

# Virtuelle Surround-Systeme

Florina Mohamed-Omar, fm036, 23429

Christian Knörzer, ck096, 23112

Inhalt:

1. Wie funktioniert räumliches Hören?
  - a. Entfernungswahrnehmung
  - b. Richtungswahrnehmung ...
    - i. ...durch Laufzeitdifferenzen
    - ii. ... durch Intensitätsdifferenzen
    - iii. ...durch richtungsbestimmende Bänder
  - c. Kunstkopf-Stereofonie
2. Beispiele für virtuelle Surround-Systeme
  - d. Beyerdynamic Headzone pro
  - e. Smyth SVS Realiser A-8
  - f. Binaural Sky

## 1. Wie funktioniert räumliches Hören?

Um sich die Funktionsweise der in Abschnitt 2 vorgestellten Systeme vorstellen zu können, sollte man zunächst wissen, wie das räumliche Hören des Menschen an sich in etwa funktioniert. Dabei soll im Folgenden sowohl die Entfernungswahrnehmung, als auch die Richtungswahrnehmung erklärt werden.

### a. Entfernungswahrnehmung

Um die Entfernung einer Schallquelle auszumachen, vergleicht das Gehirn das empfangene Signal mit erlernten Reizmustern, es verlässt sich also auf Erfahrungswerte.

Dabei können verschiedene Faktoren eine Rolle spielen:

1. Das Gehirn berechnet zum Beispiel das **Verhältnis aus direktem und diffusem Schall**. Dies ist möglich, da der diffuse Schall unabhängig von der Schallquellenentfernung konstant bleibt, wohingegen der Pegel des direkten Schalles mit zunehmender Entfernung abnimmt.
2. Selbstverständlich orientiert sich das Gehirn an der **Lautheit** des Signals. Was weiter weg ist, hat einen geringeren Pegel. Dies funktioniert ausschließlich bei bekannten Signalen.
3. Auch die Zeitdifferenz zwischen dem beim Hörer ankommenden direkten Signal und der ersten schallstarken Reflexion, die sogenannte „**Anfangszeitlücke**“ wird mit einberechnet.
4. Schließlich orientiert sich das Gehirn auch an der **spektralen Verteilung** des Signals. Das Spektrum eines Signals wird auch in Abhängigkeit von der Entfernung zur Schallquelle verändert. So werden hohe Frequenzen von der Luft stärker absorbiert als tiefe, aber auch Bassanteile nehmen mit der Entfernung wegen der Kugelförmigkeit der Wellen stark ab.
5. Ist ein Signal an einem Ohr sehr viel lauter als am anderen (sogenannte „**Interaurale Pegeldifferenzen**“), so kann das Gehirn darauf schließen, dass man sich sehr nahe an der Schallquelle befindet<sup>1</sup>.

### b. Richtungswahrnehmung

Auch die Richtungswahrnehmung ist ein Zusammenspiel verschiedener Arbeitsweisen des Gehirns. Die Richtungswahrnehmung geschieht durch ...

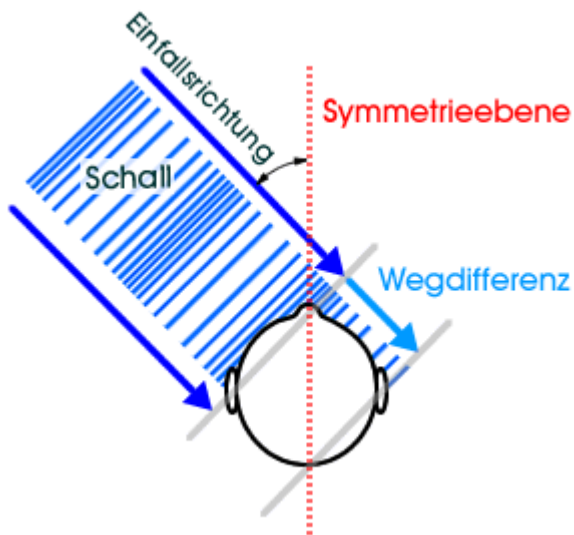
... **Laufzeitdifferenzen** zwischen dem linken und dem rechten Ohr. Immer wenn der Abstand der Schallquelle zum linken Ohr ein Anderer ist als der Abstand der Schallquelle zum rechten Ohr kommt es zu Laufzeitunterschieden. Dieser winkelanhängige Zeitunterschied sorgt für eine Phasenverschiebung, die interpretiert und in eine Richtungsinformation umgewandelt wird. Dies geschieht mit einer Genauigkeit von ungefähr 3°. <sup>2</sup> Ein um drei Grad nach links verschobenes Signal kann vom Gehirn also schon von einem mittigen Signal unterschieden werden. Um zu verdeutlichen, wie genau das Gehirn dabei arbeiten muss, wird im Folgenden der Zeitunterschied zwischen dem Signal am linken und am rechten Ohr errechnet.

$$\sin \alpha = \frac{\Delta s}{k} \quad \Leftrightarrow \quad \Delta s = \sin \alpha * k$$

mit  $\Delta s$ : Wegdifferenz,  $k$ : Abstand der Ohren,  $\alpha$ : Einfallswinkel

<sup>1</sup> Vgl. Wikipedia, <http://de.wikipedia.org/wiki/Entfernungsh%C3%B6ren>

<sup>2</sup> Vgl. [http://www.laermorama.ch/laermorama/modul\\_hoeren/raeumlich\\_w.html#zweiohrig](http://www.laermorama.ch/laermorama/modul_hoeren/raeumlich_w.html#zweiohrig)

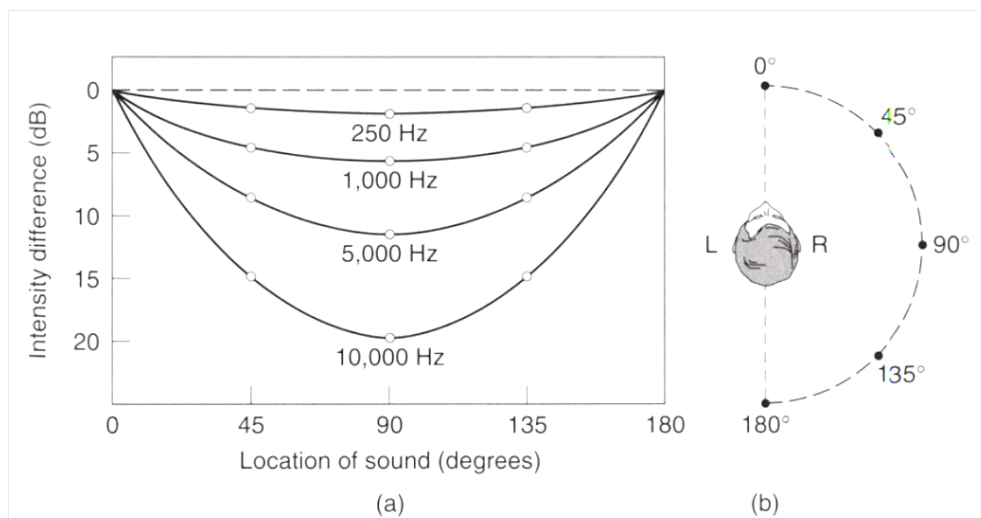


#### Laufzeitdifferenzen zwischen rechtem und linkem Ohr (1)

Bei einem durchschnittlichen Kopfdurchmesser von 17cm macht das für  $\Delta s = 0,8897\text{cm}$ . Bei einer Schallgeschwindigkeit von 340m/s beträgt die Zeitdifferenz also  $26,17\mu\text{s}$ , ein fürs Gehirn wahrnehmbarer Zeitunterschied<sup>3</sup>. Allerdings funktioniert die Ortung durch Phasendifferenzen nur bis zu einer bestimmten Frequenz, ab welcher mehrere Wellenlängen in die Wegdifferenz passen, was vor allem schnell der Fall ist, wenn der Schall von der Seite kommt. Ab dieser

Frequenz (ca. 800Hz) kann das Gehirn nicht mehr feststellen, welches Signal einen Phasenvorsprung und welches den Phasenrückstand hat.<sup>4</sup>

... **Pegeldifferenzen** zwischen dem linken und dem rechten Ohr. Ab einer Frequenz von ca. 1600Hz bildet der Kopf ein großes Hindernis in Relation zur Wellenlänge, was dazu führt, dass auf der schallabgewandten Seite ein Schallschatten entsteht, dort der Pegel des Signals also geringer ist. Im Bereich zwischen 800Hz und 1600Hz ist der Übergang zwischen beiden genannten Arbeitsweisen fließend. In der Natur treten Pegel- und Laufzeitunterschiede stets gemeinsam auf, sodass sich deren Wirkungen summieren. Über Kopfhörer dagegen kann man beide Techniken auch entgegengesetzt einsetzen und diese sich aufheben lassen. Dabei entspricht ein Zeitunterschied von einer Millisekunde abhängig von der Frequenz einem Intensitätsunterschied von fünf bis zwölf Dezibel.<sup>5</sup> Gäbe es nur diese zwei Arbeitsweisen, könnte man Schallereignisse von vorne und hinten sowie oben und unten in ihrer Richtung nicht voneinander unterscheiden. Würde man sich ein Ohr zuhalten, so könnte man Schall überhaupt nicht mehr lokalisieren. Um also Schall in der sogenannten „Medianebene“ ebenfalls orten zu können, bedarf es einer weiteren Arbeitsweise des Gehörs.



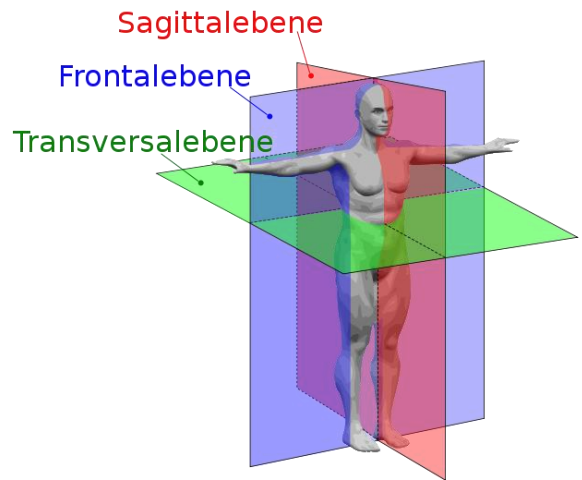
Pegeldifferenzen zwischen rechtem und linkem Ohr in Abhängigkeit vom Winkel(2)

<sup>3</sup> Vgl. [http://www.laermorama.ch/laermorama/modul\\_hoeren/raeumlich\\_w.html#zweiohrig](http://www.laermorama.ch/laermorama/modul_hoeren/raeumlich_w.html#zweiohrig)

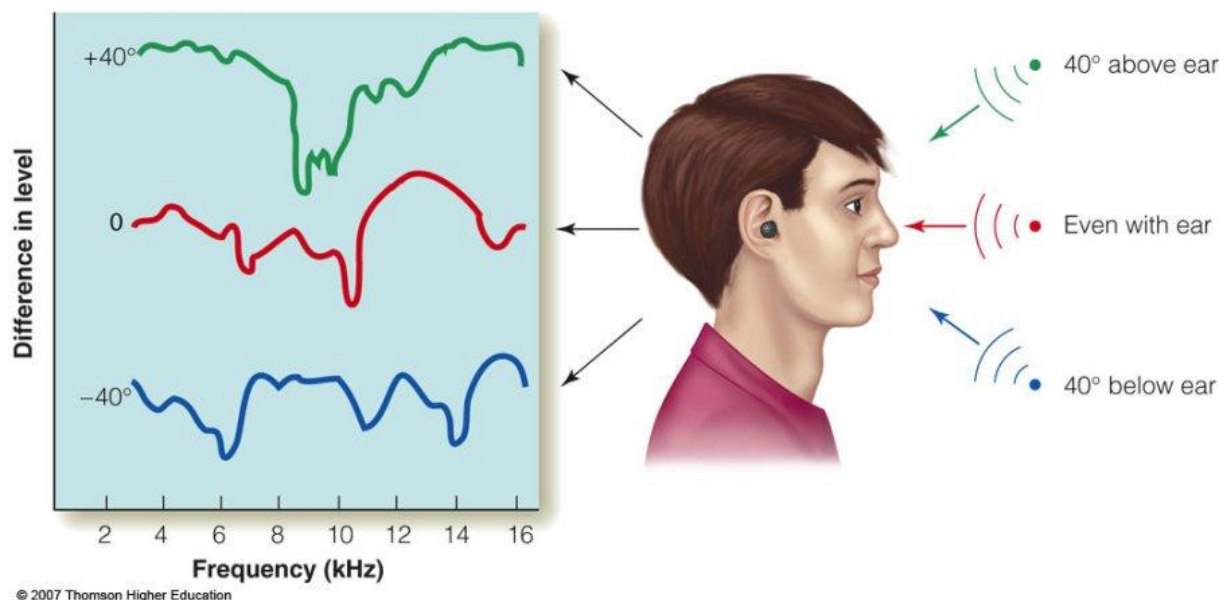
<sup>4</sup> Vgl. <http://www.tmr-audio.de/homemain/wissenswertes-ueber-hifi/faq/das-hoeren/150-raeumliches-hoeren>

<sup>5</sup> Vgl. [http://www.laermorama.ch/laermorama/modul\\_hoeren/raeumlich\\_w.html#zweiohrig](http://www.laermorama.ch/laermorama/modul_hoeren/raeumlich_w.html#zweiohrig)

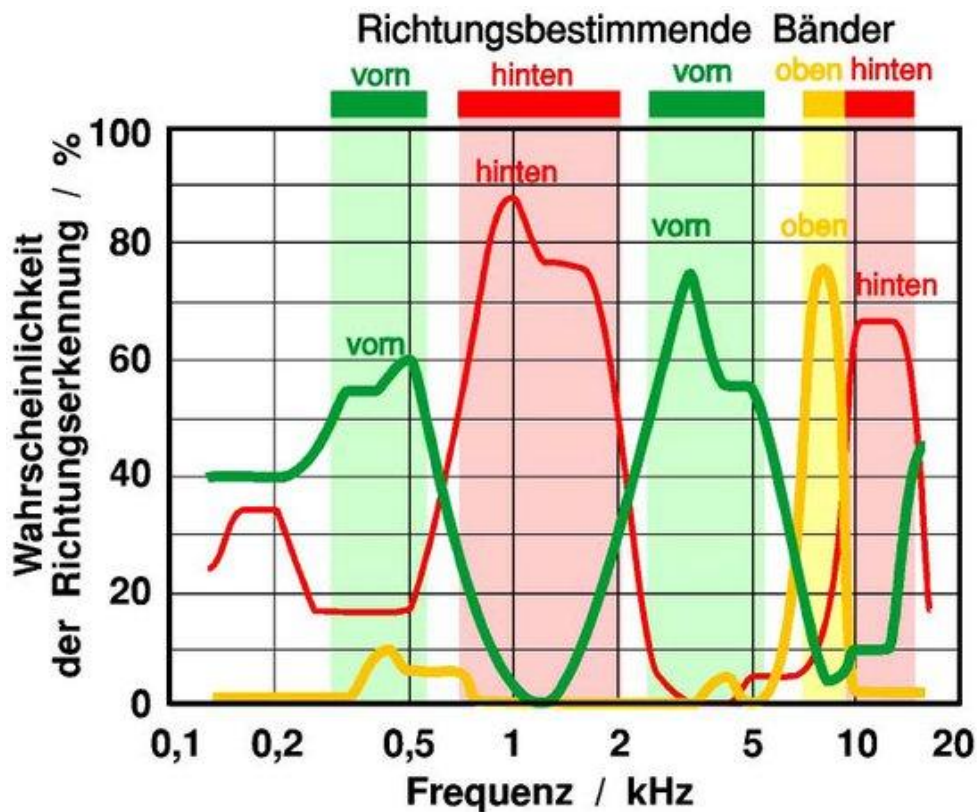
...**richtungsbestimmende Bänder**. Zur Ortung von Schall in der Median- bzw. Sagittalebene (siehe Bild) macht sich das Gehirn die Eigenschaften des Außenohres zunutze, genauer die Ohrmuschel mit ihren verschiedenen Erhebungen und Vertiefungen, welche zusammen mit dem Gehörgang ein Resonatorsystem bilden, dass, je nachdem, ob der Schall von vorne, oben oder hinten eintrifft, unterschiedlich angeregt wird. Je nachdem, wie der Schall eintrifft, kommt es zu unterschiedlichen Reflexionen, welche dementsprechend unterschiedliche Überhöhungen und Absenkungen bestimmter Frequenzbereiche zur Folge haben. Im Ohr entstehen richtungsabhängige Minima und Maxima. Diese Frequenzveränderungen werden „richtungsbestimmende Bänder“ oder „Blauertsche Bänder“ genannt und werden vom Gehör zur Richtungsbestimmung in der Medianebene interpretiert. Da jeder Mensch andere Außenohren und eine andere Kopfform hat, sind diese richtungsbestimmenden Bänder von Mensch zu Mensch und sogar von Ohr zu Ohr verschieden und beruhen auf erlernten Reizmustern. Die mathematische Beschreibung der Filterwirkung von Kopf, Außenohr und Rumpf nennt man „Head-Related-Transfer-Function“ (kurz: HRTF), oder „Kopfbezogene Übertragungsfunktion“. Die dadurch verursachten Klangfarbenunterschiede werden vom Gehör nicht bewusst wahrgenommen. Die Lokalisation in der Medianebene ist sehr viel schlechter als die Lokalisation durch Pegel- und Laufzeitunterschiede. Bei bekannten Signalen liegt die Genauigkeit bei ca. 9°, bei unbekanntem Signalen bei etwa 17°.



Die Medianebene bzw. Sagittalebene, rot eingefärbt (3)



Richtungsabhängige Frequenzunterschiede des Außenohrs (4)



Blauerte Bänder: Die Abbildung zeigt die relative Angabe-Häufigkeit von Versuchspersonen in Prozent, die Buchstaben v, h, o stehen für vorne, hinten, oben (5)

### c. Kunstkopf-Stereofonie

Um zu zeigen, dass die Idee, einen Surround-Sound für Kopfhörer zu schaffen, nichts Neues ist, wird im Folgenden auf das Kunstkopf-Verfahren eingegangen.

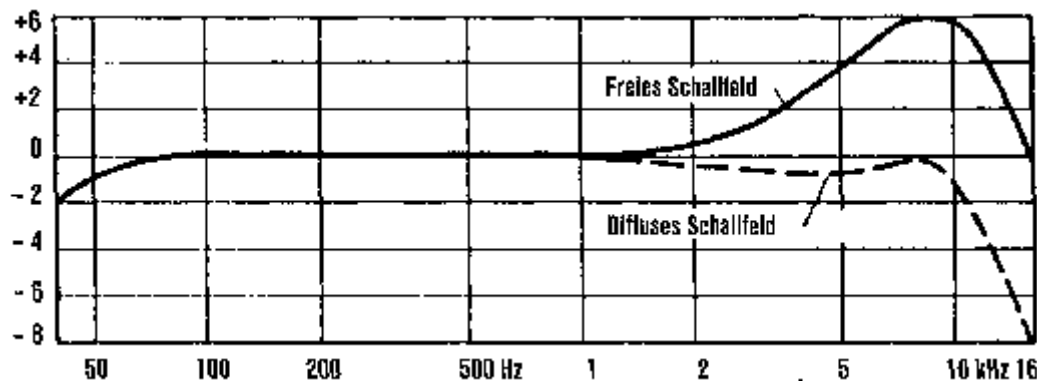
Bei der Kunstkopf-Stereofonie wird ein Kunstkopf benutzt um das menschliche Hörempfinden nachzuahmen, was allerdings nur dann zufriedenstellend funktioniert, wenn die Unterschiede des verwendeten Kunstkopfes zum Kopf des Hörers nicht zu groß sind. Man benutzt einen Kunstkopf mit zwei Mikrofonen (zwei Druckempfänger) im Ohr. Diese Art von Stereofonie ist nur für Kopfhörer gedacht. Die aufgenommenen Signale werden für jedes Ohr getrennt eingespielt. Bei Lautsprechern hätte man ein Übersprechen und dadurch ginge der Raumeindruck verloren.

1973 baute Neumann den ersten eingesetzten Kunstkopf, mit dem Namen KU80. Dieser Kunstkopf ist freifeldentzerrt. Zu einer Freifeldentzerrung kommt es, wenn man direkt von vorne auf ein Mikrofon spricht. Das freie Feld ist reflektionsarm. Wellenlängen die gleich oder kleiner als die Mikrofonkapsel sind, werden gleichphasig reflektiert und dann gleichphasig addiert. Dadurch entsteht ein sogenannter Druckstau. Es kommt zu einer Erhöhung um 6dB bei 1kHz.



Neumann KU 80 (6)

Im Diffusfeld hingegen, können Schallwellen mit einer kurzen Wellenlänge, die von der Seite oder von hinten kommen, nicht um die Mikrofonskapsel gebeugt werden. Deshalb kommt es zu einem Höhenabfall.



#### Frequenzgang im Frei- und Diffusfeld (7)

Aus diesem Grund klingt die Wiedergabe über Lautsprecher beim ersten Kunstkopf noch sehr dumpf. Das Nahfeld spielt bei Aufnahmen nicht so eine große Rolle wie das Diffusfeld.

Das Ziel des 1982 von Neumann entstandenen Kunstkopfes KU 81, jetzt diffusfeldentzerrt, war die Lautsprecherkompatibilität.

Die Head-Related Transfer Function wurde nicht berücksichtigt und deshalb kam es immer noch zu starken Verfärbungen bei der Wiedergabe über Lautsprecher.



Neumann KU 81 (8)

### Beispiele für virtuelle Surround-Systeme

#### b. Beyerdynamic Headzone pro

**Die Idee:** Die Parameter eines idealen Abhörtraums mit der Lautsprecheraufstellung eines 5.1. Surround-Systems so nachzubilden, dass sie in einem leichten, kompakten und transportablen Gerät, in Form von einer externen Soundkarte zu Verfügung stehen. Mit neuesten Signalbearbeitungstechnologien sollen die Audiokanäle so bearbeitet werden, dass sie über Kopfhörer genauso wahrgenommen werden wie in einem realen Raum. Im Gegensatz zu anderen Lautsprecher-Surround-Systemen, die durch Stereobasisverbreitung und Halleffekte einen sehr diffusen „Raumeffekt“ erzeugen, bietet Headzone die Qualität eines realen 5.1. Lautsprechersystems in einem hochwertigen Abhörtraum. Jeder Surround-Kanal soll als separater, virtueller Lautsprecher wiedergegeben werden, so dass der Nutzer ihn exakt im Raum positionieren kann.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Vgl. <http://www.beyerdynamic.de/kopfhoerer-headsets/kopfhoerer-headsets/headzone/headzone-technologie.html>



Die Headzone-Technologie (9)

Die Headzone-Technologie beruht auf der Binaural Environment Modelling Technologie. Eine binaurale Tonaufnahme ist eine Aufnahme von Schallsignalen mit jeweils einem Mikrofon für das rechte/linke Ohr. Somit gibt es bei der Wiedergabe jeweils ein Kanal für das rechte/linke Ohr und ein natürlicher Höreindruck kann vermittelt werden. Die binaurale Tonaufnahme erfolgt häufig mit der Kunstkopf-Stereofonie.

Aufgrund der Anatomie würde der Mensch normalerweise in Stereo hören, doch das Gehirn ist dazu fähig Signale in Bezug zueinander bewerten zu können. Dadurch entsteht der hörbare 3D Effekt.

Byerdynamic versucht nun diesen 3D Effekt nachzuahmen. Entscheidende Faktoren für die Nachahmung dieses 3D Effekts sind:

- HRTF
- Verhältnis von Direkt - und Diffusschall : Eine Schallquelle in unmittelbarer Nähe hat einen höheren Direktschallanteil als eine weiter entfernt liegende Schallquelle
- Typische Muster früher Reflexionen im Raum: Unser Körper nutzt einige dieser Reflexionen, um die Entfernung zur Schallquelle zu ermitteln, während andere die Wahrnehmung der Größe des umgebenden Raums ermöglichen
- Headtracking: In natürlicher Umgebung drehen Menschen unbewusst den Kopf (minimale Kopfbewegungen) die für ein natürliches Hören sehr wichtig sind. Dadurch können wir zwischen Vorne und Hinten unterscheiden. Bei Headzone wird genau diese natürliche Hörweise im Kopfhörer realisiert. Headzone registriert kontinuierlich die Kopfbewegungen des Hörers und berücksichtigt diese bei der Wiedergabe von Audiosignalen.

Alle diese Faktoren kann Headzone durch digitale Signalverarbeitung nachahmen.<sup>7</sup>

#### *Virtuelle Lautsprecher:*

Wenn ein Lautsprecher z. B. aus 3m Entfernung und 30° links vom Kopf aus ein Mono-Signal sendet, so hat er spezifische Charakteristika wie Frequenzgang, Laufzeit, Raumanteile, usw. Unser Gehirn wertet dies aus und platziert so den Lautsprecher. Headzone fügt diese Informationen mittels digitaler Signalverarbeitung hinzu. So entsteht der „virtuelle Lautsprecher“.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Vgl. <http://www.beyerdynamic.de/kopfhoerer-headsets/kopfhoerer-headsets/headzone/headzone-technologie.html>

<sup>8</sup> Vgl. ebenda

### *Virtueller Regieraum:*

Der Klang eines echten Lautsprechers wird auch durch den Raum, in dem er steht beeinflusst . Deshalb braucht man zusätzlich einen virtuellen Regieraum. Die Audioindustrie definiert bereits seit längerem die Eigenschaften von Abhörräumen: OIRTE 86/3, IEC 268-13, ISO 2969, usw. Diese verschiedenen Normen zeigen vor allem, dass es den perfekten Regieraum nicht gibt und individuell unterschiedlich ist. Dennoch gibt es Eigenschaften, die ein guter Regieraum haben sollte:

- Hallzeit 250-400 ms
- Definierte Raumgeometrie
- Geringes Niveau an Hintergrundgeräuschen
- Keine starken Reflexionen, die den Klang verfärben könnten
- Eine sehr diffuse Hallfahne

Diese Eigenschaften sind die Basis des virtuellen Regieraums. Den individuellen Regieraum kann sich dann der Hörer selbst bauen.

Die einstellbaren Parameter sind Raumgröße, Abstand zwischen den Lautsprechern und die Eigenschaften des Regieraums. Es gibt insgesamt drei Schieberegler: Raumgröße, Abstand und Raumeindruck. Diese sind regelbar im Bereich von 0-100. Dadurch kann man entweder seinen Regieraum immer mitnehmen oder auch Mischungen in verschiedenen Räumen anhören.<sup>9</sup>

### *Head-Tracking:*

Ein gravierender Unterschied zwischen Abhörraum und Kopfhörer ist, dass sich bei einem herkömmlichen Kopfhörer die Lautsprecher sich bei Kopfbewegungen mit drehen.

Durch Head-Tracking wird mittels Ultraschall kontinuierlich die Kopfposition des Hörers registriert und die Audiowiedergabe entsprechend angepasst. Wenn also der Hörer einen Lautsprecher in die rechte Ecke positioniert, bleibt dieser da, egal wie der Hörer seinen Kopf bewegt.

Der zweite Punkt ist die Lokalisation. Wie schon erwähnt drehen wir unbewusst minimal den Kopf, um Schallquellen lokalisieren zu können. Head-Tracking stellt sicher, dass das Gehirn neue Rauminformationen bei Kopfdrehungen erhält.<sup>10</sup>

### *Hardware:*



### **Die Vorderseite des Headzone-Prozessors (10)**

<sup>9</sup> Vgl. <http://www.beyerdynamic.de/kopfhoerer-headsets/kopfhoerer-headsets/headzone/headzone-technologie.html>

<sup>10</sup> Vgl. ebenda



Auf der Vorderseite befinden sich die Klinkenbuchse, die Headtracker-Status LED, die Bypass-Taste, die dazu gehörige Status LED, die Input-Select Taste, die Input-Select LEDs und der Lautstärkereger.



#### Die Rückseite des Headzone-Prozessors (11)

Auf der Rückseite befinden sich 6 digitale Audioeingänge mit einer Sample-Rate bis zu 96 KHz, der Netzschalter, der Netzanschluss, der „Input Sensivity“ Schalter (schaltet die Eingangsempfindlichkeit zwischen -10dBV und 4dBu um), die analogen Audioeingänge und der Headtracker-Anschluss.



#### Das Headzone-Rail - HR1: Headzone-Headtracker-Empfangsschiene mit zwei Ultraschallempfängern (12)

### c. Smyth SVS Realiser A-8



Der Smyth Research SVS Realiser A-8, oben: Vorderseite, unten: Hinterseite mit Cinch-Eingängen und –Ausgängen (13)

Smyth Research ist eine im Jahre 2004 von Stephen und Mike Smyth gegründete Firma mit Niederlassungen in Nordirland und Kalifornien, welche sich auf die virtuelle Rekonstruktion von real existierenden Schallfeldern spezialisiert hat.<sup>11</sup> Im Jahre 2010 wurde von eben dieser Firma auf der Musikmesse der „Smyth SVS Realiser A-8“ vorgestellt; ein Gerät, welches zunächst wie das „Beyerdynamic Headzone pro“ eine virtuelle Surround-Abhörsituation über Kopfhörer schaffen kann. Der entscheidende Unterschied liegt darin, dass der Smyth Realiser A-8 individuelle Bedingungen, was Raumakustik, Kopfhörer und die Außenohr-Übertragungsfunktion betrifft, berücksichtigt. Beim Smyth Realiser wird also - mit Hilfe eines speziellen Messvorgangs – das Kopfhörersignal an die Anatomie des Hörers (die persönliche Außenohr-Übertragungsfunktion) und an die real existierende Abhörsituation angepasst. Der Anwender kann so einen beliebigen Abhörraum in das System übertragen und, zusammen mit dem Realiser und einem Kopfhörer, überall hin mitnehmen. Der Namenszusatz A-8 bezieht sich auf die Fähigkeit des Systems, bis zu acht Kanäle, also acht virtuelle Lautsprecher mit einbeziehen zu können. Von Mono bis zum 7.1-System kann also jede Abhörsituation nachgebildet werden.

Wie funktioniert der Smyth Realiser?

Wie das Beyerdynamic Headzone pro liefert der Smyth Realiser eine binaurale Reproduktion eines Schallereignisses, allerdings nicht mit einem vorgegebenen Raum, sondern mit einem realen Raum. Das Ziel ist also eine realistische Darstellung aller Eigenschaften der im Raum verwendeten Lautsprecher und deren Zusammenspiel mit dem Raum und dem Hörer, schließlich wird ein von den Lautsprechern ausgehendes Impulssignal an allen Begrenzungsflächen im Raum reflektiert, bzw. gebeugt oder absorbiert. Diese Raumimpulsantwort erfährt dann schließlich noch eine Filterwirkung an Kopf und Außenohr entsprechend der HRTF. Um diese Faktoren berechnen zu können, benötigt man also auf der einen Seite Informationen über die Lautsprecher, den Raum und die Anatomie des Zuhörers, also die Einflussgrößen des Schallfeldes, welches mit einem Kopfhörer

<sup>11</sup> Vgl. Fritz Fey: „Ohrenbetäubend – Smyth Research SVS Realiser A-8“, Studio Magazin, Dez. 09.

reproduziert werden soll. Auf der anderen Seite braucht man natürlich auch Informationen über den Kopfhörer selber.

All diese Informationen werden aus zwei individuellen Messungen gewonnen. Dazu werden zwei kleine Messmikrofone an den Prozessor angeschlossen und möglichst gerade in den Gehörgang des Hörers eingesetzt. Die Lautsprecher werden nun ebenfalls an den Prozessor angeschlossen und spielen der Reihe nach sogenannte „Vollbereichssweeps“ (Abtastsignale) ab. Für jeden dieser Sweeps wird der Hörer aufgefordert, den Kopf in drei verschiedene Richtungen zu drehen (in Richtung Center-Lautsprecher, Front-Left und Front-Right).<sup>12</sup> Dies ist später wichtig für das Headtracking. Für jeden Lautsprecher hat man also drei verschiedene binaurale Raumimpulsantworten für drei erschiedene Blickrichtungen. Dieser Datensatz nennt sich „PRIR-Datensatz“ (Personalized Room Impulse Response).<sup>13</sup> Alle Blickrichtungen dazwischen werden später durch Interpolation berechnet.



Oben: Die Messmikrofone im Größenvergleich (14),

Rechts: Die Messmikrofone im Einsatz (15)

Bei der zweiten Messung wird die Kopfhörer-Übertragungsfunktion gemessen. Die kleinen Messmikrofone bleiben dazu im Ohr, der Kopfhörer wird darüber aufgesetzt. Diesmal wird durch jeden Kopfhörerkanal ein Sweep geschickt, welcher wieder vom Mikrophon aufgenommen wird. Der Prozessor errechnet nun eine Filterkorrekturkurve, die auch die Form des Außenohres und dessen Anpassung an den Kopfhörer berücksichtigt.<sup>14</sup> Damit sind die Messungen abgeschlossen. Die individuelle Kopfhöreranpassung und die PRIR-Datensätze werden im Übrigen getrennt gespeichert, sodass, wenn ein anderer Kopfhörer verwendet werden soll, die Raumimpulsantwort und die HRTF nicht noch einmal vermessen werden muss.

Der Prozessor kann jetzt jedes Surround-Signal so umrechnen, dass es sich über Kopfhörer genauso anhört, als würde es aus den realen Lautsprechern kommen. Dazu rechnet er auf jedes Signal, was ursprünglich aus den Lautsprechern kommen sollte, die personalisierte binaurale Raumimpulsantwort auf, sodass man nun die unterschiedlichen Signale von virtuellen Lautsprechern erhält. Diese werden mit entsprechender Gewichtung summiert, um nur noch zwei

<sup>12</sup> Vgl. Fritz Fey: „Ohrenbetäubend – Smyth Research SVS Realiser A-8“, Studio Magazin, Dez. 09.

<sup>13</sup> Vgl. ebenda

<sup>14</sup> Vgl. ebenda

Kanäle, einen für rechts und einen für links, zu erhalten. Auf diese zwei Kanäle wird dann die Filterkorrekturkurve für den verwendeten Kopfhörer gelegt und über die Kopfhörer ausgegeben. Damit wirklich die Illusion entsteht, man würde über die Lautsprecher hören, wird – wie schon erwähnt – auch beim Smyth Realiser ein Headtracking-System verwendet, sodass die Boxen bei einer Kopfdrehung ortsfest stehen bleiben. Dies funktioniert allerdings nur bis zu einer Kopfdrehung von +/- 30°, da das System mit Infrarot-Licht arbeitet und somit Sichtkontakt gewährleistet sein muss. Außerhalb dieser +/- 30° gibt es drei Optionen:

- Das Signal wird stummgeschaltet: Diese Option ist für den Anfang gut, um ein Gefühl dafür zu bekommen, in welchem Bereich das Headtracking funktioniert
- Das Signal bleibt unverändert gegenüber der maximalen Auslenkung
- Das Signal springt in den 0°-Zustand: Die Option kann hilfreich sein, wenn man z.B. an einem Gerät im hinteren Bereich des Raumes etwas am Sound ändern will. Man muss dazu nicht den Sweet-Spot verlassen, denn er wandert mit.



Links: Am Kopfhörer befestigter Headtracking-Sender (16),

Rechts: Headtracking-Empfänger, wird z.B. an der Center-Box befestigt (17)



Beim Absetzen des Kopfhörers hat man wieder die Wahl: Im „Tilt“-Modus wird ab einem bestimmten Neigungswinkel auf die realen Boxen umgeschaltet, was einen verzögerungsfreien A/B-Vergleich ermöglicht. In der Praxis kann sich dies allerdings als störend erweisen; hier ist der „off“-Modus besser geeignet.<sup>15</sup> Bevorzugt eingesetzt wird der Smyth Realiser neben dem Ü-Wagen auch als relativ günstige Duplizierung eines Abhörtraumes im Studio. Andere Vorteile sind natürlich die Mobilität und das Vermeiden von Ruhestörungen bei nächtlichen „Abmisch-Aktionen“.

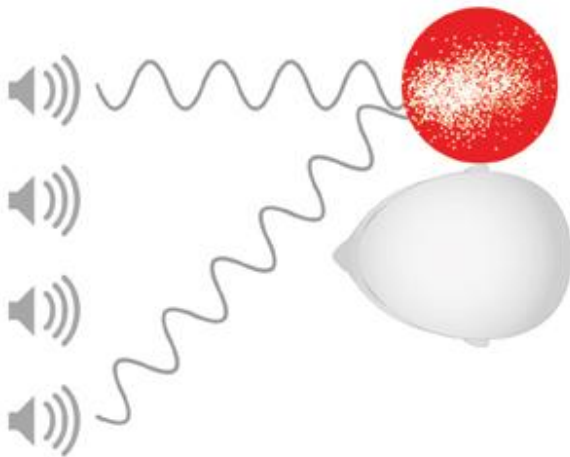
#### d. Binaural Sky

„Binaural Sky“ ist ein 2005 vom Institut für Rundfunktechnik (IRT) in München entwickeltes System für die dreidimensionale Audiowiedergabe bzw. die Wiedergabe von binauralen Signalen<sup>16</sup> (lat. Binaural: mit beiden Ohren) Binaurale Signale sind Signale, die bei der Kopfhörerwiedergabe einen natürlichen Raumeindruck mit genauer Richtungslokalisation erzeugen sollen.<sup>17</sup> Wenn binaurale Signale über Lautsprecher wiedergegeben werden sollte, muss man dementsprechend ein Übersprechen verhindern, also dafür sorgen, dass das Signal des rechten Lautsprechers nicht das linke Ohr erreicht. Das kann mit einem sogenannten „Crosstalk Cancellation Filter“ (XTC) erreicht

<sup>15</sup> Vgl. Holger Obst: „Test: Smyth Research Realiser A8“, 15. November 2010, <http://www.releasetime.de/test-smyth-research-realiser-a8/2/>

<sup>16</sup> Vgl. [http://de.wikipedia.org/wiki/Binaural\\_Sky](http://de.wikipedia.org/wiki/Binaural_Sky)

<sup>17</sup> Vgl. <http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Binaural.html>



**Figure 2** Crosstalk cancellation uses destructive-wave interference to cancel unwanted signals.

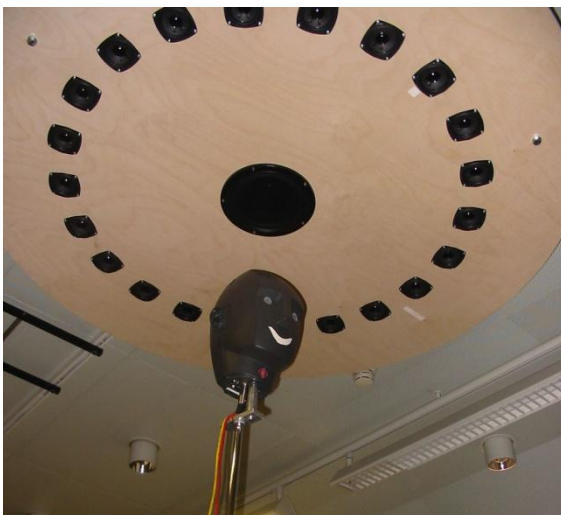
werden.<sup>18</sup> Dabei berechnet ein Algorithmus mit Hilfe von Entfernung und Winkel der Lautsprecher für jeden der Lautsprecher ein Auslöschsignal, welches das übersprechende Signal des anderen Lautsprechers aufhebt bzw. dessen Pegel senkt. Das funktioniert dadurch, dass das Übersprechsignal einen längeren Weg zurückzulegen hat und somit ca. 0,2ms länger braucht.

#### Crosstalk Cancellation Filter (18)

Bei einer Drehung des Kopfes müsste der XTC-Filter neu angepasst werden. Da dies zu hörbaren Fehlern führen kann, wäre es besser, die Lautsprecher

würden sich mit dem Kopf des Hörers mit drehen. Genau das war der Ansatz des IRT, virtuelle Lautsprecher mit Hilfe der Wellenfeldsynthese zu realisieren.<sup>19</sup>

Dazu wurde ein Lautsprecherarray aus 22 Breitbandlautsprechern installiert, welcher kreisförmig 40cm über dem Kopf des Hörers angeordnet ist. Dazu kommt ein Subwoofer in der Mitte des Arrays. Die 22 Breitbandlautsprecher haben einen Durchmesser von 8cm; der Subwoofer mit seinen

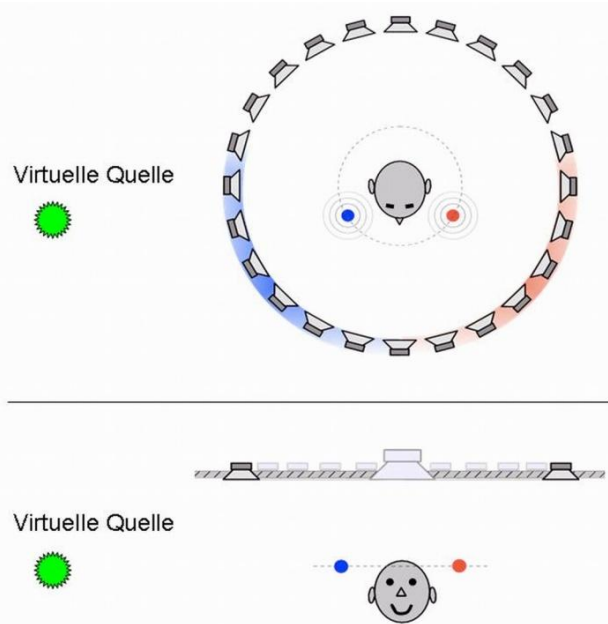


Oben: Versuchsaufbau Binaural Sky (19),

Rechts: Generierung zweier virtueller Schallquellen an den Ohren, eingezeichnet durch den roten und blauen Punkt (20)

Ausrichtung des Kopfes wird mit einem Headtracking-System in Echtzeit ausgewertet, damit sich die virtuellen Schallquellen an den Ohren des Hörers mit drehen.

20cm Durchmesser ist für Frequenzen unterhalb von 120Hz zuständig.<sup>20</sup> Die Lautsprecher können nun zwei virtuelle, punktförmige Schallquellen direkt vor den Ohren des Hörers generieren, sodass eine Art virtueller Kopfhörer entsteht. Die



<sup>18</sup> Vgl. Peter Kaminski: "Binaural Sky – 3D Sound über Lautsprecherwiedergabe", Sound&Recording, 30.03.2007.

<sup>19</sup> Vgl. Daniel Menzel, Helmut Wittek, Gunther Theile, Hugo Fastl: "The Binaural Sky: A Virtual Headphone for Binaural Room Synthesis", Contribution Tonmeistersymposium, Nov. 2005.

<sup>20</sup> Vgl. ebenda

Der große Vorteil dieses Systems ist der Umstand, dass die Lautsprecher nicht gesehen werden und keine Kopfhörer nötig sind. Außerdem ist der Lautsprecher-Array aufgrund seiner Kompaktheit leicht unterzubringen. Einen Nachteil hat das System zumindest im Moment allerdings auch: Eine richtige Wiedergabe ohne Übersprechen ist zwar bei jeder Drehung des Kopfes möglich, aber nur in der Mitte des Lautsprecher-Kreises, mit einem Spielraum von ca. 10cm.<sup>21</sup> An der Erweiterung des Spielraumes wird noch gearbeitet. Denkbare Anwendungsgebiete reichen von Flugsimulatoren und anderen „Augmented-Reality“-Systemen bis zur Hörgeräteanpassung und dem Einsatz im Ü-Wagen oder dem privaten Wohnzimmer.<sup>22</sup>

---

<sup>21</sup> Vgl. Peter Kaminski

<sup>22</sup> Vgl. ebenda

## **Bilderverzeichnis:**

- (1) [http://www.laermorama.ch/laermorama/modul\\_hoeren/raeumlich\\_w.html#zweiohrig](http://www.laermorama.ch/laermorama/modul_hoeren/raeumlich_w.html#zweiohrig)
- (2) <http://piotr.majdak.com/alg/VO/spatial1.pdf>
- (3) <http://mta-r.de/wp-content/uploads/2012/01/lagebez.png>
- (4) <http://www1.appstate.edu/~kms/classes/psy3203/SoundLocalize/HRTF.jpg>
- (5) [http://pics.computerbase.de/2/3/0/8/7/23\\_m.jpg](http://pics.computerbase.de/2/3/0/8/7/23_m.jpg)
- (6) [http://www.neumann.com/img/illuArea/ku80\\_P.jpg](http://www.neumann.com/img/illuArea/ku80_P.jpg)
- (7) <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FrequenzgangDruckempf%C3%A4nger.png&filetimestamp=20051031075004>
- (8) [http://www.neumann.com/img/illuArea/ku81\\_P.jpg](http://www.neumann.com/img/illuArea/ku81_P.jpg)
- (9) [http://www.sweetwater.com/images/closeup/xl/1600-Headzone\\_system.jpg](http://www.sweetwater.com/images/closeup/xl/1600-Headzone_system.jpg)
- (10) <http://www.beyerdynamic.de/shop/hah/headphones-and-headsets/studio-and-stage/headphones-for-live-applications/headzone-pro.html>
- (11) <http://www.beyerdynamic.de/shop/hah/headphones-and-headsets/studio-and-stage/headphones-for-live-applications/headzone-pro.html>
- (12) <http://www.beyerdynamic.de/shop/hah/accessories/headzone-rail-hr1.html>
- (13) <http://96khz.de/mediashare/6p/4g5J5egeqjtfic5audp98qbxnicr5-pre.jpg>
- (14) <http://www.hometheater.com/images/smyth-mics.jpg>
- (15) <http://www.releasetime.de/wp-content/uploads/2010/11/Ohrmikrofon.jpg>
- (16) <http://img2.magnus.de/image-f577x346-ffffff-C-1aa45cef-43096799.jpg>
- (17) [http://www.releasetime.de/wp-content/uploads/2010/11/Headtracker\\_Empfaenger.jpg](http://www.releasetime.de/wp-content/uploads/2010/11/Headtracker_Empfaenger.jpg)
- (18) <http://www.edn.com/design/consumer/4372696/Generating-spatial-audio-from-portable-products>
- (19) [http://de.academic.ru/pictures/dewiki/66/Binaural-Sky\\_Versuchsaufbau\\_cut.jpg](http://de.academic.ru/pictures/dewiki/66/Binaural-Sky_Versuchsaufbau_cut.jpg)
- (20) [http://www.irt.de/IRT/FuE/as/pdf/binauralsky\\_Sound&Recording.pdf](http://www.irt.de/IRT/FuE/as/pdf/binauralsky_Sound&Recording.pdf)