

Der Lautstärkemesser von HEINRICH BARKHAUSEN

Rolf Dietzel

Technische Universität Dresden, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik,
Institut für Akustik und Sprachkommunikation

Heinrich Barkhausen

HEINRICH BARKHAUSEN wurde 1881 in Bremen geboren, studierte Technische Physik zunächst an der TH München, danach in Berlin und ab 1903 an der Universität Göttingen, „bei der auf angewandte Wissenschaften und technischen Geist besonderer Wert gelegt wurde“. Seine 1906 dort bei H. Simon angefertigte Doktorarbeit über „Das Problem der Schwingungserzeugung – mit besonderer Berücksichtigung schneller elektrischer Schwingungen“ ist „eigentlich der Angelpunkt meiner ganzen späteren wissenschaftlichen Tätigkeit geworden.“ [1]

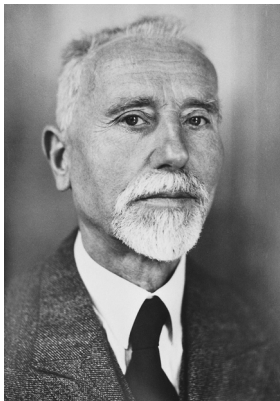


Bild 1: Heinrich Barkhausen Foto: Lieselotte Naewiger

Anschließend war er vier Jahre bei Siemens & Halske in Berlin tätig und habilitierte sich 1910 an der TH Berlin-Charlottenburg. 1911 wurde er an die Technische Hochschule Dresden berufen und gründete dort das Institut für Schwachstromtechnik (der Begriff entspricht heute etwa der Informationstechnik). Während des ersten Weltkriegs war er ab 1915 bei der Torpedo-Inspektion der Reichsmarine in Kiel, befasste sich zunächst mit Unterwasser-Schallsendern und Messungen der Schallausbreitung im Meer. Ab 1917 widmete er sich dort der systematischen Untersuchung der Wirkungsweise und Eigenschaften von Elektronenröhren. Mit bahnbrechenden experimentellen und theoretischen Arbeiten betrat er jenes Forschungsgebiet, das für sein gesamtes Lebenswerk prägend wurde.

H. Barkhausen gelang es 1917 – gemeinsam mit Karl Kurz – als erstem, sehr hohe Frequenzen mit Elektronenröhren zu erzeugen durch Ausnutzung der von ihnen entdeckten Laufzeitschwingungen der Elektronen zwischen Katode und Anode in einer unüblichen Schaltungsanordnung. Weiterhin entdeckte er 1917 die sprunghaft ablaufenden Ummagnetisierungen in ferromagnetischen Werkstoffen (Barkhausen-Effekt).

Es ist sein Verdienst, für die Lautstärke von Schall ein geeignetes Messverfahren und eine logarithmische „Maßeinheit“ – das phon – geschaffen zu haben (1926).

Lautstärkemesser

Mit einem einfachen Tonfrequenz-Generator, einem elektromagnetischen Selbstunterbrecher (damals als ‚Summerunterbrecher‘ bezeichnet) erzeugt man in einem Telefonhörer, der fest an ein Ohr gehalten wird, den Vergleichston (Normalschall) mit Lautstärken einstellbarer Größe.

„Das Überraschende ist nun, dass man auf diese Weise ohne Schwierigkeit, nur mit ein wenig Aufmerksamkeit, die Lautstärke irgendeines auf das andere Ohr treffenden Schalles mit der im Telefon am Ohr erzeugten Lautstärke vergleichen ... kann“ und insbesondere auf gleiche Lautstärke einstellen kann. [2a]

Für die **Lautstärke-Stufung** des Vergleichstones hat BARKHAUSEN zunächst zwei Skalen empfohlen, die beide auf dem Schwellenwert der Hörempfindung als Ausgangspunkt aufgebaut sind.

Die *erste* Skala hat eine lineare Teilung für den Quotienten der Schalldrücke \tilde{p}/\tilde{p}_0 . Als Einheit dafür schlug er das „Wien“ vor. MAX. WIEN (1866 -1938) hat sich als einer der ersten mit Schwellenwert-Messungen der Hörempfindung befasst.

H. BARKHAUSEN hat als *zweite*, weitaus zweckmäßigere Skala eine logarithmisch geteilte vorgeschlagen. Sie orientiert sich am WEBER-FECHNERschen Gesetz: Die Änderung der subjektiven Empfindungsstärke ΔE ist proportional dem Logarithmus vom Quotienten aus den miteinander verglichenen (physikalisch gemessenen) Reizstärken I_1 und I_2 . $\Delta E \sim \log(I_1 / I_2)$.

Für diese logarithmisch geteilte Skala hat H. BARKHAUSEN die Einheit **phon** vorgeschlagen. Zunächst wählte er den **Logarithmus zur Basis 2**, weil eine Verdopplung des Schalldruckes vom Ohr als ein deutlich wahrnehmbarer Lautstärke-Unterschied erkannt wird.

Die Frequenz des Vergleichstones (Normal-Schalles) betrug zunächst $f = 800$ Hz, ab 1932 $f = 1000$ Hz.

BARKHAUSEN fand, dass Frequenz und Klangfarbe des Vergleichstones für das Messverfahren fast gleichgültig seien [6].

Als **Ursprung für die Lautstärke-Skala** hat er den Schwellenwert der Hörempfindung festgelegt.

Messunsicherheit. Bei Lautstärke-Messungen an einem Lautsprecher fand BARKHAUSEN, dass der kleinste hörbare Lautstärke-Unterschied etwa 15 % beträgt. Mit dem von ihm anfangs benutzten phon (als ${}^2\log \tilde{p} / \tilde{p}_0$) beträgt der Unterschied 0,2 phon. Mit dem späteren phon auf der Basis des Zehner-Logarithmus' (ab 1932) beträgt dieser Unterschied 1,2 phon.

Die ersten Lautstärkemesser nach BARKHAUSEN wurden von Siemens & Halske, Berlin ab 1927 gebaut [4], vgl. Bild 2.



Bild 2: Lautstärkemesser von Siemens & Halske (1927)

Der Schwellenwert für die Lautstärke-Skala dieses Gerätes betrug $\tilde{p}_0 = 10^{-4}$ Pa. Er wurde 1938 anders festgelegt: $\tilde{p}_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa. [9]

Erste Anwendungen des Lautstärkemessers

Barkhausen erkannte die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des von ihm vorgeschlagenen Messverfahrens. Er ging nach einer klaren, folgerichtigen Forschungsmethodik vor und beschreibt zahlreiche erste Untersuchungen mit dem neuen Lautstärkemesser [2].

Schallausbreitung: Die Lautstärke einer Schallquelle nimmt im Freien mit $1/r$ ab. In einem schwach gedämpften Raum nimmt sie zunächst in der Nähe von der Schallquelle mit $1/r$ ab, dann ab etwa 2 m bleibt sie bei größer werdender Entfernung r konstant (diffuses Schallfeld).

Untersuchungen zur **Grenze der „Hörbarkeit“** – dem Schwellenwert: Dieser Schwellenwert lässt sich nicht sehr genau bestimmen „... und wird nur in ganz ruhigen Räumen und bei guter Disposition des Messenden mit etwa 25 % Genauigkeit gleichmäßig wieder gefunden.“ [2a] Das entspricht 0,3 phon (Basis 2) bzw. 1,9 phon (Basis 10).

Lautsprecher-Messungen Richtcharakteristik eines Lautsprechers bei 300 Hz, 1800 Hz, 4000 Hz. – Frequenzabhängige elektroakustische Übertragungsfunktion eines Lautsprechers im Freien in 4 m Abstand, mit und ohne Trichter.

Richtcharakteristik des rechten Ohres bei 500 Hz u. 2500 Hz. [2]

Es erschienen außerdem gemeinsame Veröffentlichungen von H. BARKHAUSEN und seinen Mitarbeitern G. LEWICKI, H. TISCHNER, U. STEUDEL zur Lautstärke und deren Messung:

Messungen der „Hörbarkeit“ (Hörschwellen) von periodischen Zeitfunktionen mit Rechteck- und Zickzack-Form im Vergleich zur „Hörbarkeit“ von Sinustönen. [5]

Die Lautstärke von Klängen oder Geräuschen im Vergleich mit der Lautstärke von einem 750 Hz-„Normalton“. Ergebnis: Auch Töne ganz verschiedener Frequenz und Klänge mit unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung lassen sich recht genau miteinander vergleichen. Eine weitere Schlussfolgerung: Man könnte als Lautstärke-Normal auch ein Geräusch für die Messung benutzen. [6]

Später (1933) fand H. BARKHAUSEN, dass diese früheren Ergebnisse nicht allgemeingültig sind, sondern nur für größere Lautstärken gelten. Die ursprünglich für die

Messungen benutzten Telefonhörer hatten eine stark frequenzabhängige Übertragungsfunktion mit einem Maximum um 1000 Hz. [7]

Festlegungen für die Frequenz des Standardschalles, den Schwellenwert und die Definition des phon [8]

Jahr	Frequenz	Schwellenwert	Lautstärke
1926	800 Hz	$\tilde{p}_0 = 2 \cdot 10^{-6}$ Pa [nach MAX WIEN, 1903]	$^2 \log \tilde{p}/\tilde{p}_0$ phon
1928	800 Hz	$\tilde{p}_0 = 10^{-4}$ Pa [Lautstärkemesser nach H. BARKHAUSEN]	$^2 \log \tilde{p}/\tilde{p}_0$ phon
1932	1000 Hz	$\tilde{p}_0 = 3,16 \cdot 10^{-5}$ Pa [Vorschlag vom Ausschuss für Einheiten und Formelzeichen, AEF]	$20 \lg \tilde{p}/\tilde{p}_0$ phon
1938	1000 Hz	$\tilde{p}_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa [Norm DIN 1318]	$20 \lg \tilde{p}/\tilde{p}_0$ phon

Barkhausen als Lehrer

H. BARKHAUSEN betreute zwischen 1911 und 1944 über 300 Diplomarbeiten, 60 Doktorarbeiten und verfasste mehr als 60 eigene Veröffentlichungen. Er fand hohe Anerkennung im In- und Ausland. Zahlreiche Schüler von ihm bekleideten hochrangige Positionen in der Industrie und in Hochschulen. Seine freundliche und gütige Art, sein bescheidenes Auftreten, seine Selbstbeherrschung und sein hoher ethisch-moralischer Anspruch an sich selbst waren Vorbild für jene, die bei ihm studierten und mit ihm zusammenarbeiteten. Er starb am 20. Februar 1956 in Dresden.

Literatur

- [1] HEINRICH BARKHAUSEN. Festschrift zur Barkhausen-Ehrung der Akademie der Wissenschaften der DDR und der TU Dresden. Dez. 1981. Zsg. von Klaus Lunze. – Dresden: 1981. Wiss. Zeitschr. der TU Dresden. Separatdruck, Reihe 4; Nr. 6/7.
- [2] Barkhausen, H.: Ein neuer Schallmesser für die Praxis. In: Zeitschrift des VDI 71 (1927) 42, S. 1471 -1474.
- [2a] Barkhausen, H.: Ein neuer Schallmesser für die Praxis. In: Zeitschr. f. technische Physik, 7 (1926) 12, S. 599 – 601.
- [3] Patentschrift Nr. 445 415. Klasse 42g, Gruppe I, (B123294 IX/42g) Akustische Vergleichsvorrichtung. Dr. H. Barkhausen. Anmeldetermin: 19. 12. 1925. – Ausgabe-Termin: 10. 6. 1927.
- [4] Ein Geräuschmesser für die Praxis (Phonometer) nach Barkhausen. Gerätebeschreibung. Siemens & Halske A.-G., 1927.
- [5] Barkhausen, H.; Lewicki, G.: Die Empfindlichkeit des Ohres für nicht sinusförmige Töne. In: Physikalische Zeitschr., Leipzig 25 (1925) 21, S. 537-541.
- [6] Barkhausen H. u. Tischner, H.: Die Lautstärke von zusammengesetzten Tönen und Geräuschen. In: Zeitschr. f. techn. Physik. – Leipzig 8 (1927) 6. S. 215 – 221.
- [7] Barkhausen H. u. Steudel, U.: Die Lautstärke von Geräuschen. In: Hochfrequenztechn. u. Elektroakustik. – Leipzig 41 (1933) 4. – S. 115 – 116.
- [8] Janovsky, W.: Vom „Barkhausen-Phon“ zur DIN-Lautstärke. In: Hochfrequenztechn. u. Elektroakustik 58 (1941) S. 118 -120.
- [9] Norm DIN 1318 Sept. 1970. Lautstärkepegel.