

# Zur Geschichte des Kondensatormikrophons – III: Vom Elektret bis zur Neuzeit

Martin Schneider<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Georg Neumann GmbH, 13406 Berlin, E-Mail: martin.schneider@neumann.com

## Einleitung

Das Kondensatormikrophon wurde 1916 erfunden und setzte sich weltweit bis in die 1950er als Standardmikrophon der Studioteknik durch. In den 1960er Jahren wurde die Elektronenröhre in Kondensatormikrophonen durch den Feldeffekttransistor ersetzt. Die Phantomspeisung setzte sich als Speisungstechnik durch. Stereo und erste Mehrkanalversuche wurden durchgeführt [1] [2].

## Elektretmikrophone

Der Elektreteffekt beruht auf der Möglichkeit eine permanente Ladung auf ein Trägermaterial aufzubringen (Abb. 1). In den 1960ern wurde es möglich, diese Ladung zu stabilisieren und damit anwendungstauglich zu machen [3]. Elektretmikrophone benötigen entsprechend keine externe Polarisationsspannung. Die Schaltung und Speisung vereinfacht sich entsprechend. Wurde bei ersten Versuchen noch die Membranfolie elektretisiert, hat sich die Back-Elektret-Technik durchgesetzt, bei der eine dünne Folie auf der Genelektrode aufgebracht wird.

Elektretmikrophone stellen mittlerweile den größten Anteil aller weltweit hergestellten Mikrophone dar. Aufgrund der hohen Anforderungen in Bezug auf enge Toleranzen und Langzeitstabilität werden sie in relevantem Umfang erst seit den 1990er Jahren in der Studioteknik eingesetzt.

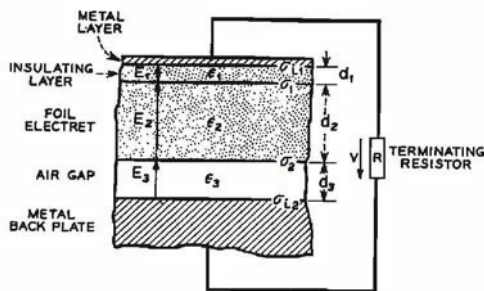


FIG. 1. Enlarged small section of electret microphone. Horizontal dimensions of complete microphone are much larger than vertical dimensions. Microphone is terminated by resistor R.

Abbildung 1: Elektretmikrophon, aus [3a]

## Nichtlinearität & Grenzen der Dynamik

Seit den 1960ern wurden zunehmend Instrumente auch im Nahfeld aufgenommen, um für die Mehrspuraufnahme mit Multimikrofonie eine bessere Kanaltrennung zu erzielen. Dafür mussten die Mikrophone höhere Schalldrücke verzerrungsfrei verarbeiten. Gleichzeitig wurde es möglich, z.B. durch Rauschunterdrückungsverfahren und später die Einführung der Digitaltechnik, größere Dynamiken aufzunehmen und zu übertragen, so dass auch der Ersatzgeräuschpegel reduziert werden sollte.

## Transformatorlose Schaltungen

Ein begrenzendes Element stellt der Ausgangsübertrager dar, dessen Größe mit dem zu übertragenden Signalpegel wachsen muss. Schon in den 1960er Jahren wurden erste Schaltungen ohne Übertrager entwickelt [4]. Ab den 1980ern wurden transformatorlose Schaltungen dann Standard. Um die Störsicherheit der symmetrischen Signalübertragung zu gewährleisten, muss die Übertragungskette stets impedanzsymmetrisch aufgebaut sein, während das Signal auch unsymmetrisch, d.h. nur auf einer Ader übertragen werden kann [5].

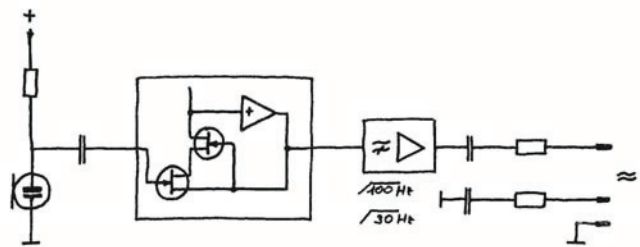


Abbildung 2: Impedanzsymmetrische, transformatorlose Ausgangsschaltung, aus [5]

## Symmetrische Wandler in Gegentaktschaltung

Kapazitive Wandler sind durch ihren unsymmetrischen Aufbau inhärent nichtlinear. Die Auslenkung muss klein im Vergleich zum Elektrodenabstand sein, damit Verzerrungen nicht wahrnehmbar bleiben. Die quadratische Nichtlinearität kann mittels eines symmetrischen Aufbaus des Wandlers reduziert werden [6]. Die Membran wird dabei zwischen zwei Elektroden angebracht. Wird die schon 1935 vorgeschlagene Gegentaktschaltung verwendet (Abb. 3) kann der Übertragungsfaktor des Wandlers verdoppelt werden [7]. Da die NF-Kondensatormikrophon-Schaltung extrem hohe Eingangsimpedanzen besitzt, bietet sich für die sehr offen konstruierten Gegentaktwandler die niederohmige HF-Kondensatormikrophon-Schaltung an.

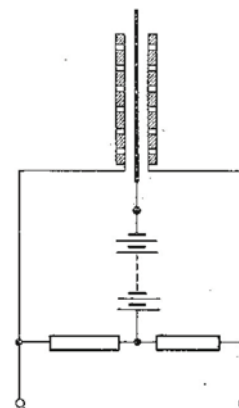


Abbildung 3: Symmetrische Druckgradientenkapsel in Gegentaktschaltung, aus [7]

## Ersatzgeräuschpegel

Die Verringerung des Rauschens und damit ein geringer Ersatzgeräuschpegel ist beständiger Teil der Entwicklung des Kondensatormikrophons. Einige Stationen bzw. Parameter sind dabei

- Wechsel von Röhren zu rauscharmen Feldeffekttransistoren und Operationsverstärkern,
- Erhöhung der Wandlerkapazität,
- Erhöhung der Schaltungsimpedanz,
- Rauschgegenkopplung,
- Entdämpfung des mechanischen Wandlersystems mit elektrischer Frequenzgangkorrektur.

Bei Messmikrophonen wurden dabei Ersatzgeräuschpegel unter 0 dB-A erzielt [8]; in der Studioteknik sind seit den 1990ern Werte unter 10 dB-A möglich.

## Vintage Revival

Insbesondere seit den 1990er entwickelte sich eine Gegenbewegung zur Digitalisierung der Audiotechnik: Rückbesinnung und teils Verklärung traditioneller, eigentlich technisch veralteter Geräte und Techniken. Entsprechend erfuhren Kondensatormikrophone mit Röhrenschaltung ein Revival.

## Stereophonie

Bis in die 1980er galt die Monokompatibilität von stereophonen Aufnahmen als Prämisse für die Rundfunkübertragung. Damit wurden koinzidente Mikrofonaufstellungen bevorzugt. Mit der Verbreitung stereophoner Empfangsgeräte wurde diese Forderung aufgeweicht und es setzten sich, zur Erzielung größerer Räumlichkeit, vermehrt nicht-koinzidente Aufstellungen durch, die auch mit Laufzeitunterschieden arbeiten.

## Kunstkopf-Stereophonie

Schon in den 1930er und 1940er Jahren wurde mit Kopfnachbildungen experimentiert [9]. Um 1970 wurde die Kunstkopftechnik wieder aufgenommen, insbesondere für raumakustische Untersuchungen [10,11]. Auch heute ist die kopfbezogene Aufnahme und Wiedergabe speziell in der virtuellen Akustik von hohem Interesse.



Abbildung KU4: Kunstköpfe, aus [12]

## Trennkörper-Stereophonie

In der stereophonen Aufnahmetechnik werden auch gemischte Verfahren verwendet, die sowohl Intensitäts- als auch Laufzeitunterschiede zwischen den beiden Mikrophonsignalen verwenden, um bei der Wiedergabe Phantomschallquellen zwischen den Lautsprechern zu erzeugen. Insbesondere zwischen 1980 und 1990 wurden einige Verfahren vorgeschlagen, mittels Trennkörpern zwischen zwei Mikrofonen zusätzliche, frequenzabhängige Intensitäts- und Laufzeitunterschiede zu erzeugen. Häufig wurden dabei Abmessungen ähnlich denen des menschlichen Kopfes gewählt (Abb5) [13][14].

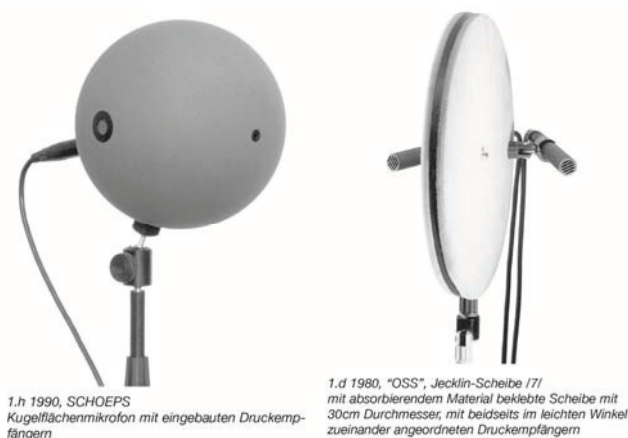


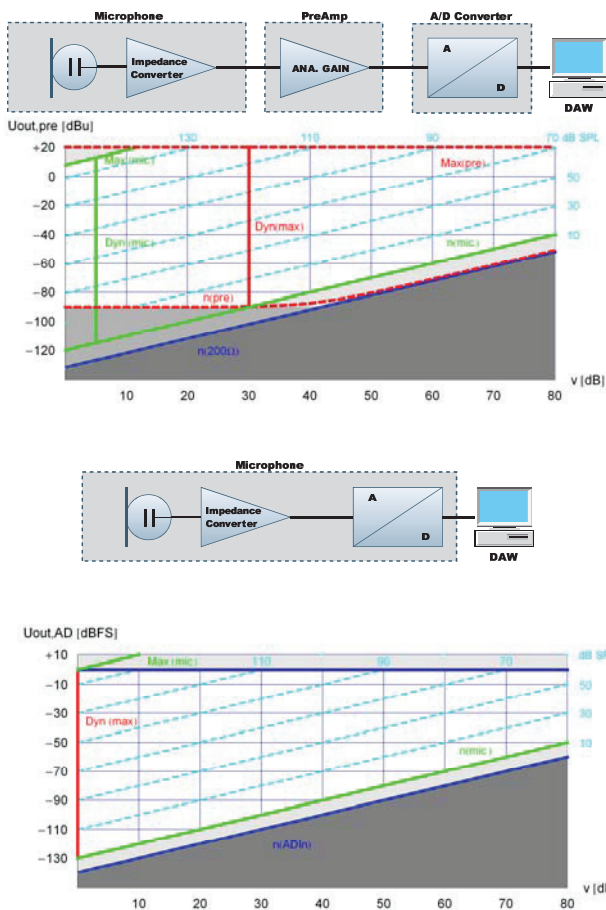
Abbildung 5: Beispiele von Trennkörper-Stereophonie: Kugelflächenmikrofon (1990) und Jecklin-Scheibe (1980), aus [13]

## Integrierte A/D-Umsetzer

Kondensatormikrophone können einen sehr großen Dynamikbereich bis über 130 dB abdecken. Bei der Digitalisierung der Studioteknik in den 1980er und 1990er Jahren erreichten die verfügbaren Analog-Digital-Umsetzer solche Werte bei weitem nicht. Die Hersteller warteten die Verfügbarkeit hochauflösender A/D-Umsetzer ab, bevor sie erwogen, ein Mikrofon mit digitalem Ausgang („digitales Mikrofon“) zu entwickeln. Eine erste Realisierung der Fa. Ariel für den NeXT Rechner erreichte 1989 gerade 92 dB [15]. Eine Diplomarbeit bei der Fa. Beyerdynamic [16] führte dazu, daß ein größere Zahl Hersteller sich von 1998-2001 mit dem Thema befasste und sich auf eine AES-Betriebsnorm einigte [17].

Mit einem oder mehreren A/D-Umsetzern versehen, werden heute 115-130 dB Dynamik erreicht. Relevante Vorteile des digitalen Mikrophons liegen in der Störfestigkeit der Übertragung sowie im geringstmöglichen Ersatzgeräuschpegel, unabhängig von der Verstärkung (Abb 6).

Seit ca. 2005 sind auch Mikrofone mit USB-Schnittstelle verfügbar, die aber u.a. aufgrund ihrer eingeschränkten Dynamik selten in der Studioteknik eingesetzt werden.



**Abbildung 6:** Dynamik der Aufnahmekette in Abhängigkeit von der Verstärkung. oben: analoges Mikrofon mit Vorverstärker; unten: digitales Mikrofon, aus [18]

## Sonstiges

Abschließend seien einige Randentwicklungen erwähnt.

## Twin-Mikrophone

1950 wurden Mikrophone mit fernumschaltbarer Richtcharakteristik eingeführt [19]. Durch die gesteuerte Kopplung zweier Wandler mit Nierencharakteristik konnte so stufenlos zwischen Kugel- und Achtercharakteristik geregelt werden. In den 1990er Jahren wurde die Möglichkeit untersucht, beide Wandler signale über zwei Signalwege aus dem Mikrophone zu führen, um die Richtcharakteristik, z.B. auch erst in der Mischung, am Regiepult einzustellen [20]. In den 2000er Jahren wurden solche „Twin“-Mikrophone entwickelt.

## Grenzflächen-Mikrophone

Bei Reflektion an einer schallharten Oberfläche, deren Abmessungen groß im Verhältnis zur Wellenlänge sind, ergibt sich eine Verdopplung des Schalldrucks an der Oberfläche [21]. Mit dem Nutzsignal erhöht sich auch der Signal-Rausch-Abstand um 6 dB. In den 1980er wurden entsprechend Mikrophone entwickelt, die mit geringstmöglicher Bauhöhe an Oberflächen angebracht werden können.

Auch gerichtete Mikrophone können durch flaches Aufliegen diesen Effekt ausnutzen. Die resultierende Richtcharakteristik ist dann z.B. eine „halbe Niere“, entsprechend der Halbkugel-Charakteristik eines Grenzflächen-Mikrophons mit Druckempfänger.

## Messmikrophone im Studioeinsatz

Mit der Verbreitung der Stereophonie wurde ab den 1980ern auch im Rundfunk das Primat der Monokompatibilität aufgegeben. Um einen größeren räumlichen Eindruck zu schaffen, wurden vermehrt Druckempfänger mit ihrer Kugelcharakteristik in AB-Aufstellung eingesetzt. Mit ihrem prinzipiell linearen Frequenzgang werden seitdem auch Messmikrophone bzw. ihre Äquivalente mit Phantomspannung in der Studioteknik eingesetzt.

## 50kHz-Mikrophone

Die Schwierigkeiten der bestmöglichen A/D-Umsetzung haben seit den 1990ern zu höheren Abtastraten geführt. Als bevorzugte Abtastrate kann 96 kHz angesehen werden. Diese Abtastrate wurde gewählt, um technische Schwierigkeiten der Digitalisierung zu reduzieren. Sie führte aber auch zu Anwenderinteresse an Mikrophone mit erweitertem Frequenzbereich. Wie von Messmikrophone bekannt, ist dies bevorzugt durch Wahl kleinerer Wandlerdurchmesser erreichbar. Dabei steigt aber der Ersatzgeräuschpegel auf inakzeptable Werte an. Einige „50 kHz-Mikrophone“ beruhen deshalb auf Standardtypen, bei denen einfach der Frequenzgang oberhalb 20 kHz elektrisch angehoben wurde.

## Mehrwege-Mikrophone

Das Ziel eines weitgehend linearen Frequenzgangs wurde schon 1966 mit einem Mehrwegesystem bei dynamischen Mikrophone angestrebt [22]. Bei Kondensatormikrophone wurde dies erst 1982 realisiert [23] und in der 50 kHz-Debatte wieder aufgenommen [24].

## Industrialisierung & Verbreitung

Bis in die 1990er Jahre waren Kondensatormikrophone, mit der Ausnahme der Elektretmikrophone, fast ausschließlich dem professionellen Nutzerkreis vorbehalten. Erst mit der Kostenreduktion und größeren Verbreitung günstiger Digitaltechnik hat das Kondensatormikrophone auch im semiprofessionellen Anwenderkreis Einzug gehalten. Verstärkt wurde dieser Trend durch preisgünstige Nachahmungen aus Fernost, die allerdings bisher keine technischen Neuerungen aufweisen.

## Zusammenfassung

Das Kondensatormikrophone in Niederfrequenzschaltung bleibt auch 100 Jahre nach seiner Erfindung der bevorzugte Aufnahmewandler in der Studioteknik. Diese 3teilige Serie hat einige der Wandlungen und Entwicklungen dargestellt, auf denen die heute zur Verfügung stehenden Mikrophone basieren. Während das Grundprinzip unverändert blieb, fanden stetig Weiterentwicklungen statt, so dass man gespannt auf zukünftige Ideen sein darf.

## Literatur

- [1] Schneider (2011) Zur Geschichte des Kondensatormikrophons - I: Die Frühzeit, DAGA 2011, Düsseldorf
- [2] Schneider (2014) Zur Geschichte des Kondensatormikrophons – II: Von der Röhre zum Transistor, DAGA 2014, Oldenburg
- [3] Sessler G, West L (1962) Self - Biased Condenser Microphone with High Capacitance, *Acoust. Soc. Am. J.* 34:1787-1788
- [3a] Sessler G, (1963) Electrostatic Microphones with Electret Foil, *Acoust. Soc. Am. J.* 35:1354-1357
- [4] Lafaurie R (1965) Nouvelles contributions à la technique des microphones électrostatiques transistorisés, *Revue du son*, Juni 1965, No.146:238-241
- [5] Peus S, Kern O (1983) Ein transformatorloses Studio-Kondensatormikrophon, preprint no. 1986, 73rd AES Conv., Eindhoven
- [6] Hibbing M, Griese H (1981) New investigations on linearity problems of capacitive transducers, preprint no. 1752, 68th AES Conv., Hamburg
- [7] Braummühl HJv, Weber W (1935), Kapazitive Richtmikrophone, *Z. f. Hochfrequenz u. Elektroakustik*, 46:187-192
- [8] Frederiksen E (1984) Microphone system for extremely low sound levels, *Tech. Rev.*, Brüel & Kjær, Kopenhagen, no.3
- [9] de Boer K (1940) Plastische Klangwiedergabe, *Philips tech.Rdsch.*5, 4:108-115
- [10] Kürer et al. (1969) Correct Spatial Sound Perception Rendered by a Special 2-Channel Recording Method, preprint no. 666, 37<sup>th</sup> AES Convention
- [11] Wilkens H (1972) Kopfbezügliche Stereophonie – ein Hilfsmittel für Vergleich und Beurteilung verschiedener Raumeindrücke, *Acustica* 26: 213-221
- [12] Daniel P et al. (2007) Kunstkopftechnik - Eine Bestandsaufnahme, *Nuntius Acusticus in: Acta Acustica/Acustica* 93, No1
- [13] Wuttke J (1992) Zwei Jahre Kugelflächenmikrofon, 17. Tonmeistertagung, Karlsruhe
- [14] Jecklin J (1981) A different way to record classical music, *J. Audio Eng. Soc.* 29:329-332
- [15] Paul et al. (1989) Digital Output Transducer, US-Patent 5051799
- [16] Konrath K. (1995) Entwicklung eines digitalisierten Mikrophons, Diplomarbeit, Düsseldorf
- [17] AES42 (2001) – AES Standard for Acoustics – Digital Interface for Microphones
- [18] Schneider M (2007) Digital Microphones for High Resolution Audio, AES 31<sup>st</sup> Int. Conf, London
- [19] Großkopf H (1950) Gerichtete Mikrofone mit phasendrehenden Gliedern, *FTZ*, 3:248-253
- [20] Görne et al. (1996) Acoustical Perspective for the Spoken Voice, preprint no. 4160, 100<sup>th</sup> AES Convention, Kopenhagen
- [21] Lipschitz SP, Vanderkooy J (1981) The acoustical behaviour of pressure-responding microphones positioned on rigid boundaries – a review and critique, preprint no. 1796, 69<sup>th</sup> AES Convention, Los Angeles
- [22] Weingartner B (1966), Two way cardioid microphone, *J. Audio Eng. Soc.* 14:244-251
- [23] Sanken Produktkatalog, URL: <http://www.sanken-mic.com/upload/pdf/en/cu-41.pdf> (Apr 2015)
- [24] Hara T, Sasaki T (1998) Development of a wide frequency range and low noise microphone system, preprint no. 4681, 104th AES Conv., Amsterdam