

Dr.-Ing. W. HOLLE

DK 534.793:534.612

Ein neuer Schallpegelzeiger (Kleiner Lautstärke- und Schalldruckmesser)

(Mitteilung aus dem Laboratorium der Fa. Rohde & Schwarz, München)

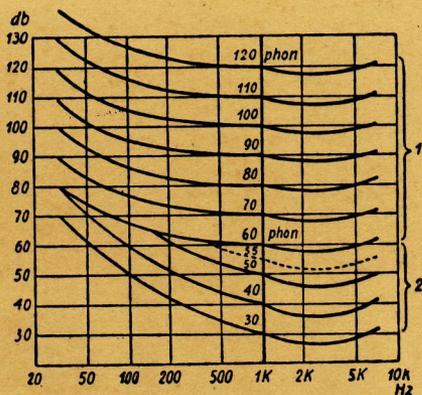
Die elektrische Wiedergabe von Sprache, Musik oder anderen Schallereignissen ist aus unserem heutigen täglichen Leben nicht mehr fortzudenken. Während bei einem Rundfunkempfänger oder Verstärker die elektrische Ausgangsleistung recht genau gemessen und zur Erzielung von einigen Prozent mehr an elektrischer Leistung oft ein merklicher Aufwand getrieben wird, begnügt man sich meist damit, die erreichte Lautstärke nur subjektiv zu schätzen. Diese Schätzung ist natürlich außerordentlich roh. Fehlschätzungen des Schalldruckes um den Faktor 3 bzw. Faktor 10 in der (absoluten) Schalleistung sind dabei ohne weiteres möglich. Ebenso wie zur Erzielung guter fotografischer Aufnahmen ein Belichtungsmesser nötig ist, um nicht von dem wechselnden Empfinden des Auges abhängig zu sein, sollte zur Beurteilung eines Schallereignisses ein Schalldruckmesser bzw. Lautstärkemesser herangezogen werden. Aber nicht nur zur Messung erwünschten Schalles, ebenso zur Messung von Lärm ist ein Meßgerät nötig, zweckmäßigerweise ein solches, dessen Anzeige möglichst dem subjektiven Lautstärkeempfinden entspricht. Es sei z. B. daran erinnert, daß in den Zulassungsvorschriften der Verkehrspolizei gefordert wird, daß das vom Antriebsmechanismus eines Fahrzeuges hervorgerufene Geräusch ein gewisses Maß nicht überschreitet.

Der derzeit absolute Mangel an solchen Geräten wird nun durch den hier beschriebenen Schallpegelzeiger behoben, der sowohl als Verkehrsgeräuschmesser, Lautstärkemesser, als auch als orientierender Schalldruckmesser anwendbar ist. Bei seiner Konstruktion wurde angestrebt, ein vielseitig anwendbares, handliches und leicht transportables Gerät zu schaffen, das unabhängig vom Vorhandensein eines Netzanschlusses betrieben werden kann.

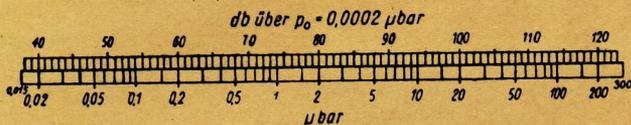
Schalldruck und Lautstärke

Über die physikalischen und physiologischen Grundbegriffe der Akustik sind in letzter Zeit in den verschiedensten Zeitschriften Zusammenfassungen (u. a. FUNK UND TON, Tabellen Ak 1 bis 8, Bd. 2 (1948), H. 7 u. 8, erschienen, so daß hier darauf verwiesen sei.

Über Lautstärkedefinition und Lautstärkemessungen sind in Deutschland in den DIN-Blättern 1318 und 5045 nähere Bestimmungen und Richtlinien festgelegt. Insbesondere ist in dem letzteren Blatt vorgeschrieben, in dem gesamten Hörbereich nur mit 8 Frequenzkurven, je einer in den Bereichen



Rechts: Abb. 1. Kurven gleicher Lautstärke, die sich aus den Bewertungskurven nach DIN 5045 ergeben. Die Kurven 40 bis 60 phon überschneiden sich zum Teil. Da gemäß den Richtlinien bei Messung verschiedener Werte in den verschiedenen Teilbereichen der größere Meßwert gelten soll, fallen bei tiefen Frequenzen die Werte 40 bis 60 phon teilweise aus



Links: Abb. 2. Nomo-
gramm zur Umwand-
lung des relativen Schall-
druckes (In db) in abso-
luten Schalldruck (μbar)

0...30, 30...60 und 60...120 phon (Abb. 1) zu arbeiten. Dadurch treten zwar Abweichungen zwischen den Meßwerten eines DIN-Lautstärkemessers und den subjektiven Werten auf. Dieses ist jedoch unwesentlich, da die subjektiven Messungen, besonders wenn die wesentlichen Komponenten von sehr tiefer oder sehr hoher Frequenz sind, außerordentlich streuen. Wesentlich ist vielmehr, daß alle Lautstärkemesser, die nach dieser Norm gebaut sind, gleiche Werte zeigen, und daß der technische Aufwand gering bleibt.

Auf einen Nachteil dieser Vereinfachung sei allerdings noch hingewiesen. Die Kurven gleicher Lautstärke drängen sich bei tiefen Frequenzen dicht zusammen. Bei 100 Hz bringt eine Schalldruckänderung um 5 db eine Lautstärkeänderung um etwa 10 phon, bei 30 Hz sogar etwa 20 phon. Diese Änderung gibt der DIN-Lautstärkemesser also viel zu gering an (wenn nicht gerade auf einen solchen Meßbereich umgeschaltet wird, der einen anderen Frequenzgang verursacht, wobei dann; wie Abb. 1 zeigt, u. U. eine zu große Differenz gemessen wird). Dieser Betriebsfall tritt z. B. dann auf, wenn eine Lärm-minderungsmaßnahme gemessen werden soll, wobei der Lärm vorwiegend aus tiefen Frequenzen besteht.

Überlegungen zur Konstruktion eines Schallpegelzeigers

Ein universeller Lautstärkemesser soll einen möglichst großen Meßbereich umfassen. Während die Messung großer Lautstärken keine Schwierigkeiten bereitet, steigt der Aufwand bei Erweiterung des Meßbereiches nach unten beträchtlich an. Es muß somit ein Kompromiß zwischen Herstellungskosten, Handlichkeit und Gewicht einerseits, und Universalität andererseits geschlossen werden. Die untere Meßgrenze des nachfolgend beschriebenen Gerätes ist deshalb auf 38 phon bzw. $1,6 \times 10^{-2} \mu\text{bar}$ gelegt. Lautstärken unter diesem Pegel interessieren sowohl als Nutzschaall wie als Störschaall nur selten.

Als obere Meßgrenze kommt die Föhlswelle bei etwa 120...130 phon in Frage. Das beschriebene Gerät mißt bis 123 phon.

Um das Gerät sowohl als Phonometer wie auch als Schalldruckmesser benutzen zu können, sollen die oben besprochenen Frequenzgänge abschaltbar sein. Es zeigt dann wahlweise die Lautstärke in phon oder den Schalldruck in db über $p_0 = 2 \times 10^{-4} \mu\text{bar}$ an. Aus der Angabe in db ergibt sich der Schalldruck in μbar in einfacher Weise

$$P_{[\mu\text{b}]} = 2 \cdot 10^{20} L_{[\text{db}]}^{-4}$$

bzw. aus dem Nomogramm Abb. 2.

Der Meßbereich von rund 40...120 phon muß aus technischen Gründen in mehrere Teilbereiche aufgespalten werden. Es ist wünschenswert (zumal die Meßgenauigkeit ohnedies kaum genauer als ± 1 phon sein kann), daß die Einzelbereiche möglichst groß sind, so daß nur wenige Unterteilungen nötig werden.

In dem Normblatt des deutschen akustischen Ausschusses wird ein Teilbereichumfang von mindestens 20 phon, davon mindestens 5 phon für Überlappung, gefordert.

Diesem Wunsch steht entgegen, daß das Gerät ein Effektivwertzeiger sein soll, d. h. es soll nicht nur in Effektivwerten geeicht sein, sondern Schalldrücke beliebiger Kurvenform gleichen Effektivwertes sollen gleiche Anzeigen liefern. Es muß also ein quadratisches Meßgerät eingesetzt werden. Die von sich aus quadratisch arbeitenden Instrumente (Dreheisen-, Dynamometer-, kapazitive

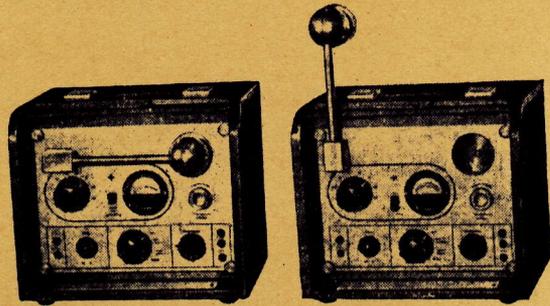


Abb. 3. Ansicht des Schallpegelzeigers. Links Mikrofon in Ruhe- und Eichstellung, rechts Mikrofon in Meßstellung

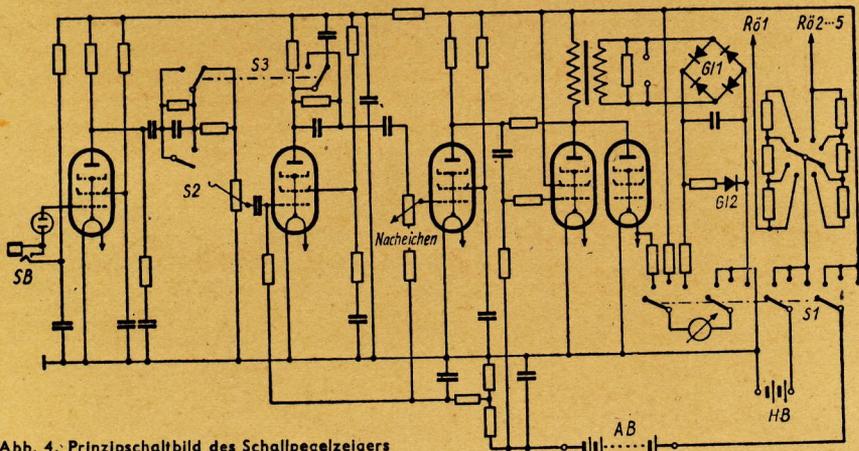


Abb. 4. Prinzipschaltbild des Schallpegelzeigers

und Hitzdrahtinstrumente) scheiden teils wegen des zu großen Leistungsbedarfes für ein kleines Batteriegerät, teils wegen zu großer Einstellzeit aus. Es kommt somit nur ein Drehspulinstrument mit vorgeschaltetem Trocken- gleichrichter, der im quadratischen Teil betrieben wird, in Frage. Da ein Drehspulinstrument ein Stromverhältnis von 1:10 ohne Umschaltung umfaßt, ergibt sich somit nur ein Spannungsverhältnis von $1:\sqrt{10} = 10$ db. Dadurch würde sich eine Umschaltung von 10 zu 10 db ohne jede Überlappung ergeben. Es liegt nahe, eine Meßbereichserweiterung sowie eine günstige Skalenteilung durch eine Rückwärtsregelung mit Regelröhren zu erreichen. Dadurch würde jedoch die Effektivwertanzeige gestört, wenn nicht die Regelspannung ebenfalls durch quadratische Gleichrichtung erzeugt wird. Die Spannungsausbeute bei quadratischer Gleichrichtung ist sehr ungünstig, woraus sich ein für ein kleines Batteriegerät schlecht vertretbarer Aufwand ergeben würde. Auch eine amplitudenabhängige Gegenkopplung stört eine Effektivwertanzeige. Dagegen gelingt es leicht, durch Shunten des Anzeigeinstrumentes mit einem amplitudenabhängigen Widerstand eine solche Teilung des Richtstromes zu erreichen, daß der Meßbereich erweitert und die Skalenteilung verbessert wird. Allerdings läßt sich dieser Effekt nicht beliebig weit treiben, da entsprechend der Shuntung der quadratische Gleichrichter weiter angesteuert wird.

Es ist dabei zu berücksichtigen, daß mit dem Instrumentenstrom bzw. der Leistung für das Anzeigeinstrument nicht beliebig heruntergegangen werden kann, da von dem Instrument eine schnelle Einstellzeit (etwa 0,2 Sekunden bei annähernd aperiodischer Dämpfung) verlangt wird. Die geforderte Einstellzeit von 0,2 s folgt aus der Ansprechzeit des Ohres¹⁾.

Beschreibung des ausgeführten Geräts

Der Schallpegelzeiger ist in einen kleinen Holzkoffer mit Jalousieverschluss eingebaut (Abb. 8), kann aber ebenso in ein normales Blechgehäuse eingesetzt werden. Er ist bestückt mit 5 Röhren RV 2,4 P 700. Die Heizung erfolgt durch 10 Einzelzellen EJT. Die Einstellung auf die verschiedenen Heizspannungen geschieht durch einen umsteckbaren Spannungswähler. Als Anodenbatterie dienen 2 Mikrodynbatterien je 100 V. Die hohe Nennspannung von 200 V wurde gewählt, um die Batterien bis zu 2×60 V herunter auszunutzen. Die Gittervorspannungen werden durch den Anodenstrom automatisch erzeugt. Die Einstellung der Heizspannung sowie die Kontrolle der Anodenbatterie geschieht mit Hilfe des Anzeigeinstrumentes. Dazu befinden sich auf der Skala 2 farbige Bereichfelder. Der Instrumentenschalter S 1 (Abb. 4) dient zugleich als Ausschalter, so daß beim Umschalten vor jeder Messung die Heiz- und Anodenspannung kontrolliert werden. Für längere Reihenmessungen ist auch die Anschlußmöglichkeit äußerer Batterien (6-V-Akku) sowie eines Stromversorgungskoffers mit großen Batterien oder Netzanschluß vorgesehen.

Als Meßmikrofon wird ein kleines Kondensatormikrofon verwendet, das, um eine übersehbare Druckstauung für hohe Frequenzen zu bekommen, in ein kugelförmiges Gehäuse eingebaut ist. Die Entzerrung der Druckstauung wird durch ein RC-Glied parallel zum Anodenwiderstand der ersten Röhre bewirkt. Die Richtkennlinie ist nahezu kugelförmig. Das Mikrofon wird in Elektrometerschaltung betrieben. Die Einstellung der Meßbereiche erfolgt durch den Schalter S 2, der ein Stufenpotentiometer betätigt und die Umschaltung von

¹⁾ Vgl. G. v. Békésy, Theorie des Hörens, Phys. Zs., Bd. 30 (1929).



Abb. 5. Meßbereichschalter und Anzeigelinstrument

Kurve 1 und 2 (Abb. 1) vornimmt. Er trägt die Bezeichnungen „40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110“ (Abb. 5). Zu dem eingestellten Wert ist der Ausschlag des Instrumentes zu addieren. Die Skala reicht von -2 bis $+18$, so daß sich ein Gesamtbereich von $88...128$ phon bzw. db über $0,0002 \mu\text{bar}$ ergibt. Die Umschaltung von Lautstärkemessung („phon“) auf Schalldruckmessung („db über $p_0 = 0,0002 \mu\text{bar}$ “) erfolgt durch den Schalter S 8. Dieser schaltet die Längs- und Quer-

kondensatoren aus, die die Frequenzgänge entsprechend Abb. 1 bewirken, und schaltet dafür einen Widerstand ein, dessen Spannungsabfall der Dämpfung der Frequenzglieder bei 1000 Hz entspricht. Um den in db gemessenen Schalldruck sofort in μbar angeben zu können, ist das Nomogramm der Abb. 2 im Holzkasten unterhalb der Frontplatte angebracht.

Die Frequenzgänge eines Gerätes zeigen die Abb. 6 und 7. Die elektrisch gemessenen Frequenzgänge sind aufgenommen, indem die Meßspannung an die Prüfbuchse SB gelegt ist. Dadurch wird die Vorspannung vom Mikrofon abgetrennt und das Mikrofon bleibt als Impedanz wirksam. Der Abfall der db-Kurve bei hohen Frequenzen in Abb. 6 dient zur Entzerrung der Drucktransformation des Mikrofons. Er wird durch die RC-Belastung des ersten Anodenkreises erreicht. Die akustisch gemessenen Kurven sind in einem stark

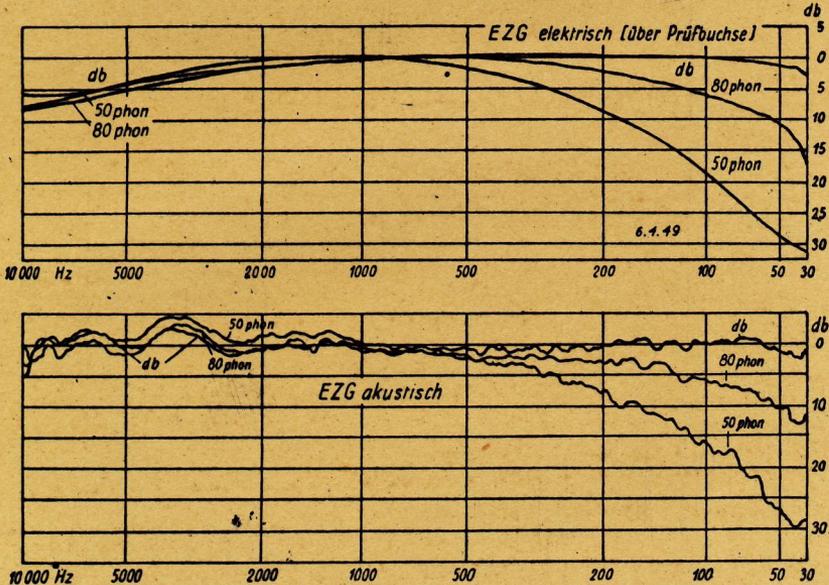


Abb. 6 u. 7: Frequenzgänge des Schallpegelzeigers (Aufnahmen mit der akustischen Pegelschreibanlage von Rohde & Schwarz)

schallgedämpften Raum aufgenommen, wobei der Schalldruck am Mikrofon des Gerätes durch ein Meßmikrofon auf etwa ± 1 db konstant gehalten ist.

Die Gleichrichtung besorgt ein Trockengleichrichter G1. Die Betriebsbedingungen sind so gewählt, daß nur der quadratische Teil seiner Kennlinie angesteuert wird. Der Kondensator auf der Gleichstromseite stört dabei nicht, er schafft nur günstige Arbeitsbedingungen für den obenerwähnten amplitudenabhängigen Shunt in Gestalt des Gleichrichters G12 mit einem ohmschen Widerstand in Reihe. Durch die Kombination der Gleichrichter wird außerdem eine Temperaturkompensation erreicht. Zur Nachprüfung, ob das Gerät die Forderung der leistungsmäßigen Addition mehrerer Komponenten erfüllt, wurde die Messung nach Abb. 8 durchgeführt. Hierzu wurde ein Ton von 500 Hz konstanter Amplitude auf das Gerät gegeben, dann ein zweiter Ton von 800 Hz veränderbarer Amplitude dazu und die Erhöhung der Anzeige des ersten Tones beim Zuschalten des zweiten Tones in Abhängigkeit von der Amplitude des letzteren gemessen. Zur Beurteilung ist dazu eingetragen die berechnete Lautstärke unter Voraussetzung einer linearen Addition der Schalldrücke und einer Addition nach Leistung.

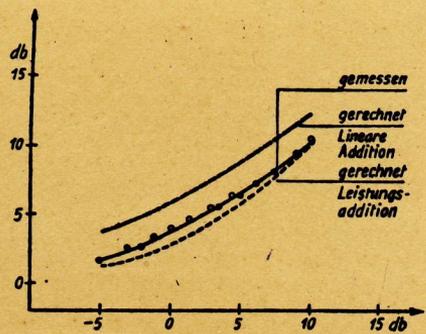


Abb. 8. Erhöhung der angezeigten Lautstärke beim Hinzutreten eines zweiten Tones. Abszisse: Lautstärkedifferenz des hinzutretenden Tones gegenüber dem ersten Ton

Parallel zur Wechselstromseite des Gleichrichterkreises liegen Buchsen zum Anschluß eines Hörers oder anderen Meßgerätes. Der Innenwiderstand ist so gering (infolge des Dämpfungswiderstandes parallel zum Gleichrichterkreis und der Gegenkopplung der Endstufe), daß Verbraucher mit mindestens 4 kOhm Impedanz angeschlossen werden können, ohne daß sich die Anzeige ändert.

Die Nacheichung erfolgt akustisch. Eine elektrische Nacheichung müßte unbedingt das Mikrofon mit erfassen und würde durch die notwendige Eich-elektrode vor dem Mikrofon und die dazugehörige elektrische Einrichtung ebenfalls einen merklichen Aufwand bedeuten, so daß die akustische Eichung vorgezogen würde. Hinter dem Frontplattenausschnitt, in den das Mikrofon bei Außerbetriebsetzung geschoben wird, befindet sich eine Eichschallquelle in Form eines kleinen Läutwerkes. Dieses gibt nach Loslassen des Aufzugknopfes ein rd. 2 Sekunden dauerndes Klingeln von etwa 100 phon bei einer Konstanz von ± 1 phon. Dabei ist das Eichpotentiometer so einzustellen, daß das Anzeigeinstrument auf die Eichmarke einspielt. Die Festlegung dieser Eichmarke erfolgt im Prüffeld nach bekannten akustischen Eichverfahren²⁾.

Zusammenfassung

Nach einem kurzen Hinweis auf die Notwendigkeit von Schalldruck- und Lautstärkemessungen werden die wesentlichen Gesichtspunkte für die Konstruktion eines Schallpegelzeigers diskutiert und das ausgeführte Gerät beschrieben.

²⁾ Vgl. G. Buchmann, Absoluteichung von Mikrofonen, FUNK UND TON, Bd. 1 (1947), Heft 1.