

Die Evolution der Kopfhörer bis Heute

Maximilian Müller
Technische Hochschule Ingolstadt
Matr.Nr.: 00084984

Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Seminararbeit ist es, die wichtigsten Meilensteine von der Entwicklung der Kopfhörer, auch Schallwandler genannt, geschichtlich aber auch technisch darzustellen. Es wird dabei eingegangen auf die Anfänge des Zeiträffers, deren Funktionsweise aber auch deren wichtigsten Merkmale. Zudem wird in ähnlicher Weise der weitere Verlauf und die weiteren Entwicklungen veranschaulicht. Bis Heute hat sich hinsichtlich dieses Themas viel bewegt. Es kamen viele neue Funktionen hinzu, gerade in den letzten Jahren nimmt die Evolution an Technik Fahrt auf. Deshalb werden auch aktuelle Themen, wie „active-Noise-Cancelling“, die Technik der aktuellen Schallwandler und deren Vielfalt in dieser Seminararbeit behandelt. Dieses Paper wird durch Bilder, Grafiken, diversen Medien unterstützt und schafft eine objektive Zusammenfassung über den Beginn der Kopfhörer bis Heute. Es gibt Aufschluss über den geschichtlichen als auch technischen Hintergrund.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Von Früh an wurde schon immer weiterentwickelt, es wurden entweder neue Techniken erfunden aber auch bereits Bestehende wurden immer wieder überholt, sodass man sagen kann „Nichts bleibt so wie es ist“. Dieser Gedanke macht das Ganze so spannend. Schon zu damaliger Zeit gab es die ersten Kopfhörer, die zwar aus heutiger Sicht nicht mehr brisant sind, da der Fortschritt enorm ist. Dennoch wurden vor vielen Jahren schon die ersten Schallwandler entwickelt. Bis Heute sind sie kaum wegzudenken und in der Gesellschaft weit verbreitet. In immer mehr verschiedenen Bereichen werden sie eingesetzt und finden sie Anwendung. Daher mussten auch immer wieder neue Ansätze gefunden werden, um dem ganzen noch mehr Identität zu geben. Die Erwartungen der Gesellschaft aber auch die Herausforderungen wurden größer. Was damals ein absoluter „Runner“ war ist heute längst Geschichte. Genau aus diesem Grund ist es meine Motivation dieses Thema genauer zu betrachten. Was war der Beginn, wie ging es Weiter und welcher Stand der Technik setzt sich aktuell auf dem Markt durch. Viele namhafte Unternehmen stellen sich der Herausforderung und bringen neue, weitere Konzepte auf den Markt, sodass der Konkurrenzkampf groß ist. Der Kopfhörer von heute ist längst nicht mehr der, der damals zu Be-

ginn entwickelt wurde. Es kamen weitreichende neue Features hinzu. Aus diesem Grund stellen sich folgende Forschungsfragen.

1.2 Forschungsfragen

Diese Arbeit beschäftigt sich mit zwei Themen, die im Laufe dieses Papers behandelt werden. Zum Einen wird ein Einblick in die geschichtliche Entwicklung der Schallwandler gegeben. Es werden die Anfänge aber auch der weitere Verlauf beschrieben. Zum Anderen werden aktuelle Highlights, die auf dem Markt hervorstechen, gezeigt. Über den gesamten Umfang wird der technische Aspekt mit einbezogen.

2 Geschichtliche und Technische Aspekte

In den nächsten Kapiteln werden folgende Themen behandelt. Es werden die verschiedenen Bauformen und die geschichtliche Entwicklung aufgezeigt. Als Nächstes wird allgemein beschrieben wie ein Kopfhörer funktioniert, dazu werden auch verschiedene Schallwandlerprinzipien in ihrem Aufbau und ihrer Funktionsweise erläutert. Da der Kopfhörer bis Heute eine tragende Rolle in der Gesellschaft spielt werden auch aktuelle Themen genannt. In diesem Zusammenhang wird auch das Thema Noise-Cancelling beschrieben, was man darunter versteht und wie es funktioniert.

2.1 Bauformen

- **Ear-Bud:** Diese Kopfhörerart sitzt nicht im Gehörgang, sondern davor. In der Größe und dem Gewicht gibt es kaum einen Unterschied zu den In-Ears. Die Vorteile bei dieser Bauform sind die kleine Ausführung, das geringe Gewicht und die minimalen Druckbeschwerden am Ohr. Durch einen lockeren Sitz an der Ohrmuschel dringen Geräusche von außerhalb noch ausreichend laut in das Gehör ein. Dieser lockere Sitz kann sich aber auch als großer Nachteil zeigen[13]. Siehe Abbildung 1.
- **In-Ear:** Die In-Ear Bauform sitzt, wie der Name schon vermuten lässt, im Ohr und dichtet mit einem Silikon- oder Schaumstoffmaterial den Gehörgang ab. Diese Abdichtung spielt eine große Rolle für den Klang. Sitzen die Kopfhörer nicht richtig, entsteht kein akustisch optimaler Raum

im Ohr. Für den Klang bedeutet das, dass in erster Linie Bässe fehlen und kein optimaler Frequenzgang vorherrscht. Bei In-Ear- und Ear-Bud Kopfhörer sagt der untere Frequenzbereich aus, um welchen Kopfhörertyp es sich handelt. Während Ear-Buds tiefe Frequenzen von etwa 200 Hz übertragen, liegt der Frequenzbereich bei den In-Ear bei etwa 60 Hz. Die Vorteile bei dieser Bauform sind ebenfalls die kleine Ausführung, das geringe Gewicht aber auch ein guter Halt[13][15]. Siehe Abbildung 2.



Abbildung 1: Ear-Bud Bauform[15].



Abbildung 2: In-Ear Bauform[10].

- **Over/On-Ear:** Over-Ear- und On-Ear Kopfhörer haben grundsätzlich die gleiche Bauform. Sie unterscheiden sich lediglich in ihrer Größe. Die Over-Ear werden auch die ohrenumschließenden Kopfhörer genannt. Sie sind also die größere Variante. Die On-Ear Kopfhörer sind die kleineren Kopfhörer und liegen deshalb nur am Ohr auf. Sie umschließen dadurch das Ohr nicht komplett[13].

- **Offene Bauform:** Bei der offenen Bauweise ist die Außenseite der Ohrmuschel mit einem luftdurchlässigem Material bestückt. Dadurch ist die Außenseite nicht von Plastik umschlossen, was bedeutet, dass sich eine offene Bauweise erkennen lässt. Der Vorteil ist dabei, dass die Luft besser zirkulieren kann, wodurch man keine warmen Ohren bekommt. Sie haben außerdem den natürlichsten Klang der drei Bauformen. Nachteil aber ist, dass der Schall von außen (Störgeräusche) besser in den Kopfhörer eindringen kann und die eigentliche Musik nicht mehr deutlich erkennbar ist. Wer also in einer lauterer Umgebung, beispielsweise in der Bahn, mit einem Kopfhörer Musik hört, sollte diese Bauform eher weniger benutzen[7].



Abbildung 3: Offene Bauform[7].

- **Halboffene Bauform:** Bei dieser Variante besteht die Ohrmuschelseite meist aus gitter- oder wabenartigen Strukturen. Durch das Gitter kann die Luft ebenfalls zirkulieren, allerdings nicht so viel wie bei der offenen Bauweise. Diese Bauform ist noch weit verbreitet, da sie einen Mittelweg der drei Varianten darstellt. Die Belüftung der Ohren ist hier noch gut und Umgebungsgeräusche stören weniger im Vergleich zur komplett offenen Bauform[7].



Abbildung 4: Halboffene Bauform[7].

- **Geschlossene Bauform:** Die Ohrmuschel ist bei dieser Bauweise von äußeren Einflüssen komplett abgeschirmt. Der Vorteil ist dadurch die maximale Abschirmung von Außengeräuschen. Der große Nachteil ist aber, dass hier so gut wie keine Luft zirkulieren kann. Im Sommer bei warmen Temperaturen bedeutet das, dass man an den Ohren sehr schnell zu schwitzen beginnt, wenn der Kopfhörer länger getragen wird[7].



Abbildung 5: Geschlossene Bauform[7].

2.2 Geschichtliche Entwicklung

„Bells Photophon“

1876 wurden mit der Einführung des Telefons als massentaugliches System auch die ersten kopfhörerähnlichen Geräte verbreitet. Alexander Graham Bell

war der Erfinder dieser Zeit. Das von ihm entwickelte Telefon war aus einem Mono-Kopfhörer aufgebaut, der zugleich als Mikrofon verwendet wurde. Zum Hören musste man ihn an das Ohr halten, zum Sprechen wiederum an den Mund. Aus heutiger Sicht ist das gar nicht mehr denkbar. Es ist sehr umständlich und zeitaufwendig. Bei dieser Erfindung handelte es sich im Detail um einzelne Ohrhörer. Diese befanden sich auf der Schulter des Nutzers und wogen in etwa 5 Kilogramm (Es sieht ähnlich aus, wie wenn auf der Schulter eine Boombox getragen wird). Um sich dieser Erfindung anzunähern startete Alexander Graham Bell mit einem Assistenten namens Charles S. Tainter ein anfängliches Experiment, indem nicht klar war, zu welchem Ergebnis es führt. Trotzdem führte er es durch. Dazu war sein Assistent Tainter auf dem Dach der Franklin School in Washington D.C. gestanden. Dieses Gebäude war nicht weit von Bells Laboratorium. Vor Tainter stand eine Apparatur, die aus einem Sprachrohr, einer Linse und einem Spiegel aufgebaut war. Als Tainter begonnen hat auf das kleine Sprachrohr zu sprechen, haben die Lichtstrahlen genau in Richtung von Bells Labor angefangen zu flackern. Dort stand als Empfänger ein System mit einem Parabolspiegel und lichtempfindlichen Seleniumzellen im Zentrum. Bell hat zu damaliger Zeit alles mit Telefontechnik verdrahtet. Er wartete nun mit zwei Mono-Kopfhörern in der Hand auf ein Signal. Als die Lichtnachricht von Tainter bei Bell einströmte, konnte Bell Tainters Worte hören. Somit wusste man welche Ergebnisse das Experiment brachte. Bells Photophon, das später Radiophon genannt wurde, war der erste Beweis für eine kabellose Übertragung von Sprachnachrichten. Mit anderen Worten war er auch der erste Licht-Funk-Kopfhörer der Welt[2][4][3].

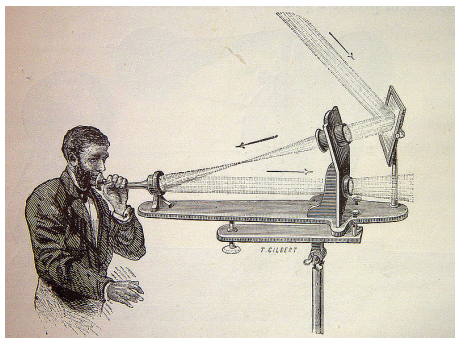


Abbildung 6: Bell's Photophon[20].

„Elektrophon“

1890 wurde nach Bells Startschuss in Großbritannien eine weitere Kopfhörerart erfunden, das sogenannte „Elektrophon“ (Siehe Abbildung 7). Mit diesem Kopfhörer konnten Kunden 1895 eine Nummer wählen und es war möglich die Symphonie über eine neue Erfindung anzuhören. Das Elektrophon war aus zwei Lautsprechern aufgebaut, die über ein Band miteinander verbunden waren[3].

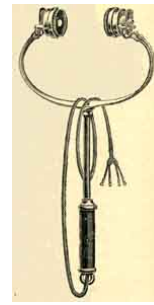


Abbildung 7: Elektrophon[5].

„Baldy Phones“

Als Kopfhörer-Pionier gilt in der Geschichte der US-Amerikaner Nathaniel Baldwin. Es war ein Erfinder aus Utah, der 1910 in seiner Küche Kopfhörer von Hand herstellte. Er verkaufte sie an die United States Navy. Die Navy benutzte es um codierte Signale zu Senden und zu Empfangen. Aufgebaut war der Kopfhörer aus zwei Mono-Lautsprecher, zwei ohrenaufliegenden Muscheln, die man mit einem Kopfbügel verband. Ursprünglich war diese Konstruktion für militärische Zwecke gedacht, doch die sogenannten „Baldy Phones“ sorgten sehr schnell für eine große Anzahl an Aufträgen. Sie wurden außerdem schnell zu Kassenschlagern und brachten jährlich einen großen Umsatz ein. Als großer Nachteil dieser Generation der Kopfhörer erwies sich die schlechte Isolierung, die dem Träger bei falscher Nutzung Stromschläge versetzte. Ein damaliges Problem, an das heutzutage nicht mehr zu denken ist. Den Aufbau dieser Kopfhörer kann man sich folgendermaßen vorstellen, prinzipiell wurden sie direkt vom Pluspol einer Radio-Batterie mit Spannung versorgt. Dadurch waren höhere Lautstärken möglich, was aber die Bedienung durchaus schwieriger machte. Berührt der Nutzer versehentlich den offenen Kopfhörerausgang, während er mit der anderen Hand den Sitz des Kopfhörers überprüft, kam es zu dem zuvor genannten Stromschlag. Der Vorteil dieser Zeit war der Mangel an effizienten Verstärkertechnologien, die es genau dort noch nicht gegeben hat[2][14][4][1][3].



Abbildung 8: Baldy Phone[2].

„Beyerdynamic DT-48“

Die 1930er Jahre waren das Aufblühen der Fir-

ma Beyerdynamic. Das Unternehmen wurde in Berlin gegründet. Es war die erste Firma in der Geschichte, die industriell produzierte und bis heute damit erfolgreich ist. Vergleicht man die ersten Kopfhörer von Baldwin mit denen von Beyerdynamic, zeigt sich, dass Beyerdynamic vor allem am Design und Tragekomfort viel getan hat. Noch bis heute ähneln erste Kopfhörer in ihrer Grundform aktuellen Modellen. Der Beyerdynamic DT-48 schaffte es bis 2012 noch in die Läden, in technischer Hinsicht immer aktualisiert. Ursprünglich war der DT-48 als Headset für Funk- und Telefontechniker im Zweiten Weltkrieg entwickelt. DT steht in diesem Zusammenhang für „Dynamisches Telefon“. 1937 baut Beyerdynamic damit den ersten elektrodynamischen Kopfhörer. Aufgrund der Kriegsschäden für das Unternehmen brachte Beyerdynamic erst ein paar Jahre später ein Folgemodell heraus, der DT-49. Dieser „Stielhörer“ ähnelte einem alten Telefon und konnte mit einem Griff ans Ohr gehalten werden. Eine praktische Art, die sich in den „Plattenbars“ der 50er Jahre durchsetzte[2][14][4][1][3].



Abbildung 9: Beyerdynamic DT-48[2].

einem kompletten Stereopakete. Aufgebaut aus einem kleinen tragbaren Phonographen (Audiorekorder zur akustisch-mechanischen Aufnahme und Wiedergabe von Schall), angeschlossenen Lautsprechern und seinen neuen Kopfhörern, die von einem Audioingenieur entworfen wurden. Koss versuchte, den kompletten Soundumfang einer Live-Musikperformance nachzubilden. Das Modell SP/3 ermöglichte es, Klang zu erleben, wie es ihn zuvor noch nie gegeben hat. Seit dem anfänglichen Koss SP/3 wurde das Produkt bis heute kontinuierlich überholt. Koss konnte man sagen, half dabei, die Art und Weise, wie die Leute den Sound hörten, zu revolutionieren. Heute stellt das Unternehmen Koss nahezu jeden Kopfhörer zur Verfügung, ist weltweit bekannt für Qualität und Innovation und wurde zur damaligen Zeit über viele Jahre zum Industriestandard, dem alle folgten. Das Unternehmen Koss Corporation dominierte den US-Kopfhörermarkt in den nächsten 20 Jahren und trug damit entscheidend zur weiteren Entwicklung der Kopfhörer bei[2][14][4][1][3].



Abbildung 10: Koss SP/3[2].

„Rein Elektrostatischer Kopfhörer“

1957 stellte die Firma STAX Ltd. den ersten rein elektrostatischen Kopfhörer in Tokio vor. Hierbei kommen extrem dünne Membranen zum Einsatz, die eine hohe trägheitslose Reaktion ermöglichen. Zu dieser Zeit bis Heute war dieser Kopfhörer definiert durch eine sehr hohe Impulsgenauigkeit und Auflösung, die man nicht für möglich gehalten hätte. Was bei diesem Kopfhörer das Problem war, dass man ihn nicht einfach überall anschließen konnte. Die Polyester-Membranen benötigten sehr hohe Spannungen und besondere Übertrager, weshalb der passende Verstärker gleich mit dazu erworben werden musste[2].

„Koss SP/3“

1958 wurden als nächsten Meilenstein, nach Beyerdynamic, die ersten Stereo-Kopfhörer von dem Erfinder John C. Koss entwickelt. Koss war ansässig in Milwaukee (USA) und von Musik und Jazz sehr angetan. Vor seiner Zeit wurden Kopfhörer nur in der Industrie von Telefonisten und dergleichen verwendet, aber das änderte Koss. Koss ursprüngliche Idee bestand aus

„Sennheiser HD 414“

Bis in die späten **1960er** waren Kopfhörer immer geschlossen, das heißt, sie gaben den Schall nur in eine Richtung ab. Hitzeansammlungen, die dadurch möglich waren, sorgten in der Hörmuschel daher für mangelhaften Tragekomfort und ein schlechtes Klangbild und belastete auf Dauer das Gehör. 1968 stellte die Firma Sennheiser den ersten offenen Kopfhörer, den HD 414, her. Nun war es möglich, dass die Lautsprecherwiedergabe den Schall sowohl zum Ohr als auch nach außen leitete. Der „Run“ begann damit. Kaum ein Jahr später sind 100.000 Kopfhörer des Typs HD 414 verkauft worden. Nach einer Zeit war die Schätzung, dass noch über 10 Millionen verkauft werden könnten[14][2].



Abbildung 11: Sennheiser HD 414[2].

„Sony Walkman“

1979 brachte Sony mit dem Walkman den ersten tragbaren, Kassettenspieler in Kleinformat auf den Markt. Das kleine, kompakte Abspielgerät machte das Musikhören unterwegs sehr angenehm. Im Zuge des Durchbruchs des Walkmans wurden auch durch neue Technologien die Kopfhörer immer kleiner. Das tragbare System passte ins Fluggepäck und in jeden kleineren bis größeren Rucksack. Durch diesen Aspekt nahm die Verbreitung auf der Welt schnell zu. Sony brachte also den Walkman und mit ihm den mobilen Kopfhörer, ein flexibles kleines Gerät für unterwegs, heraus[2][14][4].



Abbildung 12: Sony Walkman[2].

„Weitere Meilensteine“

Um die **2000er** bringt Bose einen Kopfhörer mit Noise-Cancelling-Technologie auf den Markt. Kopfhörer mit Noise-Cancelling-Technologie nutzen Piloten schon seit Jahrzehnten aber fortan profitieren auch die Flugreisenden und die Allgemeinheit von dieser Technologie. Hierbei ist wichtig zu erwähnen, dass diese Technologie schon vor 2000 von verschiedenen Physikern erforscht wurde. Es hatte aber für diese Technologie nie einen Marktdurchbruch gegeben. Es wurden nie Kopfhörer mit dieser Technologie entwickelt die Marktreif wären, deshalb kam hierfür erst durch Bose der genannte Durchbruch[2]. **2001** wurde der Kopfhörermarkt erneut aufgemischt, dieses Mal von Apple. Sie entwickelten Earbud-Kopfhörer, die die Vorstufe der heute verbreiteten In-Ear-Kopfhörer sind[14]. Im Jahr **2009** machte sich Teufel in der Gesellschaft einen Namen. Das Highlight, das Teufel auf den Markt brachte, waren die ersten Bluetooth-Kopfhörer „AIRY“[4].

2.3 Druckkammerprinzip

Allgemein funktionieren Kopfhörer nach dem Druckkammerprinzip. Dieses Prinzip beruht darauf, dass die Wellenlänge von der Frequenz abhängig ist. Das heißt für einen tiefen Frequenzbereich wächst die Wellenlänge schnell auf mehrere Meter an. Ist die Wellenlänge größer als der Raum der ein geschlossener Kopfhörer zur Verfügung stellt, kann sich die Welle nur über die Größe des Raums ausbreiten. Ein geschlossener Kopfhörer bietet einen geschlossenen Raum um das Ohr und die Membran, deshalb ist für die Wellenlänge nur eine Ausdehnung von wenigen Zentimetern möglich. In solch einem Raum liegt die Grenze bei einem tiefen Frequenzgang von 5kHz, der durch die Wellenausbreitung abgestrahlt werden kann. In den nachfolgenden Schallwandlerprinzipien ist immer die Rede von einer Membran, die verbaut ist. Diese hat die Aufgabe, dass aus dem empfangenen Signal eine Schallerzeugung folgt. Konkret heißt das, dass sich die Membran bewegt. Durch diese Bewegung ändert sich der Luftdruck im Inneren der Druckkammer. Daraus folgt dann, dass diese Luftdruckänderung als Schall wahrgenommen werden kann[19].

2.4 Wichtige Schallwandlerprinzipien

Kopfhörer haben pro Seite typischerweise einen Lautsprecher (Treiber) verbaut. Lautsprecher arbeiten nach verschiedenen Schallwandlerprinzipien. Diese werden nachfolgend näher beschrieben. Die Wichtigsten zu erläutern sind hierbei **Elektromagnetische, Elektrodynamische, Magnetostatische, Elektrostatistische, und Piezoelektrische Wandler**. Grundsätzlich wird festgehalten, dass jede Schallwandlerart aus zwei Wandlern besteht. Der erste Wandler ist der akustisch-mechanische Wandler. Er hat die Aufgabe Schalldruck in mechanische Schwingungen umzusetzen und besteht aus einer bewegten Membran. Der zweite Wandler ist der elektromechanische Wandler. Er hat nachfolgend die Aufgabe die mechanischen Schwingungen in elektrische Spannungen umzusetzen[9]. Der Ablauf setzt sich somit folgendermaßen zusammen:

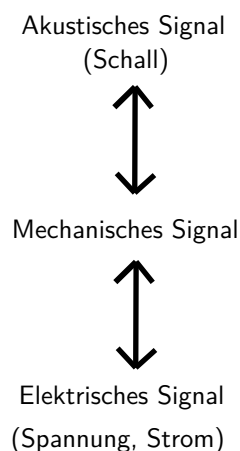


Abbildung 13: Signalablauf Schallwandler[9].

Bei den oben erwähnten Schallwandlerprinzipien gibt es eine Einteilung in echte Wandler und Steuer-

wandler. Der Unterschied besteht darin, dass echte Wandler ohne äußere Energiezufuhr arbeiten und Steuerwandler hingegen eine externe Energieversorgung benötigen. Zu den echten Wandlern zählt der Elektromagnetische, Elektrodynamische, Magneto-statische und Piezoelektrische. Der Elektrostatistische fällt unter dem Begriff Steuerwandler. Nun zu den verschiedenen Wandlerarten[9].

Elektromagnetischer Wandler

Er war der erste Wandler, der in Serie hergestellt worden ist und basiert auf dem Induktionsgesetz. Aufbau ist er aus einem Dauermagneten, der mit einer Spule umwickelt ist. An der Spule wird die Spannung abgegriffen. Um den Magnetischen Kreis zu schließen wird zudem ein bewegliches ferromagnetisches Membran z.B. aus Nickel eingebaut. Dieser Aufbau wird an folgender Abbildung ersichtlich:

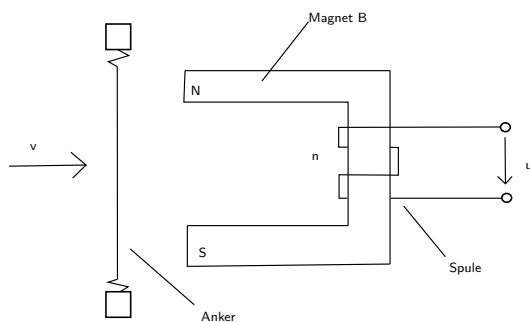


Abbildung 14: Aufbau Elektromagnetischer Wandler[9].

Wird der Anker bzw. das ferromagnetische Membran bewegt ändert sich die Luftspaltbreite und damit der magnetische Fluss. Da die ausschlaggebende Größe, die Spannung, abhängig von der konstanten Windungszahl n der Spule und dem Fluss ist, ändert sich somit auch die Spannung. Diese Änderung der Spannung ist dann entscheidend für den weiteren Signalprozess. Zur Verdeutlichung folgende Formel:

$$u = n \frac{d\phi}{dt}$$

Diese Wandlerart wird heutzutage kaum mehr verwendet, da es die erste bzw. einer der ersten Wandlerarten war, die entwickelt wurde. Deshalb gehe ich an dieser Stelle nicht genauer darauf ein. Um mehr von dieser Art zu erfahren kann das Induktionsgesetz näher recherchiert werden, da dieses Prinzip darauf aufbaut[9].

Elektrodynamischer Wandler

Der elektrodynamische Wandler wird mit Abstand am meisten verbaut und steckt nahezu in fast jedem Lautsprecher. Er beruht wie der magnetische Wandler auf dem Prinzip des Induktionsgesetzes. Zur Schallwandlung ist hierbei aber nicht der magnetische Fluss ausschlaggebend. Vielmehr ein Leiter (Spule) in einem statischen Magnetfeld, der bewegt wird. Folgende Abbildung stellt einen vereinfachten Aufbau dar:

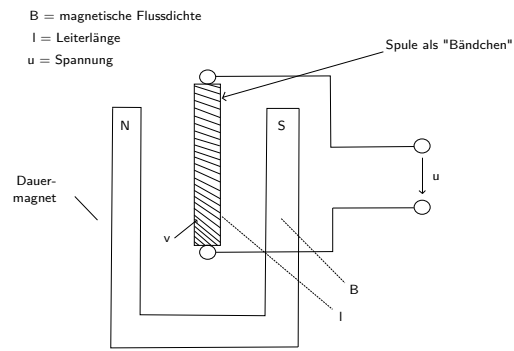


Abbildung 15: Aufbau Elektrodynamischer Wandler[9].

Hierbei wird auf die einfachste Art heruntergebrochen, dem sogenannten Bändchenmodell. Zuerst wird das Audiosignal auf eine Spule übertragen. Diese Spule befindet sich im Luftspalt eines Dauermagneten und ist beweglich. Nun stellt man sich vor, dass die ruhende Spule bestromt wird. Daraus resultiert eine Kraft, die sogenannte Lorentz-Kraft, die auf die bewegliche Spule wirkt. Die Spule bewegt sich und es wird eine Spannung induziert. Da die Spule mit der Membran verbunden ist überträgt sich dieser Prozess auf die Membran, womit dann Spannung in Schall umgewandelt werden kann. Wichtig sind zwei Voraussetzungen, die bei diesem Modell gegeben sein müssen. Das Magnetfeld muss Homogenität aufweisen und die Spule und deren Bewegung müssen senkrecht zum Dauermagneten sein. Sind die beiden Voraussetzungen nicht erfüllt treten zwei negative Aspekte auf. Wenn das Magnetfeld nicht homogen ist, entstehen nichtlineare Verzerrungen, die sich auf die Qualität des Wandlers auswirken. Steht der Leiter nicht senkrecht zum Magnetfeld, ist die Lorentz-Kraft schwächer und damit werden auch Verzerrungen generiert, die vermieden werden sollten.[18][9].

Magnetostatischer Wandler

Der magnetostatische Wandler ist eine Abwandlung des elektrodynamischen Wandlers und wird auch als orthodynamisch, isodynamisch bezeichnet. Er ist auch auf das Bändchenmodell zurückzuführen und arbeitet grundsätzlich nach dem Prinzip des elektrodynamischen Wandlers. Um deshalb die Funktionsweise zu verstehen siehe Funktionsweise elektrodynamischer Wandler. Der wesentliche Unterschied ist der, dass es die Spule in der Form als Bändchen nicht gibt. Vielmehr sind ein Bündel von Leiterbahnen auf die Membran aufgedampft. Diese Leiterbahnen liegen wiederum zwischen mehreren Reihen von Stabmagneten. Das Membran besteht aus einer Kunststofffolie. Siehe nachfolgende Abbildung:

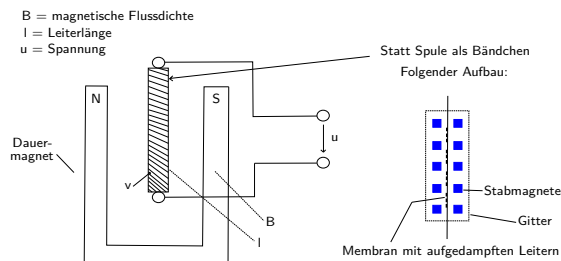


Abbildung 16: Aufbau Magnetostatischer Wandler[18][9].

Vorteil: Magnetostatische Wandler haben einen höheren Wirkungsgrad als elektrodynamische Wandler[18][9].

Elektrostatischer Wandler

Der Elektrostatische Wandler, auch kapazitiver Wandler genannt, besteht aus einer Polyester-Membran, die sehr dünn ausgeführt ist, und zwei durchlöcher-ten Metallplatten. Die Membran ist als Elektrode eines Plattenkondensators ausgeführt und sitzt zwischen den Metallplatten. Nun wird eine sehr hohe Spannung an diese angelegt, die notwendig ist, um es zum Schwingen zu bringen. Durch diese Schwingungen wird die Kapazität des Kondensators verändert. Die resultierende Kapazitätsänderung steuert dann das Ausgangssignal. Der elektrostatische Wandler wird auch in hochwertigen Lautsprechern eingesetzt[18][9]. Zum Verständnis des Aufbaus folgende Abbildung:

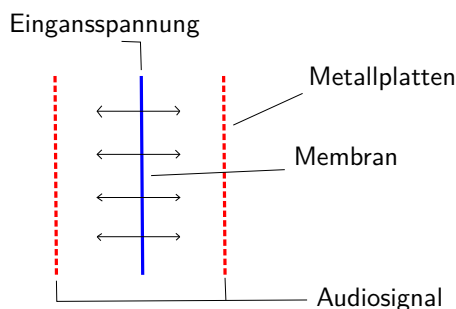


Abbildung 17: Aufbau Elektrostatischer Wandler[18].

Piezelektrischer Wandler

Der Wandler basiert auf dem piezoelektrischen Effekt und ist mit einem Quarzkristall aufgebaut. Es wird eine äußere Spannung an den Kristall angelegt. Der Kristall fängt an sich zu verformen bzw. zu verbiegen. Es werden Ladungen freigesetzt, die als elektrische Spannung abgegriffen werden. Der Kristall ist mit einer Membran verbunden, dadurch überträgt sich der Verformungsprozess als auch die Spannungsänderung auf die Membran und es wird Schall erzeugt. Der piezoelektrische Effekt lässt sich in zwei Kategorien einteilen, dem longitudinalen und transversalen Effekt. Ersterer Effekt tritt in Richtung der Verformung auf, zweiterer Effekt senkrecht dazu. Damit beide Effekte ausgenutzt werden spricht man von einem geschichteten Aufbau. Damit wird ermöglicht, dass die Verformung des Kristalls stärker auftreten kann. Der piezoelektrische Wandler

wird eher selten in aktuelle Produkte verbaut, vor allem im Bereich der Lautsprecher[9].

3 Aktuelle Themen

Im Jahr 2007 etabliert sich die Firma AKG und produziert einen HiFi-Kopfhörer. Zum ersten Mal kommen Flachdrahtspulen zum Einsatz, die die Effizienz des Magnetsystems steigern und auch eine besondere Leichtbauweise ermöglichen. Dieses System lässt sich näher an das Lautsprecherhören abbilden und die sonst üblichen Probleme der Im-Kopf-Lokalisation von Schallereignissen sind weniger offensichtlich. Der „**AKG K701**“ gilt als Meilenstein unter den offenen dynamischen HiFi-Kopfhörern, zumal er preislich für die Allgemeinheit erschwinglich bleibt[2].

Ob für Unterwegs oder Zuhause. Mit dem „**REAL BLUE NC**“ und „**AIRY**“ von Teufel ist man in allen Sound-Belangen gut ausgestattet. Die Over-Ear-Kopfhörer zeichnen sich durch ein komfortables Tragegefühl, innovative Technologien und einem satten Sound aus[4].

- Die Over-Ear-Kopfhörer **REAL BLUE NC** bieten ein tolles Sound-Erlebnis in jedem einzelnen Ton am Ohr. Die Noise-Cancelling-Funktion bietet zusätzlich ein Klangerlebnis, mit ebenfalls erstaunlichen Technologien. Sie schirmt die Musik effektiv von den Umgebungsgeräuschen ab. Ohrumschließende Hörer, eine clevere Steuerung und ein langanhaltender Akku mit Schnellladefunktion, der bis zu 60 Stunden Betrieb ermöglicht, machen das Paket zu einem interessanten Angebot[4].
- Der kabellose Bluetooth-Kopfhörer **AIRY** zeigt vor allem Qualität im Bereich der Akustik. Mit den cleveren Over-Ear-Kopfhörern ist es möglich, Musik via Bluetooth in einer sehr guten Qualität zu streamen. Mit einer Akkulaufzeit von bis zu 30 Stunden und einem geringen Gewicht sind die Kopfhörer ein zuverlässiger Begleiter[4].

2011 brachte Sony die ersten **3D-Surround Kopfhörer** auf den Markt. Die MDR-DS7500 wurden entwickelt, um 3D-Filmen individualisierten, satten Klang zu verleihen. Diese Kopfhörer waren die branchenweit ersten digitalen Surround-Kopfhörer, die eine Reproduktion eines 3D-Klangfeldes mit einer neuen Höhenrichtung ermöglichten. Die Kopfhörer waren zusätzlich zum Cinema-Modus auch mit einem Sprach- und Spielmodus ausgestattet, die in diesem Zusammenhang für eine optimierte Sprach- und Spielwiedergabe sorgten. Die Wiedergabezeit bei diesem Modell beträgt 18 Stunden. Sony ist auch weiterhin in neueste Audiotechnologien einer der Vorreiter. Bis Heute sorgt Sony mit seinen hochauflösenden Audio-Produkten wie den MDR-Z7 Kopfhörern für immer neue Klangdimensionen und setzt immer wieder neue Statements. Der MDR-Z7 kann als erster Kopfhörer hohe Frequenzen bis zu 100 kHz wiedergeben, mit dem Ziel „Kino-sound für Zuhause“[8].

3.1 Noise-Cancelling

Die Geräusch-Unterdrückungs-Technologie bei Kopfhörern kann allgemein in zwei Gruppen eingeteilt werden. Es gibt die passive- und aktive-Geräusch-Unterdrückung. Es wird nachfolgend zuerst die passive und anschließend die aktive Geräuschunterdrückung beschrieben.

Passive-Noise-Cancelling

Zu damaliger Zeit gab es nur zwei Arten von Kopfhörern mit Geräuschunterdrückung, die man kennen musste. Passive- oder Aktive-Geräuschunterdrückung. Passive Geräuschunterdrückung ist viel mehr ein Marketing-Begriff. Hierbei werden die Umgebungsgeräusche durch eine komplette Abschirmung der Hörmuschel, am Ohr, ignoriert. Hierfür wird keine zusätzliche Hardware, wie z.B. Mikrofone oder batteriebezogene Hilfsmittel benötigt. Passive Kopfhörer mit Geräuschunterdrückung sind im Grunde genommen unter anderem Over-Ear-Kopfhörer[6].

Active-Noise-Cancelling

Kopfhörer mit guter aktiver Geräuschunterdrückung können z.B. verwendet werden, um die schallbehandelte Kabine zu ersetzen und ihre Nachteile ausblenden. Schallbehandelte Kabinen dienen dazu Hörtest beim HNO-Arzt oder in einem Fachgeschäft für Hörakustik durchzuführen. Da solche Kabinen Nachteile in Größe, Kosten und Aufwand aufweisen, können Kopfhörer mit dieser Funktion für Hörtests in verhältnismäßig ärmeren Gebieten mit niedrigeren Kosten und Vorteilen verwendet werden. Active Noise Cancelling (Aktive Rauschunterdrückung) beschreibt eine Funktion, die inzwischen immer mehr Kopfhörer bieten. Sie filtern Außengeräusche heraus, um auch unterwegs einen möglichst störungsfreien Hörgenuss zu bewerkstelligen. Dabei werden mit eingebauten Mikrofonen Außengeräusche erkannt und neutralisiert[17].

Wie funktioniert's?

An den Wandlersystemen des Kopfhörers sind außen Mikrofone angebracht, die Umgebungsgeräusche erkennen und diese als elektrische Spannungen an die Kopfhörerelektronik weiterreichen. Hier werden die Geräusche nun dem eigentlichen Nutzsignal (Sprache, Musik) hinzugefügt. Allerdings geschieht dies mit entgegengesetzter (invertierter) Phasenlage, sodass sich am Ohr die akustisch eindringenden und die elektrisch hinzugefügten Schallanteile auslöschen. Das Nutzsignal bleibt dabei weitgehend unberührt[16]. Hierfür siehe Abbildung 18.

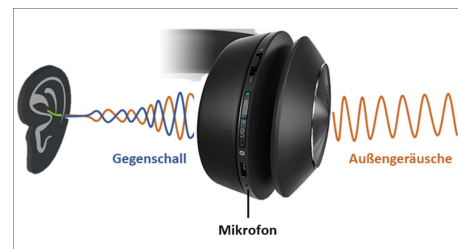


Abbildung 18: Schematische Darstellung[6].

Die ANC-Technik kann in zwei Hauptkategorien eingeteilt werden. Zum Einen in die Feedforward-Rauschunterdrückung und zum Anderen in die Feedback-Rauschunterdrückung. Das Feedforward-System enthält einen Feedforward-Controller, einen Audioverstärker und zwei Mikrofone sowie einen Lautsprecher, wie in Abbildung 19 gezeigt. Das Außenmikrofon nimmt das Umgebungsgeräusch auf, während das Innenmikrofon das Restsignal aufnimmt. In Abbildung 20 wird das Rückkopplungssystem gezeigt. Feedforward hat im Vergleich zu Feedback eine bessere Rauschdämpfung, ist jedoch teurer, da zwei Mikrofone verwendet werden, während für Feedback nur ein Mikrofon verwendet wird. Beide Systeme verwenden den Lautsprecher, um das Anti-Noise zu emittieren[17].

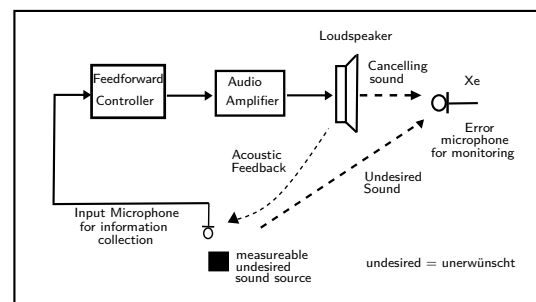


Abbildung 19: Feedforward ANC System[17].

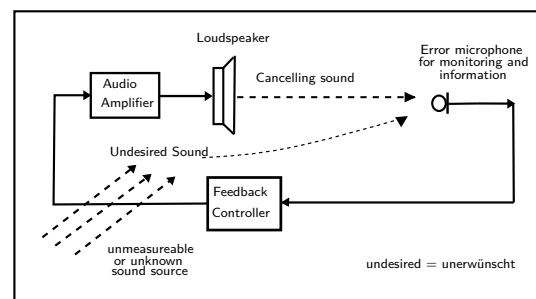


Abbildung 20: Feedback ANC System[17].

Beide Systeme weisen sowohl Vorteile als auch Nachteile in Abhängigkeit vom Rauschsignal und den Umgebungsmerkmalen auf. Der ANC mit Feedforward-Struktur kann sowohl Schmalband- als auch Breitbandrauschen verarbeiten. In vielen Fällen erreicht das vom ANC-System erzeugte Löschsignal jedoch auch das Eingangsmikrofon. Dieser Aspekt führt zu einer wesentlichen Leistungsver schlechterung. Andererseits weist die Feedback-ANC-Struktur diese Art von Verzerrung nicht auf, da sie kein Eingangsmikrofon, wie

oben beschrieben, verwendet. Da diese Struktur jedoch ihr eigenes Eingangssignal erzeugt, verschlechtert sich ihre Leistung wenn die Korrelation zwischen seinen Proben schwächer wird. Als Schlussfolgerung kann man sagen, dass sich eine Kombination aus beiden Strukturen am erfolgreichsten bewährt[11].

Ausblick

Seit den Anfängen der Kopfhörer gab es zahlreiche Entwicklungen. Die Geschichte der Kopfhörer hat schon früh begonnen. Dennoch gibt es in den letzten Jahren nach wie vor große Sprünge in Themen, wie Active-Noise-Cancelling, Bluetooth-Unterstützung, Kabelloses Hören, Akkubetrieb aber auch auf Design legen Hersteller viel Wert. In Zukunft werden weiterhin kabellose Kopfhörermodelle entwickelt werden, die die kabelgebundenen allmählich ablösen. Drahtlose Kopfhörer, zum Beispiel die „MOVE BT“ von Teufel, verbinden sich über Bluetooth mit dem Abspielgerät und bieten oftmals ein deutlich besseres und flexibleres Tragegefühl. Auch der allseits bekannte Kabelbruch ist mit einem Bluetooth-Kopfhörer Geschichte. Ein weiterer Trend, der schon in der Entwicklung begonnen hat und sich weiter durchsetzen wird, sind Kopfhörer mit Geräuschunterdrückung. Noise-Cancelling-Kopfhörer schirmen das Gehör fast vollständig von der Umwelt ab, sodass störungsfreies Musikhören mit intensiverem Sound-Erlebnis möglich wird. Zusätzlicher Aspekt hierbei ist, dass von der Umgebung von den tiefen Bässen der Musik nichts wahrgenommen wird. Die Geschichte der Kopfhörer ist noch lange nicht an ihrem Ende angelangt und wird weiterhin eine große Rolle in der Gesellschaft einnehmen. In heutiger Zeit stellt ein Kopfhörer vielmehr als nur ein Gerät dar, aus dem Töne ausgegeben werden. Dank neuester Technologien lassen sich genau solche Funktionen, wie schon beschrieben, umsetzen.[4].

Fazit

Die Geschichte der Kopfhörer wird eine endlose Geschichte bleiben. Heute sind solche Geräte in der Gesellschaft nicht mehr wegzudenken. Nicht nur aus dem Aspekt heraus, dass man ein tolles Sound-Erlebnis haben kann, wenn man die aktuellsten Geräte vom Markt am Ohr trägt. Sound auf dem Ohr kann auch ein Wohlfühl-Erlebnis darstellen, das viele Menschen beruhigen kann, gerade in stressigen Situationen. Bei einer Analyse von mehreren Studien zu den Auswirkungen von Musik auf die Neurochemie fanden Prof. Daniel J. Levitin, McGill Universität, Fachbereich Psychologie, und sein Team, dass das Hören und Spielen von Musik große Nutzen für die psychische als auch physische Gesundheit hat. Unter dem Begriff Neurochemie fallen Faktoren wie Stimmungsschwankungen, Stress, Stärkung bzw. Schwächung des Immunsystems. Mit Musik kann also genau auf solche Faktoren Einfluss genommen werden. Deshalb nutzen viele Menschen diesen Aspekt „**Musik direkt am Ohr**“ zu haben und das zusätzlich mit einem Spitzen-Gerät in allen Belangen.

Mein Ziel dieser Seminararbeit war es zu zeigen, dass die Kopfhörer ein spannendes Thema sind und weiterhin ein absolut spannendes Thema bleiben. Für mich war es interessant genau deshalb Einblicke zu geben und mit Freude dieses Gebiet zu analysieren[12].

Literatur

- [1] Age of Ears. *Geschichte der Kopfhörer | Age of Ears*. 2015. URL: <http://age-of-ears.com/geschichte-kopfhoerer/>.
- [2] Marco Breddin. *Die Geschichte der Kopfhörer - connect*. 2014. URL: <https://www.connect.de/ratgeber/kopfhoerer-geschichte-historie-1931649.html>.
- [3] Canadian Audiologist. „Headphones: They have Come a Long Way, Baby!“ In: 4.1 (). URL: <https://canadianaudiologist.ca/issue/volume-4-issue-1-2017/column/stories-from-our-past/>.
- [4] Das Lautsprecher Teufel Blog. *Geschichte der Kopfhörer: Von 1878 bis heute | Teufel Blog*. 2017. URL: <https://blog.teufel.de/kopfhoerer-geschichte/>.
- [5] *Electrophone*. 24.11.2013. URL: <http://www.telephonecollecting.org/Bobs%20phones/Pages/Essays/Electrophone.htm>.
- [6] Emre. „Was sind Active Noise Cancelling (ANC) Kopfhörer? Wie funktioniert die Geräuschunterdrückung?“ In: *Emre* (17.03.2021). URL: <https://www.emvoyoe.de/was-sind-active-noise-cancelling-anc-kopfhoerer-wie-funktioniert-die-geraeschunterdrueckung/>.
- [7] Funkkopfhörer & Bluetooth-Kopfhörer. *Kopfhörer Bauformen - Offen, geschlossen, halboffen*. 2013. URL: <https://www.funkkopfhoerer-infos.de/artikel/kopfhoerer-bauformen-offen-geschlossen-halboffen>.
- [8] *Geschichte der Kopfhörer: Wie weit sich die Audiobranche entwickelt hat*. 30.04.2021. URL: <https://www.sony.de/electronics/geschichte-von-hi-res-audio-kopfhoerern-von-sony>.
- [9] Thomas Görne. *Tontechnik: Hören, Schallwandler, Impulsantwort und Faltung, digitale Signale, Mehrkanaltechnik, tontechnische Praxis*. 4., aktualisierte Aufl. Hanser eLibrary. München: Hanser, 2014. ISBN: 978-3-446-43964-1. DOI: 10.3139/9783446441491. URL: <http://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446441491>.
- [10] kopfhoerer.de. *In-Ear-Kopfhörer - kopfhoerer.de*. 27.04.2021. URL: <https://www.kopfhoerer.de/themen/in-ear-kopfhoerer/>.

- [11] Edgar Lopez-Gaudana u. a. „A hybrid active noise cancelling with secondary path modeling“. In: *2008 51st Midwest Symposium on Circuits and Systems*. IEEE, 82008, S. 277–280. ISBN: 978-1-4244-2166-4. DOI: 10.1109/MWSCAS.2008.4616790.
- [12] *Musik gegen Stress* ■ PSYLEX. 14.04.2021. URL: <https://psylex.de/psychische-probleme/stress/abbauen/musik.html>.
- [13] Musikhaus Thomann. *Thomann Online-Ratgeber Die Bauformen Kopfhörer*. 27.04.2021. URL: https://www.thomann.de/de/onlineexpert_page_kopfhoerer_die_bauformen.html.
- [14] OFFICE ROXX. *Office-History: Die Geschichte des Kopfhörers* - OFFICE ROXX. 2017. URL: <https://office-roxx.de/2017/10/18/office-history-der-kopfhoerer/>.
- [15] *Ohrhörer :: earbuds :: ITWissen.info*. 27.04.2021. URL: <https://www.itwissen.info/Ohrhoerer-earbuds.html>.
- [16] Jürgen Schröder. *So funktionieren Noise-Cancelling-Kopfhörer* - connect. 2014. URL: <https://www.connect.de/ratgeber/noise-cancelling-kopfhoerer-funktion-1938934.html>.
- [17] Abdulkarim Shalool u. a. „An investigation of passive and active noise reduction using commercial and standard TDH-49 headphones“. In: *2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEES)*. IEEE, 112016, S. 606–609. ISBN: 978-1-5090-2889-4. DOI: 10.1109/ICAEES.2016.7888118.
- [18] TB. „Schallwandler im Überblick“. In: *beyerdynamic* (6.08.2020). URL: <https://blog.beyerdynamic.de/schallwandler-im-ueberblick/>.
- [19] *Tontechnik für Mediengestalter*. X.media.press. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. ISBN: 978-3-540-71869-7. DOI: 10.1007/978-3-540-71870-3.
- [20] Wikipedia, Hrsg. *Photophone*. 2021. URL: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Photophone&oldid=1006993908>.