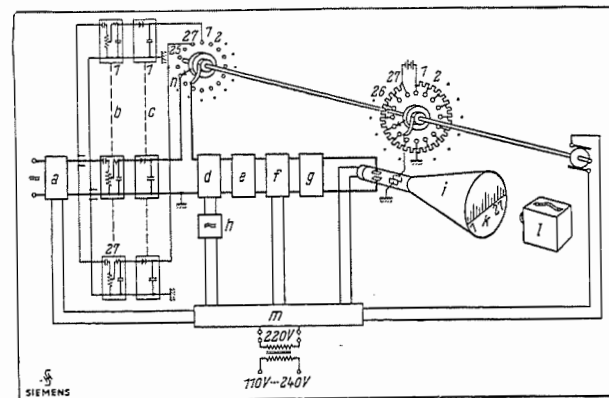


Abb. 7. Schaltung des Tonfrequenz-Spektrometers.

kleinsten Einschwingzeit des Analysators und damit der kürzesten Analysierzeit. Auf die Verwendung der genauen Frequenzbestimmung nach dem Suchtonverfahren erübrigt sich hier einzugehen. Sie sind nur für längerdauernde (einige Minuten) Geräusche anzuwenden (1). Kurze Einschwingzeit und augen-

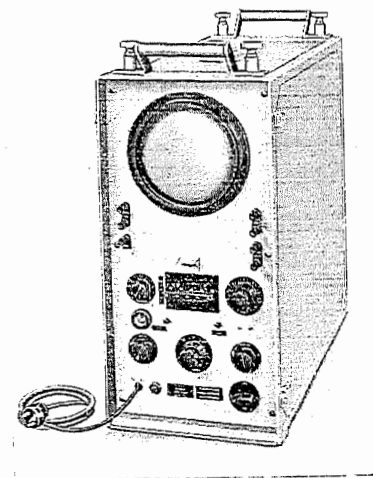


Abb. 8. Ansicht des Tonfrequenz-Spektrometers.

(1) Weitere Hinweise in Fussnoten auf S. 113.

blickliche Anzeige der Frequenzverteilung in Breiten von $1/3$ Oktave vereinigt das Tonfrequenz-Spektrometer nach Freystedt (1), dessen Schaltung Abb. 7 und dessen Aeusseres Abb. 8 zeigt. Das Gerät wurde vorzuführen und gesondert ein dazugehörigen Film über seine Wirkungsweise gezeigt.

Zusammenfassung

Objektive Lautstärkenmesser verschiedener Bauweise bilden die Eigenschaften des menschlichen Ohres zum Teil so gut nach, dass ihre Angabe mit dem Mittelwert einer grosser Zahl von subjektiven Messungen übereinstimmt. Für zeitlich stark schwankende Geräusche, insbesondere spitzenhaltige ist die objektive Anzeige systematisch viel kleiner als die subjektive. Die Lautstärke ist nur ein Teil des Schalleindrucks. Der zeitliche Verlauf und die Verteilung der Schallanteile auf die verschiedenen Frequenzen werden häufig ebenso zur Charakterisierung benötigt wie die Lautstärke. Hierfür stehen einige Geräte zur praktischen Verwendung, die kurz angegeben werden.

16. Mr. DENNIS FRY (London) : *On the Behaviour of Sensitive Flames and their Application to Speech Training.*

Although the phenomenon of the sensitive jet has received a good deal of attention since the days when LÉCONTE and TYN-DALL made their first enquiry into the matter, certain points still require explanation. These, however, must be left to the physicists. The object of this paper is merely to give a short account of the general characteristics of sensitive flames, together with certain results which I have obtained in examining their response to speech sounds.

I propose to deal briefly with the conditions for sensitivity in jets, and then with their response to pure tones before considering their reaction to speech sounds (2).

The general appearance and behaviour of sensitive flames are doubtless well-known. The flames are usually lighted jets of coal gas which show a marked decrease in height when certain sounds are produced in the vicinity. The „ducking” of the flame

(1) E. FREYSTEDT, *Zeitschr. f. techn. Physik.*, Bd. 16, S. 533, 1935.

(2) For information and help in preparing the first part of my paper, I am indebted to Dr. G. B. BROWN of University College, London (see his paper „On Sensitive Flames”, *Philosophical Magazine*, vol. XIII, Jan. 1932) who has also been good enough to lend two of the figures (figures 1 and 3) which are reproduced here by permission of the Editors of the *Philosophical Magazine*. I have to thank also Mr. STEPHEN JONES, late of University College, London, who supplied a number of the jets examined.

in a really sensitive jet is easily visible; one flame examined, for instance, would decrease by about one half of its height at the sound of the rattling of keys.

The degree of sensitivity of a flame depends mainly on two factors (a) the size and shape of the jet and its orifice and (b) the pressure of the gas. In the present investigation the jets used included the ordinary Bunsen type of burner, the Rayleigh type and others which were plain tubes of glass or metal with a small orifice. The Rayleigh type differs from an ordinary Bunsen burner in that the sound acts upon the unlit column of gas in the stem of the burner and not directly upon the flame. At the base of the stem, the gas passes through a chamber of which one side is a diaphragm of rubber or some other substance which allows the passage of sound but protects the jet from draughts. By far the most sensitive jets were made by using a glass tube of about 5 mm. diameter. The tube was held in a Bunsen flame until one end was almost sealed and a small orifice of 1-2 mm. diameter was left. Another type of jet was made by soldering a thin sheet of metal over one end of a metal tube (from 0,5 to 1 cm. in diameter) and making a pinhole in the metal sheet.

In examining the behaviour of sensitive jets, a pressure pump is often used to provide gas at a high pressure, but in these experiments on speech sounds the normal gas supply was used and the pressure was regulated quite simply by placing a screw clip across the rubber tube which led from the gas tap to the jet. By this means, the gas pressure could be reduced to a minimum and then increased by small degrees.

If a jet is connected in this manner to the gas supply and the stream of gas issuing through the orifice is lighted, the flame burns steadily when the pressure is at the minimum. If the pressure is gradually increased, the flame lengthens and continues to burn steadily until the pressure reaches a certain critical value, when it breaks down, becomes turbulent and is much shorter than in its previous stages. The flame is sensitive to sounds at the point when it is about to become turbulent. This means that if a sound is produced near the flame while it is in this condition, the flame will „duck” and turbulence will set in which will last as long as the sound continues. The visible effect will, in fact, be similar to that of increasing the pressure still further (though the condition produced by the latter is in reality quite different).

An investigation of the response of sensitive jets to pure tones made by Dr. BROWN has revealed some very interesting facts. He found that when a given jet was subjected to frequencies ranging from 0-17,000 cycles, the flame registered certain maxima and minima of height at different parts of the frequency