

Hörgeräte-Elektronik

Von der Elektronenröhre über den integrierten Schaltkreis bis zur Digitaltechnik

Akustik-Serie Teil 17

Erste elektrische Hilfsmittel kamen schon vor über hundert Jahren zum Einsatz, wenn es darum ging, das Hörvermögen zu verbessern. Wie in vielen anderen technischen Bereichen ist auch hier die Entwicklung rasant vorangeschritten. Waren die Geräte zu Anfang noch stationär, schrumpften sie mit der Einführung von Elektronenröhren schon auf Größen, die eine mobile Nutzung ermöglichten. Die Entwicklung von Transistoren und integrierten Schaltkreisen schließlich machte die Geräte nahezu unsichtbar und durch Digitaltechnik wurden die Möglichkeiten zudem noch deutlich erweitert.

Historie

Die Entwicklungsgeschichte von tragbaren Hörhilfen kann man in fünf Phasen einteilen, siehe dazu auch den Vorschlag von Vonlanthen [1]:

- Hörrohre (bis etwa 1930)
- Telefon-Hörgeräte (bis etwa Anfang 1940)
- Hörgeräte-Verstärker mit Elektronenröhren (von etwa 1921 bis 1955)
- Hörgeräte-Verstärker mit Transistoren (ab etwa 1953 bis 1986)
- Hörgeräte-Verstärker mit integrierten Schaltkreisen (ab 1975)

In dieser Aufzählung fehlt lediglich noch der Übergang von der analogen zur digitalen Technik. Elektrische Hilfsmittel kamen erstmals ab etwa 1913 zum Einsatz, und zwar anfangs zunächst noch in Form von einfachen Telefon-Hörgeräten: Batterie, Mikrofon und Hörer, aber noch ohne Verstärker, siehe Bild 1, [2]. Danach folgten aber sehr bald schon

Hörhilfen mit elektronischen Verstärkern, anfangs noch in analoger, später in digitaler Technik.

Elektronenröhren

Etwa zur gleichen Zeit begannen aber auch Elektronenröhren an Bedeutung zu gewinnen, wie das auch bei H. Barkhausen in der allerersten Ausgabe seines Buches über „Elektronenröhren“ aus dem Jahre 1921(!), vor genau einhundert Jahren, nachzulesen ist. In den Folgejahren kamen vom gleichen Autor noch sieben weitere Überarbeitungen zu diesem Thema heraus. Zum Schluss, im Jahre 1954, waren das insgesamt vier Buchbände [3], siehe Bild 2. Die vier Bände erschienen auch später noch, aktualisiert von E.-G. Woschni.

Prof. Barkhausen lehrte übrigens bis bis zu seinem Tod im Jahre 1956 an der TH Dresden am Institut für Schwachstromtechnik. Von ihm stammt auch die nach ihm benannte Röhrenformel:

i Zur Information

In leicht verständlicher Form vermitteln wir eine **Einführung in die Arbeitsgebiete der technischen Akustik – einschließlich Schwingungstechnik – und der Elektroakustik.**

Themengebiete:

- Akustische Grundbegriffe – Schallfeldgrößen, Pegel, Resonatoren (2/2019)
- Schallausbreitung – Reflexion, Beugung, Brechung und Absorption (3/2019)
- Elektromechanische Analogien – Analogie erster und zweiter Art, Ersatzschaltbilder (4/2019)
- Elektroakustische Wandler – Wandlerprinzipien und ihre Gesetze (5/2019)
- Mikrofone – vom Studiomikrofon bis zum Subminiaturmikrofon (6/2019)
- Kopfhörer – elektrodynamische und elektrostatische Kopfhörer (1/2020)
- Lautsprecher – von den Anfängen bis zur Bassreflexbox (2/2020)
- Beschallungstechnik – gerichtete Schallabstrahlung, Linienstrahler (4/2020)
- Raum- und Bauakustik – Sabine'sches Gesetz, Nachhallzeit und äquivalente Absorptionsfläche (4/2020)
- Gehör – Lautstärke, Lautheit, Hörverlust, Hörgeräte, Audiometrie (5/2020)
- Persönlicher Schallschutz – von passiven Gehörschutzmitteln bis zum aktiven Schallschutzmittel „Antischall“ (6/2020)
- Akustische Messräume – reflexionsarme Räume, Impedanz-Messrohre und Hallräume (1/2021)
- Körperschall und Vibrationen – Accelerometer und Ladungsverstärker (2/2021)
- Wasserschall – Schallausbreitung im Wasser, Hydrofone und Wasserschall-Messtanks (3/2021)
- Infraschall und Ultraschall – natürliche und industrielle Quellen (4/2021)
- Akustische Messtechnik – Terz- und Oktavpegel, Intensitätsmessung, Korrelationsanalyse, Cepstrumanalyse und akustische Peilung (5/2021)
- **Hörgeräte-Elektronik – Rückblick auf den Beginn der Hörgeräte-Entwicklung: von der Elektronenröhre bis zum integrierten Schaltkreis und zur Digitaltechnik**

Theoretische Zusammenhänge werden nur so weit vertieft, wie es für das Verständnis des Stoffs notwendig ist. Auf mathematische Ausdrücke (Gleichungen, Formeln) wird im Text so weit wie möglich verzichtet. Anschauliche Illustrationen unterstützen diese Beiträge. Autor dieser Serie ist Prof. Dr.-Ing. Ivar Veit.

$S \cdot D \cdot R_i = 1$. [S = Steilheit (Einheit: mA/V)]; D = Durchgriff (Einheit: 1); R_i = Innenwiderstand (Einheit: k Ω).

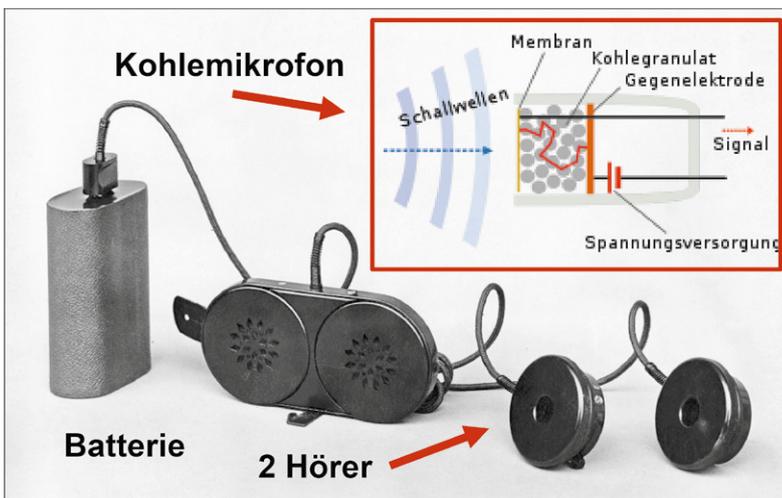
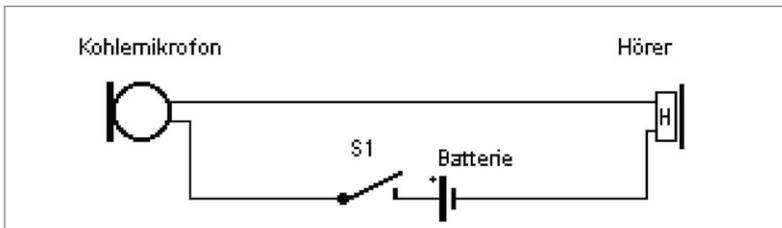


Bild 1: Telefon-Hörgerät, eine Hörhilfe aus der Zeit um 1913, das aus den Hauptbestandteilen der damaligen Telefone aufgebaut war, d. h. aus zwei Hörerkapseln und einem Kohlekörnermikrofon zuzüglich einer Batterie als Stromquelle. Der eingerahmte Bildteil veranschaulicht die Funktion des Kohlemikrofons, in dem sich bei Beschallung der elektrische Durchgangswiderstand des eingeschlossenen Kohlegranulats ständig ändert und dadurch ein dem Schallsignal entsprechendes elektrisches Signal entstehen lässt.

Röhren-Hörgeräte wurden zwar auch schon Anfang der 20er-Jahre vorgestellt. Das waren aber Standgeräte, die sich nicht mobil einsetzen ließen. Während der letzten einhundert Jahre ging es mit der Röhrenentwicklung sehr schnell voran. Das gilt auch für die Miniaturisierung der Röhren. Davon profitierte letztlich auch die Hörgerätetechnik, und so entstand 1939 das erste Taschen-Hörgerät immerhin schon mit drei Elektronenröhren.

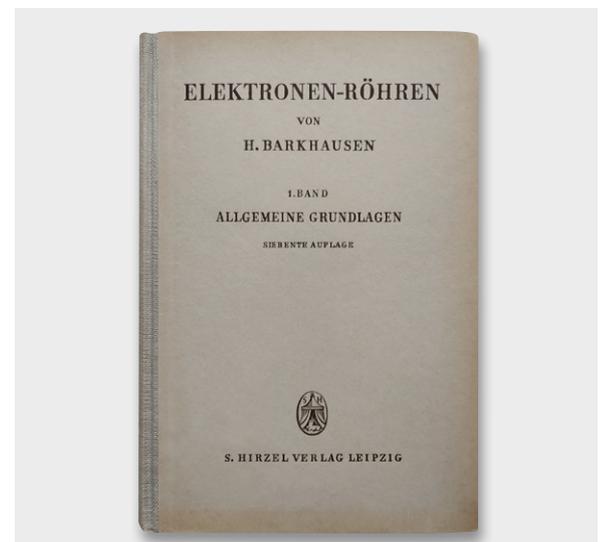


Bild 2: „Elektronen-Röhren“; Autor: H. Barkhausen. Davongibt es insgesamt vier Bände: Allgemeine Grundlagen, Verstärker, Rückkopplung, Gleichrichter und Empfänger. Die allererste Ausgabe des hier abgebildeten Bands erschien 1921, d. h. vor genau einhundert (!) Jahren.



Bild 3: Elektronenröhren, die einst bei Hörgeräten zum Einsatz kamen. Linkes Bild: RV12 P2000, Einsatz im Siemens Phonophor-Super, 1948, Rechtes Bild: DF67, Einsatz im Blaupunkt Omniton-Gerät, 1950

Nach dem Zweiten Weltkrieg ging die Hörgeräte-Entwicklung rasant weiter. Aus den Resten der früheren Wehrmachtsbestände, z. B. der berühmten Funkgeräte-Röhre RV12 P2000 (Bild 3 – Pentoden = Fünfpolröhren), entstand im Jahr 1948 eines der ersten Röhren-Hörgeräte, das Siemens Phonophor-Super (Bild 4).

Man erkennt im Bild links oben ein Kondensator-Mikrofon. Da das Gerät netzbetrieben arbeitete, gab es auch kein Problem mit der Bereitstellung der für das Mikrofon notwendigen hohen Polarisationsspannung. Das Gerät selbst arbeitete mit vier Röhren des genannten Typs. Die vierte Röhre befindet sich unter dem metallischen Abschirmdeckel gleich neben dem Mikrofon. Ein Kopfhörer wurde von außen über eine Steckverbindung angeschlossen [2]. Ansonsten war das Gerät in einem Bakelitgehäuse eingebaut. Abmessungen: 195 mm x 195 mm.

Im Jahre 1950 erschien ein schon als historisch zu bezeichnendes Röhren-Hörgerät auf dem Markt, bestückt mit den Subminiatur-Röhren DF67 und DL67,

beides Pentoden. Es handelt sich dabei um ein unter dem Namen Omniton von Blaupunkt vertriebenes Gerät. Bild 5 zeigt ein vereinfachtes Schaltbild davon mit einem Einsteckhörer, der unter Zwischenschaltung eines Übertragers betrieben wurde. Alle Röhren besitzen eine direkt geheizte Katode, gespeist mit einer Heizspannung von 0,625 V für die DF67 und 1,25 V für die Endverstärker-Pentode DL67. Die Schallaufnahme erfolgte mit einem piezo-elektrischen Kristallmikrofon.

Transistoren

Die eigentliche Miniaturisierung der Hörgeräte begann aber erst in der vierten Phase nach dem Ersatz der Elektronenröhren durch Transistoren Anfang der 50er-Jahre. Zu Beginn waren es noch Germanium-Transistoren, die aber sehr bald von npn- und pnp-Silizium-Transistoren in Kleinstausführung abgelöst wurden. Während man bei den Röhren zuvor noch neben der Anodenspannung von 22,5 V auch eine Heizspannung von 1,25 V für die Katoden bereitstellen musste, war jetzt nur noch eine einzige Spannungsquelle mit lediglich 1,3–1,5 V erforderlich. Allein das war schon ein unschätzbare Fortschritt.

Anfangs, als es mit der Miniaturisierung der Bauteile, einschließlich der Transistoren, noch nicht so weit war, gab es zunächst noch Taschengeräte (Bild 6) mit Einsteckhörern, die über ein dünnes Kabel von außen ansteckbar waren. Aber sehr bald entstanden auch schon die ersten sehr viel kleineren hinter-dem-Ohr (HdO) zu tragenden Hörgeräte (Bild 7), bei denen beide Schallwandler in einem Gehäuse untergebracht waren.

Für das dadurch bedingte Problem einer erhöhten Rückkopplungsneigung wurden auch schnell Lösungen gefunden, z. B. eine hinreichend elastische Lagerung der beiden Wandler in Neopren-Gummitaschen. Heute gibt es HdO-Geräte mit externem Hörer (siehe rechte Darstellung im Bild 7). Dadurch wird gleichzeitig auch das Rückkopplungsproblem „entschärft“.

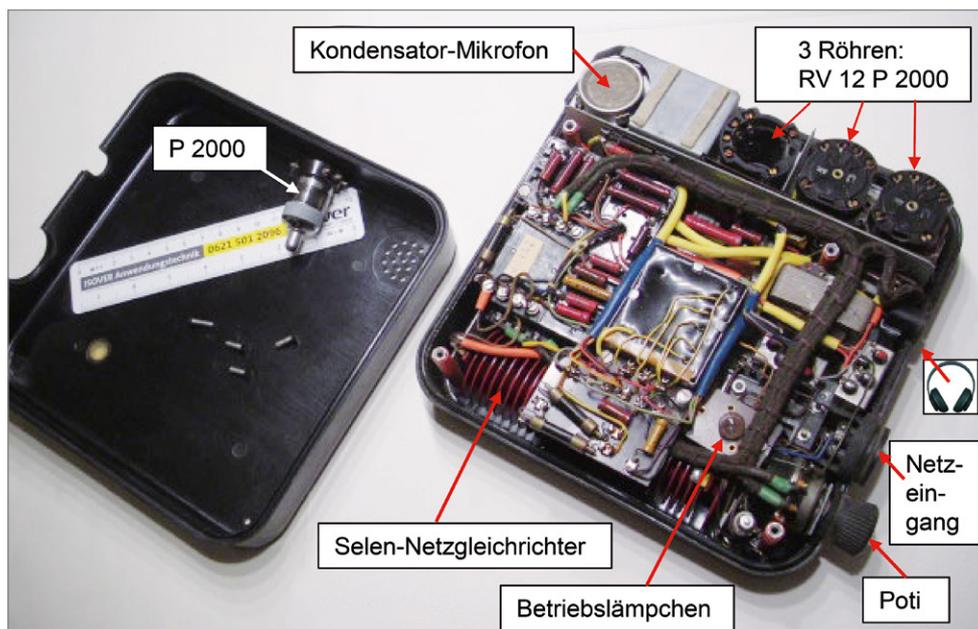


Bild 4: Eines der ersten elektronischen Hörgeräte (Siemens Phonophor-Super) aus dem Jahr 1948. Es besteht aus einem Kondensator-Mikrofon und einem netzbetriebenen Verstärker (110/220 V) mit 4 Röhren vom Typ RV 12 P 2000.

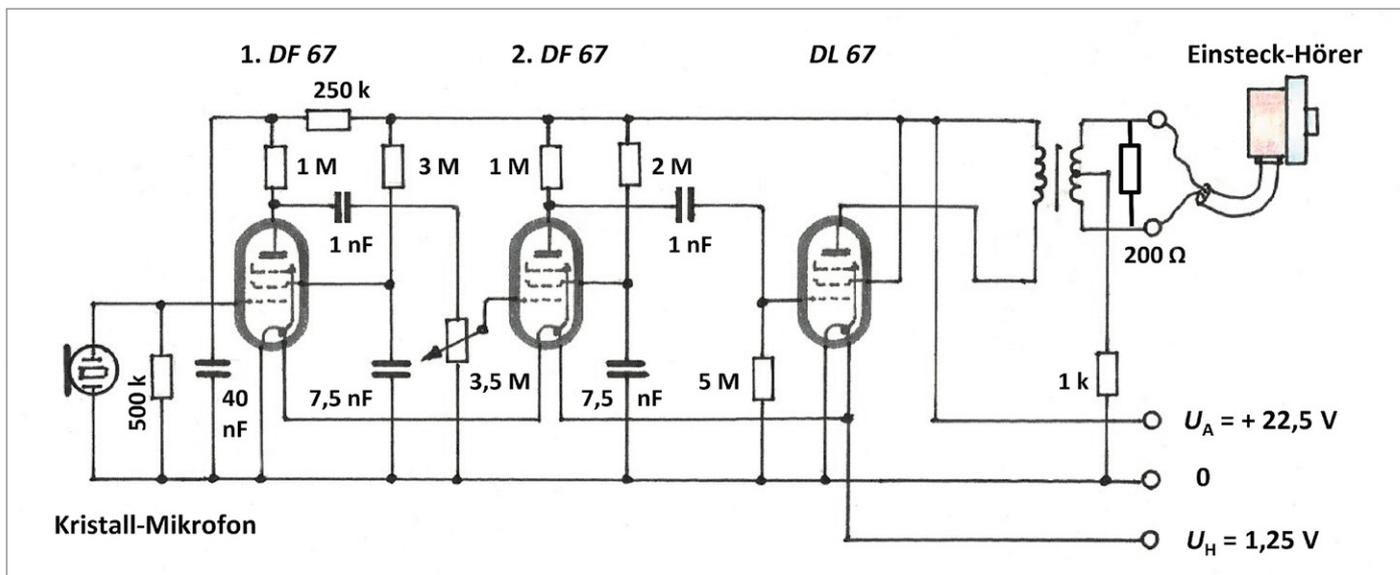


Bild 5: Schaltbild eines der ersten Hörgeräte-Röhrenverstärker mit den damals gerade auf den Markt gekommenen Subminiaturröhren DF67 und DL67

Neben den am Kopf zu tragenden HdO-Geräten gab es auch noch Hörbrillen und im Ohr zu tragende (IdO) Geräte (Bild 8). Die heutigen IdO-Geräte sind mittlerweile so klein, dass man sie im eingesetzten Zustand kaum noch oder gar nicht mehr sieht. Letztere kennt man auch unter der Bezeichnung CIC (completely-in-the-canal), bzw. IIC (invisible in the canal). Zum Herausziehen aus dem Gehörgang gibt es eigens eine kleine Zughilfe.

Doch nun zur Schaltungstechnik. Der sehr viel kleinere Geräteaufbau ermöglichte es, weitere, sehr unterschiedliche Schaltungsvarianten zu verwirklichen wie Tonblenden, automatische Verstärkungsregelungen, Gegentakt-Endstufen u. a. m.

Beginnen wir mit der automatischen Verstärkungsregelung.

Es gibt ein Gehörproblem, das unter der Bezeichnung „recruitment“ oder Lautheitsausgleich bekannt ist. Dieser Hördefekt tritt häufig als Folge einer lärmbedingten Schädigung des Gehörs auf. Ein typisches Anzeichen ist neben einer angehobenen Hörschwelle, als Zeichen eines „normalen“ Hörverlusts, zusätzlich noch eine Absenkung der Schmerzschwelle. Mit anderen Worten: Der Dynamikbereich ist eingengt. Bei niedrigen Schallpegeln sind die Personen „schwerhörig“, und bei höheren Pegeln stoßen sie schnell an ihre „Schmerzgrenze“ (Bild 9).



Bild 6: Taschen-Hörgerät mit ansteckbarem Außenhörer und zwei Übertragern im Inneren, schon mit Gegentakt-Endstufe, Typ 324 Super von Siemens-Reiniger, Erlangen.



Bild 7: HdO-Geräte. Rechte Darstellung: HdO-Gerät mit externem Hörer und elektrischer Verbindung zum Hörgerät. Unteres Bild links: HdO-Gerät in transparentem Gehäuse. Beim Mikrofon (oben) erkennt man zwei Öffnungen zur gerichteten Schallaufnahme.



Bild 8: Im-Ohr-Hörgeräte. Im linken Bild erkennt man rechts innerhalb des Gehäuses den Hörer in Neopren-Taschen. Links unterhalb des Deckels befindet sich die Batterie. Zwischen Hörer und Batterie liegt die Verstärkerplatine. Rechtes Bild: Tief im Gehörgang sitzende Geräte.

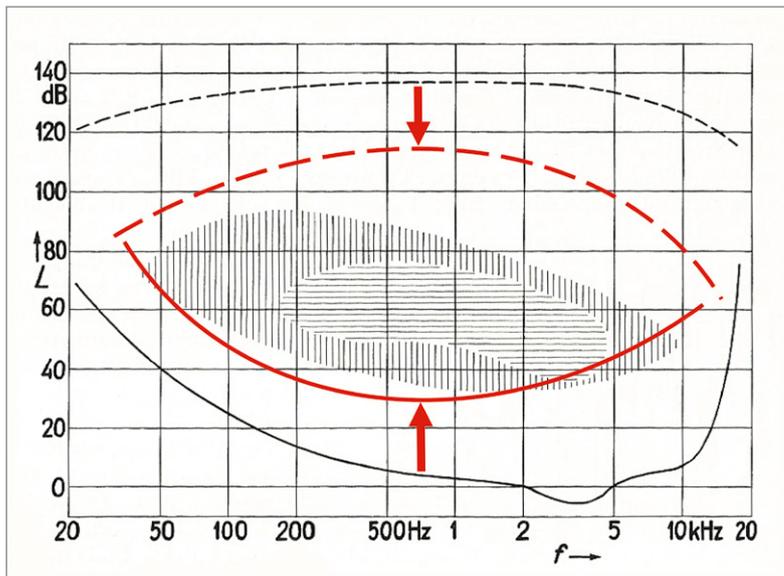


Bild 9: Hörfläche des normalen menschlichen Gehörs.
 — Normale Hörschwelle; --- normale Schmerzschwelle,
 — angehobene Hörschwelle; --- abgesenkte Schmerzschwelle
 Zwischen den beiden rot dargestellten Schwellen befindet sich der verbleibende Dynamikbereich (= komprimierte Resthörfläche) infolge eines recruitments.
 Vertikal schraffiert: Bereich von Musik; horizontal schraffiert: Bereich von Sprache.

Bei Verwendung eines Hörgerätes müssten die davon Betroffenen theoretisch ständig damit beschäftigt sein, ihr Gerät von Hand mal laut und mal leise zu stellen. Diese Arbeit der ständigen Regler-Betätigung kann man sich auch ersparen. Dafür gibt es eine technische Lösung, nämlich eine automatische Verstärkungsregelung oder englisch eine AVC (automatic volume control) oder AGC (automatic gain control).

Wie das funktioniert, zeigt Bild 10 [4]. Vom Ausgang eines 4-stufigen Transistorverstärkers wird über einen Kondensator C10 eine elektrische Signalspannung abgenommen, mithilfe einer Diode D1 gleichgerichtet und als pegelabhängige Regelspannung den ersten beiden Verstärkerstufen T1 und T2 zugeführt. Diese Gleichspannung ändert automatisch die Arbeitspunkte dieser beiden Verstärkerstufen ent-

sprechend der Höhe des Ausgangspegels. Bei einem hohen Ausgangspegel wächst auch die erzeugte Regelspannung an und bewirkt somit eine entsprechende Herabsetzung der Verstärkung der beiden geregelten Verstärkerstufen. Dadurch wird die Verstärkung des gesamten Gerätes automatisch stets an den jeweiligen Ausgangspegel des Hörgerätes angepasst. Die beiden der Diode D1 nachgeschalteten RC-Glieder R12-C11 und R14-C12 dienen einerseits der Glättung der erzeugten Regelspannung. Sie besitzen aber andererseits auch eine genau definierte Zeitkonstante $\tau (= R \cdot C$; Einheit: Sekunde). Infolgedessen benötigt die automatische Verstärkungsregelung eine gewisse Zeit, um die Verstärkung den sich aktuell geänderten ausgangsseitigen Pegelverhältnissen anzupassen. Die mit diesem Regelungsvorgang im Zusammenhang stehenden Zeiten sind unter der Bezeichnung Ein- und Ausschwingzeit bekannt (Bild 11). Dafür gibt es ganz bestimmte optimale bzw. anzustrebende Werte.

Am Verstärkereingang (Bild 10) befindet sich neben einem elektromagnetischen Mikrofon auch noch eine per Umschalter wahlweise einzuschaltende Induktionsspule, um auf induktivem Wege Nachrichten zu erhalten. Das kann über Induktionsschleifen erfolgen, die eigens zu diesem Zweck in einem Raum (Theater, Kirchen o. a.) verlegt sind, oder aber beim Telefonieren. Letzteres funktionierte bei älteren Telefonen noch sehr gut.

Ein weiteres Beispiel für einen HdO-Verstärker in analoger Technik sind Gegentakt-Endstufen (englisch: push-pull) mit eigens dafür geschaffener Phasenumkehrstufe (Bild 12). Der Hörer besitzt dabei drei Anschlüsse. Die beiden Transistoren T3 und T4 bilden die Gegentakt-Endstufe, und die anderen zwei Transistoren T1 und T2 werden als Gegentakt-Treiberstufe betrieben, mit gemeinsamem Emitt-

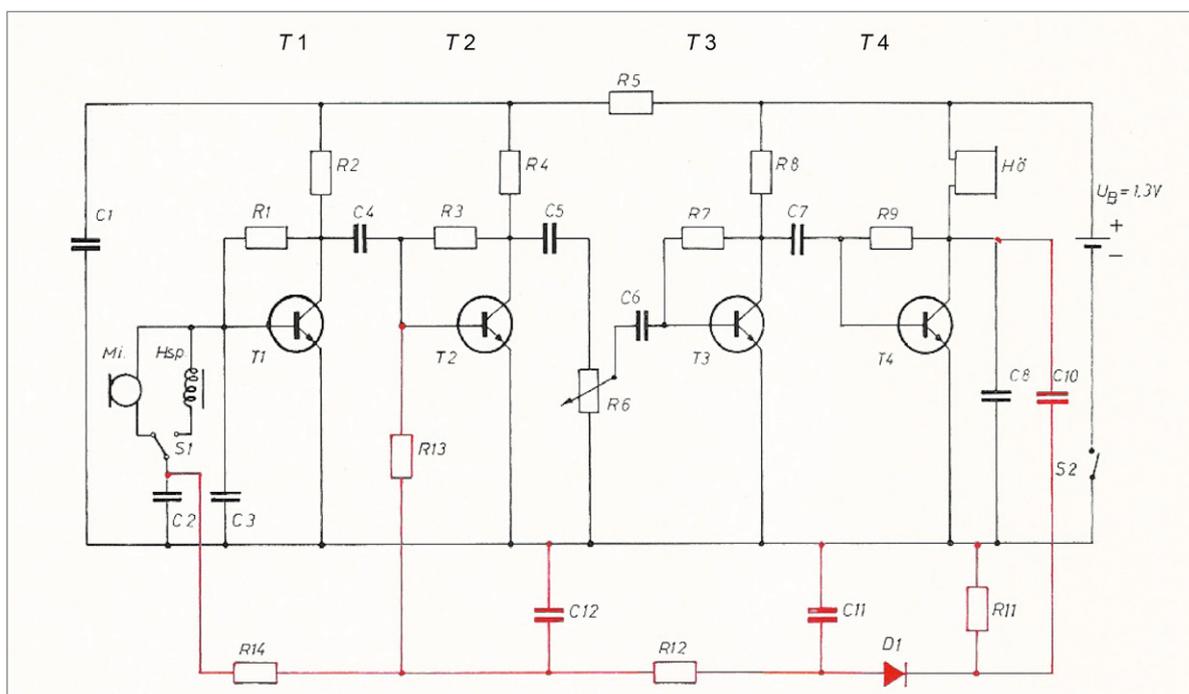


Bild 10: Schaltbild eines 4-stufigen Hörgeräteverstärkers, zusätzlich ausgestattet mit einer automatischen Verstärkungsregelung (rot dargestelltes Netzwerk). Vom Verstärkerausgang wird über den Kondensator C10 eine elektrische Signalspannung abgenommen, mithilfe der Diode D1 gleichgerichtet und als pegelabhängige Regelspannung den ersten beiden Verstärkerstufen T1 und T2 zugeführt.

Widerstand R2. Der Arbeitspunkt der Endstufe wird mithilfe des Stellwiderstandes R7 eingestellt und von der Diode D1 stabil gehalten. Die für den Gegentaktbetrieb erforderliche Phasenumkehr erfolgt gleichzeitig in der Treiberstufe durch den gemeinsamen Emitter-Widerstand R2.

Wie bereits weiter oben erwähnt, gab es für Brillenträger auch Hörbrillen. Bild 13 zeigt so einen Hörbrillenbügel aus jener Zeit, hier in transparentem Gehäuse, das einen Blick in das Geräteinnere gestattet. Daneben liegen noch zwei dazu passende Verstärker, bestückt bereits mit kleinen Silizium-Transistoren. Die aus den Verstärkern herausragenden „Stäbe“ sind Kerne von damals üblichen Hörspulen.

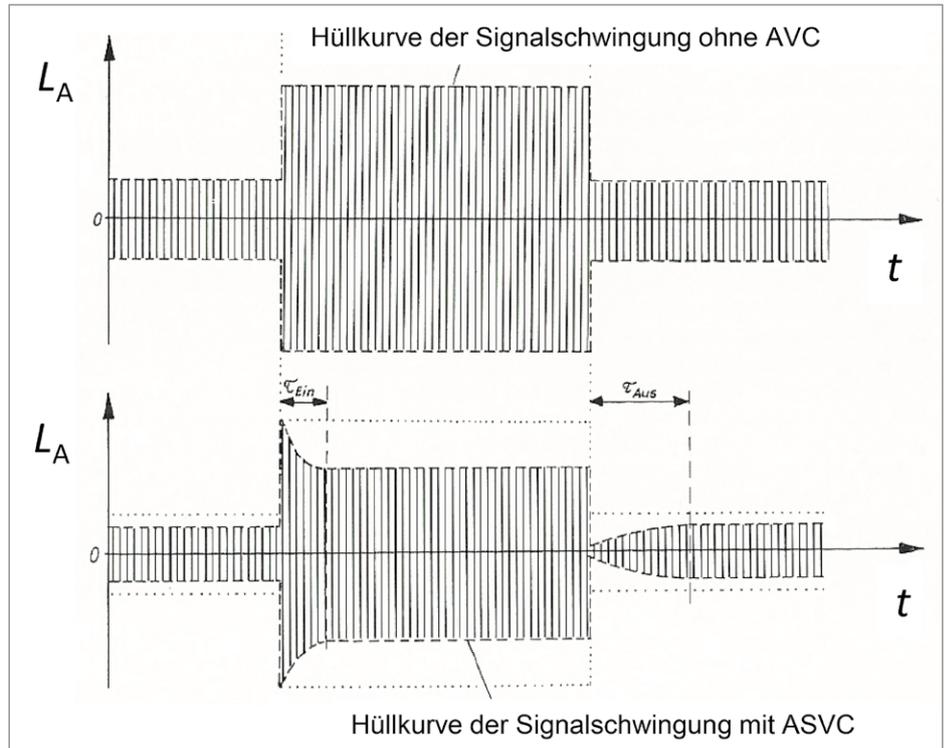


Bild 11: Ausgangssignal eines Hörgerätes (oben) ohne und (unten) mit AVC. Die senkrechte Schraffur innerhalb der Hüllkurven soll die Schwingungen des Signals andeuten. τ_{Ein} = Einschwingzeit und τ_{Aus} = Ausschwingzeit.

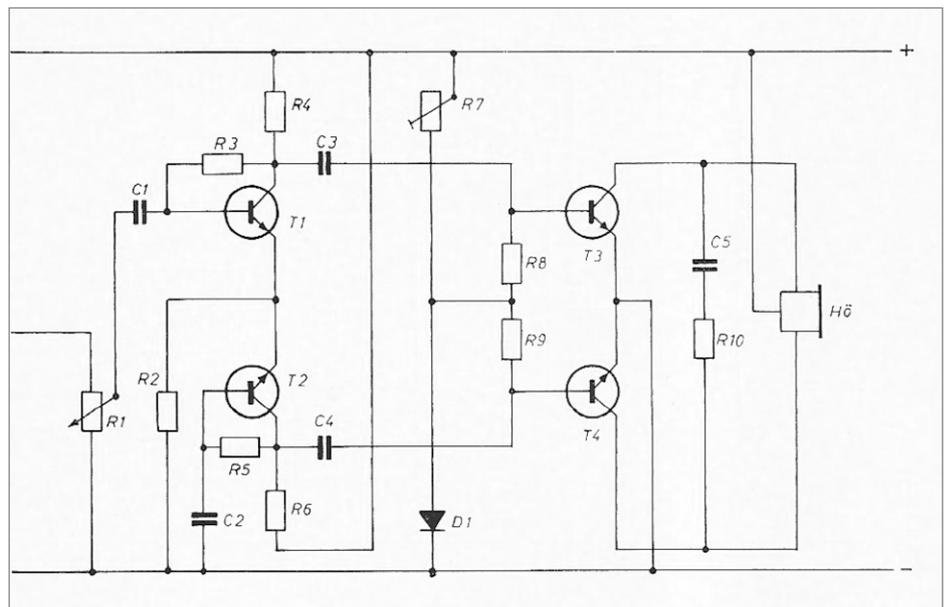


Bild 12: Schaltbild einer Gegentakt-Endstufe mit einer davor befindlichen Phasenumkehrstufe, speziell für Hörgeräte, bei denen aus Platzgründen keine Möglichkeit für die Aufnahme eines Phasenumkehr-Übertragers bestand. Die Phasenumkehr erfolgt hier durch die Treiberstufe, bestehend aus den Transistoren T1 und T2. Der Hörer hat hier drei Anschlüsse.

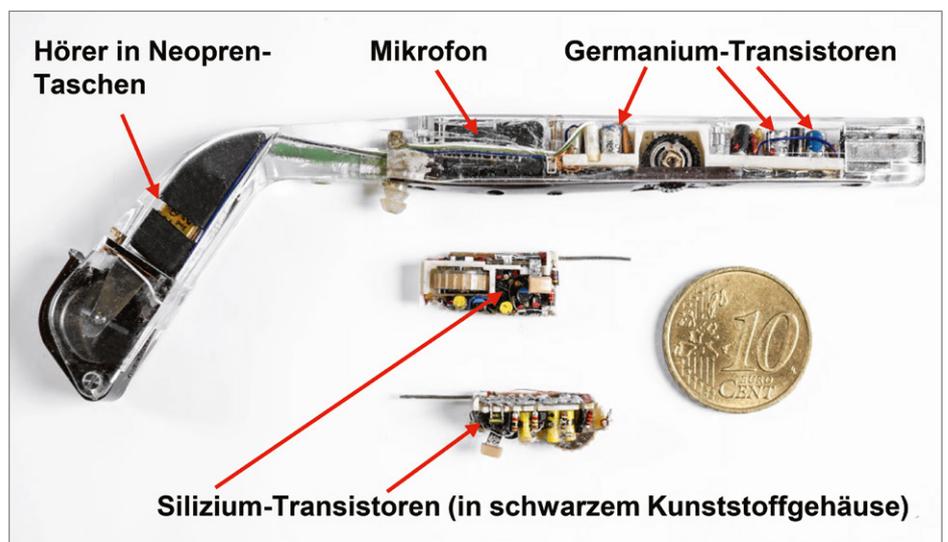


Bild 13: oben: Hörbrillenbügel, hier in transparentem Gehäuse. Hörbrillen mit derartigen Bügeln wurden in den 1960iger-Jahren verwendet. Man erkennt darin sehr deutlich den Verstärker, der seinerzeit noch mit Germanium-Transistoren (in Metallgehäusen) bestückt war. Darunter: Zwei Hörgeräte-Verstärker, konventionell bestückt, hier aber schon mit Silizium-Transistoren (in schwarzem Kunststoffgehäusen). Bei beiden Verstärkern erkennt man des Weiteren den langen Kern der Telefonspule.

Als die ersten integrierten Schaltkreise aufkamen, war die Hörgeräte-Industrie auch mit dabei. Bild 14 zeigt das Schaltbild eines dreistufigen Hörgeräte-Verstärkers, aufgebaut mit einem der ersten Hörgeräte-IC vom Typ TAA 121 [4], [5]. Bild 15 zeigt diesen IC eingesetzt in einem HdO-Verstärker. Die restlichen in diesem Bildausschnitt erkennbaren Bauteile sind noch konventionell bestückt.

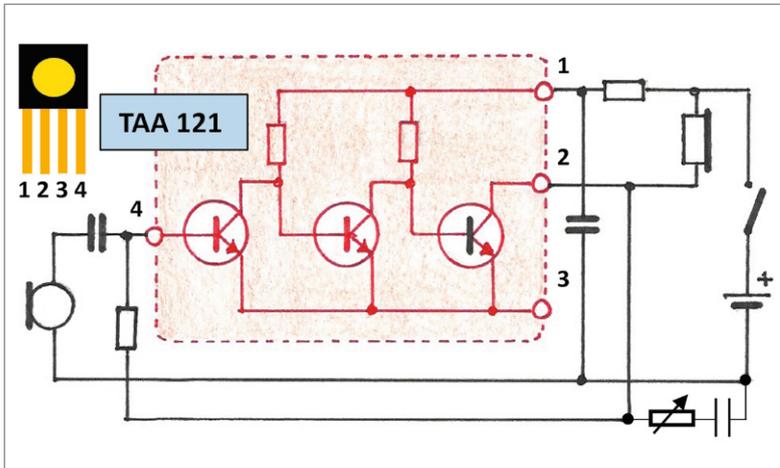


Bild 14: Schaltbild eines Hörgeräte-Verstärkers, bestückt mit einem der ersten integrierten Schaltkreise TAA 121 (Abmessungen des Kunststoffkörpers: 3 x 3 x 1,5 mm). Es handelt sich hierbei um einen 3-stufigen, galvanisch gekoppelten Verstärker.

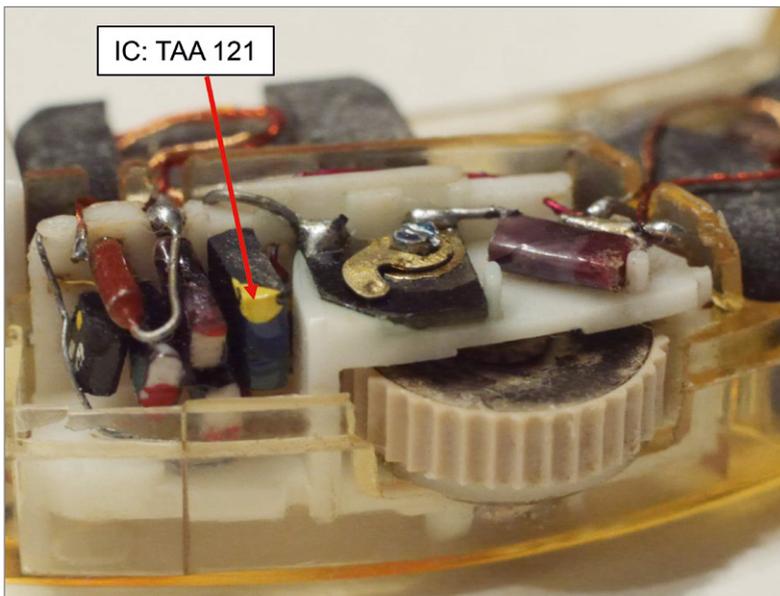


Bild 15: Dieser Bildausschnitt zeigt einen der ersten integrierten Hörgeräte-ICs vom Typ TAA 121, eingesetzt in einem HdO-Verstärker (Siemens). Siehe dazu Bild 14. Der restliche Verstärker ist noch konventionell bestückt.

Digitale Hörgeräte-Verstärker

HdO-Geräte und IdO-Geräte in analoger Technik gibt es schon seit Längerem in sehr kleiner Ausführung. Hinzu gekommen sind inzwischen aber auch Hörgeräte in digitaler Technik, natürlich auch extrem klein. Hier aber sind es nicht die kleinen Abmessungen, die diese Technik so attraktiv machen, sondern es ist die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten, die diese Technik bietet. Digitale Hörgeräte, bzw. Hörsysteme, besitzen eine Fülle herausragender Eigenschaften, z. B. ihre Programmierbarkeit, die automatische Vermeidung von Rückkopplungen, die adaptive Störgeräusch-Unterdrückung, die drahtlose Datenübertragung (mittels Bluetooth) und vieles andere mehr, die man unmöglich alle im Rahmen dieser Übersicht erschöpfend behandeln kann. Von den vielen Möglichkeiten sei hier nachfolgend lediglich ein Beispiel herausgegriffen und kurz erläutert. Zuvor noch ein Hinweis auf einen ganz besonderen Hörer am Ende des Gerätes.

Zunächst zum prinzipiellen und vereinfacht dargestellten Aufbau eines digitalen Hörgeräts (Bild 16). Nach der Schallaufnahme durch das Mikrofon und einer nachfolgenden Vorverstärkung durchläuft das Signal zunächst einen A/D-Wandler mit nachfolgendem digitalen Signalprozessor. Danach folgt ein D/A-Wandler, hinter dem wieder ein analoges Signal verfügbar ist, das nach einer Nachverstärkung dem Hörer zugeführt wird. Der Signalprozessor enthält eine Schnittstelle für die Programmierung. Bemerkenswert ist hier der D/A-Wandler. Speziell für Hörgeräte entstand damals eine interessante Art der Digital/Analog-Umwandlung, und zwar mithilfe des Hörers selbst, nämlich eines sogenannten „Class-D-Hörers“.

Aus dem ursprünglich analogen Eingangssignal wird zunächst mittels Dreiecksgenerator und Komparator ein pulsbreitenmoduliertes Rechtecksignal erzeugt, und zwar mit einer Abtastfrequenz von (nicht hörbaren) 100 kHz. Damit wird über eine im Hörergehäuse integrierte und als Schaltverstärker ausgeführte Klasse-D-Endstufe (4 MOSFETs in Brückenschaltung) die Wicklung eines elektromagnetischen Hörers abwechselnd an die positive und an die negative Betriebsspannung gelegt. Aus dem pulsbreitenmodulierten Rechtecksignal entsteht auf diese Weise schließlich wieder ein analoges Signal (Bild 17, [5]).

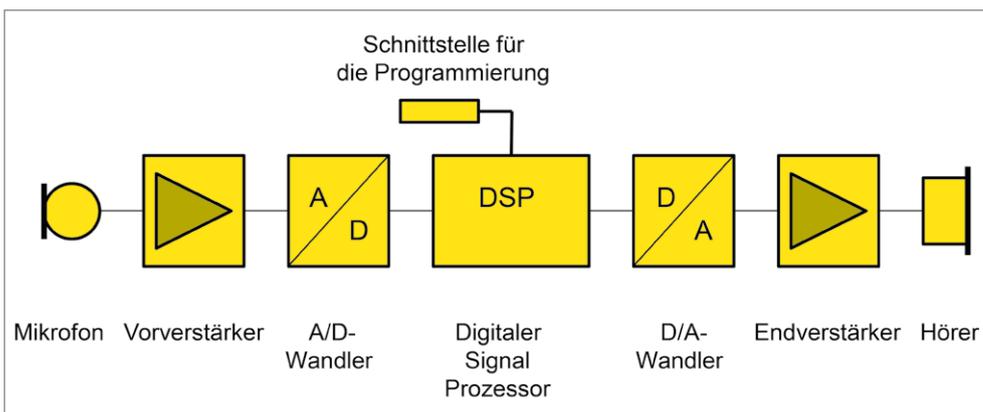


Bild 16: Stark vereinfachtes Blockschaubild eines digitalen Hörgeräts

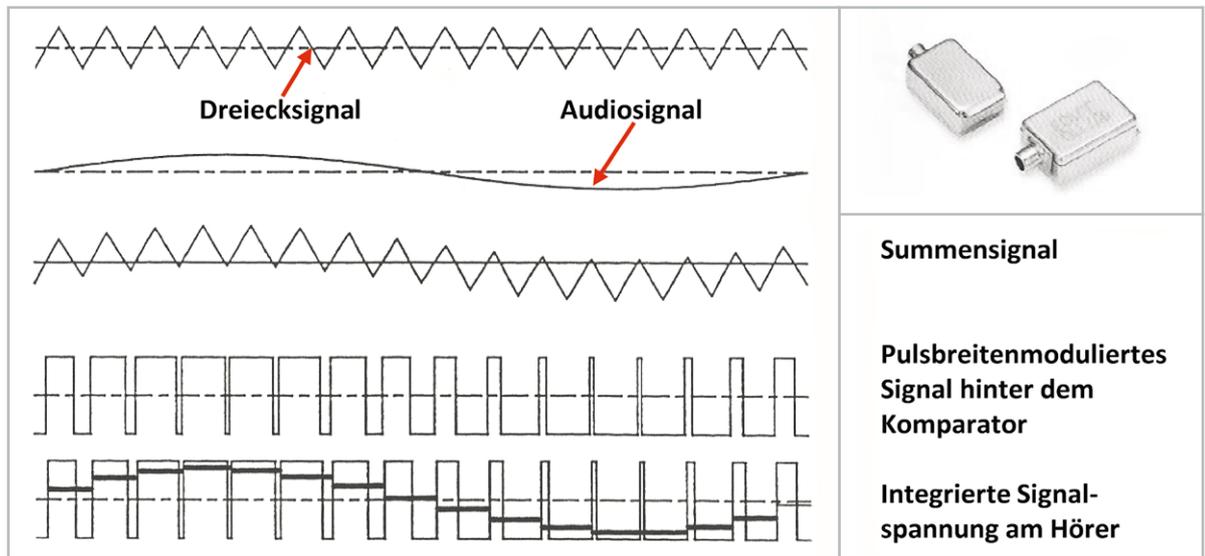


Bild 17: Formen des Audiosignals vom Geräteeingang bis zum Geräteende an den Wicklungsanschlüssen eines elektromagnetischen Hörers. Oben rechts: Beispiel für einen Klasse-D-Hörer, EP-Serie (Abm.: 6,32 x 4,29 x 2,99 mm) von Knowles Acoustic.

Und nun zum oben angekündigten Beispiel für eine sehr wirksame adaptive Störgeräuschreduktion: Hier wird bei einem Richtmikrofon auf elektronischem Wege dessen Richtcharakteristik adaptiv so geformt, dass diese sich kontinuierlich von einer Acht über eine Cardioide (Niere) bis hin zu einer Super-Cardioide verändert (Bild 18).

Trifft jetzt ein störendes Geräusch auf das Hörgeräte-Mikrofon, so wird die momentane Richtwirkung automatisch in der Weise verändert, dass der auftreffende Störschall genau in eines der beiden Richtdiagramm-Minima fällt. Im Resultat erreicht man so eine sehr wirksame Reduktion der Störgeräusche [6]. **ELV**

i Weitere Infos

- [1] Vonlanthen, A.: „Handbuch der Hörgerätetechnik“. 1995, ISBN-Nr.: 3-274-00094-9
- [2] Veit, I.: „Vom Schwerhörigenapparat zum Minihörgerät“, Hörakustik, 2016, Nr. 11, S. 6-11
- [3] Barkhausen, H.: „Elektronenröhren“, Band 1-4, S. Hirzel-Verlag Leipzig, 1951-1954
- [4] Veit, I.: „Kurze Einführung in die Schaltungstechnik und Funktionsweise von Hörgeräte-Verstärkern“, Ausbildungsmappe für den Hörgeräte-Akustiker, Teil 5, September 1970
- [5] Veit, I.: „Vom röhrenbestückten Verstärker zum digitalen Hörsystem“, Hörakustik, 2017, Nr. 3, S. 12-16
- [6] Holube, I., Albani, S. und Kollmeier, B.: „Die Wunderwelt der Hörgeräte“. EINBLICKE Nr. 33, Juni 2001, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

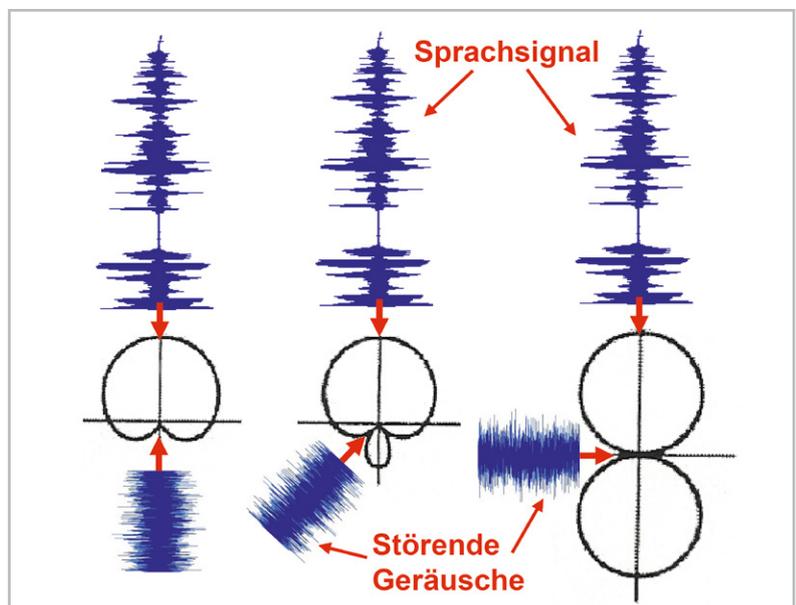


Bild 18: Wirkung eines adaptiven Richtmikrofons. Die Richtcharakteristik des Mikrofons wird fortwährend an die Einfallsrichtung des Störgeräusch-Aufkommens angepasst, und zwar so, dass Letzteres stets mit der Richtung der kleinsten Mikrofonempfindlichkeit zusammenfällt.