

Zur Entwicklung der Stereophonie

Dipl.-Ing. GERHARD STEINKE

Mitteilung aus dem Rundfunk- und
Fernsehtechnischen Zentralamt der Deutschen Post

Der französische Erfinder Clement Ader (1841–1925) und sein Mitarbeiter, der Ungar Tivadar Puskás, installierten bei ihrer ersten stereofonen Übertragung im Jahre 1881 zweikanalige Übertragungsanlagen in der Pariser Oper und im Théâtre Français und übertrugen die Mikrofonsignale zu vier mit schweren Teppichen ausgekleideten Ausstellungsräumen im Palais de l'Industrie (Bild 1), die jeweils einzeln angeschaltet wurden [1] [2].

Im deutschen Reichspatent Nr. 18 741 vom 30. 8. 1881 „Neuerungen an Telephonanlagen für Theater“ beschreibt Ader die technische Ausführung derartiger Stereoübertragungsanlagen wie folgt:

„Die Sender werden auf der Bühne in zwei Serien eingeteilt, eine linke und eine rechte, und einer der beiden, beim Abonnenten, befindlichen Empfangsapparate ist mit einem Sender der einen Serie, der andere mit einem Sender der zweiten Serie verbunden. Auf diese Weise kann der Hörer mit beiden Ohren die verschiedenen Laute verfolgen, und die Variationen in der Intonation, welche er mit beiden Ohren hört, entsprechen in der Tat den Bewegungen und Ortsveränderungen der Schauspieler

Am 11. August 1881, anlässlich der 1. Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung in Paris, erfolgte die erste stereofone Übertragung und Kopfhörerwiedergabe der Oper „Die Stumme von Portici“ von Auber. Dieses Ereignis, das vor nunmehr einem Jahrhundert stattfand und als Geburtsstunde der Stereophonie angesehen werden kann, nehmen wir zum Anlaß, über die Entwicklung dieser Technik zu berichten.

auf der Bühne. Dieses doppelte Hören der durch verschiedene Apparate aufgenommenen und weitergegebenen Laute ist in bezug auf die erzielten Effekte analog demjenigen, was das Stereoskop für das Sehen ist.“

Damit hat Ader die Wirkungsweise der zweikanaligen Stereophonie prinzipiell definiert.

Da es noch keine Verstärker gab, konnten nur wenige, etwa acht oder neun, Kopfhörerpaare („Hörtelephone“) für jeweils einen Ausstellungsraum an je ein Mikrofonpaar (Transmitter, Sender), an der Bühnenrampe befestigt, angeschlossen werden. Schließlich waren erst 20 Jahre seit den grundlegenden Erfindungen von Philipp Reis zur elektroakustischen Schallübertragung vergangen. Daher mußte Ader fünf Mikrofonpaare, getrennt jeweils in fünf Einzelmikrofone links und rechts vom Souffleurkasten und – durch den Aufbau bedingt – in waagerechter Lage, verwenden.

Eine Vorstellung über den Aufbau der damals benutzten Mikrofone von Ader gibt der Faksimileabdruck im Bild 2 (aus [3]). Die Resonanzfläche bestand aus dünnem Tannen- oder Fichtenholz. Die Schaltungs-

anordnung, aus den damaligen Schaltplänen aktualisiert, zeigt Bild 3.

Auf Grund unserer heutigen Kenntnisse können wir einschätzen, daß es sich bei den Übertragungen von Ader und Puskás mit den gewählten Mikrofonabständen um eine Kombination aus Laufzeit- und Intensitätsstereophonie gehandelt hat.

Die damals erreichte Übertragungsqualität konnte natürlich nur begrenzt sein; die gesamte Technik steckte noch in den Kinderschuhen. Dennoch war es beeindruckend und einer der Höhepunkte der 68. Tagung der Audio Engineering Society (März 1981, Hamburg), als Bent Hertz vom Dänischen Rundfunk einen originalgetreuen Nachbau von Aderschen Mikrofonen vorstellte und damit aufgezeichnete Schallereignisse über Lautsprecher in für diese damalige Technik akzeptabler Qualität vorführte.

Für die Membran zur Anregung der Kohlestäbchen (Bild 2) verwendete er geeignete Tannenholzbrettchen. Besondere Mühe bereitete die optimale Anpassung der Induktionsspulen; deren Bemessung und die zweckmäßigste Stromstärke waren mühselig zu ermitteln.

Die Entwicklung der Stereophonie bis heute

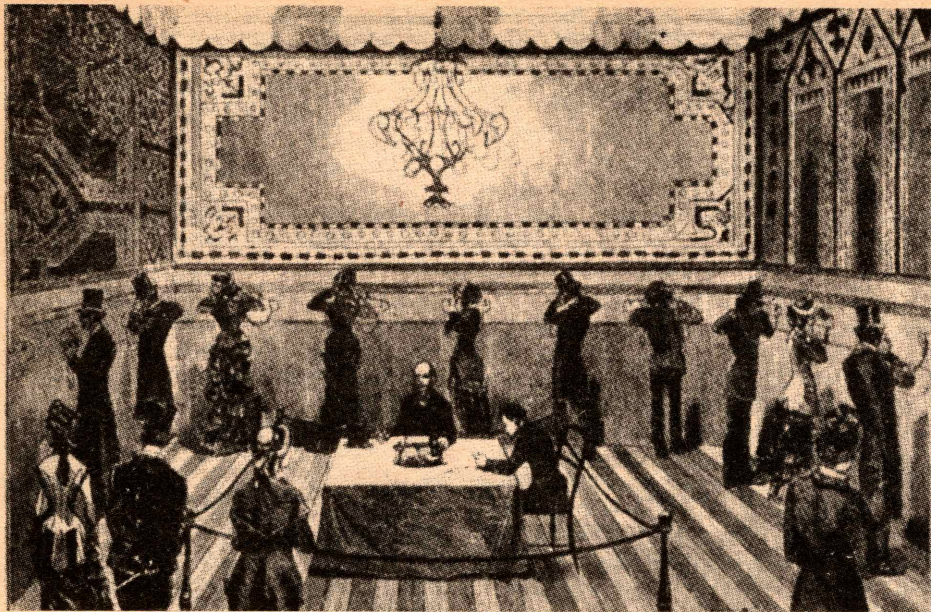


Bild 1: Stereophonie-Vorführraum auf der 1. Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung Paris, 1881 (nach [1])

soll im folgenden nur in großen Sprüngen dargestellt werden.

Übertragungen mit Lautsprecherwiedergabe wurden erst 1912 bekannt: W. Ohnesorge übertrug Aufführungen des Berliner Opernhouses über Telefonleitungen zum benachbarten Kronprinzenpalais. Wegen der zu geringen Leistung der Verstärker wurden mehrere Gruppen von Mikrofonen „in ge-

eigneter Weise auf der Bühne und im Orchester aufgestellt“. Wie groß die Zahl der Kanäle damals war, ist nicht exakt überliefert, aber offensichtlich waren es mehr als zwei, da ein räumliches Hören auf Grund der Übermittlung von Phasen- und Intensitätsunterschieden der Klangbilder mit Hilfe mehrerer Mikrofongruppen, die mit je einem Lautsprecher verbunden waren, hervorgehoben wird [4]. Es dürfte sich demnach um die erste Mehrkanalübertragung mit Lautsprechern überhaupt gehandelt haben.

Die erste zweikanalige Rundfunk-Opernübertragung erfolgte 1924 durch den Berliner Rundfunk: Die Signale zweier Mikrofongruppen wurden unabhängig voneinander über den Rundfunksender sowie über eine separate Drahtleitung zu Kopfhörern übertragen.

Zu dieser Zeit bereits machte E. Meyer [4] den Vorschlag, sich auf zwei Mikrofone im Ohrabstand, aufgehängt über dem Parkett, zu beschränken. Das hätte jedoch außer der problematischen Anordnung auch Verstärker an den Mikrofonen bedingt, so daß ein Versuch nicht durchgeführt wurde.

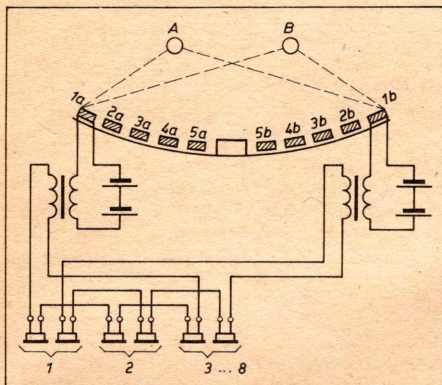


Bild 3: Schaltungsanordnung der Stereo-Übertragungsanlage nach Ader

Ader's Mikrophon (Fig. 85 und 86) besteht aus zehn kleinen in zwei Reihen zu je fünf Stücken angeordneten Kohlenstäbchen A, welche durch drei Querleisten B, C, D, die unterhalb des Resonanzdeckels eines Kästchens befestigt sind, getragen werden. Der Boden des Kästchens wird aus einer dicken Bleiplatte P gebildet. Diese Bleiplatte ist deshalb angebracht, weil das Instrument gelegentlich der Pariser Elektrizitäts-Ausstellung zur Aufnahme der Opernmusik auf die Bühne gestellt wurde und daher vor Erschütterungen bewahrt werden mußte.

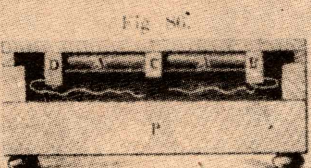
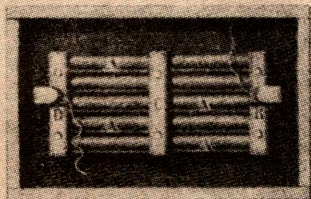


Bild 2: Die Resonanzfläche der von Ader benutzten Mikrofone aus dünnem Tannen- oder Fichtenholz (nach [3])

Experimente mit zwei Rundfunksendern gab es erstmals 1925. Der damals für den Hörer nicht zumutbare Aufwand von zwei Empfängern regte M. v. Ardenne an, eine pseudostereofone Wiedergabe von einkanalig übertragenen Rundfunkdarbietungen vorzuschlagen [5].

Zahlreiche grundlegende Experimente und Ideen zur Stereophonie sind auf Fletcher, den ehemaligen Leiter der Forschungsabteilung bei Bell Telephone Laboratories (USA), zurückzuführen. Er führte 1933 eine dreikanalige Konzertübertragung von Philadelphia nach Washington zur Constitution Hall durch [6].

Maßgebliche theoretische Grundlagen zur Stereophonie erarbeiteten auch Warncke und de Boer (s. dazu auch [7]). Aus dieser Zeit (etwa 1938) stammt wahrscheinlich auch der Begriff „Stereophonie“¹⁾ – vorher sprach man lediglich vom plastischen Hören oder vom stereoakustischen Hören sowie von der „Hörperspektive“ [6].

Stereo-Magnetbandaufzeichnung

Auf Grund des inzwischen erreichten theoretischen und praktischen Standes der Stereophonie (insbesondere durch die Arbeiten von Warncke) wurden erste Stereoaufzeichnungen auf Magnetband von Technikern des Rundfunks in Berlin bereits 1936 hergestellt. Nach entscheidender Verbesserung der Aufzeichnungsqualität mit Hilfe der HF-Vormagnetisierung (1940) wurden in den Jahren bis 1944 etwa 250 Aufzeichnungen in Laufzeitstereophonie, d. h. mit distanzierten Mikrofonen, produziert, die allerdings bis auf wenige Fragmente verschollen sind [7]. Das Grundprinzip der Speicherung auf zwei Spuren des 6,3 mm breiten Magnetbandes ist in der Studioteknik bis heute bei der analogen Aufzeichnungstechnik erhalten geblieben. In naher Zukunft wird jedoch die heute übliche schmale Trennspur von 0,75 mm wieder auf etwa 2 mm verbreitert werden müssen, um auf einer dritten Spur weitere Hilfsinformationen (Bandkennung, Zeitmaßstab u. a.) nach dem SMPTE/IEC-80-Bit-Kode für die zunehmende Automatisierung im Rundfunk- und Fernsehbetrieb unterbringen zu können. Die damit verbundene Verringerung des Störabstandes wird z. T. durch zunehmenden Einsatz geeigneter Kompanderverfahren kompensiert. Doch erst die Einführung der digitalen Aufzeichnungstechnik wird gewährleisten, daß Stereoaufzeichnungen mit einem Geräuschspannungsabstand von 75...80 dB, ohne Beeinträchtigung des Programmsignals, möglich sind.

Die Erfindung der Compact-Kassette (etwa 1963) hat die Verbreitung der Stereophonie im Heim beachtlich gefördert; allerdings ist ausreichende Qualität gegenwärtig nur mit Hilfe von Kompanderverfahren sowie Metallband und Präzisionsmechanik erreichbar. Doch auch hier ist bereits die künftige Digitaltechnik absehbar. JVC und Sony (Japan) zeigten auf der 71. AES Convention (Montreux, März 1982) die ersten Digital-Compact-Kassettedecks mit Parametern in Studioqualität.

Stereoschallplatte

Zahlreiche frühe Vorschläge zur Aufzeichnung der Stereosignale in zwei getrennten

¹⁾ Stereophonie, abgeleitet von stereo = körperlich, plastisch; phonos = Ton, Stimme (griech.)

Tonspuren einer Schallplatte konnten sich nicht durchsetzen. Es gelang erst 1958, die grundlegenden Gedanken von Blumlein [8] – bereits 1931 patentiert! – zur Speicherung von zwei Signalen in einer Rille für die Heimpraxis in der sog. Flankenschrift (Zwei-Komponentenschrift) zu realisieren. 1962 brachte der VEB Deutsche Schallplatten die ersten Stereoschallplatten heraus. Heutzutage kommen Langspielplatten nur noch in Stereoversion in den Handel [9]. Einen Qualitätssprung – allerdings in begrenztem Umfang – konnte die Schallplattentechnologie in den 70er Jahren erreichen, als unter Umgehung der magnetischen Tonaufzeichnung im sog. Direktverfahren die Mikrofonsignale nach der Mischung direkt auf Matrizen geschnitten wurden. Der Wegfall des Bandrauschens und wesentlich höhere Dynamik wurden aber mit limitierter und teurer Auflage erkauft.

Zur 62. AES-Convention (Brüssel 1979) wurde (neben verschiedenen PCM-Systemen) der erste Prototyp eines holländischen „Compact-Disc“-Systems vorgestellt, bei dem eine 12-cm-Platte mit 60 Minuten digital gespeichertem Stereoprogramm mit Hilfe eines Laserstrahls abgetastet wird. Damit kann auch im Heim höchste Studioqualität erreicht werden. (Der Start dieses Systems ist zur FIRATO Amsterdam, September 1982, beabsichtigt.)

Rundfunkstereofonie

Nach den bei der Entwicklungsgeschichte zitierten Versuchen ist der Beginn der erfolgreichen Entwicklung für die Rundfunkstereofonie erst in den 50er Jahren zu sehen. Die naheliegende Methode, die Stereosignale über zwei unabhängige UKW-Sender zu übertragen, wurde wegen fehlender Kompatibilität und auf Grund des hohen Aufwandes nur vorübergehend in Experimenten genutzt. Aus mehr als 20 Verfahrensvarianten von Einsendernethoden für den UKW-Rundfunk kristallisierte sich schließlich das Pilottonverfahren als zweckmäßigste Lösung heraus.

In diesem Zusammenhang müssen aber auch die bemerkenswerten Arbeiten von 1959 von Lauridsen [10] zur M/S-Stereofonie gewürdigt werden, die die Entscheidung für die HF-Übertragung von M- und S-Signalen und für die Intensitätsstereofonie in Aufnahme- und Wiedergabetechnik förderten.

In der DDR befaßte sich das Rundfunk- und Fernsehtechnische Zentralamt seit 1959 (seinerzeit noch BRF) mit Verfahrensuntersuchungen zur NF-Stereofonie und anschließend gemeinsam mit der Studioteknik Rundfunk, dem Staatlichen Komitee für Rundfunk und dem Zentrum für Wissenschaft und Technik (seinerzeit noch ZRF), der Empfängerindustrie mit der Problematik der Rundfunkstereofonie [7] [11] [12].

Die ersten Stereo-Sendeversuche über einen UKW-Sender, zuerst noch nach dem PAM-Verfahren, erfolgten im Juni 1961. Im Dezember 1962 wurden Sendeveruche mit dem Pilottonverfahren durchgeführt, das danach in Form automatischer Testsignale ständig abgestrahlt wurde. Nach weiteren Experimenten mit Stereoprogrammen wurde am 2. August 1963 mit der ersten offiziellen Stereorundfunksendung ein erfolgreicher Abschnitt der NF- und HF-Untersuchungen zur Stereofonie erreicht.

Nach fast genau 40 Jahren monofonen Rundfunks war das der Start der praktischen Rundfunkstereofonie in der DDR. Von diesem Zeitpunkt an folgten u. a. tägliche Experimentalsendungen für eine Rundfunkausstellung im Postmuseum der Deutschen Post (Oktober bis Dezember 1963); zahlreiche Produktionen von Wort- und Musikaufnahmen folgten, und am 15. 9. 1964 wurde das regelmäßige Stereo-versuchsprogramm über den Sender „Berliner Welle“ aufgenommen.

Das Pilottonverfahren wurde 1966 in der OIRT [13] und im CCIR (Internationaler Beratender Ausschuß für das Funkwesen im Internationalen Fernmeldeverein UIT) international zur Anwendung empfohlen. Es ist inzwischen – neben dem Polarmodulationsverfahren der UdSSR – weltweit eingeführt. In der DDR strahlen z. Z. drei Programme des Rundfunks der DDR etwa 80% ihrer Sendezeit Stereoendungen aus; das vierte Programm (Stimme der DDR) wird gegenwärtig für die HF-Stereofonie vorbereitet.

Der Stereorundfunk mit Lautsprecherwiedergabe ist heute, gefördert durch hochqualitative Empfangsanlagen der Industrie, zur Selbstverständlichkeit für den Hörer geworden.

Kunstkopfstereofonie

Neben der Verbreitung der raumbezogenen Stereofonie über Lautsprecher vollzog sich inzwischen auch eine beachtliche Entwicklung der kopfbezogenen Stereofonie. Ein bereits 1921 angemeldetes französisches Patent für einen Kunstkopf kam offenbar niemals zum Tragen. Erst 1970 gelang Kürrer, Plenge und Wilkens ein entscheidender Durchbruch [14]. Bei sorgfältiger Beachtung physikalischer Gegebenheiten (Geometrie und akustische Eigenschaften des äußeren Ohres bis hin zum Trommelfell) bei der Nachbildung von Köpfen für raumakustische Messungen war es möglich, Kunstkopf-Aufnahmemikrofone zu entwickeln, die auch im Rundfunk-Studiobetrieb verwendet werden konnten und die die Richtung und Entfernung von Schallquellen ausreichend gut über einen hochwertigen Kopfhörer wiedergaben. Obwohl die Vorn-Ortung noch eingeschränkt war, wurde das Verfahren nach einer entscheidenden Versuchsphase dem Rundfunkhörer vorgestellt.

Der Rundfunk der DDR strahlt seit dem 4. Oktober 1976, also seit nunmehr fast sechs Jahren, Experimentalsendungen in kopfbezogener Stereofonie aus [15], die auf große Resonanz derjenigen Hörerkreise stießen, die eine bisher unerreichte intime und direkte Art des Hörens bevorzugen. Der Hörer wird praktisch an den Ort der Aufnahme versetzt, er wird in die akustische Atmosphäre, in das gesamte Schallgeschehen einbezogen.

Einige prinzipielle Mängel der inzwischen weit verbreiteten Kopfnachbildung lassen jedoch noch nicht den erwünschten Idealfall erreichen [15]. Insbesondere Klangfarbe, Richtungstreue und Vorne-Eindruck sind verbesserungsbedürftig. In mehreren Ländern wird intensiv an der Verbesserung gearbeitet (u. a. in VRB, BRD, CSSR, Österreich), so daß in absehbarer Zeit mit einer neuen Qualität des Verfahrens zu rechnen ist. Seit Juni 1982 experimentiert der Rundfunk der DDR mit einem verbesserten Kunstkopf.

Die Kunstkopfstereofonie wird die schon fast klassische Form der raumbezogenen Stereofonie nicht verdrängen, sondern vielmehr für ganz spezifische künstlerische Genres ergänzen, die die Einbeziehung in den Raum der Übertragung sowie die Darstellung bewegter Schallquellen erfordern.

Ausblick auf weitere Einföhrungschancen von Mehrkanalverfahren im Rundfunk und Fernsehen

Zur weiteren Entwicklung der Zweikanalstereofonie sind viele Bemühungen unternommen worden: Ambiofonie, Dreikanaltechnik, Vierkanaltechnik (Quadrofonie), Eidophonie, Ambisonic usw. Alle diese Verfahren konnten sich aus technischen, ökonomischen und Standardisierungsaspekten bisher nicht oder nur begrenzt durchsetzen (siehe u. a. [16]). Auf die vielfältigen Pseudo-Stereofonie- bzw. Quadrofonie-Verfahren kann hier nicht eingegangen werden, sie lassen teilweise Verbesserungen im Raumeindruck erreichen. Die Kunstkopfstereofonie hat sich dagegen als eine sinnvolle Alternative erwiesen.

Die Anwendung der Stereofonie im Fernsehen ist in Japan seit 1978, in der BRD seit 1981 in erste Anwendungsphasen getreten. Die Systeme sind unterschiedlich und nicht standardisiert, da im CCIR mehrere Länder Vorbehalte äußerten (u. a. Schweden, Frankreich, Niederlande, UdSSR, USA); nach ihrer Auffassung sind die Systeme noch nicht genügend ausge-reift.

In der DDR wurden seit 1969 mehrfach Experimentalsendungen nach dem Simulcast-Verfahren durchgeführt (d. h. zum üblichen Fernsehsignal erfolgt gleichzeitig die Übertragung des Stereosignals über UKW-Rundfunk); sie bewiesen die vorteilhafte Anwendung der Stereofonie bei bestimmten Fernsehprogrammen [17].

Von nicht zu unterschätzendem Gewinn ist dabei der mit einer solchen Technik verbundene Qualitätsanstieg aller übrigen Tonsignalparameter im Fernseh Rundfunk, der durch das entsprechende Bemühen der Empfängerindustrie unterstützt wird. Allerdings gibt es noch einige prinzipielle technische Probleme, bevor mit einem Weltstandard gerechnet werden kann (u. a. Kompandereinsatz, Quasi-Parallelton usw.). Chancen für ökonomische Mehrkanaltechnologien, über die Zweikanalstereofonie hinaus, werden mit der Einführung der „Compact-Disc“-Platte gesehen, da mit ihr mehr als zwei Kanäle bei hoher Übertragungsqualität gespeichert werden können. Zunächst sind jedoch weitere Untersuchungen der ökonomischen Formen der Wiedergabe über mehrere Lautsprecher erforderlich, bevor sich praktikable Lösungen für eine allgemeine Einführung abzeichnen. Es kann dazu auch nützlich sein, die Anwendung moderner stereofoner Beschallungstechnologien auf Heimwiedergabe zu prüfen, damit die angestrebte weitgehende Unabhängigkeit der Hörerposition bei Stereowiedergabe mit Mehrkanaltechnik erreicht werden kann. Für größere Räume hat sich dafür das Delta-Laufzeitverfahren [18] gegenüber herkömmlicher Intensitätsstereofonie als überlegen gezeigt.

Der gesamte Entwicklungsgang der mehrkanaligen Tonübertragung, der Stereofonie

Fortsetzung auf Seite 559

im allgemeinsten Sinne, hat seit dem historischen Experiment von Ader vor 100 Jahren zu einer beachtlichen Steigerung der Übertragungsqualität und -quantität geführt. Insbesondere in den letzten 15 Jahren hat die Stereophonie auch die erhoffte allgemeine Breitenwirkung erzielt, die zu einer anspruchsvolleren Hörerwartung des Rundfunk- und Schallplattenhörers und zu neuen programmpolitischen Möglichkeiten führte. Die Rundfunkorganisationen fühlen sich dadurch verpflichtet, die erreichte Qualität zu stabilisieren und weiter zu vervollkommen, aber auch aufmerksam alle Entwicklungstendenzen zu verfolgen, die zu neuen, massenwirksamen Qualitätsstufen im Rahmen ökonomischer Möglichkeiten führen können.

Literatur

- [1] Prescott, G. B.: The Electric Telephone, 2. Auflage. New York 1890, S. 381-388
- [2] Eichhorst, O.: Zur Frühgeschichte der stereophonischen Übertragung. Frequenz 13 (1959) H. 9, S. 273-277
- [3] Schwarze, T.: TELEPHON - Mikrofon und Radiophon. Wien, Pest, Leipzig: A. Hartleben's Verlag, 1883, S. 169
- [4] Meyer, E.: Über das stereoaustische Hören. Elektrotechn. Zeitschrift (1925) H. 22, S. 805 bis 807
- [5] v. Ardenne, M.: Plastisches Hören von Rundfunkdarbietungen. Funk (1925) H. 23, S. 281
- [6] Fletcher, H.: Auditory Perspective - Basic Requirements. Electr. Engin. 53 (1934) S. 9
- [7] Hoeg, W.; Steinke, G.: Stereophonie-Grundlagen, 2. Auflage, Berlin: VEB Verlag Technik 1972
- [8] Blumlein, A. D.: Improvements in and relating to sound-transmission, sound recording and sound-reproducing systems. British Patent Nr. 394 325 (1931)
- [9] Hohmuth, G.: Zweikanalaufzeichnung von Schallplatten. radio fernsehen elektronik 17 (1968) H. 20, S. 620-621
- [10] Lauridsen, H.; Schlegel, F.: Stereophonie und richtungsdiffuse Klangwiedergabe. Gravesaner Blätter 2 (1956) H. 5, S. 28-50
- [11] Steinke, G.: Vorbereitungen für die Stereovertragungstechnik beim Rundfunk. Techn. Mitt. BRF 4 (1961) H. 2, S. 59-65
- [12] Hoeg, W.; Wagner, K.: Stereophonie-Aufnahmetechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1970
- [13] OIRT-Empfehlung Nr. 45: Hochfrequente Übertragung von zwei Signalen über einen UKW-Sender mittels eines amplitudenmodulierten Hilfsträgers.
- [14] Kürer; Plenge; Wilkens: Verfahren zur richtigen Aufnahme und Wiedergabe von Schallereignissen und Voraussetzungen zu seiner Durchführung. Offenlegungsschrift Nr. 1 927 401, 1970 (BRD)
- [15] Steinke, G.: Möglichkeiten und Grenzen der kopfbezogenen Stereophonie. radio fernsehen elektronik 28 (1979) H. 6, S. 388-392; H. 7, S. 456-460 und 466
- [16] Steinke, G.; Hoeg, W.: Mehrkanalübertragung im Rundfunk. radio fernsehen elektronik 24 (1975) H. 8, S. 249-253
- [17] Hoeg, W.; Wagner, K.: Aspekte der stereophonen Tonübertragung im Fernsehen. Techn. Mitt. RFZ 16 (1972) H. 4, S. 104-106
- [18] Hoeg, W.; Steffen, F.; Steinke, G., u. a.: Ein Schallplattenübertragungssystem zur richtungs- und entfernungsgetreuen Beschallung großer Auditorien („Delta-Stereophonie-System“) Techn. Mitt. RFZ 20 (1976) H. 2, S. 25-27