

Dieser Aufsatz entspricht inhaltlich einem Vortrag, der auf der 17. Tonmeistertagung 1992 gehalten wurde.

Das Kugelflächenmikrofon kann der "Trennkörperstereofonie" zugeordnet werden (Aufsatz 1). Es beinhaltet gleichzeitig Merkmale des "Kunstkopfs". Seine Besonderheiten werden im folgenden Aufsatz beschrieben.

Das Kugelflächenmikrofon

Das Kugelflächenmikrofon ist ein neuartiges Stereomikrofon, das als Hauptmikrofon, also je nach Umständen auch ohne Stützmikrofone, eingesetzt werden kann. Es handelt sich um eine schallharte Kunststoff-Hohlkugel mit 20cm Durchmesser, die innen akustisch bedämpft ist. Symmetrisch zur vertikalen Achse sind elektrostatische Druckempfänger bündig eingelassen. Ferner enthält die Kugel einen stereofonen, phantomgespeisten Impedanzwandler ("Verstärker"). Er schaut nur mit seinem 5-poligen XLR-Stecker heraus. Eine mittig eingebaute LED erleichtert die Ausrichtung des Mikrofons auf das Zentrum des Schallereignisses.

Das Mikrofon wurde so entwickelt, dass es genau definierten Forderungen entspricht /1/, /2/.

Historie

Koinzidente Mikrofone und die AB-Technik können als Extreme der stereofonen Aufnahmeverfahren angesehen

werden. Dazwischen befinden sich Mikrofonanordnungen, die in vorteilhafter Weise sowohl Intensitäts- (ΔI) als auch Laufzeitunterschiede (Δt) nutzen /3/. Ein klassischer Vertreter dieser Mikrofone ist das "ORTF-Mikrofon", das mit zwei Nieren im Abstand 17cm und mit einem eingeschlossenen Winkel von 110° zwischen deren Hauptachsen arbeitet /4/.

Trotz beachtlicher Erfolge dieses Mikrofons gab es aber immer wieder den Wunsch, mit elektrostatischen Druckempfängern in ähnlicher Weise aufnehmen zu können. Sie allein können selbst tiefste Frequenzen ungeschwächt übertragen, wie digitale Geräte es heute auch besonders unproblematisch erlauben.

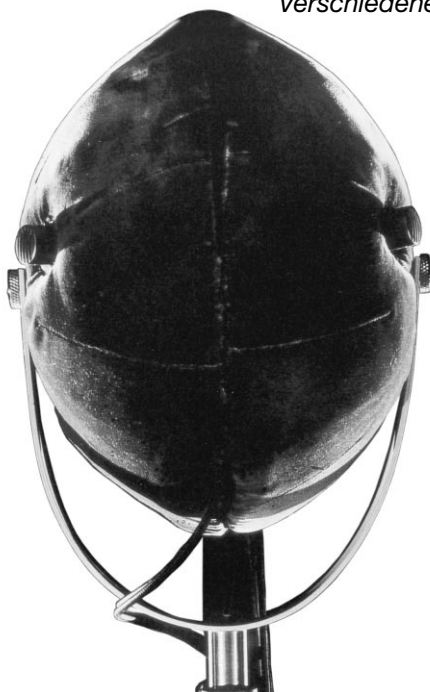
Die übliche Methode sind dann AB-Aufnahmen mit Abständen von 50cm und mehr zwischen den Mikrofonen (Aufsatz 3). Der bekannte Nachteil besteht in der allgemein weniger guten Lokalisation der Schallquellen bei der stereofonen Wiedergabe /5/.

Um diesbezüglich eine Verbesserung zu schaffen, wurden schon Jahrzehnte zuvor Mikrofone mit Kugelcharakteristik durch akustische Hindernisse getrennt, wenn sie, einer kleinen Laufzeit entsprechend, in Abständen bis maximal 30cm voneinander eingesetzt wurden. Der Verfasser nennt diese Art der Aufnahmetechnik "Trennkörperstereofonie". Es bestehen prinzipielle Ähnlichkeiten mit Kunstköpfen.

Aus der Vielzahl verschiedener Modelle zeigen die

Abb. 1.a - 1.h

Verschiedene Trennkörper-Stereoaufnahmesysteme:



1.a 1954, "Tête Charlin" /6/ mit absorbierendem Material beklebte Kugel mit eingebauten Druckempfängern



1.b 1955, SCHOEPS-Laborprodukt Aluminium-Hohlkugel mit 20cm Durchmesser mit eingebauten Druckempfängern im Winkel 180°

1.c 1965, Kisselhoff
 verschiedene Trennkörper – ohne Abbildung



1.d 1980, "OSS", Jecklin-Scheibe /7/
 mit absorbierendem Material beklebte Scheibe mit
 30cm Durchmesser, mit beidseits im leichten Winkel
 zueinander angeordneten Druckempfängern

1.f 1985, Defossez /8/
 mit seiner Spitze nach vorne gerichteter Keil aus zwei
 Platten, auf denen Grenzflächenmikrofone angebracht
 sind – ohne Abbildung



1.g 1990, Geller /10/
 Kugel, z.B. Fußball, als Trennkörper, zwischen zwei
 Druckempfängern



1.e 1985, "Clara", (Prof. Peters) /9/
 Plexiglas, schiffsbugähnlich gebogene Platte, durch
 deren Seiten Druckempfänger von innen knapp her-
 ausschauen



1.h 1990, SCHOEPS
 Kugelflächenmikrofon mit eingebauten Druckemp-
 fängern



folgenden Abbildungen einige, die besonders bekannt wurden. Dazwischen finden sich, chronologisch angeordnet, weitere Systeme ohne Bild. Die genannten Jahreszahlen geben ungefähr an, wann die ersten Versuche bekannt wurden.

Mit vielen dieser Anordnungen wurden und werden hervorragende Aufnahmen gemacht, womit wieder einmal bewiesen ist, dass es die allein und immer glücklichmachende Lösung nicht gibt. Dies kann ein Grund sein, weshalb kein Mikrofonhersteller Partei ergreifen wollte und eines dieser Systeme serienmäßig als Stereomikrofon herstellte.

Sofern im Handel erhältliche Druckempfänger zum erwünschten Ergebnis führen, ist es außerdem praktischer und vor allem preiswerter, einen geeigneten Trennkörper als Zubehör zu gestalten.

Der Schritt zu einem neuen Mikrofon

Ein entscheidender Grund gegen ein Serienprodukt war auch darin zu sehen, dass kein Konstrukteur eine seriöse Entwicklung betreiben kann, wenn die zu erfüllenden technischen Bedingungen nicht derart klar formuliert vorliegen, dass sie als Grundlage für ein Pflichtenheft dienen können. Dies ist erst durch G. Theile geschehen /1/, der für das Institut für Rundfunktechnik (IRT) in München arbeitet.

Neben der besonders wichtigen Forderung, dass interaurale Unterschiede, ähnlich denen am menschlichen Kopf, von dem Mikrofon übertragen werden sollen, gilt:

1. Der Frequenzgang auf der stereofonen Hauptachse, also für Schall aus dem Zentrum des Orchesters, soll konstant ("linear") sein. Diese Forderung überascht natürlich nicht und ist dennoch bereits eine Besonderheit! Fast alle Prospekt Daten von Stereomikrofonen weisen nämlich den Frequenzgang eines einzelnen Wandlers auf seiner Hauptachse aus. Die Kapseln werden im Anwendungsfall aber dominierend von Schall aus anderen Richtungen erreicht.

Oft hört man, dass diesbezüglich ein besonderer Vorteil bei MS-Stereofonie gegeben sei, da immerhin die Kapsel des M-Kanals auf die Mitte des Orchesters gerichtet ist. Leider hat dieses Argument nur Gültigkeit, wenn dann auch nur M, also Mono, übertragen wird. Im Falle der Stereofonie ergeben sich durch die Matrixierung nämlich gleiche, nach links und rechts gerichtete Richtcharakteristiken, die oft sogar weniger frequenzunabhängig sind als die eines Einzelwandlers.

2. Auch der Frequenzgang im diffusen Schallfeld soll konstant sein. Diese Forderung ist in der Kombination mit ersterer gleichbedeutend mit einem frequenzunab-

hängigen Bündelungsmaß in Bezug auf die stereofone Hauptachse, was leider meist nur ein Wunsch bleibt.

Konsequenzen

Die Problemlösung erfolgte durch eine spezielle Kapsel; mit handelsüblichen Mikrofonen waren die beiden Bedingungen nicht gemeinsam zu erfüllen. Die speziellen Kapseln erforderten ferner einen Entzerrungs-Verstärker, so dass die Konstruktion eines eigenständigen Mikrofons sinnvoll und notwendig wurde.

Der Konstruktion der Kapsel waren zahlreiche Versuche vorausgegangen, um u.a. folgende Merkmale des Mikrofons zu erarbeiten:

1. Kugeldurchmesser

Der als günstig ermittelte Kugeldurchmesser beträgt 20cm. Es ist möglich, auch mit etwas kleineren oder größeren Kugeln zu arbeiten, je nachdem, ob der Aufnahmewinkel, größer oder kleiner sein soll.

2. Einbauort der Wandler auf der Kugel

Diesbezüglich sind verschiedene Stellen denkbar. Gegenüberliegende Punkte, also im Winkel 180° zueinander, erlauben eine besonders gute Erfüllung der eingangs beschriebenen Forderungen bezüglich Freifeld- und Diffusfeld-Frequenzgang. Darüber hinaus ergibt sich so eine, im Falle des Kugelflächenmikrofons durchaus vorteilhafte, Vorne/Hinten-Symmetrie.

Prinzipielle Unterschiede zwischen traditionellen Aufnahmeverfahren und dem Kugelflächenmikrofon

Bei den bekannten Systemen AB, XY, MS, ORTF usw. ist der winkelabhängige Intensitätsunterschied (ΔI) zwischen den Kanälen ebenso wenig frequenzabhängig wie die Polardiagramme der verwendeten Mikrofone (Abb. 1). Eine Frequenzunabhängigkeit der Polardiagramme, wie man sie von guten Mikrofonen meist erwartet, liegt auch allen Theorien zur Aufnahmetechnik und z.B. den Definitionen von Aufnahmewinkeln zugrunde /11/, /12/.

Bei allen Konstruktionen der "Trennkörperstereofonie" ist dies anders (vgl. Abb. 1 und 3). Bei tiefen Frequenzen, deren Wellenlänge deutlich größer ist als die Abmessungen der Trennkörper, tritt auf der dem Schall abgewandten Seite nur eine kleine Abschattung ein, mit entsprechend kleiner Intensitätsdifferenz. Mit wachsender Frequenz nimmt die Abschattung zu, und der der Schallquelle zugewandte Wandler nimmt je nach Frequenz und Montageort steigende Pegel auf (Abb. 2). Die Pegelunterschiede werden also größer (Abb. 3).



Abb. 2
 Weitgehend frequenzunabhängige Pegeldifferenz bei zwei Nieren (MK 4) im Winkel 110° für drei verschiedene Schalleinfallswinkel zur stereofonen Hauptachse (20° , 40° , 60°)

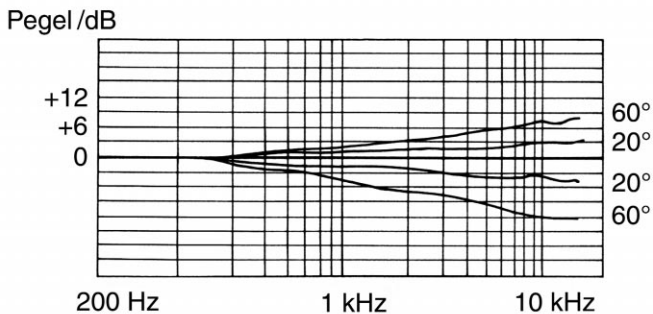


Abb. 3
 Frequenzgänge des linken und rechten Wandlers des KFM 6 bei Schalleinfall von links, aus den Winkeln 20° oder 60° zur stereofonen Hauptachse

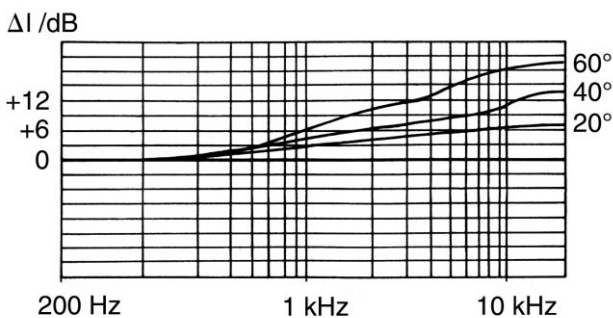


Abb. 4
 Frequenzabhängigkeit der Pegeldifferenz beim Kugelflächenmikrofon KFM 6 für drei verschiedene Schalleinfallswinkel zur stereofonen Hauptachse

Hinsichtlich des von dem Montageort abhängigen Einflusses soll hier nur darauf hingewiesen werden, dass ein Abstand zwischen Mikrophonkapsel und Trennkörper Kammerfiltereffekte zur Folge haben kann. Der bündige Einbau, wie beim Kugelflächenmikrofon, ist die bessere Lösung. Sie erlaubt aber, richtig genom-

men, nicht die immer wieder gemachte Annahme, es handele sich dann um ein "Grenzflächenmikrofon". Grenzflächenmikrofone erfordern um den Wandler herum eine Fläche, die um ein Vielfaches der Wellenlänge größer sein muss /13/ (Aufsatz 8). Bei den eingangs aufgelisteten Systemen ist dies für Frequenzen unter 2kHz sicher nicht der Fall. Dabei hat im Frequenzbereich, dessen Wellenlängen etwa den Abmessungen entsprechen, die Form des Trennkörpers einen großen Einfluss auf die Frequenzgänge bei unterschiedlichen Schalleinfallswinkeln /14/. Die Kugel stellt diesbezüglich das Optimum dar.

Die Frequenzabhängigkeit der Intensitätsunterschiede bei gegebenem Schalleinfallswinkel und deren Verlauf ist mittelbar in der Forderung nach natürlichen interauralen Differenzen enthalten. Man könnte aber auch sagen, dass es beim Kugelflächenmikrofon neben ΔI und Δt im Hinblick auf die Frequenzen einen dritten Unterschied zwischen den Kanälen gibt, nämlich den der Frequenzgänge.

Dieser spektrale (klangliche) Unterschied wächst mit dem Schalleinfallswinkel (Abb. 3), und er besteht natürlich nur im direkten Schallfeld und für Erstreflexionen.

So spielt der spektrale Unterschied mit wachsendem Abstand zur Schallquelle, bzw. zunehmendem Einfluss des reflektierten (diffusen) Schalls, eine abnehmende Rolle. Die im folgenden zitierte "Tiefenstaffelung" kann so erklärt werden. Tatsächlich ist ein Entfernungshören im schalltoten Raum, also ohne diffuses Schallfeld, unmöglich /15/.

Praktische Erfahrungen

Die praktische Erprobung ist natürlich von größter Bedeutung, obwohl die Objektivierung individueller Beurteilungen immer wieder die größten Schwierigkeiten bereitet. Dennoch fiel auf, dass verschiedene Anwender unabhängig voneinander fast immer feststellten, dass das Kugelflächenmikrofon einen besonders guten Eindruck räumlicher Tiefe vermittelt.

Als weiterer Vorteil des Kugelflächenmikrofons wurde sehr oft die gute Lokalisation genannt, wie man sie im Zusammenhang mit Druckempfängern kaum kennt. Dazu gesellt sich die schon eingangs angesprochene perfekte Aufnahme selbst tiefster Frequenzen.

Eine Voraussetzung für eine gute Lokalisation ist aber immer, dass die Aufstellung des Hauptmikrofons an einem Ort erfolgt, von dem aus man den gesamten Klangkörper innerhalb eines horizontalen Winkels sieht, der dem Aufnahmewinkel des Mikrofons entspricht. Nur in diesem Fall sind die Intensitäts- bzw. Laufzeitunterschiede gerade groß genug, um die am



weitesten links und rechts liegenden Schallquellen an den Extrem-Orten der Wiedergabebasis, nämlich den entsprechenden Lautsprechern, zu orten. Alle anderen Schallquellen können dann entsprechend dazwischen abgebildet werden /11/ (Aufsätze 2 und 3).

Der Aufnahmewinkel des Kugelflächenmikrofons beträgt ca. 90°. Er ist damit relativ klein (ORTF-Mikrofon ca. 95° - 100°) und führt im Rahmen der üblichen Abstände zu einer eher entfernten Aufstellung und zur Notwendigkeit einer präzisen Ausrichtung des Mikrofons auf die Orchestermitteln. Die eingebaute Leuchtdiode leistet deshalb nicht nur bei schwacher Beleuchtung wertvolle Dienste.

Ein idealer Aufstellungsort und die Vorne/Hinten-Symmetrie des Mikrofons führen oft zur Aufnahme von relativ viel Raumanteilen. Der Raum sollte daher qualitativ hohen Ansprüchen genügen. Störschall von hinten kann ein Problem darstellen.

Sowohl der Raumeinfluss als auch die Respektierung des Aufnahmewinkels verlieren natürlich an Bedeutung, wenn Stützmikrofone hinzugemischt werden. Beim Kugelflächenmikrofon sollte damit besonders vorsichtig umgegangen werden.

Seine besonderen Merkmale werden schneller verdeckt als die anderer Hauptmikrofone.

Zu den besonderen physikalischen Merkmalen gehört der beschriebene Frequenzgangunterschied zwischen den Kanälen, wenn der Schall schrägwinklig einfällt. Er kann in speziellen Fällen, wenn der Raumanteil des Gesamtschalls gering ist und, momentan dominierend, nur eine Seite des Kugelflächenmikrofons beschallt wird, zu einem sehr brillanten Klangbild führen. In diesen Fällen empfiehlt es sich, das Mikrofon etwas entfernter aufzustellen, ungeachtet der dadurch hinsichtlich der Lokalisation etwas mehr zur Mitte zusammenrückenden Schallquellen.

Es lohnt sich oft, verschiedene Aufstellungsorte des Mikrofons zu erproben. Druckempfänger sind generell "aufstellungsempfindlicher" als z.B. das mit Nieren bestückte ORTF-Mikrofon. Dies hängt damit zusammen, dass die meisten raumakustischen Probleme tieffrequenter Natur sind und durch elektrostatische Druckempfänger ebenso perfekt wie der Ton übertragen werden.

Generell zeigt das Kugelflächenmikrofon klangliche Ähnlichkeiten mit AB-Aufnahmen mit zwei Kugeln. Daher ist ein Vergleich angebracht. Die Beurteilung hängt wesentlich vom Geschmack und den Hörgewohnheiten des Anwenders ab. Wer Lokalisation und deren guten Mitteneindruck sucht, wird das Kugelflächenmikrofon vorziehen. Wer an AB-Aufnahmen gewöhnt ist, bescheinigt diesen gelegentlich noch etwas mehr

Räumlichkeit oder auch "Luftigkeit", die aber von Kritikern schon als "phasiness" (falsche Phasenbeziehungen können erkannt werden) abgewertet wurde /5/.

Nach dem bisher Gesagten kann der Eindruck entstehen, dass das Kugelflächenmikrofon speziell für die Aufnahme von Konzerten und als Hauptmikrofon geeignet ist. Dies ist richtig, aber es muss erwähnt werden, dass es auch sehr positive Erfahrungen aus dem Bereich der Wortproduktion (insbesondere Hörspiel) gibt. Bei Wiedergabe über Kopfhörer ergibt sich ein Eindruck, der starke Ähnlichkeit mit Kunstkopfübertragungen hat. Eine Ortung in der Medianebene würde allerdings Ohrmuschelnachbildungen erfordern /16/. Die größte Besonderheit bleibt die plastische Wiedergabe auch über Lautsprecher.

Literaturverzeichnis:

1. G. Theile, Das Kugelflächenmikrofon, in: Bericht zur 14. Tonmeistertagung 1986, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 277 - 293
2. S. Geyersberger, Das Kugelflächenmikrofon – ein neues Stereo-Hauptmikrofon, in: Bericht zur 16. Tonmeistertagung 1990, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 684 - 689
3. G. Theile, Hauptmikrofon und Stützmikrofone – neue Gesichtspunkte für ein bewährtes Aufnahmeverfahren, in: Bericht zur 13. Tonmeistertagung 1984, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 170 - 184
4. A. Laracine
5. S.P. Lipshitz, University of Waterloo, Ontario, Canada, Stereo Microphone Techniques: Are the Purists Wrong?, AES preprint 2261 (D-5) oder in: J. Audio Eng. Soc. , Vol. 43, no. 9, 1986
6. A. Charlin, Techniques Phonographiques – La Compatibilité, in: Toute l'Electronique, Novembre 1965, S. 468 - 471
7. J. Jecklin, A Different Way to Record Classical Music, in: J. Audio Eng. Soc., 29, 1981, S. 329 - 332
8. A. Defossez, Stereophonic Pickup System Using Baffled Pressure Microphones, in: Audio Eng. Soc. Preprint 2352 (D4), Paper presented at the 80th Convention 1986 in Montreux
9. K. Breh, Alles Clara, in: stereoplay 4, 1968, S. 46 - 48

10. R. Geller, Anordnung für ein stereofones Hauptmikrofonpaar, in: Tonmeisterinformationen 8/9/10, 1990, S. 7 - 8
11. M. Williams, Unified Theory of Microphone Systems for Stereophonic Sound Recording, Audio Eng. Soc. Preprint 2466 (H-6), Paper presented at the 82nd Convention 1987 in London
12. M. Dickreiter, Mikrofon-Aufnahmetechnik, S. 112, Hirzel Verlag Stuttgart, 1984
13. J. Wuttke, Herkömmliches und Neues zum Thema "Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik", in: Bericht zur 13. Tonmeistertagung 1984, Bildungswerk des Verbands Deutscher Tonmeister, S. 75 - 84, (entspricht Aufsatz 8 in diesem Sammelband)
14. H. Olson, Acoustical Engineering, D. Van Nostrand Company Inc., Princeton, Toronto, New York, London, 1957, S. 18 - 23
15. S. Nielsen, Distance Perception in Hearing, University Press, DK-9100 Aalborg, 1991
16. J. Blauert, Räumliches Hören von Musik, in: dB Magazin für Studioteknik, September/Oktober 1989, S. 88 - 94