

## Psychoakustische Effekte und Artefakte durch binaurale Aufnahmemethoden

Bei der binauralen Aufnahmemethode werden mindestens zwei Mikrofone jeweils am linken und rechten Ohr, meistens in einem Kunstkopf, platziert um einen Raumklang bei Benutzung von Kopfhörern zu imitieren und eine präzisere natürlichere Schalllokalisation zu simulieren. Diese Aufnahmemethode funktioniert nur bei der Verwendung von Kopfhörern bei der Wiedergabe, um einen natürlicheren Höreindruck zu erzeugen. Man muss aber nicht zwingend auf einen natürlicheren Höreindruck aus sein. Ich will versuchen Effekte und Artefakte aus Geräuschen oder Instrumenten aufzunehmen, die durch binaurale Aufnahmen, welche in Kombination mit dem menschlichen Gehör und psychoakustischen Effekten aus dem Stereodreieck, entstehen. Ich habe mich schon immer für psychoakustische Effekte interessiert und da ich mich für Psytrance interessiere und dort auch viele psychoakustische „Tricks“ in der Produktion zum Einsatz kommen. Ausserdem mag ich holistische Ansätze und bin der Meinung, dass bei der Musikproduktion die Bio- und Psychologie des Menschen so gut wie möglich mit einbezogen werden sollen.

Binaurale Aufnahmen werden in der Regel bei Höraufnahmen eingesetzt aber man könnte die Methode auch sehr gut im Gaming Bereich anwenden da dort meistens ein Headset benutzt wird. Es wäre auch möglich eine eigene Soundeinstellung für das jeweilige Program zu bieten in dem man eine binaurale und eine normale Aufnahme zur Verfügung stellt.

Früher wurde binaural oft mit Stereo gleichgesetzt. Bei Stereoaufnahmen werden allerdings Aufnahmen nur beim Hören über Lautsprecher abgemischt. Dabei werden allerdings die vom Menschen zur Schalllokalisation natürlich-biologischen Eigenschaften wie Kopf und Ohrmuschelform in der Aufnahme nicht benutzt, da beim Hören über Stereolautsprecher im Stereodreieck das Gehör die Ohrsignale selber bildet. Ich will versuchen experimentelle Klangbilder zu entwickeln die zwar binaural aufgenommen werden aber trotzdem über Stereolautsprecher abgespielt werden können um ungewöhnliche Raumeffekte oder Audioartefakte zu erzeugen und zu verstehen oder binaurale Aufnahmebilder durch Benutzung von weiteren Mikrofonen und deren Abstand und Relation zueinander zu manipulieren.

Binaurale Aufnahmen sind so gesehen Stereoaufnahmen mit besonderer Aufnahmetechnik, die nur mit Kopfhörern „korrekt“ im Ohr wieder abgebildet werden und werden deswegen auch oft als Kopfhörer-Stereofonie bezeichnet. Sie sind die derzeit beste Lösung um die unterbundenen natürlichen Hörsignale zu ersetzen um einen natürlichen Raumklang bei Benutzung von Kopfhörern so realitätsnah wie möglich zu reproduzieren.

Da Schallereignisse erst zu Hörereignissen werden wenn die Schallwellen durch das individuelle Gehör eines Menschen durchgedrungen sind und das Gehirn sie als Reiz verarbeitet hat. Sind die Empfindungen eines Hörereignisses nicht messbar jedoch statistisch durch psychoakustische Hörstudien erfassbar. Diese Psychoakustik spielt eine große Rolle bei binauralen Aufnahmemethoden und um sie zu verstehen muss man die Verschiedenen Mechanismen die im menschlichen Gehör vorliegen, verstehen und simulieren können.

Der Mensch ordnet Schallereignisse durch das subjektive Empfinden von Hörereignissen bestimmten Richtungen zu. Wir besitzen Wahrnehmungsmechanismen für die halbe Horizontalebene und die Medianebene. In einem Kopfbezogenem Koordinatensystem wird die 0° Achse als die Richtung waagrecht nach vorn definiert.

## Horizontalebene:

Sobald die Schalquelle nicht mehr auf der 0° Achse in der horizontalen Ebene liegt, erreichen identische Schwingungsphasen das linke und rechte Ohr nicht mehr gleichzeitig und in verschiedenen Pegeln, dieses Phänomen nennt man „Interaurale Laufzeitdifferenzen“ - ITD (Interaural Time Difference) und „Interaurale Pegeldifferenzen“ - ILD (Interaural Level Difference). Dies sind winzige Laufzeitdifferenzen die das menschliche Gehör allerdings schon ab 10 Mikrosekunden - 1/10000 Sekunde - auswerten kann, was in der Horizontalebene etwa 1° entspricht. Bis zu einer Laufzeitdifferenz von 630 Mikrosekunden erhöht sich die seitliche Lokalisation in etwa proportional zum Laufzeitunterschied. Eine Laufzeitdifferenz von 630 Mikrosekunden entspricht einer Wegstreckendifferenz des Schalls von 21,5 cm. Diese Größe wird auch „Hornbostel-Wertheimer-Konstante“ genannt und entspricht der Wegstreckendifferenz bei Schalleinfall aus 90° bzw. 270° Einfallrichtung bei einem durchschnittlichem Abstand der beiden Ohren am menschlichen Kopf.

Durch interaurale Signaldifferenzen kann Schall in der Horizontalebene lokalisiert werden. Hierbei kann allerdings nicht zwischen Schall aus der vorderen und hinteren Horizontalebene unterschieden werden, weil die interauralen Signaldifferenzen gleich sind. Man unterscheidet drei Frequenzbereiche:

- Unter 800 Hz beruht die Bestimmung des ITD vor allem auf der Auswertung von Phasendifferenzen zwischen den Ohrsignalen. Die ILD spielen hierbei keine Rolle
- Oberhalb 1600 Hz beruht die Bestimmung auf der Auswertung der ILD und der Auswertung der interauralen Gruppenlaufzeit Differenzen (Group Delay)
- Zwischen 800 und 1600 Hz überlappen sich die Wirkungsbereiche der Effekte. Desto höher die Frequenz wird der Winkelbereich in dem Phasendifferenzen ausgerechnet werden können kleiner, dafür steigt die Größe der ILD's

ILD's entstehen durch Abschattungen durch den Kopf und sind stark Frequenz abhängig. Frequenzen mit Wellenlängen in der Größe des Hindernis werden kaum gebeugt. Tiefere Frequenzen bilden keinen Schallschatten und somit keine für Lokalisation der Richtung brauchbaren ILD's aus jedoch haben diese tiefen Frequenzen mit den Phasendifferenzen einen besonderen Einfluss auf das Räumlichkeits- und Umhüllungsgefühl.

## Medianebene:

In der Medianebene gibt es fast keine ITD's und ILD's zwischen den beiden Ohren. Zur Lokalisation eines Schallereignisses werden akustische Eigenschaften des Außenohres genutzt. Unterschiedliche Erhebungen und Vertiefungen der Ohrmuschel bilden zusammen mit dem Gehörgang ein Resonationssystem, das je nachdem, ob der Schall von vorne, hinten oder oben eintrifft, unterschiedlich angeregt wird. Hierdurch entstehen richtungsabhängige Minima und Maxima im Frequenzgang der Ohrempfindlichkeit. Das dadurch veränderte Geräusch wird vom Gehör in der Medianebene lokalisiert und klanglich korrigiert.

Frequenzbereiche die durch Richtung angeregt werden richtungsbestimmende Bänder genannt. Jeder Mensch besitzt andere Frequenzgänge für vorne, oben und hinten. Mit dem Kunstkopf aufgenommene Schallereignisse, in der Medianebene, sind beim späteren abhören nur schwer zu lokalisieren. Es kommt zu Vorne-Hinten, Unten-Oben oder „im-Kopf“ Lokalisationsvertauschungen bei Kopfhörer-Wiedergabe. Eine Ursache davon ist, dass der Kunstkopf nicht ident mit der Kopfstruktur des abhörenden Menschen ist und somit nicht dieselbe Frequenzstruktur erzeugt, weil seine Filterwirkung nicht mit der individuellen Head-Related Transfer Function (HRTF) übereinstimmt. Das Hörereignis auf der Medianebene sollte nicht in einem zu schmalen Frequenzbereich liegen daher ist die Anwendung eines EQ's normalerweise kontraproduktiv. Durch eine Veränderung des Frequenzbereichs werden unter Umständen richtungsbestimmende Faktoren beeinflusst, was zu Lokalisationstauschungen führt welche ich aber gerne simulieren würde um das Hörereignis „spannender“ zu machen.

Die Lokalisationsgenauigkeit liegt bei Schallereignissen die dem Hörer unbekannt sind, bei ca. 17°, bei Schallereignissen im Alltag bei ca. 9°. Diese Werte gelten bei einer geradeaus Stellung des Kopfes. Je weiter ein Signal aus dem Vorwärtswinkel austritt, desto schlechter wird die Genauigkeit. Diese Ungenauigkeit in der Lokalisation würde ich mir gerne zu nutze machen und

psychoakustische Raumveränderungen und Wanderungen einzelner Instrumente oder Töne zu erzeugen.

### **Im Kopf Lokalisation:**

Die im-Kopf-Lokalisation ist ein als unangenehm empfundener Effekt, der vor allem bei Kopfhörern, aber auch bei Lautsprechern eintreten kann. Die Hörereignisse werden als im Kopf entstanden wahrgenommen anstatt als von Außen zu entstehen. Dies passiert wenn das Gehirn die eintretenden Schallereignisse und dessen Spektralen Strukturen ITD und ILD aufweisen die in ihrer Kombination unbekannt sind. Bei Lautsprechern passiert dies wenn bei Verpolung oder wenn man sie in einem Winkel von mehr als 90° zum Hörer aufstellt. Auch hierbei würde ich gerne versuchen mir diesen Effekt zu nutze zu machen um z.B. einen Kontrast zwischen „klaren“ und „schmutzigeren“ Klangfarben zu erzeugen

Man kann die Im Kopf Lokalisation experimentell simulieren indem man bei einem Stereosignal dessen beide Kanäle identisch sind, die Amplituden Werte eines Kanals invertiert und sich das entstehende Signal über Kopfhörer anhört.

### **Aufnahmemethoden und Praxis:**

Am Anfang der binauralen Aufnahmen waren alle Kunstköpfe freifeldentzerrt. Erst durch die Entwicklung von diffusfeldentzerrten Kapseln konnten binaurale Aufnahmen auch nicht dumpf über Lautsprecher wiedergegeben werden. Üblicherweise werden in Kunstköpfen Druckmikrofone benutzt bei denen sich der Diffusfeldfrequenzgang stark vom Freifeldfrequenzgang unterscheidet. Bei Direktschall aus 0° Besprechungsrichtung, bei einem Membrandurchmesser von 18mm, entsteht eine Pegelanhebung um 6 dB bei 10 kHz im Übertragungsmaß. Das wird durch Schallwellen verursacht die gleich groß oder kleiner als der Membrandurchmesser sind, diese werden reflektiert und der Schalldruck verdoppelt sich an der Membran. Das führt zu einem Höhenabfall im Diffusfeld und betrifft nur Frequenzen aus seitlicher und rückwärtiger Richtung. Für Schallwellen ab einem bestimmten Höhenbereich die von vorne auf die Membran treffen kommt es zu einer Pegelanhebung von 6 dB. Da der Kunstkopf aber nicht für eine Aufnahme im Nahfeld optimal ist, sondern eine eher größere Entfernung zur Schallquelle hat, spielt der Diffusfrequenzgang eine erheblich größere Rolle. Es gibt im diffusen Schallfeld Schalleinfall aus allen Richtungen im Gegensatz zum freien Schallfeld. Bei der Wiedergabe sollten also ebenfalls ein diffusfeldentzerrter Kopfhörer verwendet werden falls die Klangbilder so natürlich wie möglich ankommen sollen. Kopfhörer mit einem ebenen Diffusfeldübertragungsmaß bieten optimale Klangneutralität. Noch besser sind Kopfhörer mit einer speziellen IRT(Institut für Rundfunk)-Entzerrung.

Binaurale Aufnahmen können jedoch auch ohne Kunstkopf aufgenommen werden dazu braucht man zwei Mikrofone die seitwärts voneinander weg zeigen und einen Abstand von der Mikrofonbasis weg von 17 cm - 22 cm zueinander haben, welche die angenäherte Position der Ohrkanäle eines „durchschnittlichen“ Menschen darstellen. Ein Schallabsorbierender oder reflektierender Trennkörper (z.B. Ball oder Platte) wird zwischen den Mikrofonen platziert um den Kopf angenähert zu simulieren - siehe „Jecklin-Scheibe. Die Mikrofone werden leicht nach außen gedreht. Jecklin vergrößerte neuerdings den Scheibendurchmesser in seinen Skripten auf 35 cm und die Mikrofonbasis auf 36 cm Abstand. Ein anderes Beispiel wäre das Kugelflächenmikrofon welches auf Vorschlag von Günther Theile nach einem Vortrag auf der Tonmeistertagung 1994 zu einem Produkt entwickelt wurde. Dieses erzeugt jedoch angeblich Spektraldifferenzen die bei Lautsprecher Stereophonie ungewünscht ist.

Aufwändigere Techniken bestehen aus genauen Kopfnachbildungen eines Kunstkopfes. So ein „Kunstkopfmikrofon“ besteht aus zwei Kondensator-Studio Mikrofonen mit Kugelcharakteristik, die im Gehörgang des Kunstkopfes eingesetzt sind. Somit werden die in psychoakustischen Forschungsgemeinschaften erarbeiteten HRTF nachgebildet. Der erste Stereokunstkopf mit Nachbildung des menschlichen Gehörgangs wurde schon 1933 gebaut. Heutzutage sind die am meisten benutzten Kunstköpfe der KU-81 und KU-100, der Firma Neumann. Der KU-80 konnte sich eher nicht durchsetzen da durch die Entzerrung der Mikrofone, die Wiedergabe über Lautsprecher zu dumpf ist. Sonst werden noch Kunstköpfe von KEMAR und Head Acoustics angeboten. Die Kunstköpfe von Head Acoustics bieten eine automatische Frequenzgangstellung.