

Einführung in die Binauraltechnik

Timo Kleinemeier

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung
2. Räumliches Hören
3. Head-related transfer function
4. Binauralsynthese
5. Binaurale Aufnahme

1. Einleitung:

Der Begriff „binaural“ bedeutet so viel wie "mit beiden Ohren" und hat seine Wurzeln in den lateinischen Begriffen „*bini*“ (zwei, ein Paar) und „*auris*“ (Ohr).¹ Die Bezeichnung „binaural“ wurde während der Marktdurchdringung von Stereo Wiedergabe- und Aufnahmesystemen aus Werbezwecken teilweise mit Stereo gleichgesetzt.² Heute sind die Begriffe jedoch klar voneinander abgegrenzt und man versteht unter einer binauralen Aufnahme ein Signal, welches speziell und im Grunde genommen ausschließlich für die Wiedergabe über Kopfhörer aufgenommen oder bearbeitet wurde. Man spricht daher auch von der Kopfhörerstereofonie in Abgrenzung zu einer gewöhnlichen Stereoaufnahme, die auch als Lautsprecherstereofonie bezeichnet wird.³

Bei der Wiedergabe eines gewöhnlichen Stereosignals über Kopfhörer treten eine Reihe von Problemen auf, die man durch binaurale Verfahren versucht zu beheben. Da der Kopfhörer sehr nah am Ohr anliegt, fehlen dem Gehirn sogenannte Ohrsignale zur Auswertung der Rauminformation eines Schalls. Dies führt zu einer Im-Kopf-Lokalisation (IKL), es wird also wahrgenommen, dass sich die Quelle des Schalls in der Mitte des Kopfes befindet.⁴ Insbesondere der Eindruck von Räumlichkeit, Entfernung, Tiefe und Umhüllung wird im Vergleich zum natürlichen Hören oft als

¹ <http://www.wissen.de/wortherkunft/binaural>, Stand 18.02.18

² https://en.wikipedia.org/wiki/Binaural_recording, Stand 18.02.18

³ <http://www.sengpielaudio.com/StereoFuerLautsprUndKopfhoerer1.pdf>, Stand 20.02.18

⁴ Vgl. Dickreiter, 2014. S.134.

unvollständig wahrgenommen. Der Kopfhörer ist daher eher ungeeignet für die gesamte Beurteilung einer stereofonen Mischung z.B. in Bezug auf Lautstärkeverhältnisse, Panorama, Stereobreite und Hallanteil. Das Hören einer über Lautsprecher wiedergegebenen Stereoaufnahme geschieht auf eine vergleichsweise natürliche Art, da die Mechanismen zur Lokalisation der Schallquelle nicht außer Kraft gesetzt werden. Das Ziel der Binauraltechnik ist also in erster Linie eine Außer-Kopf-Lokalisation (AKL) mit natürlichem Raumeindruck und genauer Richtungslokalisation zu erzeugen. Der Hörer soll an den Ort des Geschehens versetzt werden.⁵

Obwohl die Binauraltechnik bereits auf eine lange Geschichte zurückblicken kann⁶, ist sie heute interessanter denn je, da der Medienkonsum an mobilen Endgeräten weiter steigt und Anwendungen wie 360° Videos oder VR-Games beim Endverbraucher angekommen sind.⁷ Erhöhte, bezahlbare Rechenleistung ermöglicht außerdem die Synthese virtueller Tonregionen & virtueller Surround Sound Anlagen. Für traditionelle Anwendungsbereiche wie die Produktion von räumlich natürlichen Musikaufnahmen und Hörspielen hat die Binauraltechnik weiterhin ebenso Relevanz wie für die menschbezogene Messtechnik.⁸

2. Räumliches Hören:

Zum Verständnis der Binauraltechnik müssen zunächst Grundlagen des räumlichen Hörens betrachtet werden. Grundsätzlich reagiert das Hörorgan zunächst auf die Erregung durch ein physikalisches Schallereignis mit der Erzeugung eines wahrgenommenen Hörereignisses.⁹ Dabei ist zu beachten, dass jeder Mensch anders hört, schon allein da kein Ohrenpaar dem anderen gleicht. Dies führt dazu, dass der Zusammenhang zwischen Schallereignis und Hörereignis nicht direkt messbar ist, aber durch Hörversuche psychoakustisch untersucht werden kann.¹⁰ Die Zusammenhänge von

⁵ Vgl. Stefan Weinzierl, Handbuch der Audiotechnik. 2008. S. 586 ff.

⁶ Vgl. Hans Wilhelm Gierlich: "Kunstkopfstereophonie" (Teil 1), in Stereoplay. Ausgabe 11/1987.

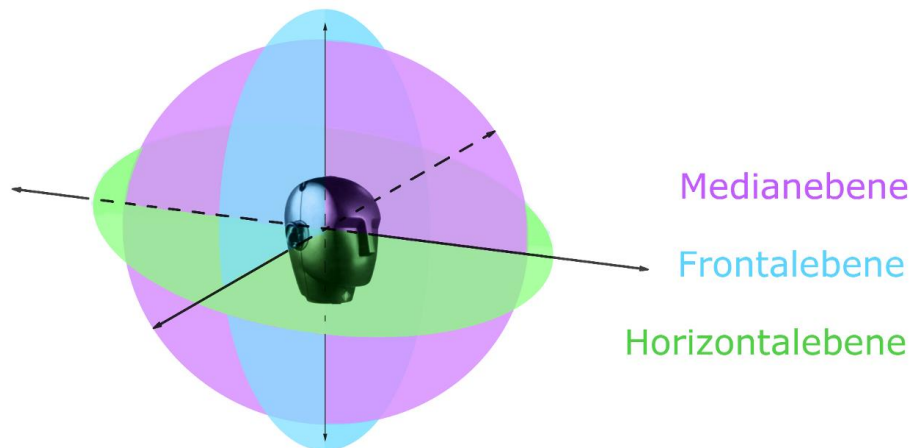
⁷ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/318536/umfrage/prognose-zum-umsatz-mit-virtual-reality-weltweit/>, Stand 18.02.18.

⁸ Vgl. Weinzerl, 2008. S. 588.

⁹ Vgl. Dickreiter, 2014. S.118.

¹⁰ Vgl. Weinzerl, 2008. S.52.

Wahrnehmung und physikalischem Ereignis können also statistisch erfasst werden. Um die Position von Hörereignissen beschreiben zu können, wird ein kopfbezogenes Koordinatensystem verwendet, welches die drei Ebenen des Hörens veranschaulicht¹¹:



Werte auf der Horizontalebene werden als Winkel Azimuth angegeben und beschreiben die seitliche Auslenkung eines Hörereignisses. Die Frontalebene beschreibt die Tiefenlokalisierung und wird als Entfernung zum Hörer angegeben. Die Wahrnehmung der Tiefenabstufungen ist beim Menschen schlechter aufgelöst als die Lokalisation auf der Horizontalebene. Über die Medianebene wird mit dem Winkel Elevation beschrieben ob ein Hörereignis oben, unten, hinten oder vorne wahrgenommen wird. Im Vergleich zu den anderen Ebenen ist sie am schlechtesten aufgelöst. Ermöglicht wird die Lokalisation von Hörereignissen durch verschiedene Mechanismen der menschlichen Wahrnehmung. Dazu gehört insbesondere die Auswertung interauraler Pegel- und Laufzeitdifferenzen, die durch die Abschattung des Kopfes und des spezifischen Ohrabstands hervorgerufen werden. Wichtige Anhaltspunkte liefern dem Gehirn außerdem Spektraldifferenzen die durch die Filterwirkung des Oberkörpers und Außenohrs entstehen.¹² Auch die Analyse von Rauminformationen, visuellen Reizen und Hörerfahrungen beeinflussen die Lokalisation.

¹¹ Grafik von https://bildungsportal.sachsen.de/opal/FolderResource/1006567462/5.1_Gehör.html,
Stand 18.02.18

¹² Vgl. Andreas Friesecke: Die Audio-Enzyklopädie: Ein Nachschlagewerk für Tontechniker. 2014.
S. 134 ff.

2.1. Entfernungswahrnehmung:

Die Entfernungswahrnehmung findet unter anderem durch die Analyse des Frequenzspektrums des Hörereignisses statt. Luft absorbiert hohe Frequenzen und auch Bassanteile werden bei Entfernung geringer. Vereinfacht könnte man sagen, dass ein entfernter Klang eine Filterung ähnlich eines Bandpasses erfährt. Auch die sich je nach Schalldruckpegel verändernde Wahrnehmung der Frequenzbereiche (vgl. "Kurven gleicher Lautheit") hilft dem Gehirn dabei, die Entfernung einer Schallquelle zu bestimmen. Entferntere Schallquellen haben außerdem offensichtlich eine geringere Lautstärke als nähere (vgl. " $1/r$ – Gesetz").¹³ Auch aus der Bewegung von Schallquelle oder Hörer kann eine Entfernungsinformation gewonnen werden, da nähere Schallquellen schneller am Hörer vorbeiziehen als entferntere. Nicht zuletzt das Verhältnis aus Direktschall & reflektiertem Schall hilft dem Gehirn bei der Entfernungsabschätzung. Auch die Anfangszeitlücke (engl. Pre - Delay Gap) kann ausgewertet werden. Sie beschreibt die Zeit zwischen Eintreffen des Direktschalls und dem Eintreffen der ersten starken Reflexion. Ein naher Eindruck wird hervorgerufen, wenn Pre - Delay lang und Raumschall im Verhältnis zum Direktsignal leise sind, ein entfernter Eindruck entsteht hingegen bei kurzem Pre – Delay und hohem Raumhallanteil. Bei hohen Pegeldifferenzen zwischen beiden Ohren kann das Gehirn außerdem auf Nähe zur Schallquelle schließen.¹⁴

2.2. Richtungswahrnehmung:

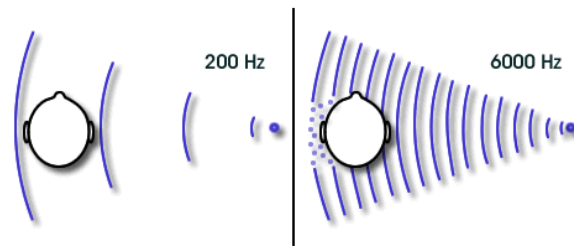
Die Richtungswahrnehmung auf der Horizontalebene beruht zum Großteil auf der Entschlüsselung interauraler Ohrsignale. **Interaurale Pegeldifferenzen** (ILD = interaural level difference) entstehen insbesondere durch die Abschattung des Kopfes und durch einen Druckstau an dem der Schallquelle zugewandten Ohr. Bei seitlichem Einfall wird der Schall um den Kopf gebeugt, reflektiert oder absorbiert was zu Unterschieden im Pegel führt. Die Pegelunterschiede des an den Ohren eintreffenden Schalls sind winkel- und insbesondere frequenzabhängig. Laut Sengpiel ist der wirksame Ohrabstand 21,6 cm, was einer Wellenlänge von etwa 1600 Hz entspricht.¹⁵ Höhere Frequenzen werden demnach reflektiert und sorgen für einen Schallschatten am anderen Ohr. Bei Frequenzen kleiner 300 Hz kommen keine Differenzen zustande, da die Wellenlänge wesentlich

¹³ Vgl. Michael Dickreiter et al., Handbuch der Tonstudioteknik, Band 1, 2004, S.132

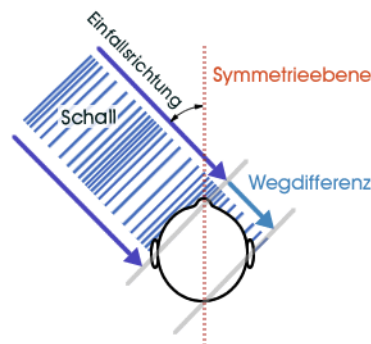
¹⁴ Vgl. Friesecke, 2014. S.143.

¹⁵ <http://www.sengpielaudio.com/DerOhrabstand-Welcher.pdf>, Stand 20.02.18

größer ist als der Kopfdurchmesser und sich die Welle problemlos um das Hindernis beugt. Entsteht kein Schallschatten ist es schwieriger die Quelle und Position korrekt zu lokalisieren.¹⁶



Interaurale Laufzeitdifferenzen (ITD = interaural time difference) entsprechen den Unterschieden der beiden Hörereignisse bezüglich des Zeitpunktes ihres Eintreffens. Sie sind die wichtigsten Merkmale der Ohrsignale für die Lokalisation. Auch ITDs sind abhängig von Wellenlänge und Einfallswinkel, so funktioniert die Ortung durch Phasendifferenzen nur zuverlässig bis mehrere Wellenlängen in die Wegdifferenz passen. Ab ca. 800Hz ist es dem Gehirn daher nicht mehr möglich festzustellen, welches Signal einen Phasenvorsprung und welches den Phasenrückstand hat.¹⁷ Bei Höheren Frequenzen kann der Hörapparat nur noch über den Zeitversatz der Hüllkurven, der sogenannten Gruppenlaufzeiten, Informationen beziehen. Die Genauigkeit der Abstufungen liegt im frontalen Bereich im besten Fall bei ca. 2 - 3° und nimmt bei Auslenkung stark ab (12° - 18°). Die kleinsten wahrnehmbaren Laufzeitunterschiede liegen zwischen 0,01 und 0,03 ms, der maximale Unterschied ergibt sich durch den Ohrabstand und liegt bei etwa 0,63 ms bei einem Schalleinfallswinkel von 90°. ¹⁸



19

¹⁶ Vgl. Friesecke, 2014. S.135.

¹⁷ <http://www.sengpielaudio.com/DerOhrabstand-Welcher.pdf>, Stand 21.02.18

¹⁸ Vgl. Friesecke, 2014. S.135.

¹⁹ Beide Grafiken von http://www.laermorama.ch/m2_hoeren/raeumlich_w.html, Stand 21.02.18

Spektraldifferenzen:

Insbesondere dann, wenn dem Gehirn keine ausreichenden interauralen Differenzen zur Auswertung zur Verfügung stehen, spielen die Spektraldifferenzen eine entscheidende Rolle bei der Lokalisation von Ereignissen. Dies ist dann der Fall, wenn die Schallquelle auf der Medianebene liegt, also den Hörer von vorne, hinten, oben oder unten erreicht ohne dabei weit von der Symmetrieachse abzuweichen. Der Schall erfährt stets eine vom Einfallswinkel abhängige Färbung, die durch Beugungen, Resonanzen und Reflexionen am Körper entstehen. Einen Einfluss auf die Filterung hat insbesondere die Form der Ohrmuschel und der äußere Gehörgang, aber auch Kopf und Rumpf beeinflussen den Schall. Diese feinen, richtungsabhängigen Veränderungen werden nicht bewusst wahrgenommen, können jedoch vom Gehirn ausgewertet werden.²⁰

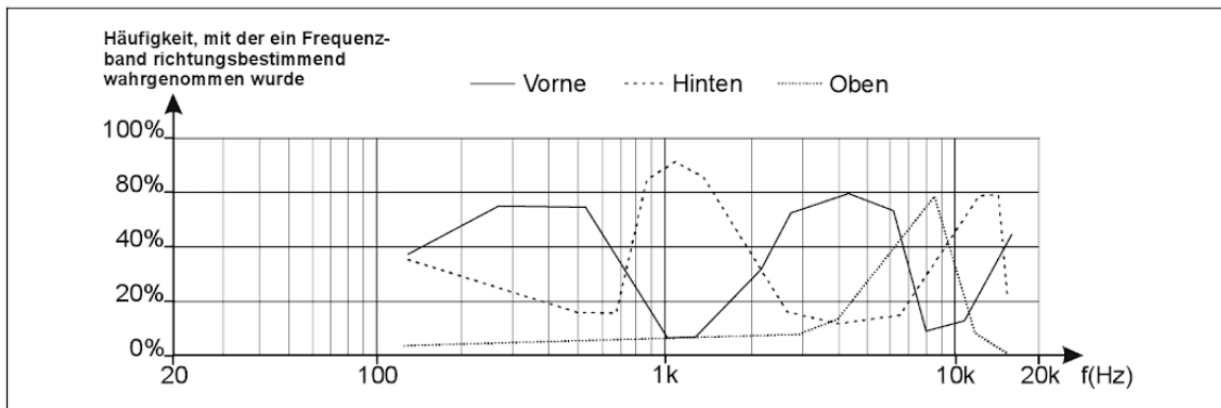


Abb. 2.5-2: Richtungsbestimmende Frequenzbänder für die Lokalisation in der Medianebene

21

Jens Blauert konnte dazu als ein Ergebnis seiner Forschungen zur Psychoakustik die richtungsbestimmenden Bänder (auch "Blauertschen Bänder" genannt) beschreiben. Er fand heraus, dass man die virtuelle Lokalisation eines frontal positionierten, breitbandigen Signals beeinflussen kann, in dem man eines der Bänder im Vergleich zu den anderen anhebt. Die Bänder entsprechen also ungefähr der natürlichen, einfallswinkelabhängigen Filterung.²²

²⁰ Vgl. Dickreiter, 2014, S.131ff

²¹ Grafik aus Friesecke, 2014. S.136

²² Vgl. Friesecke, 2014. S.135ff.

Kombination der Differenzen:

Beim natürlichen Hören treten Intensitäts-, Laufzeit- und Spektraldifferenzen meistens gemeinsam auf. Bei hohen Frequenzen geben insbesondere die Pegeldifferenzen Ausschlag über die Richtung, bei mittleren Frequenzen eher die Laufzeitunterschiede. Im Überlappungsbereich zwischen 800 Hz ("Obergrenze" ITD) und 1600 Hz ("Untergrenze" ILD) tritt eine Lokalisationsunschärfe auf, was auch mit dem Blauertschen Band für "hinten", d.h. einem diffusen und unscharfen Klangeindruck übereinstimmt.²³ Tiefe Frequenzen können generell schlecht geortet werden²⁴ und breitbandige Ereignisse besonders gut. Zu betonen ist, dass die Auswertung der Ohrsignale überhaupt erst durch Vorerfahrung vom Gehirn erfolgen kann.²⁵

3. Head Related Transfer Function:

Die "head-related transfer function" (HRTF) oder "Außenohrübertragungsfunktion" kann die richtungsabhängige Filterwirkung vom individuellen Rumpf, Kopf und Ohr in ihrer Gesamtheit darstellen.²⁶ Es wird eine HRTF pro Ohr gemessen, die immer ein spezifisches Positionsverhältnis aus Ohr und Schallquelle beschreibt. Die Differenz eines HRTF Paares beinhaltet auch die Phaseninformation (ITD) und den Pegelunterschied (ILD). Die Messung eines HRTF Paares findet idealerweise in einem reflexionsarmen Raum statt. Zur Messung werden zwei kleine Mikrofone in den Ohrkanälen positioniert und mit breitbandigen Impulsen wie Sweeps beschallt. Dabei erhält man zunächst ein Paar Head-Related Impulse Responses (HRIR), die durch Fouriertransformation in HRTFs umgewandelt werden. Dieses Prozedere wird im Idealfall für eine Vielzahl an Richtungen wiederholt, da jede HRTF nur für ein Positionsverhältnis gilt. Je genauer die Messung der Realität entspricht und je höher die Anzahl der Messiterationen ist, desto zuverlässiger ist die Lokalisation einer virtuellen Schallquelle nach der Binauralisierung.²⁷ Die nachfolgende Grafik zeigt eine typische HRTF:

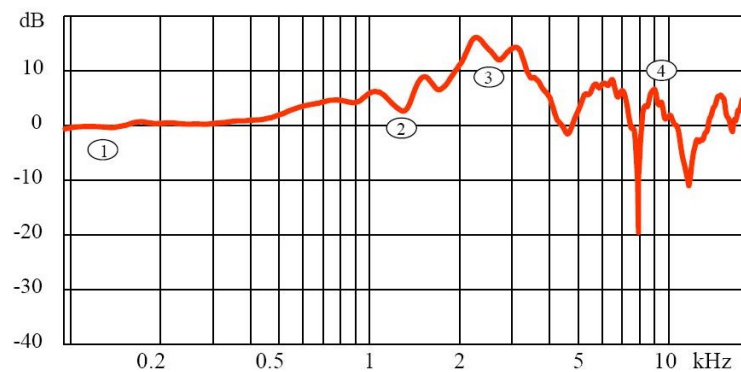
²³ <http://www.sengpielaudio.com/DerOhrabstand-Welcher.pdf>, Stand 20.02.18

²⁴ Vgl. Friesecke, 2014. S.135.

²⁵ Vgl. Dickreiter, 2014. S.132.

²⁶ Vgl. Weinzerl, 2008. S. 586 ff.

²⁷ Vgl. Friesecke, 2014. S.150.



- (1) tieffrequente Anteile, $\lambda \gg$ Abmessungen des Kopfes
- (2) Schultereinbruch, Länge des Halses ablesbar
- (3) $\lambda/4$ Resonanz des Ohrkanals
- (4) Interferenzeinbrüche aufgrund der Ohrmuschel, stark individuell

28

4. Binauralsynthese:

Bei der Binauralsynthese werden einem Signal mit Hilfe der HRTFs die bei der Aufnahme üblicherweise fehlenden Ohrsignale aufgeprägt. Signale können so durch die Verrechnung mit entsprechenden HRTFs als Punktschallquelle in einer virtuellen Welt positioniert werden. Für die statische Binauralsynthese werden nur zwei HRTFs benötigt, da bei ihr nur eine Kopfposition simuliert wird. Bei Anwendungen mit Head- oder Room Tracking (z.B. VR – Games) findet eine dynamische Binauralsynthese statt, die eine Vielzahl an HRTF – Paaren benötigt zwischen denen je nach Kopfposition interpoliert wird.²⁹

Falls nicht mit einer „Binaural Room Impulse Response“ (BRIR) gearbeitet wurde, die bereits die Rauminformation eines spezifischen, realen Raumes enthält, ist ein binauralisiertes Signal Vergleichbar mit dem Hören in einem beinahe reflexionsarmen Raum. In diesem Fall muss dem Signal nach der Binauralisierung mit Hilfe eines Hallalgorithmus noch eine Rauminformation hinzugefügt werden um ein natürliches Hörerlebnis zu schaffen.

Die größte Schwierigkeit bei der Binauralsynthese stellt zunächst die aufwändige Berechnung und damit verbundene Latenz dar. Um Rechenleistung einzusparen kann statt einer Faltung in der

²⁸ Grafik aus <http://www.fachschaft-ime.de/~rolf/fh-koeln/ta/Folien-zur-Vorlesung-von-Schmitz/HBTAl.pdf>, Stand 21.02.18

²⁹ Vgl. Alexander Lindau: Binaural Resynthesis of Acoustical Environments. Technology and Perceptual Evaluation. 2014. S. 11.

Zeitdomäne jedoch auch eine Filterung mit der HRTF in der Frequenzebene vorgenommen werden.³⁰

Für die zuverlässige Lokalisation eines binauralisierten Signals ist die Messung einer individuellen HRTF zu empfehlen. Durch den hohen Aufwand und das fehlende Bewusstsein sind individuelle HRTFs momentan jedoch noch nicht praktikabel für den Massenmarkt. Bei der Binauralsynthese für VR-Anwendungen werden daher üblicherweise nichtindividuelle, d.h. durch Mittelung errechnete HRTFs verwendet, die für möglichst viele Benutzer zu korrekten Lokalisationen führen sollen. Interaurale Ohrsignale stellen bei der Verwendung von nicht-individuellen HRTFs ein geringeres Problem dar als die Spektraldifferenzen, die sich durch die Eigenheiten eines jeden Außenohrs von Mensch zu Mensch stark unterscheiden können. Dies macht binaurale Systeme besonders anfällig für Vorne – Hinten – Vertauschungen, die Lokalisation verschlechtert sich bei der Verwendung von gemittelten HRTFs also insbesondere auf der Medianebene. Mit Hilfe von Head Tracking kann die Lokalisation stark verbessert werden, da sich durch leichte Kopfbewegungen feine Pegel- und Laufzeitunterschiede ergeben die ausgewertet werden können.³¹

Entscheidend für ein hohes Maß an korrekten Lokalisationen ist außerdem die Kalibrierung des Kopfhörers. Da die Lokalisation auf der Medianebene entscheidend durch Einbrüche und Erhöhungen im oberen Frequenzspektrum beeinflusst wird, können schon leichte Verzerrung im Übertragungsweg die korrekte Lokalisation erschweren. Zum Ausgleich wird das Signal daher invers mit dem Ergebnis einer Kopfhörertransferfunktion (Headphone Transfer Function / HpTF) gefiltert.³²

Gegenwärtig wird an verschiedenen Techniken zur Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit und Funktionalität der Technologie geforscht. Stationäre Messungen sind mit den modernsten Systemen inzwischen in bereits 5 Minuten durchführbar³³, wobei derartige Möglichkeiten nur an wenigen Standorten weltweit bestehen. Es ist davon auszugehen, dass HRTFs in Zukunft mit Hilfe von 3D Scans des Kopfes oder über Fotografien des Außenohres durch den Abgleich mit Datenbanken bestimmt werden können.³⁴

³⁰ Vgl. Friesecke, 2014. S.150.

³¹ Vgl. Weinzierl, 2008. S. 677.

³² Vgl. Lindau, 2014. S. 12.

³³ <http://human-factors-consult.de/en/2014/construction-of-a-hrtf-test-site/>, Stand 21.02.18

³⁴ Vgl. Dmitry Zotkin et al.: HRTF Personalization Using Anthropometric Measurements

5. Hard- & Software:

Die Binauralsynthese ist implementiert in eine Vielzahl von Hard- und Softwareanwendungen. Interessant für Tonschaffende sind Produkte wie die der Firma Smyth, die mit dem Smyth Realiser A 8 und dem Nachfolger A 16 eine Möglichkeit geschaffen haben Mehrkanaltonregien auf Kopfhörern zu simulieren. Dazu erstellt der Anwender einige Messungen die spezifisch für die Position in einem realen Abhörraum sind und kalibriert im Anschluss außerdem den verwendeten Kopfhörer. Die Ergebnisse der Synthese sind überraschend gut und ermöglichen dem Anwender hochwertige Abhörumgebungen mit mobilem, kostensparendem Equipment zu simulieren. Auch Hersteller wie Beyerdynamic, Dolby oder Studer haben Produkte entworfen die versuchen eine realistische Räumlichkeit und Mehrkanalsimulationen auf Kopfhörern zu erzeugen. Diese arbeiten jedoch zumeist mit nicht-individuellen HRTFs. Auf der Software Seite sind in den letzten Jahren viele neue Produkte auf den Markt gekommen, darunter z.B. der Spatial Audio Designer, Ambix Binaural, Dear VR oder das frei erhältliche Facebook 360°.

6. Binaurale Aufnahme:

Bevor man begann binaurale Signale zu synthetisieren, wurde mit dem Kunstkopf die kopfbezogene Stereophonie erfunden. Bereits in den 1930er Jahren entwickelte man erste Kunstköpfe, wobei die breite Öffentlichkeit erst in den 70er Jahren mit der neuen Technologie in Kontakt kam. Die Idee war einfach: Man suchte nach einem Weg den Schall so aufzuzeichnen, wie ihn das menschliche Ohr wirklich wahrnimmt, um bei der Wiedergabe über Kopfhörer eine natürliche Reproduktion der räumlichen und klanglichen Situation zu erhalten.³⁵ Die Kunstkopfstereophonie findet unter anderem Verwendung bei der Produktion von Hörspielen, bei Konzertmitschnitten und der Dokumentation von Naturgeräuschen. Ein wichtiges Anwendungsgebiet ist außerdem die menschenbezogene Messung z.B. im Bereich der Raumakustik



³⁵ Vgl. Dickreiter, 2014, S. 345ff.

oder der Produktentwicklung. Das Ohr des Kunstkopfes entspricht dem "Durchschnittsohr" und liefert somit eine für viele Leute brauchbare HRTF. Am Ende des künstlichen Gehörganges sind zwei Druckempfänger auf Höhe des Trommelfells montiert. Da die Mikrofone wie beim natürlichen Hören üblicherweise etwas weiter von den Schallquellen entfernt positioniert werden, sind diese zumeist diffusfeldentzerrt. Dies erhöht die Lautsprecherkompatibilität, wenn auch Klangfarbenverfälschungen bei der Wiedergabe ohne Transauralisationsverfahren weiterhin problematisch sind. Möchte man Kunstkopfaufnahmen mit Stützmikrofonen kombinieren, muss das Signal mit der HRTF der entsprechenden Schalleinfallrichtung gefiltert werden.³⁶ Es besteht außerdem die Möglichkeit der Binauralisierung einer auf Lautsprechern gemischten Aufnahme durch Re-Recording über den Kunstkopf. Dies bezieht jedoch die Schwächen der Abhörumgebung und des Wiedergabesystems mit ein. Der Nachbearbeitungsspielraum einer Kunstkopfaufnahme ist stark eingeschränkt, da die eingeprägte HRTF nicht durch Filterung oder andere Verfahren verfälscht werden sollte um eine korrekte Lokalisation nicht zu gefährden.³⁷

³⁶ Vgl. Hans Wilhelm Gierlich: "Kunstkopfstereophonie" (Teil 2), in Stereoplay. Ausgabe 12/1987.

³⁷ Vgl. Dickreiter, 2014, S. 348.