



5. Stereophonie

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
5.0 Grundlagen der Stereophonie.....	2
5.1 Die Parameter der Stereophonie.....	5
5.2 Stereophone Aufnahmetechniken.....	9
5.2.1 Grundtechniken.....	9
5.2.1.1 „Intensitäts“-Stereophonie.....	9
5.2.1.2 Laufzeitstereophonie.....	12
5.2.1.3 Der Aufnahmebereich bei den Grundtechniken.....	15
5.2.2 Äquivalenz-Stereophonie.....	17
5.2.3 Trennkörperstereophonie.....	18
5.2.4 Polymikrophonie.....	19
5.2.4.1 DECCA-Tree.....	22
5.3 Gestaltungsmöglichkeiten bei der Stereophonie.....	24
5.3.1 Die stereophone Perspektive.....	24
5.3.2 Gestaltung durch Raumschall.....	27
5.4 Schlußbetrachtung.....	29
Literatur (Auswahl).....	31



5.0 Grundlagen der Stereophonie

Zweikanalige Tonträger haben sich allgemein durchgesetzt, zweikanalige, stereophone Tonaufnahmen werden heute weltweit verkauft.

Zunächst soll jedoch der Begriff *Stereophonie* ein wenig näher erläutert werden. Abgeleitet vom griechischen *stereós*¹ bezeichnet man nach HAYNES mit der Stereophonie diejenige Technik, „die sich mit der Aufzeichnung, Verstärkung und Wiedergabe von Schallereignissen befaßt, derart, daß für den Hörer der Eindruck einer dreidimensionalen Verteilung der Originalschallquellen erzielt wird“ (aus [KEIBS 1961]). Im Gegensatz dazu wird allgemein die einkanalige Übertragung als *Monophonie*² bezeichnet. Unabhängig davon, daß die von HAYNES 1954 aufgestellte Definition nicht die später von BLAUERT angeführte Unterscheidung zwischen Hörereignis und Schallereignis berücksichtigen [BLAUERT 1974] und unabhängig von der noch zu klärenden Tatsache, inwieweit man beispielsweise bei der herkömmlichen Zweikanal-Stereophonie von einer dreidimensionalen Verteilung von Hörereignissen sprechen kann, schließt diese Definition alle mehrkanaligen Verfahren mit ein. Dies ist sicherlich auch eine Folge davon, daß bereits in der Anfangsphase der Mehrkanaltechnik mit unterschiedlicher Anzahl von Wiedergabekanälen experimentiert worden ist.

Um jedoch Verwechslungen zu vermeiden und eine klare Abgrenzung zu den übrigen Mehrkanalverfahren insbesondere auch zur Binauraltechnik zu schaffen, soll an dieser Stelle mit dieser Tradition gebrochen werden. Dies ist auch deshalb möglich und sinnvoll, weil alle anderen Mehrkanalverfahren spezifische Namen haben (wie z.B. Quadrophonie, DOLBY Stereo bzw. DOLBY Surround, 5.1- bzw. 3/2-Mehrkanalton). Der Begriff *Stereophonie* wird also hier auch ohne den Zusatz „Zweikanal-“ ausschließlich für die zweikanalige Übertragung verwendet, wobei zusätzlich vorausgesetzt wird, daß die Wiedergabe über Lautsprecher im sog. *Stereodreieck* (s.u.) erfolgt. Wie noch gezeigt wird, werden fast alle stereophonen (im erläuterten Sinn) Tonaufnahmen für diese Wiedergabeordnung erstellt.

¹ stereós, gr.: räumlich

² mónos, gr.: allein, einzig



Mit *Stereodreieck* bezeichnet man die stereophone Standardabhörposition, in der zwei Schallwandler in einem Winkel von $\pm 30^\circ$ zur Blickrichtung eines Hörers aufgestellt werden. Es entsteht so ein gleichseitiges Dreieck zwischen den Lautsprechern und dem Hörer (Bild 5_1).

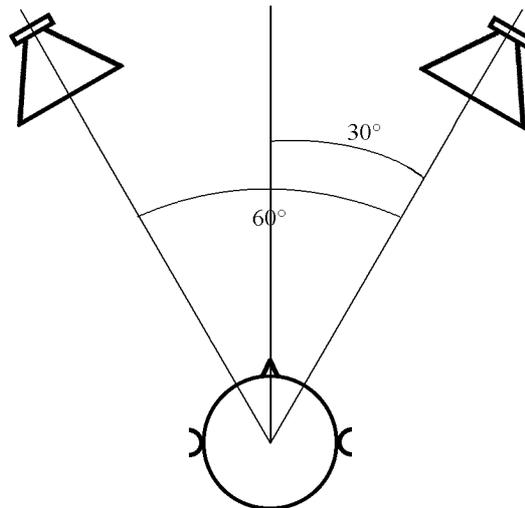


Bild 5_1: Die stereophone Standardabhörposition: das Stereodreieck

Bei einem Vergleich des stereophonen Hörens mit dem natürlichen Hören fällt nun ein bedeutender Unterschied auf. Während beim Hören einer natürlichen Schallquelle, beispielsweise eines Instrumentes, der Schall, der beide Ohren eines Hörers erreicht, in erster Linie direkt von diesem Instrument stammt, existieren bei der Stereophonie zwei Schallquellen, nämlich die beiden Lautsprecher (Bild 5_2 und 5_3).

Dennoch werden bei der Wiedergabe einer stereophonen Aufnahme dieses Instrumentes nicht zwei Schallquellen wahrgenommen, sondern das Instrument wird irgendwo zwischen den beiden Schallwandlern lokalisiert. Man spricht hier auch von sogenannten *Phantomschallquellen*³, da die realen Schallquellen, also die Lautsprecher, und der Ort der durch dieselben hervorgerufenen Hörereignisse nicht übereinstimmen.

³ der Begriff *Phantomschallquelle* wird im Gegensatz zum Begriff *Hörereignis* nur in Zusammenhang mit der Stereophonie und den Mehrkanalverfahren verwendet

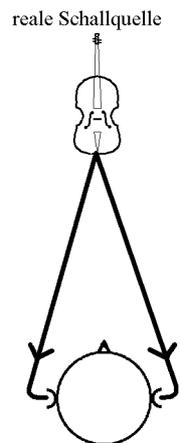


Bild 5_2: natürliches Hören

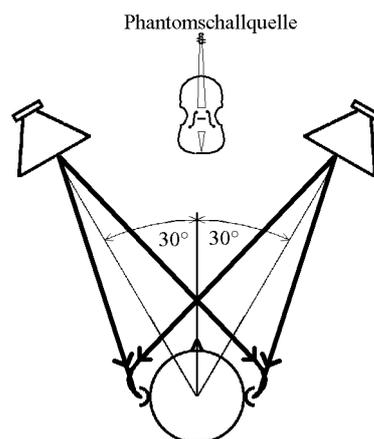


Bild 5_3: stereophones Hören

In der Psychoakustik ist dieses erstaunliche Phänomen bekannt unter dem Namen *Summenlokalisation*. Summenlokalisation meint, daß beispielsweise ein Hörereignis durch mehrere sehr ähnliche Schallereignisse, in diesem Fall zwei Lautsprechersignale, hervorgerufen wird. Bis heute konnte trotz einer großen Anzahl an Erklärungsmodellen nicht befriedigend geklärt werden, warum das Gehör so reagiert. Ein Grund für die Summenlokalisation ist sicherlich, daß in der Natur der Fall zweier Schallquellen, die sehr ähnliche Signale abstrahlen, äußerst unwahrscheinlich ist.

Die bereits angesprochene Stereo-Standardabhörposition, das Stereodreieck, stellt bei der Musikwiedergabe durch Summenlokalisation einen Kompromiß dar. Die Hörereignisse sind in



der Mitte zwischen den beiden Lautsprechern kaum bis gar nicht eleviert, können verhältnismäßig scharf lokalisiert werden und es ergibt sich dennoch eine hinreichende Basisbreite für die räumliche Abbildung zwischen den Schallwandlern. Diese Anordnung ist also keineswegs willkürlich festgelegt. Werden die Lautsprecher weiter auseinandergezogen - der Winkel Lautsprecher / Hörer wäre also stumpfer - erscheinen die Hörereignisse weiter nach oben eleviert. Bei einer Aufstellung von $\pm 90^\circ$ erscheinen sie häufig sogar im oder über dem Kopf. Sind die Lautsprecher enger beieinander, wird die nutzbare Basisbreite für die Abbildung von Phantomschallquellen kleiner.

Zusätzlich ist für die Summenlokalisierung eine Aufstellung unter Freifeldbedingungen, also z.B. im reflexionsarmen Raum, von Vorteil. Diese ideale Abhörposition mit neutralen Wiedergabegeräten wird in der Praxis, beispielsweise in einem Wohnraum, nie erreicht und selbst in Tonstudios meist nur angenähert⁴. Dennoch funktioniert die Stereophonie mit Einschränkung auch unter nichtidealen Bedingungen, wenn allerdings mit manchmal erheblichen Qualitätseinbußen⁵.

5.1 Die Parameter der Stereophonie

Weiter oben war die Rede von sehr ähnlichen Schallereignissen als Voraussetzung für die Summenlokalisierung. Diese sollen nun etwas genauer spezifiziert werden.

Summenlokalisierung im Stereodreieck ergibt sich dann, wenn die Signale, die von den beiden Lautsprechern abgestrahlt werden, entweder

1. identisch sind, oder
2. die gleiche Kurvenform, aber unterschiedliche Amplitude (Pegeldifferenz: das Signal eines Lautsprechers wird abgeschwächt) haben, oder

⁴ Niemand möchte in seinen Wohnräumen reflexionsarme Verhältnisse haben, da eine solche Umgebung häufig mit Unwohlsein verknüpft sind. Aus diesen Gründen geht man auch im Tonstudiobau andere Wege und beeinflusst gezielt die zeitliche Abfolge früher Erstreflexionen am Abhörplatz (z.B. LEDE-Konzept).

⁵ insbesondere was die Lokalisationsschärfe und Klangfarbe der Phantomschallquellen betrifft, bei sehr ungünstigen Verhältnissen. Da Reflexionen im Abhörraum in der Praxis bzw. sogar für eine "Wohlfühl-Umgebung" unvermeidlich sind, ist eine leichte, gleichmäßige Richtwirkung der Lautsprecher deshalb generell sinnvoll (das Nahfeld wird dadurch vergrößert).



3. identisch, jedoch minimal voneinander verzögert sind (Laufzeitdifferenz).

Außerdem tritt Summenlokalisierung

4. bei einer Kombination von 2. und 3. ein, und

5. ebenfalls, bis zu gewissen Grenzen, wenn für 2., 3., 4., die Gleichheit der Kurvenform nicht hundertprozentig gegeben ist.

Punkt 1. entspricht der Monophonie. Eine Abschwächung (Punkt 2.) oder eine Verzögerung (Punkt 3.) eines der beiden Lautsprechersignale führt zu einer Verschiebung der Phantomschallquellen aus der Mitte heraus zu dem jeweils anderen Lautsprecher hin. Bei größeren Pegeldifferenzen oder, wenn nur ein Lautsprecher das Signal abstrahlt, wird die Schallquelle nur aus einem Lautsprecher lokalisiert.

Bei zu großen Laufzeitunterschieden gilt hingegen das Summenlokalisationsprinzip nicht mehr: man hört zwei Schallquellen, ähnlich einem Echo.

Die Größenordnungen der Pegel- und Laufzeitdifferenzen für die Summenlokalisierung wurden in psychoakustischen Untersuchungen mit den verschiedensten Testsignalen ermittelt. Tabelle 5*1 liefert einen Überblick (vgl. auch Bild 5_4):

Hörereignisort	Laufzeitdifferenz	Pegeldifferenz
Mitte	0 μ s	0 dB
25% links bzw. rechts	140 μ s	3,5 dB
50% links bzw. rechts	270 μ s	7 dB
75% links bzw. rechts	420 μ s	11 dB
100 % links bzw. rechts	820 μ s	18 dB

Tabelle 5*1: psychoakustische Auswertung zur Summenlokalisierung im Stereodreieck [GERNEMANN/ RÖBNER 1999]

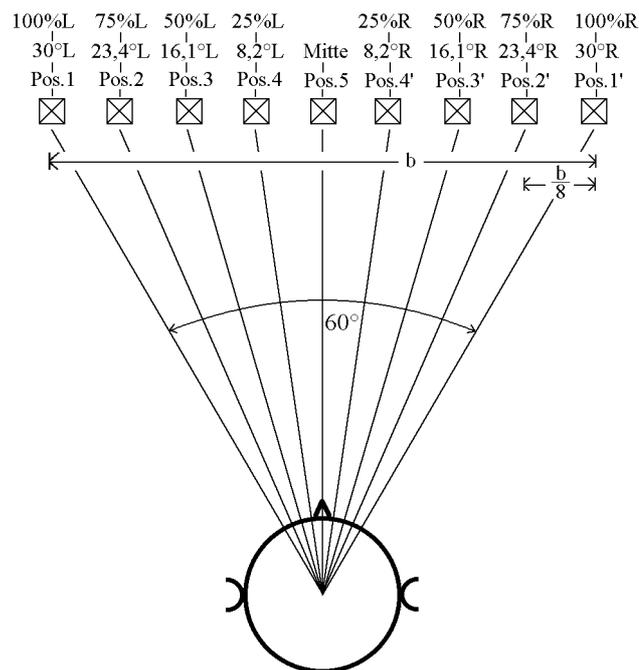


Bild 5_4: Anordnung der Hörereignisorte (Phantomschallquellen) für die Werte aus Tabelle 5*1

Für eine Verschiebung der Phantomschallquellen nach rechts gelten die Werte entsprechend. Bei Laufzeitdifferenzen größer als 1ms bis 5ms werden je nach Testsignal bereits zwei Schallquellen getrennt wahrgenommen (Echoeffekt).

Wichtig ist, daß sich bei Kopfhörerwiedergabe wiederum andere Größenordnungen der Werte für Laufzeit- und Pegeldifferenzen ergeben. In diesem Fall spricht man auch von *Lateralisation*. Bei der Lateralisation werden Hörereignisse im Kopf auf einer Verbindungslinie zwischen den beiden Ohren lokalisiert. Eine direkte Kompatibilität zwischen Kopfhörerwiedergabe und Wiedergabe über Lautsprecher im Stereodreieck ist aufgrund der unterschiedlichen Größenordnungen der Laufzeit- und Pegelwerte nur sehr eingeschränkt gegeben. Dies ist ein Grund, warum, wie eingangs erwähnt, bei Tonaufnahmen grundsätzlich mit Lautsprechern im Stereodreieck gearbeitet wird. Fast alle im Handel erhältlichen Tonaufnahmen sind für die Lautsprecherwiedergabe und nicht für die Wiedergabe über Kopfhörer optimiert, sofern nicht in den Tonträgern beiliegenden Drucksachen auf Anderes⁶ ausdrücklich hingewiesen wird.

⁶ z.B. binaurale Technik (Kunstkopf-"Stereophonie")



Der Wiedergaberaum hat, wie bereits erwähnt, einen Einfluß, besonders auf die Lokalisationsschärfe. Hier gilt: je reflexionsärmer und je kürzer die Nachhallzeit, desto schärfer werden die Phantomschallquellen lokalisiert. Wichtig ist auch die strenge Einhaltung der Position des Hörers im Stereodreieck. Bei einer abweichenden Position, in der der Hörer also unterschiedliche Entfernungen zu den beiden Lautsprechern hat, entstehen akustisch zusätzliche Laufzeit- und Pegeldifferenzen. Die Phantomschallquellen werden dann verschoben lokalisiert, bei extremen Positionen sogar nur noch am Ort des näher gelegenen Lautsprechers. Dies macht noch einmal deutlich, daß die optimale Abhörposition das gleichseitige Stereodreieck ist. Seitliche Abweichungen sind besonders kritisch, da die mittleren Phantomschallquellen schnell aus der Mitte zu den entsprechenden Seiten herausspringen. Gleichzeitig ist zu beobachten, sich die Hörereignisse bei Kopfdrehungen leicht mitbewegen. Unterschiedliche Abstände bei gleichbleibenden links / rechts - Verhältnissen sind nicht ganz so kritisch, allerdings auch keinesfalls ideal. Verbindet man nun die Punkte in einer Abhörumgebung, für die die mittleren Phantomschallquellen bei unterschiedlichen Hörabständen und seitlicher Abweichung gerade eben nicht aus der Mitte herausspringen, ergibt sich die sog. stereophone *Hörzone*, seltener auch *Hörfläche* genannt (siehe Bild 5_5). Im folgenden sollen nun die stereophonen Aufnahmetechniken erläutert werden, bei denen entsprechende Lautsprechersignale speziell für die Summenlokalisation im Stereodreieck hergestellt werden.

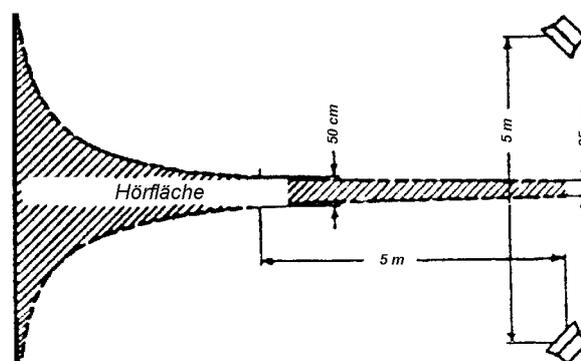


Bild 5_5: experimentell ermittelte Hörzone bei einer recht großen Lautsprecherbasis von 5m [KEIBS 1962]



5.2 Stereophone Aufnahmetechniken

5.2.1 Grundtechniken

Bei den stereophonen Grundtechniken treten ausschließlich Laufzeit- oder Pegeldifferenzen auf. Im ersten Fall spricht man von *Laufzeitstereophonie*, im zweiten Fall verwirrenderweise von „*Intensitäts*“-Stereophonie.

5.2.1.1 „Intensitäts“-Stereophonie

Bei der „Intensitäts“-Stereophonie treten ausschließlich Pegeldifferenzen zwischen den beiden Lautsprechern auf. Der Begriff „Intensität⁷“ ist in diesem Zusammenhang allerdings nicht richtig, da das menschliche Ohr als Schalldruckempfänger arbeitet. Auch auf der Aufnahmeseite gibt es keine Mikrophone, die Schallintensitätsempfänger sind. Entweder arbeiten Mikrophone idealerweise als Druckempfänger oder Schnelleempfänger oder als eine Kombination (Addition) von beidem. Dennoch hat sich der Begriff „Intensitätsstereophonie“ etabliert, so daß er auch hier weiterhin benutzt wird.

Bei einer Mikrophonaufstellung lassen sich Pegeldifferenzen erzeugen, indem man richtende Mikrophone koinzident, d.h. unmittelbar übereinander anordnet und sie gegeneinander dreht. Eine solche Aufstellung nennt man auch *XY-Anordnung*.



Bild 5_6: „Intensitäts“-Stereophonie mit zwei richtenden Mikrofonen

⁷ Die Schallintensität beschreibt die pro Zeiteinheit durch eine Flächeneinheit hindurchtretende Schallenergie



Beispielsweise ergibt sich für zwei Mikrophone mit nierenförmiger Richtcharakteristik und dem von der Schalleinfallrichtung abhängigen Übertragungsfaktor $B_F(\mathbf{a})$ sowie mit dem Schalleinfallswinkel \mathbf{a} und dem Mikrophonversatzwinkel \mathbf{f}^8 (Bild 5_6 und 5_7) die Pegeldifferenz ΔL am Ausgang zwischen Mikrophon M_1 und M_2 :

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \frac{B_{F_{M_1}}(\mathbf{a}; \mathbf{f})}{B_{F_{M_2}}(\mathbf{a}; \mathbf{f})} = 20 \cdot \lg \frac{1 + \cos \left(\frac{\mathbf{f}}{2} + \mathbf{a} \right)}{1 + \cos \left(\frac{\mathbf{f}}{2} - \mathbf{a} \right)} \quad (5-1)$$

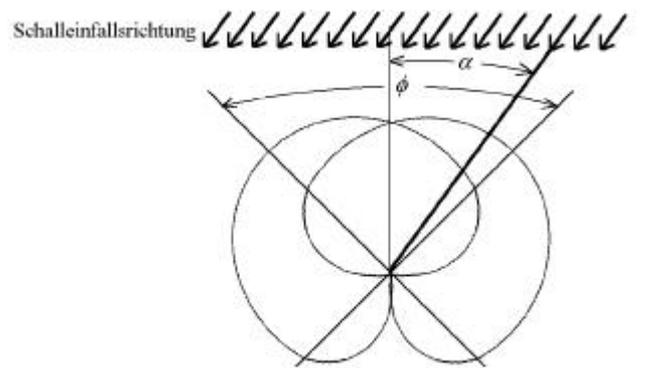


Bild 5_6: „Intensitäts“-Stereophonie mit zwei Nierenmikrofonen

Genauso leicht lassen sich die Pegeldifferenzen für eine XY-Anordnung mit Richtmikrofonen der Richtcharakteristik breite Niere, Acht, Hyperniere oder Superniere berechnen.

Eine weitere Mikrofonanordnung der „Intensitäts“-Stereophonie stellt in der Praxis die sogenannte *MS-Anordnung* dar, bei dem ein Mikrophon mit beliebiger Richtcharakteristik (Mittensignal, M) und ein Mikrophon mit Achtercharakteristik (Seitensignal, S) ebenfalls koinzident angeordnet werden, wobei allerdings die 0°-Richtung des Achtermikrophones um 90° zur 0°-Richtung des anderen Mikrophons gedreht ist. Die 0°-Richtung der

⁸ Der Versatzwinkel wird in der Literatur unterschiedlich definiert. Günstiger erweist sich in Zukunft die Bezeichnung Achsenwinkel \mathbf{f} für den Winkel zwischen den 0°- Achsen der beiden einzelnen Mikrophone



Gesamtanordnung entspricht dabei der 0°-Richtung des Mikrophons mit der frei wählbaren Richtcharakteristik.

Das Signal für den linken Kanal ergibt sich nun aus der Addition der beiden Mikrophonsignale („L = M + S“), das Signal für den rechten Kanal aus der Subtraktion („R = M - S“).

Die Pegeldifferenz DL zwischen den Kanälen für seitlichen Schalleinfall ist abhängig von der gewählten Richtcharakteristik des M-Mikrophons und der eingestellten Verstärkung der Mikrophonverstärker bzw. des Mischungsverhältnisses (A_1 / A_2) beider Mikrophone. Sie ergibt sich allgemein mit dem Übertragungsfaktor des M-Mikrophons $B_{F_M}(\mathbf{a})$ für die Schalleinfallrichtung \mathbf{a} und dem Übertragungsfaktor des S-Mikrophons:

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \frac{A_1 \cdot B_{F_M}(\mathbf{a}) - A_2 \cdot B_{F_{0_S}} \cdot (\cos(\mathbf{a} + 90^\circ))}{A_1 \cdot B_{F_M}(\mathbf{a}) + A_2 \cdot B_{F_{0_S}} \cdot (\cos(\mathbf{a} + 90^\circ))} \quad (5-2)$$

Für die erforderliche Dematrizierung des Mitten- und Seitensignals zu Stereo links / rechts stehen entsprechende Dematrizierer zur Verfügung. Bei herkömmlichen Mischpulten kann man sich aber auch mit der in Bild 5_7 gezeigten Beschaltung behelfen.

Genauso einfach läßt sich natürlich der Prozeß umkehren: aus einem durch „Intensitäts“-Stereophonie (XY; MS dematriziert) entstandenen Stereosignal läßt sich durch Matrizierung wiederum das Mitten- und Seitensignal gewinnen („M = L + R“; „S = L - R“) und so noch nachträglich das Mischungsverhältnis zwischen beiden und damit der Aufnahmebereich (siehe Kap. 5.2.1.3) verändern.

Im Handel existieren Koinzidenzmikrophone (Stereomikrophone), deren Kapseln bereits in MS-Technik angeordnet sind. Diese Mikrophone besitzen häufig intern einen MS-Dematrizierer, so daß am Mikrophonausgang direkt die Signale für linken und rechten Kanal anliegen. Den S-Anteil kann man bei diesen Mikrophenen in der Regel einstellen, meistens in Form eines angegebenen, variablen Aufnahmebereichs als Interpretation der psychoakustischen Werte aus Tabelle 5*1 bzw. als Anzeige der maximalen Pegeldifferenz zwischen den beiden Mikrofonkapseln.

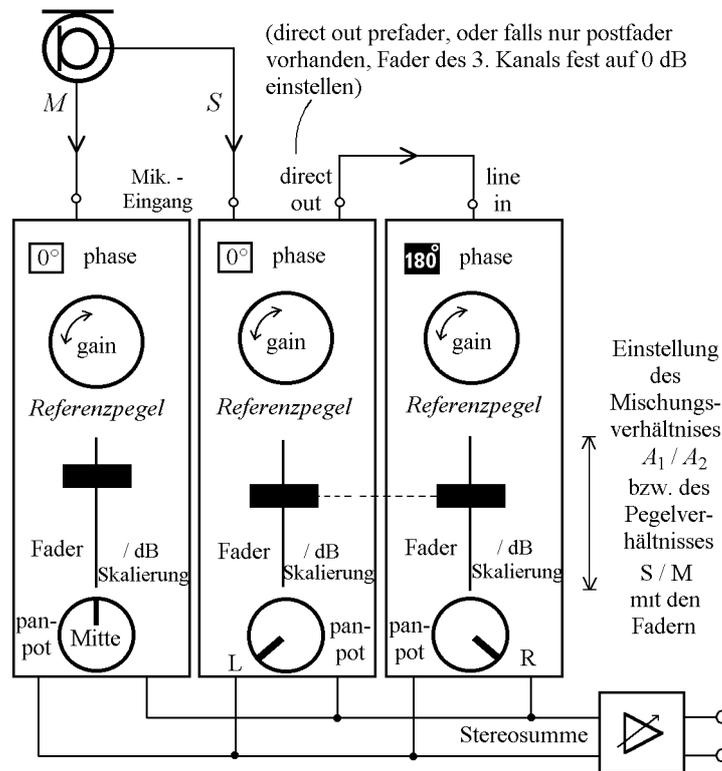


Bild 5_7: MS-Dematrixierung mit drei Mischpultkanälen

5.2.1.2 Laufzeitstereophonie

Die Laufzeitstereophonie benutzt für eine räumliche Wiedergabe ausschließlich reine Laufzeitdifferenzen zwischen den zwei Lautsprechern im Stereodreieck. In einer praktischen Aufnahmesituation können Laufzeiten zwischen zwei Mikrofonen und damit zwischen den wiedergebenden Lautsprechern erzeugt werden, indem man die beiden Mikrophone räumlich voneinander trennt. Man spricht dann auch von einer AB-Anordnung. Sie werden in einem bestimmten Abstand, also mit einer bestimmten Mikrophonbasis nebeneinander vor der Schallquelle aufgestellt, so daß sich unter der vereinfachten Annahme des parallelen Schalleinfalls bei ebener Schallausbreitung die Laufzeitunterschiede Dt aus dem Einfallswinkel α , der Mikrophonbasis a und der Schallgeschwindigkeit c für ideale Mikrophone wie folgt ergeben:



$$\Delta t = \frac{\Delta l}{c} = \frac{a \cdot \sin \alpha}{c} \quad (5-3)$$

Formel (5-3) stellt eine gute Näherung auch für nicht ideale Kugelmikrophone und parallel ausgerichtete Richtmikrophone dar. Reale Kugelmikrophone sollten als AB-Mikrophonierung stets parallel ausgerichtet werden, da sonst auf Grund ihrer nicht idealen Richtcharakteristik frequenzabhängige Pegelunterschiede zwischen den beiden Kanälen entstehen, die zu einer unangenehmen Klangfarbenverfälschung der Hörereignisse führen können (siehe auch Trennkörperstereophonie 5.1.4). Ebenso ist auf Grund der frequenzabhängigen Pegelunterschiede bei nicht paralleler Ausrichtung realer Kugelmikrophone die Gefahr geringer Lokalisationsschärfe der Phantomschallquellen größer⁹.

Reale Richtmikrophone können in der Regel hingegen gegeneinander nach außen verdreht werden, da die Unterschiede der Richtwirkungen in Abhängigkeit der Schalleinfallrichtung und der Frequenz weniger gravierend sind bzw. die Unzulänglichkeiten eher korrigiert werden können. Dabei entsteht Äquivalenz-Stereophonie (siehe 5.1.3).

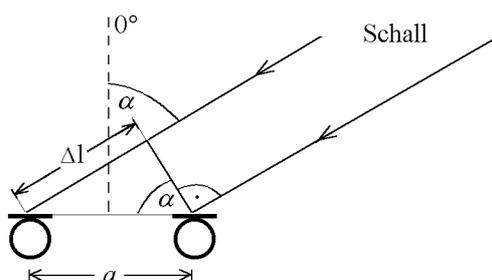


Bild 5_8: Laufzeitstereophonie mit zwei Mikrofonen beliebiger Richtcharakteristik

⁹ sog. Shuffler-Systeme mit größeren Pegeldifferenzen (bzw. Laufzeitdifferenzen) bei tiefen Frequenzen als bei höheren (also genau das Gegenteil von dem, was nicht parallele Kugelmikrophone erzeugen), da Untersuchungen mit Gauß-Signalen zeigen, daß für solche Signale bei tieferen Frequenzbändern größere Pegel- bzw. Laufzeitdifferenzen für den gleiche Lokalisationsverschiebung benötigt werden als bei höheren. In der Praxis kann sich dies eventl. bei bestimmten tiefen Instrumenten zeigen: z.B. kann bei einem Kontrabaß das Anstrichgeräusch von links und der Grundton aber aus der Mitte kommen. Es wäre jedoch zu noch zu klären, inwieweit dieser Effekt beim Kontrabaß auch auf die Parameter der verwendeten meist nichtidealen Abhörlautsprecher zurückzuführen ist.



Bei sehr kleinen Abständen zur Schallquelle gilt die Vereinfachung des parallelen Schalleinfalls nicht mehr. In diesem Fall muß mit Formel (5-4) gerechnet werden, wobei der Schalleinfallswinkel α auf den Punkt $\frac{a}{2}$ zwischen den beiden Mikrofonen bezogen ist und d den Abstand von diesem Punkt zur Schallquelle bezeichnet (siehe Bild 5_9):

$$\Delta t = \frac{\sqrt{d^2 + a \cdot d \cdot \sin \alpha + \left(\frac{a}{2}\right)^2} - \sqrt{d^2 - a \cdot d \cdot \sin \alpha + \left(\frac{a}{2}\right)^2}}{c} \quad (5-4)$$

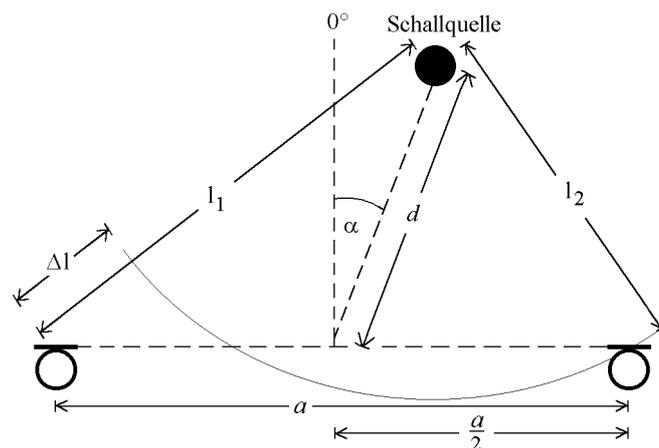


Bild5_9: kleiner Abstand zweier Mikrofone zu einer Schallquelle

Zusätzlich ergibt sich bei sehr kleinen Abständen aufgrund der unterschiedlichen Wege l_1 und l_2 (siehe Bild 5_9) ein nicht zu vernachlässigender Pegelunterschied ΔL zwischen den beiden Mikrofonen. Er berechnet sich zu:

$$\Delta L = 20 \cdot \log \frac{l_1}{l_2} \quad (5-5)$$



Künstliche Laufzeitdifferenzen können nur durch hochwertige Verzögerungseinheiten, wie man sie z.B. in speziellen Digitaldelays oder Digitalmischpulten findet, erzeugt werden.

Weiterhin ist zu beachten, daß eine winkellineare Aufstellung einzelner Schallquellen vor einer entsprechenden Mikrofonanordnung für die Laufzeitstereophonie (und ebenso, wenn auch nicht so gravierend, für die „Intensitäts“-Stereophonie) zu einer nicht streckenlinearen Lokalisation der entsprechenden Phantomschallquellen auf der Lautsprecherbasis führt (vgl. Formel (5-3) und Tabelle 5*1). Die Schallquellen drängen leicht in Richtung der Lautsprecher. Ist dieses nicht gewünscht, muß der Aufnahmebereich (siehe Kap. 5.2.1.3) entsprechend geringfügig größer gewählt werden, so daß die Lautsprecherbasis nicht voll ausgenutzt wird, dh. die äußersten Phantomschallquellen werden nicht am Ort der Lautsprecher, sondern leicht in Richtung Mitte verschoben lokalisiert. Dafür sind aber die einzelnen Instrumente gleichmäßig auf der Lautsprecherbasis verteilt. Ein anderer Weg ist natürlich, die Schallquellen - in der Regel sind dies einzelne Instrumentalisten oder Instrumentengruppen - nicht winkellinear aufzustellen. Dies ist zwar häufig auf Grund der Musizierpraxis der Musiker oder aus Platzgründen nicht möglich, führt aber zu den besten Resultaten, zumal dann wieder die volle Lautsprecherbasis genutzt werden kann.

Andererseits kann auch ganz allgemein wegen ästhetischer Vorlieben eine volle Ausnutzung der Lautsprecherbasis unerwünscht sein.

5.2.1.3 Der Aufnahmebereich bei den Grundtechniken

Als *Aufnahmebereich* einer Stereomikrofonanordnung wird entsprechend dem Schalleinfallswinkel α derjenige maximal zulässige Winkel bezeichnet, der durch die Hauptrichtung einer Mikrofonanordnung und die Ausdehnung einer aufzunehmenden Schallquelle aufgespannt wird¹⁰. Maximal zulässig heißt, daß die äußeren Positionen einer Schallquelle dann bei der Aufnahme ganz links und rechts am Ort der Lautsprecher des Stereodreiecks lokalisiert werden sollen (siehe Bild 5_10).

¹⁰ Begriff und Definition wird in der Literatur unterschiedlich behandelt, vgl. DICHREITER [1987]; WEBERS [1985]



Mit den psychoakustischen Werten und Formeln für die einzelnen Techniken können also nicht nur die Hörereignisrichtung innerhalb der Lautsprecherbasis in Abhängigkeit von der Schalleinfallrichtung der Originalschallquelle zur Mikrofonanordnung vorhergesagt, sondern auch die Aufnahmebereiche einer Mikrofonanordnung bestimmt werden. Ist beispielsweise der Abstand der Mikrofonanordnung zu einem Ensemble gegeben und soll das Ensemble über die ganze Stereobasis b (vgl. Bild 5_10) verteilt sein, lassen sich Mikrofonbasis bzw. Mikrofonversatzwinkel mit Formel (5-1), (5-2) und (5-3) bestimmen.

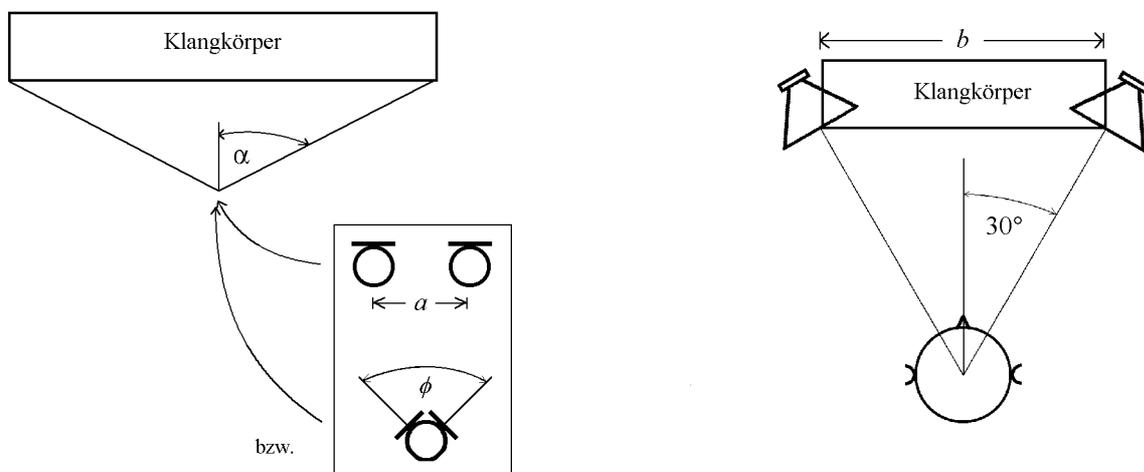


Bild 5_10: Aufnahmebereich a und Abbildung auf der Lautsprecherbasis

Aufnahmebereich	Mikrofonbasis ¹¹	Mikrofonversatzwinkel (Niere) ¹²	Pegelerhältnisse einer MS-Anordnung (Kugel) ¹³	Pegelerhältnisse einer MS-Anordnung (Niere) ¹⁴
$a = 90^\circ$	$a \approx 28 \text{ cm}$	$f \approx 100^\circ$	S/M $\approx -3 \text{ dB}$	S/M $\approx -8 \text{ dB}$
$a = 80^\circ$	$a \approx 29 \text{ cm}$	$f \approx 120^\circ$		S/M $\approx -6 \text{ dB}$
$a = 70^\circ$	$a \approx 30 \text{ cm}$	$f \approx 140^\circ$		
$a = 60^\circ$	$a \approx 32 \text{ cm}$	$f \approx 160^\circ$		S/M $\approx -3 \text{ dB}$
$a = 50^\circ$	$a \approx 37 \text{ cm}$	$f \approx 180^\circ$	S/M $\approx 0 \text{ dB}$	
$a = 45^\circ$	$a \approx 40 \text{ cm}$			S/M $\approx 0 \text{ dB}$
$a = 40^\circ$	$a \approx 44 \text{ cm}$			
$a = 35^\circ$	$a \approx 49 \text{ cm}$			
$a = 30^\circ$	$a \approx 56 \text{ cm}$		S/M $\approx 3 \text{ dB}$	S/M $\approx 2 \text{ dB}$
$a = 25^\circ$	$a \approx 67 \text{ cm}$		S/M $\approx 6 \text{ dB}$	S/M $\approx 5 \text{ dB}$

Tabelle 5*2: Aufnahmebereiche für verschiedene Mikrofonanordnungen

¹¹ zwei parallel ausgerichtete Mikrofone beliebiger Richtcharakteristik

¹² zwei Mikrofone mit nierenförmiger Richtcharakteristik

¹³ bei Verwendung eines Mittenmikrophons mit kugelförmiger Richtcharakteristik

¹⁴ bei Verwendung eines Mittenmikrophons mit nierenförmiger Richtcharakteristik



Tabelle 5*2 gibt Beispiele für verschiedene Mikrofonbasen bzw. Mikrofonversatzwinkel, die mit diesen Formeln und den Werten aus Tabelle 5*1 berechnet wurden.

Gleichzeitig erkennt man anhand der Tabelle auch sinnvolle Einsatzbereiche der jeweiligen Techniken.

5.2.2 Äquivalenz-Stereophonie

Der Name „Äquivalenz-Stereophonie“ oder auch „gemischte Stereophonie“ rührt daher, daß bei dieser Technik gleichsinnig sowohl Laufzeitdifferenzen als auch Pegeldifferenzen zwischen den Lautsprechern auftreten. Gleichsinnig bedeutet, daß Laufzeit- und Pegeldifferenzen zu einer Hörereignisverschiebung in die gleiche Richtung führen, d.h. das lautere Signal wird auch früher abgestrahlt. Dabei überlagern sich die Wirkungen von beiden, so daß sich die durch die jeweiligen Laufzeit- bzw. Pegeldifferenzen allein hervorgerufenen Verschiebungen eines Hörereignisses aus der Stereomitte heraus streckenlinear addieren [BLAUERT 1974]. Bei einer Mikrophonierung mit zwei richtenden Mikrofonen entstehen gleichsinnige Laufzeit- und Pegeldifferenzen, wenn man beide Mikrofone wie bei der Laufzeitstereophonie räumlich voneinander trennt und zusätzlich entsprechend der „Intensitäts“-Stereophonie gegeneinander nach außen verdreht.

Streng zu unterscheiden von der Äquivalenz-Stereophonie ist das sogenannte *Trading*, bei dem gegensinnige Laufzeit- und Pegeldifferenzen zwischen zwei Lautsprechern auftreten. In Grenzen heben sich dabei die Wirkungen beider auf, allerdings nimmt bei derart gebildeten Hörereignissen die Lokalisationsschärfe stark ab [BLAUERT 1985]. Auch das Prinzip der Linearität der Wirkungs-Überlagerung wie bei der Äquivalenz-Stereophonie gilt hier nicht mehr. Hier zeigen sich auch die Probleme des in vielen Heimgeräten eingebauten *Balanceregler*s, mit dem zuweit ausgelenkte Phantomschallquellen „zurechtgerückt“ bzw. eine ungünstige Abhörposition außerhalb des Stereodreiecks korrigiert werden soll. Bei Betätigung des Balanceregler's können bei Laufzeit- und Äquivalenz-Stereophonie Kammfiltereffekte und *Trading* entstehen.

Leider wird in der Literatur Äquivalenz-Stereophonie und *Trading* häufig verwechselt bzw. nicht klar unterschieden.

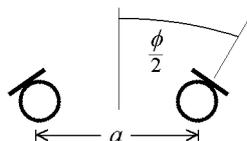


Bild 5_11: Äquivalenz-Stereophonie mit zwei richtenden Mikrofonen

5.2.3 Trennkörperstereophonie

Zur Trennkörperstereophonie gehören alle Mikrophontechniken für die Lautsprecherwiedergabe, bei denen sich zwischen zwei voneinander räumlich getrennten Mikrofonen ein fester Körper befindet. Im allgemeinen unterscheidet man Kugelflächenmikrophone, JECKLIN-Scheibe und Artverwandte sowie Kunstköpfe und weitere Spezialformen. Grundsätzliche Idee dieser Techniken ist es, bei der Verwendung von reinen Druckempfängern, die aus klanglichen Aspekten gegenüber den Richtmikrofonen häufig bevorzugt werden, neben den Laufzeitdifferenzen zusätzlich Pegeldifferenzen zwischen beiden Mikrophonsignalen zu erhalten. Allerdings ergeben sich durch die Trennkörper weitere Effekte, da diese im Schallfeld nichts anderes darstellen als ein Hindernis für die Schallausbreitung. Somit entsteht an den Trennkörpern Schallbeugung und -reflexion, die je nach Schalleinfall zu einer unterschiedlichen zeitlichen Veränderung des Schallsignals am jeweiligen Mikrophon [GERNEMANN 1995]¹⁵. Derartige Stereosignale führen bei der Wiedergabe über Lautsprecher zu bestimmten klanglichen Eigenarten. Viele Untersuchungen zeigen, daß Summenlokalisierung im Stereodreieck mit durch Trennkörperstereophonie entstandenen Signalen zu einer unangenehmen Klangfarbenverfälschung der Hörereignisse führt. Diese tritt besonders bei der Wiedergabe von Kunstkopfaufnahmen über Lautsprecher auch bei Eliminierung der Ohrkanalresonanz auf, da hier die Beugungs- und Reflexionserscheinungen im Vergleich zu den anderen Trennkörpertechniken vielfältig sind. Auch weitere realisierte Entzerrungen (z.B. Diffus- und Freifeldentzerrungen) bringen trotz häufig propagierter, gegenteiliger

¹⁵ Daraus resultieren z.B. auch frequenzabhängige Pegelunterscheide, wobei höhere Spektralbereiche eine größere Pegeldifferenz haben als tiefere, vgl. Fußnote 9



Behauptungen nur geringfügige Verbesserungen bzw. keine vollständige Kompatibilität [BLAUERT 1985]. Zusätzlich ergibt sich in der Praxis eine erhebliche Einschränkung, da die Verschiedenen Trennkörpertechniken i.d.R. nur einen festen, nicht variablen Aufnahmebereich haben.

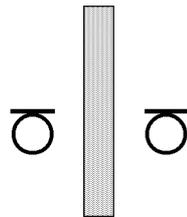


Bild 5_12: Trennkörperstereophonie mit zwei Mikrofonen mit kugelförmiger Richtcharakteristik

5.2.4 Polymikrophonie

Bei der sog. *Polymikrophonie* werden mehrere Mikrophone gleichzeitig benutzt (siehe auch 5.3), die weitestgehend unabhängig voneinander sind und deren Signale mit Hilfe eines Mischpultes mit jeweils unterschiedlichem Pegel auf verschiedene, d.h. bei der Stereophonie auf zwei Ausgangskanäle des Mischpultes addiert werden. Die Polymikrophonie stellt damit einen Sonderfall der „Intensitäts“ - Stereophonie dar. Ebenso gibt es Anordnungen, die ein oder mehrere sog. *Hauptmikrophone* in den oben beschriebenen Varianten benutzen (siehe 5.2.1 bis 5.2.4), deren Signalen zusätzlich einzelne Signale von verschiedenen unabhängigen Mikrofonen hinzugefügt werden. In diesem Fall spricht man bei letzteren auch von *Stützmikrofonen*. Allerdings ist dieser Begriff mißverständlich, da, je nach eingestelltem Pegel der zusätzlichen Mikrophone, von „nur unterstützend“ kaum noch die Rede sein kann. Besser zeigt sich hier die Betrachtung von verschiedenen überlagerten *stereophonen Perspektiven* [GERNEMANN 1997]. Die stereophone Perspektive bezeichnet die wahrgenommene Größe von Hörereignissen¹⁶. Die einzelnen Mikrofonanordnungen der Stereophonie, wie AB-Anordnungen oder Anordnungen für die „Intensitäts“ - Stereophonie bzw. Monomikrophone haben ihre eigenen, unterschiedlichen Perspektiven. Diese werden bei Addierung der entsprechenden Mikrophonesignale überlagert und tragen so zur Größenwahrnehmung der

¹⁶ Der Begriff ist im anglo-amerikanischen Raum schon mehrfach benutzt worden, allerdings nicht mit der gleichen Bedeutung und Konsequenz. Auch im deutschen Raum gab es mehr oder weniger ähnliche Betrachtungen.



betreffenden Phantomschallquelle bei. Ebenso können die einzelnen Mikrophonsignale zu einer entsprechenden Entfernungswahrnehmung beitragen und führen je nach eingestelltem Pegelverhältnis zur spezifischen Lokalisation der jeweiligen Höreignisse.

Eher im Sinne von Stützmikrofonen ist die sog. *raumbezogene Stütztechnik* [THEILE 1985], bei der die Signale der Stützmikrophone mit Hilfe hochwertiger Verzögerungsgeräte soweit gegenüber einem Hauptmikrofon verzögert werden, daß bei der Wiedergabe sowohl die Lokalisation und die Entfernungswahrnehmung der durch das Hauptmikrofon hervorgerufenen Phantomschallquellen als auch weitestgehend die stereophone Perspektive desselben nicht mehr beeinflußt wird. Die raumbezogene Stütztechnik führt damit zur Unabhängigkeit von dem Gesamt- und dem Links-Rechts-Pegelverhältnis des jeweiligen Stützsignals und ist daher nicht mehr als Sonderform der „Intensitäts“-Stereophonie zu betrachten. Das Stützsinal soll bei der Wiedergabe in diesem Fall lediglich zu einer Lautheitserhöhung der betreffenden Schallquelle und nicht zu einer Überlagerung verschiedener stereophoner Perspektiven beitragen. Wie weit dies allerdings auch aus ästhetischen Gesichtspunkten (siehe Kap. 5.4) erwünscht ist und wie weit die raumbezogene Stütztechnik in der Praxis überhaupt sinnvoll ist, soll an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden.

Es gilt nun noch zu klären, unter welchen Umständen konkret Polymikrofonie vorliegt und mehrere Mikrophone tatsächlich voneinander unabhängig sind. Im Fall einer akustisch völligen Trennung der einzelnen Mikrophone ist die Sachlage klar. Sind die Mikrophone jedoch in einem bestimmten Abstand voneinander vor einem Klangkörper aufgestellt, sind besondere Gesetzmäßigkeiten zu beachten. In der Regel geht man davon aus, daß eine ausreichende akustische Entkopplung dann vorliegt, wenn die Übersprechdämpfung zwischen den Mikrophenen über 6dB bis 10dB liegt [DICKREITER 1987]. Diese einfache Faustregel berücksichtigt aber nicht das Verhältnis des Abstandes der Mikrophone zueinander im Verhältnis zum Abstand der Mikrophone zur Schallquelle. Grundsätzlich könnte die Anordnung mit auseinandergezogen aufgestellten Mikrophenen unter der Beachtung der Werte aus Tabelle 2 auch als Mikrophananordnung für die Laufzeitstereophonie betrachtet werden. Es sollen daher andere Faustregeln referiert werden, die dieses Problem berücksichtigen.

Hier ist zunächst die *3:1 - Regel* zu erwähnen: bei großen Abständen (bzw. Mikrophonbasen) der Mikrophone zueinander und geringer Entfernung zur Schallquelle kann nicht mehr von einer Hauptmikrophananordnung für die Laufzeitstereophonie gesprochen werden. Die so bei



seitlichem Schalleinfall dabei zusätzlich entstehenden entfernungsabhängigen Pegeldifferenzen werden so groß (vgl. Formel (5-4) und (5-5) sowie Bild 5_9), daß durch die Laufzeitdifferenzen keine Summenlokalisation mehr hervorgerufen wird. Als dehnbare Faustregel läßt sich sagen: wenn der Abstand der Mikrophone mindestens dreimal so groß ist wie der Abstand der Mikrophone zur Schallquelle bzw. zu mehreren Schallquellen mit vergleichbaren Schalldruckpegeln, so sind die Mikrophone überwiegend unabhängig voneinander und stellen somit jeweils ein Monomikrofon dar¹⁷. Da der kohärente Übersprechanteil der Mikrophonsignale aufgrund zusätzlich auftretender Pegeldifferenzen (vgl. Formel (5-5)) gering wird, können diese Signale bei vernachlässigbaren Interferenzerscheinungen im Sinne der Polymikrophonie im Gegensatz zu Laufzeitstereophonie-Signalen beliebig je nach klanglicher Ästhetik per Mischpult-Panoramaregler und -Fader addiert werden. Der *Panoramaregler*, oder auch *Panpot* genannt, hat hier eine zentrale Bedeutung, da mit ihm ein Signal eines Monomikrophones pegelabhängig auf die linke und rechte Sammelschiene eines Mischpultes geschaltet werden kann. Dabei soll die Lautstärke der erzeugten Phantomschallquelle stets gleich bleiben. Dies wird dadurch

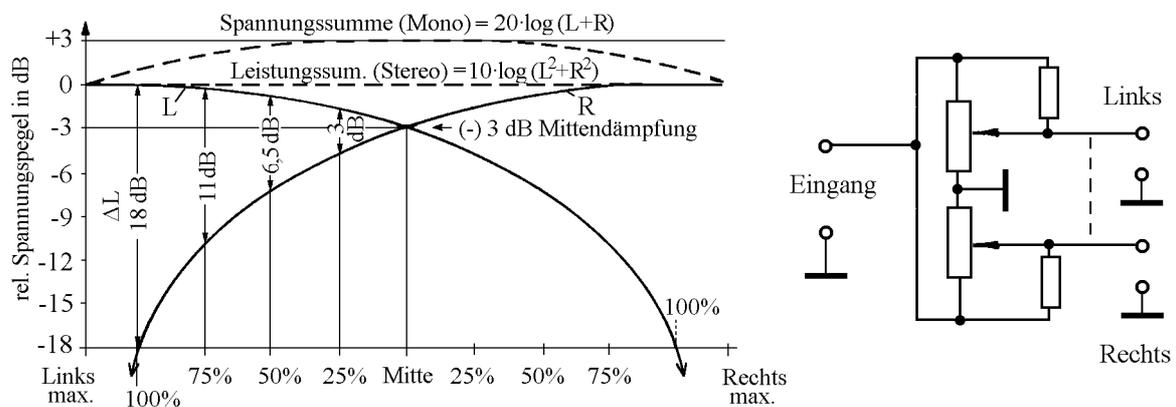


Bild 5_13: Dämpfungsverlauf des linken und rechten Kanals eines Panoramareglers mit resultierenden Hörereignisorten (vgl. Tabelle 5*2 und Bild 5_4) und prinzipielle Schaltung

¹⁷ Nicht selten ergibt sich eine (Beinahe-) Unabhängigkeit von zwei Mikrophenen bereits für den Fall, daß die Mikrophonbasis und damit die Laufzeitdifferenzen (vgl. Tab. 5*1 und 5*2 und Kap 5.2.1.3 zwischen beiden so groß gewählt wird, so daß die Phantomschallquellen, begünstigt durch die nicht streckenlineare Abbildung (siehe Kap.5.2.1.2), stark nach links und rechts drängen („Loch in der Mitte“). Dabei ist das Verhältnis Abstand zur Schallquelle und Mikrophonbasis häufig kleiner als 3:1. Allerdings kann u.U. die Korrelation (siehe Fußnote 25) der Signale noch so groß sein, daß bei der elektrischen Addition derselben deutliche Klangfarbenveränderungen auftreten können. Grundsätzlich ist die Entscheidung, ob es sich um zwei Monomikrophone oder um eine stereophone Laufzeitanordnung handelt, von Fall zu Fall verschieden und kann nur durch die sorgfältige Prüfung durch den Toningenieur / Tonmeister getroffen werden. Die hier angeführten Faustregeln stellen lediglich eine Hilfestellung dar.



erreicht, daß die Leistungssumme der beiden durch das Signal auf der linken und rechten Samelschiene erzeugten Spannungen stets konstant bleibt. Somit ergibt sich die sog. *3 dB Mittendämpfung* und der sinus-/cosinusförmige Dämpfungsverlauf eines Panoramareglers (siehe Bild 5_13).

Umgekehrt existiert ebenfalls eine ebenso dehnbare Faustregel, die sog. *1:2 - Regel*: Die geringste Entfernung einer AB-Hauptmikrofonanordnung sollte, um zusätzliche Pegeldifferenzen durch unterschiedliche Wegdifferenzen des Schalls zum jeweiligen Mikrofon klein zu halten, nicht weniger als zweimal die Mikrofonbasis betragen und außerdem einen generellen Abstand zur Schallquelle von 1m nicht unterschreiten. Ist dies beachtet, handelt es sich eher um eine Anordnung für die Laufzeitstereophonie (vgl. Kap. 5.2.1.2).

5.2.4.1 DECCA-Tree

Die Drei-Mikrofon-Technik, die als "DECCA-Tree" bekannt wurde, hat sich Ende der 60er Jahre empirisch bei der Firma DECCA in Großbritannien unter R.WALLACE für Kammer- und sinfonische Musik entwickelt [GRAY 1987]. Das Dreieck besteht aus drei Mikrofonen¹⁸ (m_2 , m_3 und m_4 in Bild 5_14) die in einem Abstand von ca. 1,50m bis 2,50m (a_2 und a_3 in Bild 5_14) voneinander aufgestellt werden, wobei das mittlere Mikrofon ca. 0,75m bis 1,20m näher als die beiden äußeren zum Ensemble steht. Das Signal des linken Mikrophons wird für die Wiedergabe ausschließlich auf den linken, das Signal des rechten Mikrophons ausschließlich auf den rechten und das Signal des mittleren Mikrophons zu gleichen Teilen auf beide Lautsprecher geschaltet. Später kamen noch zusätzliche "Flanken"-Mikrophone (m_1 und m_5 in Bild 5_14) mit ähnlichen Abständen 50m (a_1 und a_4 in Bild 5_14) bei größeren Ensembles hinzu, die ebenfalls ganz rechts bzw. links gemischt werden, um die Abbildungsbreite und den Raumeindruck zu vergrößern.

Obwohl das DECCA-Tree stets als eine Art Hauptmikrofon mit ggf. zusätzlichen "Stütz"-Mikrofonen eingesetzt wurde, gehört es doch prinzipiell zu den Polymikrofonie-Techniken, denn es muß hier auf das Verhältnis Abstand Mikrofon/Schallquelle zu Abstand der

¹⁸ Damals kamen die Typen NEUMANN KM56s (Niere/Acht), M49 (Niere) und M 50 (Kugel mit besonderer Richtwirkung) zum Einsatz, gelegentlich sogar mit Trennwänden dazwischen (allerdings nicht beim M50).

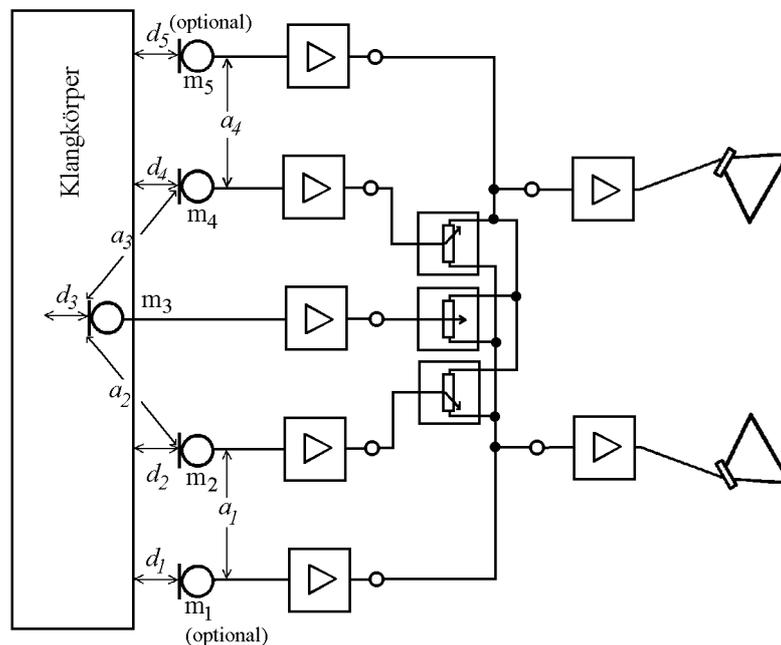


Bild 5_14: schematische Darstellung der DECCA-Tree-Anordnung

Mikrophone untereinander bzw. auf den absoluten Abstand der Mikrophone zueinander geachtet werden¹⁹. Nur wenn die Mikrophone soweit auseinander stehen, daß stets selbst bei leicht seitlich ausgelenkten Schallquellen größere Laufzeit- und aufgrund des Entfernungsunterschieds zusätzliche Pegeldifferenzen auftreten, lassen sich unscharfe Hörereignisse und Klangverfärbungen vermeiden. Daher wurden von anfang an so große Mikrophonabstände a_x beim DECCA-Tree verwendet. Werden die Mikrophonabstände zueinander a_2 und a_3 (siehe Bild 5_14) zu klein gewählt, ergibt sich folgendes Resultat: jedes der drei sich aus der Anordnung ergebende Mikrophonpaare $m_2 m_3$, $m_3 m_4$ und $m_2 m_4$ erzeugt prinzipiell je eine Phantomschallquelle, deren Orte sich allerdings nicht decken. Es entstehen aber nicht drei getrennte Hörereignisse, sondern nur ein diffus lokalisierbares Hörereignis. Zieht man aber nun die Mikrophone wieder weiter auseinander, und werden dabei die Basen a_2 und a_3 so groß, daß die Laufzeit- und Pegelunterschiede zwischen den Mikrophen nicht mehr (oder kaum noch) zur Summenlokalisierung zwischen den Lautsprechern beitragen, ist die Anordnung bei ausgedehnten Klangkörpern bzw. mehreren Schallquellen als Polymikrophonie



anzusehen, so daß diese Probleme nicht auftreten. Die Lokalisation von Hörereignissen beschränkt sich allerdings ausschließlich auf 100% links, 100% rechts und Mitte, sofern die äußeren Mikrophone des Dreiecks wie beschrieben verschaltet werden. Dies ist unvermeidbar, möchte man mit dieser Mikrophanordnung bei der Wiedergabe eines ausgedehnten Klangkörpers die volle Lautsprecherbasisbreite nutzen. Dennoch mag diese Tatsache einen nicht so großen Nachteil bedeuten, wie es zunächst den Anschein hat. Zum einen ist die Lautsprecherbasis durch vom Mittenlautsprecher hervorgerufene Hörereignisse in der Mitte gefüllt, so daß die extreme links/mitte/rechts-Abbildung nicht so negativ auffällt wie eine vergleichbar extreme links/rechts-Abbildung²⁰. Zum anderen existiert zusätzlich je nach Signalbeschaffenheit ein (wenn auch sehr geringer) Lokalisations-Unschärfbereich, der diese extreme Wiedergabe leicht mildert. Prinzipiell besteht natürlich auch die Möglichkeit bei dem erweiterten Dreieck mit fünf Mikrofonen, die Signale der äußeren Mikrophone des Dreiecks mit dem Panoramaregler nicht ganz 100% links bzw. rechts zu mischen.

5.3 Gestaltungsmöglichkeiten bei der Stereophonie

5.3.1 Die stereophone Perspektive

Die Ausführungen haben gezeigt, daß es einen erheblichen Unterschied zwischen natürlichem und stereophonem Hören gibt. Es existiert bei der Stereophonie eine Einschränkung des Lokalisationsbereiches, die Phantomschallquellen werden nur zwischen den Lautsprechern wahrgenommen, während beim natürlichen Hören Schallquellen aus jeder beliebigen Richtung lokalisiert werden können. Die eingangs angesprochene Dreidimensionalität ist also bei der Stereophonie stark eingeschränkt. Dennoch stellt die Stereophonie auf Grund der Möglichkeit, räumlich zwischen zwei Lautsprechern verteilte Hörereignisse zu erzeugen, im Vergleich zur Monophonie ein deutlich besseres System für die Musikrezeption dar. Die räumliche Aufteilung ist der Situation ähnlich, die ein Konzertbesucher in einem Konzert mit Darbietungen auf einer Bühne hat, zu der er in der Regel wie bei der Stereophonie frontal sitzt.

¹⁹ 3:1- bzw. 1:2-Regel, vgl. Kap 5.2.4. und besonders Fußnote 17

²⁰ "Ping-Pong"-Stereophonie bei zu klein gewähltem Aufnahmebereichen, siehe 5.2.1.3



Weiterhin basiert das stereophone Hören ausschließlich auf dem psychoakustischen Phänomen der Summenlokalisierung zweier Schallquellen, hier der Lautsprecher. Voraussetzung ist die eng begrenzte Hörposition. Beim natürlichen Hören wird eine Schallquelle in der Regel an ihrem realen Ort lokalisiert, unabhängig von der Hörerposition. Dennoch bietet die Stereophonie bei Beachtung der Parameter auf der Wiedergabeseite und Ausschöpfung der unterschiedlichen Techniken bei der Aufnahme (siehe 5.2) ein präzises System zur Erzeugung von Hörereignissen zumindest frontal zum Hörer bei vergleichbar geringem Aufwand auf der Wiedergabeseite. Dies gewährleistet eine einfache Handhabung.

Die Unterschiede zwischen natürlichem und stereophonem Hören sollen nun noch ein wenig genauer beleuchtet werden. Die herkömmliche Stereophonie ist ein eigenständiges, akustisches System und hat mit dem natürlichen Hören nur wenig gemeinsam. Allein dadurch existieren unterschiedliche Wahrnehmungen sowohl zwischen natürlichem und stereophonem Hören im Vergleich²¹ als auch zwischen unterschiedlichen stereophonen Aufnahmetechniken [GERNEMANN 1995]. Diese Unterschiede allein kann man sich für gestalterische Zwecke zunutze machen. Die Eignung und Bedeutung der Stereophonie für Musikaufnahmen zeigen sich insbesondere in diesen gestalterischen Möglichkeiten.

Das „Spiel“ mit verschiedenen stereophonen Perspektiven ist ein effektvolles dramaturgisches Element. So ist es beispielsweise bei der „E“-Musik durchaus üblich, einen Solisten aus einer Instrumentengruppe durch eine sehr große Abbildung auf der Lautsprecherbasis herauszuheben, um seine künstlerischen Qualitäten und seine Bedeutung zu unterstreichen. Dies kann mit einer zusätzlichen Mikrofonanordnung mit kleiner Mikrofonbasis oder, als Extrem, mit einer Monostütze vor dem Solisten realisiert werden. Bild 5_15 zeigt zwei Standardaufstellungen, links eine einfache AB-Anordnung, rechts die gleiche AB-Anordnung mit einer zugemischten Monostütze vor dem Solisten. Bei letzterer werden zwei stereophone Perspektiven, die kleine der Monostütze und die etwas größere der AB-Anordnung, überlagert: Der Solist erscheint durch die kleine stereophone Perspektive der Monostütze mit einer im Vergleich zum Orchester großen Abbildung auf der Stereobasis zwischen den Lautsprechern. Im linken Beispiel ist die wahrgenommene Größe des Solisten bei der Wiedergabe entsprechend kleiner.

²¹ z.B. unterschiedliche Größenwahrnehmung von realen Schallquellen und korrespondierenden Phantom-schallquellen, insbesondere bei komplexeren Schallereignissen

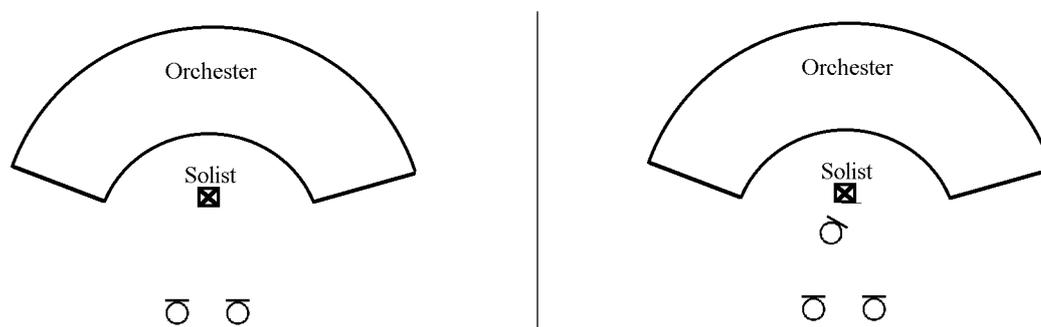


Bild 5_15: Zwei Standardaufstellungen, links reine Laufzeitstereophonie, rechts Laufzeitstereophonie mit Mono-„Stütze“

Auch überlagerte stereophone Perspektiven von verschiedenen Instrumentengruppen können eine effektvolle Präsenz und Deutlichkeit vermitteln, die den Hörer in ein Klanggeschehen einbezieht, welches er im Konzertsaal nie so erleben wird. In der „U“-Musik (Pop, Rock, Jazz, etc.) wird sogar ein stereophones Klangbild gefordert bzw. als selbstverständlich angenommen, das es vergleichbar in der Natur nicht gibt. Hier werden oft sehr große Phantomschallquellen durch Monomikrophone erzeugt, deren Signal einfach mit unterschiedlichen Pegeln auf die beiden Stereokanäle geschaltet wird. Dies entspricht der Polymikrophonie. Man erkennt, welche enormen gestalterischen Möglichkeiten allein durch unterschiedliche Wahrnehmungen bei der Stereophonie vorhanden sind.

Ein weiteres Beispiel soll zeigen, daß man diese Effekte auch an nur einem Instrument erzeugen kann (siehe Bild 5_16). Im ersten Fall wird wieder eine AB-Anordnung mit zwei Mikrofonen in einem genügend großen Abstand über den Dämpfern eines Flügels und entsprechend ausgewählter Mikrofonbasis gewählt. Im zweiten Fall werden die beiden Mikrophone weit auseinander, eines über dem Baß-, das andere über dem Diskantbereich, aufgestellt.

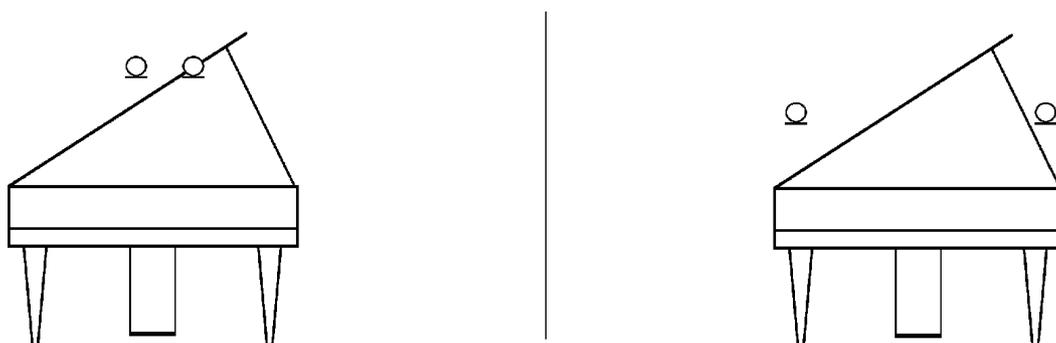


Bild 5_16: Unterschiedliche Mikrofonierungen an einem Instrument



Im ersten Fall wird eindeutig Laufzeitstereophonie mit entsprechender stereophoner Perspektive angewandt (1:2-Regel). Das Hörereignis wirkt auch hier nicht übermäßig groß und mehr oder weniger realistisch. Im zweiten Fall greift die 3:1-Regel: die Mikrofone stellen eine Polymikrofonie-Anordnung dar. Das Klavier wirkt je nach Einstellung der Panpotregler für die Mikrophonsignale eher „aufgeblasen“. Hier werden also zwei kleine stereophone Perspektiven überlagert.

Dennoch kann man nicht sagen, welche der beiden Varianten in Bild 5_16 denn nun die einzig richtige sei. Dies hängt sicherlich von verschiedenen Parametern, wie z.B. auch vom musikalischen Kontext, ab. Die erste Anordnung (links in Bild 5_16) kann man sich eher für eine Aufnahme im E-Musikbereich vorstellen, während letztere (rechts im Bild) vielleicht im U-Musikbereich ganz interessant ist. Die Frage nach der „besten“ stereophonen Aufnahmetechnik ist daher eher müßig. Obige Ausführungen haben gezeigt, daß es eine „beste“ Technik nicht gibt. Die Wahl einer stereophonen Aufnahmetechnik ist immer von der Situation am Einsatzort und den gewünschten Resultaten abhängig.

5.3.2 Gestaltung durch Raumschall

Eine weitere Gestaltungsmöglichkeit bei der Stereophonie ist die Bearbeitung des Raumschalls, der mittels entsprechender Effektgeräte oder zusätzlicher sog. Raummikrophone für die Stereophonie optimiert werden kann. Der Raumschallanteil ist verantwortlich für den wahrgenommenen Raumeindruck und trägt außerdem neben Lautstärke und Klangfarbe zur Entfernungswahrnehmung²² von Hörereignissen bei. Raumeindruck und Entfernungswahrnehmung sind wichtige gestalterische Elemente, auf die bei der Stereophonie gezielt Einfluß genommen werden kann. Doch gerade für die Summenlokalisierung müssen hier ganz andere Verhältnisse eingestellt werden, als man sie vergleichbar in einem natürlichen Raum findet. Beim natürlichen Hören trifft der Raumschall im Gegensatz zum Direktschall aus allen Richtungen ein. Für den Nachhall bedeutet dies, daß das *Gesetz der Ersten Wellenfront* greift und frühe erste Reflexionen durch nah bei den Schallquellen gelegene Reflexionsflächen

²² Die Entfernungswahrnehmung von Hörereignissen ist neben dem generellen Verhältnis Raumschall zu Direktschall u.a. auch abhängig von der Gestalt und zeitlicher Abfolge der Erstreflexionen sowie von der Klangfarbe und der Lautstärke.



zur Deutlichkeits- und Lautheitssteigerung der Schallquellen führen. Bei der Stereophonie (und ebenfalls bei der Monophonie) ist dies nicht der Fall²³. Hier treffen alle Rauminformationen und die Direktschallanteile nur von vorne auf den Hörer. Frühe erste Reflexionen können dann zu einem unpräzisen, vielleicht sogar zu einem verfärbten Klangbild führen. Erste Reflexionen sollten daher bei der Stereophonie gegenüber dem Direktschall deutlich verzögert werden. Bei einer Aufnahme müssen also reflektierende Flächen in der Nähe der Schallquellen vermieden bzw. bei Nachhallgeräten eine entsprechend hohe Verzögerung eingestellt werden. Einige Autoren geben hier Werte von über 25 ms an [KUHL et al. 1976]. Verzögerungen ab 50 ms können in seltenen Fällen jedoch bereits als Echo wirken²⁴. Die Raumsignale selbst sollten sich wenig ähneln, also nahezu unkorreliert sein (ca. 10% Korrelation), d.h. bei Verwendung von Raummikrofonen dürfen diese nicht zu nahe beieinander stehen²⁵.

Ebenso unterschiedlich ist die Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit bei der Stereophonie im Vergleich zum natürlichen Hören. In einem realen Raum haben tiefe Frequenzen eine deutlich längere Nachhallzeit als hohe Frequenzen. Bei der Stereophonie können dieselben Verhältnisse ebenfalls zu einem undeutlichen Eindruck führen. Die Nachhallzeit darf hier für tiefe Frequenzen insbesondere bei der Verwendung von Nachhallgeräten nicht ansteigen²⁶.

Diese Überlegungen haben auch dazu geführt, daß mit modernen digitalen Nachhallgeräten ebenso völlig unnatürliche Einstellungen möglich sind, wie z.B. *Reverse*²⁷-Hall oder *Gated*²⁸ - Hall. Man erkennt, wie vielfältig und wichtig die gezielte Beeinflussung des Raumschalls bei der Stereophonie ist.

²³ bei der Wiedergabe von stereophonen Aufnahmen über Kopfhörer existieren wiederum andere Verhältnisse. Hier ist im Gegensatz zur Wiedergabe über Lautsprecher häufig eine übertriebene Halligkeit gegeben

²⁴ Die Echo-Wahrnehmbarkeitsschwelle bei Raumschall ist jedoch stark abhängig von dem Pegelverhältnis zwischen Direktschall und den Rückwürfen. Anders als z.B. bei Surround haben Direktschall und Nachhall bei der Stereophonie selten gleiche Pegel. Hier ist bereits der Pegel der Erstreflexionen häufig um 6 dB oder mehr niedriger als der Pegel des Direktsignals. In diesem Fall wird man in der Regel eine Echo erst ab einer größeren Verzögerung von weit über 50 ms wahrnehmen. Auch die Signalbeschaffenheit von Direkt - und Raumschall haben einen Einfluß auf die Echschwelle. Sie liegt beispielsweise um so niedriger, je impulshafter das Direktsignal ist und desto weniger frequenzabhängig und desto zeitlich dichter die Rückwürfe untereinander sind.

²⁵ die verminderte Korrelation entsteht dabei nicht durch die resultierenden Laufzeitdifferenzen zwischen den Mikrofonen aufgrund des unterschiedlichen Abstands zum Instrument bzw. Ensemble (zwei gleiche Signale, die sich nur durch eine Verzögerung voneinander unterscheiden, sind korreliert, vgl. Kap. 5.1), sondern durch die Richtwirkungen der Schallquelle(n) und die Einflüsse des Aufnahmeortes. "Atmo"-Signale (z.B. Bahnhof, Fußballplatz) hingegen können (oder sollten sogar) aber eine höherer Korrelation als Raumsignale für Musikaufnahmen haben.

²⁶ beim Mehrkanalton (5.1, Surround) gilt dies wiederum nicht, da hier Raumschall aus mehreren Richtungen kommen kann

²⁷ umgekehrter Hall

²⁸ abgeschnittener Hall



5.4 Schlußbetrachtung

Die stereophone Perspektive und die Bearbeitung des Raumschalls sind nur zwei der vielen Einflußnahmen, die der Toningenieur / Tonmeister bei der Aufnahme zur Verfügung hat. Sie wurden hier deshalb besonders hervorgehoben, weil sie sich direkt aus der Stereophonie selbst ergeben. Weitere Möglichkeiten zeigen sich in der Benutzung diverser Effektgeräte wie z.B. Filter und Dynamikprozessoren, mit denen gezielte Bearbeitungen bis hin zum Klangdesign möglich sind oder der musikalische Schnitt, die Montage, mit der die musikalische Interpretation der aufgenommenen Musiker nicht nur unterstützt, sondern sogar gezielt verändert werden kann.

Die Tontechnik bringt musikalische Strukturen hervor, die direkten Einfluß auf Komposition und Arrangement haben und ohne sie gar nicht möglich wären. Die vorangegangenen Überlegungen zeigen, daß ganz besonders die stereophone Musikaufnahme immer auch eine tontechnische Interpretation darstellt. In jeder stereophonen Aufnahmesituation, selbst der einfachsten, fließen stets dramaturgische Elemente der Tontechnik mit ein, sei es durch die Wahl der Mikrophone, der Mikrophonaufstellung oder der sonst eingesetzten Technik. Eine tontechnisch interpretationsfreie stereophone Aufnahme gibt es nicht. Daran läßt sich die künstlerische Verantwortung und das gestalterische Können eines Toningenieurs / Tonmeisters ablesen, indem er im Zusammenspiel mit der Musik und den ausübenden Künstlern ein stereophones Klangbild schafft, welches bewußt durch das Einfügen dramaturgischer Elemente von den Schallereignissen und Wahrnehmungen beim natürlichen Hören abweicht. Erstaunlicherweise wird der verantwortlichen Personengruppe eine Mitwirkung bei Tonaufnahmen im Sinne des Urheber- und Leistungsschutzrechtes insbesondere in Deutschland vom Gesetzgeber bis heute abgesprochen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß übertragungstechnisch gesehen die herkömmliche Stereophonie kein natürliches Schallereignis erzeugen oder rekonstruieren kann, was zunächst eine enorme Einschränkung für Dokumentationszwecke gewertet werden könnte. Sie bietet aber als eigenständiges System eine besondere Art der Aufführungspraxis von akustisch dargebrachter Kunst, welche sich die gestalterischen Mittel dieses Systems zunutze machen kann. Dies ist für die Musikwiedergabe entscheidend und kann auch bei Dokumentationen wie z.B. Livekonzerten so eingesetzt werden, daß der Zuhörer zumindest einen Eindruck vom



akustischen und insbesondere musikalischen Geschehen bekommt. Bei Studioproduktionen bietet die Stereophonie enorm viele gestalterische Möglichkeiten und führt zu eigenständigen akustischen Erlebnissen. Daher ist sie gerade für die Musikwiedergabe besonders geeignet und findet ihre Bestätigung in der weltweiten und vielfältigen Anwendung bei Musikaufnahmen.

Interessant ist auch, daß vielfach stereophone Tonträger „nebenbei“ gehört werden, also nicht im idealen Stereodreieck. Die räumliche Wahrnehmung ist dann stark eingeschränkt und beschränkt sich häufig, quasi monophon, auf die Lokalisation einer der beiden Lautsprecher (vgl. Kap. 5.1 und Bild 5_5: Hörzone). Allerdings bleiben dabei viele dramaturgische Elemente wahrnehmbar. Dies ist auch ein Faktor für die allgemeine Akzeptanz der Stereophonie.

Für die Stereophonie sind die Parameter der Summenlokalisierung mit lediglich zwei Schallquellen im Laufe der Zeit optimiert worden, wodurch sich die bekannte Lautsprecheraufstellung im Stereodreieck und die erläuterten stereophonen Aufnahmetechniken ergeben. Die Stereophonie stellt daher nicht nur das älteste und weitverbreitetste, sondern auch das ausgereifteste Mehrkanalverfahren dar, das durch seine einfache Handhabung weltweit und vielfältig genutzt wird. Aus diesem Grund wird die Stereophonie auch in Zukunft neben anderen Mehrkanalverfahren ihre Berechtigung und ihre Anwendung bei der Musikwiedergabe finden.

**Literatur (Auswahl):**

BLAUERT, J.: *Räumliches Hören*, Hirzel Verlag Stuttgart 1974

BLAUERT, J.: *Räumliches Hören - Nachschrift, neue Ergebnisse und Trends seit 1972*, Hirzel Verlag Stuttgart 1985

DICKREITER, M.: *Handbuch der Tonstudioteknik*, Band I und II, 5. Auflage 1987 / 1990, Verlag K.G.Saur 1987 / 1990

GERNEMANN, A.: *Meßtechnische Untersuchung der akustischen Vorgänge beim natürlichen Hören im Vergleich zu den Vorgängen bei der Laufzeit- und „Intensitäts“-Stereophonie*, Verlag Shaker Aachen 1995

GERNEMANN, A.: *Die stereophone Perspektive - eine Definition und praktische Anwendung*, aus *Bericht 19. Tonmeistertagung 1996*, Verlag K.G.Saur 1997, S. 392 bis 410

GERNEMANN, A., RÖSNER, T.: *Die Abhängigkeit der stereophonen Lokalisation von der Qualität der Wiedergabelautsprecher*, 20. *Tonmeistertagung 1998*, Verlag K.G.Saur 1999, S. 828 bis 846

GRAY, M.H.: *The Birth of Decca-Stereo*, Association for Recorded Sound Collections, Bd. 8 Nr.1; S. 7

KEIBS, L.: *Perspektiven für eine raumbezogene Rundfunkübertragung*, aus *Gravesaner Blätter* Nr. 22 1961, S. 2 bis 40

KUHL, W., PLANTZ, R.: *Die Kombination eines Verzögerungsgerätes mit einem Nachhallgerät zur Erzielung eines Raumeindruckes bei mehrkanaligen Schallübertragungen*, aus *Rundfunktechnische Mitteilungen*, Nr 2 1976, S. 39 bis 34

THEILE, G.: *Hauptmikrofon und Stützmikrophone - neue Gesichtspunkte für ein bewährtes Aufnahmeverfahren*, aus *Bericht 13. Tonmeistertagung 1984*, Verlag K.G.Saur 1985, S. 170 bis 185

WEBERS, J.: *Tonstudioteknik*, 4. Auflage, Franzis-Verlags GmbH München 1985