

Humboldt - Universität zu Berlin  
Kultur -, Sozial- und Bildungswissenschaftliche Fakultät  
Institut für Musikwissenschaft und Medienwissenschaft

Medienarchäologische Miniaturen. Medientheorie entlang konkreter Ding-Szenarien  
Prof. Dr. phil. Wolfgang Ernst  
Sommersemester 2017

## **Das operative Ohr**

### Abseits der Akustik

David Friedrich  
friedrich.david@gmx.net

---

## Inhalt

1. Anklang .....	2
2. Stimuliertes Hören – Das Cochlea-Implantat .....	5
3. Sonikation – Abseits der Akustik .....	9
4. Ausklang .....	13
5. Literaturverzeichnis .....	14

**Anhang:**            Broschüre:    *Das Leben ist eine Reise. Hören Sie jeden Schritt.  
Cochlear<sup>TM</sup> Nucleus<sup>®</sup> 6 System.*

Eigenständigkeitserklärung

Prüfungsprotokoll

---

## Anklang

Melville Bell, der Vater von Alexander Graham Bell, machte es sich zur Aufgabe seines Lebens, ein international verwendbares Alphabet zu entwickeln, das er unter dem Titel *sichtbare Sprache* im Jahr 1867 veröffentlichte. Neben dem Ziel, alle Sprachen der Welt in einfacher optischer Form unmittelbar darzustellen, waren die Bells, Vater wie Sohn, sehr bemüht, das Los der tauben Menschen zu erleichtern. [...] Bei ihrem zähen Ringen um eine Vervollkommnung der sichtbaren Sprache für Taube stießen die Bells auf eine elektrische Vorrichtung, aus der das Telefon hervorging.<sup>1</sup>

Die Entwicklung des Telefonhörers orientierte sich an der Physiologie des menschlichen Ohres,<sup>2</sup> vor allem an dessen „Knochen und Membranstruktur“<sup>3</sup>, weshalb man vermutlich die Hoffnung hegte, bei exakter Adaption den Gehörlosen ein ‚technisches Ohr‘ zu vermachen. Dieses vermeintlich ‚technische Ohr‘, welches sich prinzipiell wenig vom Hörgerät<sup>4</sup> unterscheidet, bietet den Gehörlosen jedoch nicht das passende Signal, um sie mit der Welt der Hörenden zu vereinen und das obwohl sich das Hörgerät im Deutschen als ein Gerät zum Hören präsentiert. Denn jenes akustische Signal, Vehikel von Information in Form von Schallwellen, findet – im wahrsten Sinne – keinen Anklang im pathologischen Ohr.

Sowohl das Telefon als auch das Hörgerät bestehen aus einem Mikrofon, in dem eine Membran, durch akustische Ereignisse<sup>5</sup> in Schwingung versetzt, ein elektrisches Signal erzeugt.<sup>6</sup> Im Hörgerät lässt sich dieses verstärken, während es im Telefon verschickt wird, mit dem Ziel, die Hörmuschel des Gesprächspartners zu erreichen. Schlussendlich muss das elektrische Signal wieder in die Welt der Akustik überführt werden, wo es das (Außen)Ohr beschallt. Zwar definierte *Warren Weaver* 1949 das Gehirn als Nachrichtenziel,<sup>7</sup> jedoch verknüpfte auch er die ‚Mechanik‘ des Ohres, also Trommelfell und Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss, Steigbügel), mit dem Nervensystem: „Wenn ich zu Ihnen spreche, ist mein Gehirn die Nachrichtenquelle und das Ihre das Ziel; meine Stimmbänder sind der Sender und Ihre Ohren und die damit verbundenen Gehörnerven sind der Empfänger.“<sup>8</sup> Somit erreichen die bereits in elektrische

---

<sup>1</sup> Marshall McLuhan, *Die magischen Kanäle. Understanding media* (1964), Düsseldorf; Wien: Econ, 1968, S. 293.

<sup>2</sup> Vgl. ebd., S. 295.

<sup>3</sup> Ebd.

<sup>4</sup> Das Hörgerät versteht sich in dieser Arbeit als eine hypothetische Eskalation des Kommunikationsrohres, die sich derzeit als höchste Form im digitalen Hörgerät wieder finden lässt. Die drei Eskalationsstufen – Kommunikationsrohr, analoges (z. B. *Phonophor Alpha*, Siemens, 1951) und digitales Hörgerät – verstärken jeweils ein akustisches Ereignis und leiten dieses als solches, nur eben lauter, ans menschliches Außenohr weiter. (Vgl. Volker Hohmann, „Signal Processing in Hearing Aids“, in: *Handbook of Signal Processing in Acoustics*, hrsg. von David Havelock /Sonoko Kuwano u. Michael Vorlander, New York: Springer, 2008, S. 205–212.); Anm.: Das Knochenleitungs- und aktive Mittelohr-Implantat sind in dieser Hypothese noch ausgeschlossen, sollten jedoch aus medienwissenschaftlicher Betrachtung von hohem Interesse sein.

<sup>5</sup> Mit akustischem Ereignis, akustischem Signal oder Akustik sind physikalische Signale in Form von Schallwellen gemeint, also auch Geräusche; jedoch nicht der Klang.

<sup>6</sup> Die Funktion von Telefon und Hörgerät werden hier vereinfacht dargestellt.

<sup>7</sup> Vgl. Warren Weaver, „Ein aktueller Beitrag zur mathematischen Theorie der Kommunikation“, in: *Mathematische Grundlagen der Informationstheorie*, hrsg. von Scientia Nova, München: R. Oldenbourg, 1976, S.11–40, hier: S. 16f.

<sup>8</sup> Ebd., S. 17.

Signale transformierten Schallwellen nicht direkt den menschlichen (Ge)Hörnerv, sondern treffen stattdessen, durch erneute Umwandlung, gleichursprünglich<sup>9</sup> auf das Außenohr. Folglich muss jedes akustische Signal das Ohr passieren, um an den Hörnerv zu gelangen und kettet dadurch den Hörapparat, wie beispielsweise Telefonhörer oder Hörgerät, an die Akustik, samt deren physikalischer Gesetzmäßigkeit. Somit lassen sich die vermeintlich ‚technischen Ohren‘ zwar differenzieren; letztlich bleiben sie jedoch trotz alledem ‚artverwandt‘.

Der entscheidende epistemische Bruch, der später das Hören vom Schall befreite, also den Hörnerv vom (akustischen) Ohr trennt, findet sich erstmals im „galvanoskopischen oder stromprüfenden Frosch“<sup>10</sup> von *Luigi Galvani*. Bereits um 1780, also knapp ein Jahrhundert vor *Bells* Telefon,<sup>11</sup> stellte *Galvani* fest, dass Froschschenkel elektrosensibel sind, wodurch Frösche zu „Agent[en] [...] der Erforschung bioelektrischer Ströme“<sup>12</sup> wurden. Von dessen Forschung inspiriert, stimulierte *Alessandro Volta* in einem Selbstversuch<sup>13</sup> seine Ohren mit Elektrizität und hörte dabei ein Geräusch; der Beginn der Geschichte des Cochlea-Implantats (CI).<sup>14</sup>

Das CI „ist ein technisches Ensemble, das akustische Signale per Mikrofon empfängt, in Elektronik speichert, überträgt, prozessiert und zuletzt an die implantierte Elektrode in der Hörschnecke als Sequenz bioelektrischer Signale sendet.“<sup>15</sup> Damit ermöglicht es Gehörlosen akustische Signale wahrzunehmen, indem die in der Cochlea (Hörschnecke) befindlichen und funktionsbeeinträchtigten Haarsinneszellen ‚überbrückt‘ werden und das ins (bio)elektrische Signal transformierte akustische Ereignis direkt an den Hörnerv, der demnach intakt sein muss, gesendet wird.<sup>16</sup> Anstelle des Froschschenkels wird nun die Cochlea stimuliert.<sup>17</sup> Um etwas zu hören, benötigt ein CI-Träger<sup>18</sup> folglich keine Schallwellen, sondern (bio)elektrische Signale. Dadurch ergibt sich eine Autonomie des Hörnervs – im Gegensatz zu *Weaver*, der Ohr und

---

<sup>9</sup> Gleichursprünglichkeit meint hier, dass das Ursprungssignal, trotz Transformation, dem Ausgangssignal gleicht und dabei – theoretisch – dezent zeitversetzt ist, jedoch nicht ‚zeitversetzt abrufbar‘, aufgrund der fehlenden Speicherungsmöglichkeit. Denn „[e]in und dieselbe Rede auf Grammophonplatte, auf Tonband, gedruckt, durch elektrische Radiowellen“ oder Kabel „übertragen usw. bleibt die semantisch gleiche Menge von Information, obwohl ihre physikalischen Träger ganz verschieden sind“. (Zitiert nach Georg Klaus in: Wolfgang Ernst (A), *Gleichursprünglichkeit. Zeitwesen und Zeitgegebenheit von Medien*, Berlin: Kulturverl. Kadmos, 2012 (Berliner (Programm) einer Medienwissenschaft, Bd. 11), S. 36).

<sup>10</sup> Shintaro Miyazaki (A), „Elektrode im Ohr. Gewebe-Metall-Schaltkreise und Cochlea-Implantate – bis 1984“, in: *SenseAbility. Mediale Praktiken des Sehens und Hörens*, hrsg. v. Beate Ochsner u. Robert Stock, 2016, S. 125–145, hier: S. 128.

<sup>11</sup> Vgl. McLuhan, S. 294.

<sup>12</sup> Miyazaki (A), S. 128.

<sup>13</sup> „So wird berichtet, der Physiker [*Volta*] habe sich die Gehörgänge mit Kochsalzlösung gefüllt und über zwei Elektroden aus seiner entwickelten Batterie eine Spannung angelegt. Diese Konstellation gilt als wegweisend für die elektrische Reizung des noch funktionsfähigen Hörnervs mittels intracochleärer Stimulationselektroden.“ (Beate Ochsner/ Robert Stock, „Das Hören des Cochlea-Implantats“, in: *Historische Anthropologie* 22 (2014), 3., S. 408–425, hier: S. 409).

<sup>14</sup> Vgl. Miyazaki (A), S. 128.

<sup>15</sup> Ebd., S. 126.

<sup>16</sup> Vgl. ebd.

<sup>17</sup> Vgl. ebd., S. 130.

<sup>18</sup> Ich verwende der Einfachheit ausschließlich die männliche Form, die weibliche ist stets mitgemeint.

Nervensystem noch als unzertrennlichen Verbund betrachtete. Dies hat zur Folge, dass dem CI-Träger, aufgrund der Bauweise des Implantates, neben der akustischen Welt, die der elektrischen und elektromagnetischen Signale zur Verfügung steht, die er mittels CI hörbar wahrnehmen kann. So lassen sich bereits heute die Implantate drahtlos mit dem Smartphone verbinden, welches dann nahezu alle ‚auditiven Signale‘, wie beispielsweise Musik oder Telefonate, direkt an das CI sendet.<sup>19</sup> Außenstehende sind von diesem Akt des Hörens ausgeschlossen, denn was der CI-Träger hört, muss nicht mehr zuvor durch Schallwellen ans Ohr transportiert werden, sondern stimuliert den Hörnerv direkt. Demnach wäre es falsch zu behaupten, dass beispielsweise ein computergenerierter Sound, also „die differente Klanghervorbringung durch den Computer“<sup>20</sup>, der direkt an das CI gesendet und vom Träger erhört wird, ein akustisches Signal ist, da das gehörte nie mit der Akustik in ‚Berührung‘ kam.

Dieser Problematik widmet sich *Das operative Ohr – Abseits der Akustik*. Dabei liegt der Fokus auf durch das CI an den Menschen abgegebenen bioelektrischen Signalen, die das Wahrnehmen akustischer Ereignisse überschreiten. Denn aufgrund des Implantats tritt an die Stelle von Gewebe und Knochen nun ein technisches Artefakt, ein *operatives Ohr*, welches Naturgesetzen *abseits der Akustik* unterliegt. Um ein Verständnis dafür zu entwickeln, ist technisches Grundwissen über das CI notwendig und wird in *Stimuliertes Hören – Das Cochlea-Implantat* vermittelt, ganz im Sinne der ‚Berliner Schule‘. Hier wird auch nochmals die Besonderheit des CIs deutlich; aus akustischen werden bioelektrische Signale, die letztlich das Hören nicht-akustischer Ereignisse erst ermöglichen. Dieses Hören ist von *Shintaro Miyazakis* definiertem Trans-Sonischen zu differenzieren, welches „den nicht-hörbaren Bereich von Rhythmen, Oszillationen und non-linearen Fluktuationen“ beschreibt, die „mit technischen Mitteln leicht in hörbare Strukturen transformiert werden können.“<sup>21</sup> Fußend auf der von *Wolfgang Ernst* entwickelten Sonik – die, um hörbar wahrgenommen zu werden, zwar letztlich wie das Trans-Sonische an die Akustik gebunden ist, jedoch bereits „das Sonische als exklusives Produkt des elektro-akustischen Raums“<sup>22</sup> darstellt –, wird im zweiten Abschnitt der Arbeit die *Sonikation* vorgestellt. Ähnlich der Sonifikation, die sich als „akustische Repräsentation von Daten“<sup>23</sup> versteht, handelt es sich bei der *Sonikation* um „the technique of rendering sound in response to data and interactions“<sup>24</sup> – nur eben ohne Akustik.

---

<sup>19</sup> Vgl. Broschüre im Anhang: *Das Leben ist eine Reise. Hören Sie jeden Schritt. Cochlear™ Nucleus® 6 System*, 2016, S. 16.

<sup>20</sup> Wolfgang Ernst (B), „Zum Begriff des Sonischen (Mit medienarchäologischem Ohr erhört/ vernommen)“, in: *PopScriptum 10 – Das Sonische-Sounds zwischen Akustik und Ästhetik*, URL: [https://www2.hu-berlin.de/fpm/popscrip/themen/pst10/pst10\\_ernst.pdf](https://www2.hu-berlin.de/fpm/popscrip/themen/pst10/pst10_ernst.pdf) (Stand: 12.01.2017), 2008, S. 12.

<sup>21</sup> Shintaro Miyazaki (B), *Algorhythmisiert. Eine Medienarchäologie digitaler Signale und (un)erhörter Zeiteffekte*, Berlin: Kulturverl. Kadmos, 2013 (Berliner (Programm) einer Medienwissenschaft, Bd. 12), S. 18.

<sup>22</sup> Ernst (B), S. 6.

<sup>23</sup> Andi Schoon/ Axel Volmar, „Informierte Klänge und geschulte Ohren. Zur Kulturgeschichte der Sonifikation“, in: *Das geschulte Ohr. Eine Kulturgeschichte der Sonifikation*, Andi Schoon & Axel Volmar (Hg.), Bielefeld: Transcript, 2012, S.9–26, hier: S. 10.

<sup>24</sup> Thomas Hermann/ Andy Hunt/ John G. Neuhoff, „Introduction“, in: *The Sonification Handbook*, hrsg. von Thomas Hermann/ Andy Hunt & John G. Neuhoff, Berlin: Logos, 2011, S. 1–6, hier: S. 1.

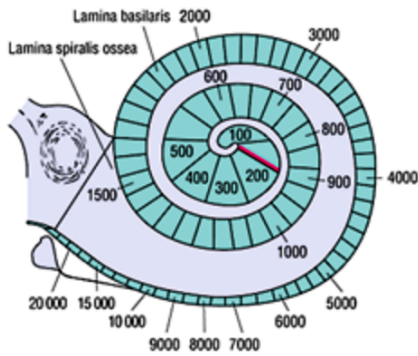


Abb. 1.: Frequenzverteilung auf der Basilarmembran

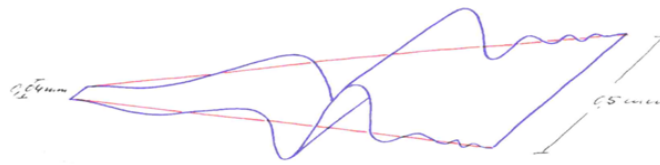


Abb. 2.: Basilarmembran

## Stimuliertes Hören – Das Cochlea-Implantat

Das menschliche Ohr wird in drei Abschnitte unterteilt: Während das Außenohr (1) durch Ohrmuschel und Gehörgang eine Verstärkung der auftreffenden „mechanische[n] Schallwelle[n]“ von 3 kHz erzeugt und des Weiteren der räumlichen Orientierung dient, kommt es im Mittelohr (2), beginnend mit dem Trommelfell, durch „Hebelwirkung und Flächentransformation“ der „Gehörknöchelchenkette (Hammer, Amboss, Steigbügel)“<sup>25</sup>, die auf das ovale Fenster der Cochlea<sup>26</sup> (3) einwirkt, zu einem Lautstärke-Gewinn von 27dB.<sup>27</sup> Demnach trifft ein akustisches Signal auf das Trommelfell, welches dieses weiter an die Gehörknöchelchen leitet, deren letztes Glied, der Steigbügel, auf das ovale Fenster der mit inkompressiblen<sup>28</sup> Flüssigkeit gefüllten, Schneckenhausähnlichen Cochlea ‚schlägt‘ und dort eine „Wanderwelle“<sup>29</sup> auslöst.<sup>30</sup> Diese „wandernde Welle“<sup>31</sup> reizt das auf der Basilarmembran befindliche Corti Organ; die dort stimulierten Haarsinneszellen leiten das umgewandelte mechanische Signal als elektrischen Impuls an den Hörnerv weiter.<sup>32</sup> Dabei ist zu beachten, dass die Basilarmembran, ausgehend vom ovalen Fenster hin zur Spitze der Schnecke (Helicotrema), breiter und dünner wird, was eine Differenzierung der unterschiedlichen Frequenzen ermöglicht (Abb. 1. & 2.).<sup>33</sup> Während die äußeren Haarsinneszellen Signale vom zentralen Nervensystem (ZNS) empfangen, also Informationen vom Gehirn erhalten, transformieren die inneren Haarsinneszelle die Wanderwelle in bioelektrische Signale und geben diese ans ZNS ab. Besteht eine Funktionsstörung oder Schädigung der inneren Haarsinneszellen, dann ist die betreffende Person gehörlos, selbst wenn der Rest des Ohres, folglich der ‚mechanische‘ Teil, intakt ist.<sup>34</sup>

<sup>25</sup> Hörlabor der HTW Berlin, *Das Gehör*, URL: <https://hoerlabor.wordpress.com/hoerprozess/> (Stand: 08.07.2017).

<sup>26</sup> Das Innenohr besteht aus Cochlea und Bogengängen. Letztere sind für den Gleichgewichtssinn zuständig und werden hier nicht berücksichtigt, da dieser für die Arbeit nicht von Belang ist.

<sup>27</sup> Vgl. Hörlabor der HTW Berlin.

<sup>28</sup> „Da die Flüssigkeit in der Schnecke inkompressibel ist, also nicht zusammengedrückt werden kann (*sic*), muss es einen Druckausgleich geben: Dieser geschieht über das runde Fenster.“ (Hörlabor der HTW Berlin).

<sup>29</sup> Hörlabor der HTW Berlin.

<sup>30</sup> Vgl. ebd.

<sup>31</sup> Ebd.

<sup>32</sup> Vgl. ebd.

<sup>33</sup> Vgl. ebd.

<sup>34</sup> Vgl. Ochsner/ Stock, S. 408.

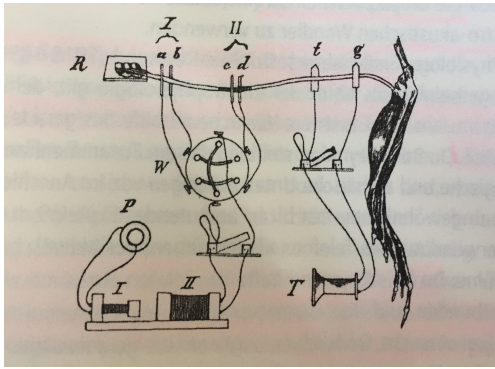


Abb. 3.: Akustisches Galvanoskop.

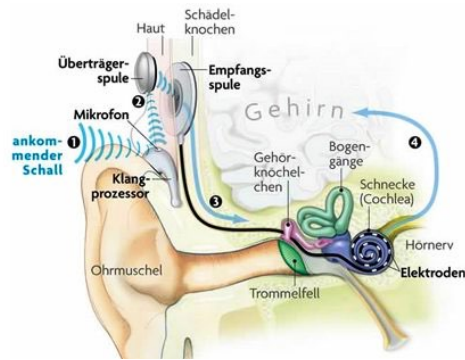


Abb. 4.: Cochlea-Implantat (21. Jahrhundert).

An der Schnittstelle, an der aus mechanischen Signalen elektrische werden, setzt das CI an und provoziert durch „direkte Reizung der funktionierenden Hörnervfasern“<sup>35</sup> einen Höreindruck. Demnach gründet die Technologie auf der von *Galvani* beschriebenen Elektrosensibilität der Nervenzellen, die wiederum *Volta*, *Dubois-Reymond* und weitere wissbegierige Personen zu Experimenten inspirierten, aus deren Erkenntnissen später das CI hervorgehen konnte.<sup>36</sup> Betrachtet man die „elektrophysiologische Experimentalanordnung nach *Wedensky*“<sup>37</sup>, so ähnelt bereits dieses „akustische[] Galvanoskop“<sup>38</sup> (Abb. 3.) aus den 1880er Jahren – zumindest in den Grundzügen – dem ersten Cochlea-Implantat,<sup>39</sup> das *William F. House* und das Geschwisterpaar *John B. Doyle* und *James H. Doyle* 1961 erstmals in einen Menschen implantierten.<sup>40</sup> Der Froschschenkel wurde quasi durch die Cochlea ersetzt. Die Hörwahrnehmung ermöglichte bereits hier das Unterscheiden von Testsignalen gegenüber Tonhöhen – zumindest in einem eingeschränkten Bereich.<sup>41</sup> Der erste „portable[] Stimulator“<sup>42</sup> und damit die Möglichkeit das Labor durch die Alltagswelt zu ersetzen, wurde schließlich 1972 von *Jack Urban* entwickelt.<sup>43</sup>

Das Entscheidende beim CI ist die Schnittstelle zwischen Cochlea und der dort implantierten Elektrode: Während der Prototyp von 1961 noch aus einer einzigen Elektrode bestand,<sup>44</sup> arbeiten heutige Implantate mit bis zu 22 „unabhängig adressierbaren Mikroelektroden.“<sup>45</sup> Dadurch lassen sich die unterschiedlichen Frequenzabschnitte auf der Basilarmembran gezielt stimulieren. „Die Stromimpulse aus

<sup>35</sup> Ebd.

<sup>36</sup> Vgl. Miyazaki (A), S. 128ff.

<sup>37</sup> Axel Volmar (A), „Stethoskop und Telefon – akustemische Technologien des 19. Jahrhunderts“, in: *Das geschulte Ohr. Eine Kulturgeschichte der Sonifikation*, Andi Schoon & Axel Volmar (Hg.), Bielefeld: Transcript, 2012, S. 71–93, hier: S. 84.

<sup>38</sup> Volmar (A), S. 85; Mittels Telefon ließ *Wedensky* akustische Signale in elektrische transformieren, die wiederum die Nervenzellen des Froschpräparates reizten. Vgl. Axel Volmer (B), *Klang-Experimente. Die auditive Kultur der Naturwissenschaften 1761-1961*, (2012), Dissertation an der Universität Siegen, Frankfurt a. M.; New York: Campus-Verl., 2015, S. 75.

<sup>39</sup> Vgl. Volmar (A), S. 84f.

<sup>40</sup> Vgl. Miyazaki (A), S. 135f.

<sup>41</sup> Vgl. ebd., S. 136.

<sup>42</sup> Ebd., S. 139.

<sup>43</sup> Vgl. Ebd.

<sup>44</sup> Vgl. ebd., Anm. 42, S. 140.

<sup>45</sup> Miyazaki (A), Anm. 42, S. 140.

den Elektroden reizen die Fasern des Hörnerven und es entstehen Höreindrücke.“<sup>46</sup> Da die Nervenfasern der tieferen Frequenzen aufgrund der Anatomie nicht von den Elektroden erreicht werden, beschränkt sich die Hörwahrnehmung vor allem auf hohe und mittlere Frequenzen.<sup>47</sup> Die Verarbeitung und Transformation der akustischen Ereignisse in für den Träger hörbare bioelektrische Signale findet jedoch außerhalb des Schädels statt und wird „[ü]ber eine Magnetspule [...] durch die Haut übertragen“<sup>48</sup> (Abb. 4.)<sup>49</sup>, die zugleich via Induktion die Elektrode(n) mit „Stimulationsenergie und -information“<sup>50</sup> versorgt.<sup>51</sup> Dabei erfolgt „die Stimulation in aktuellen Systemen [...] durch digital-kontrollierbare Signale“<sup>52</sup> (Abb. 5.), im Gegensatz zu den ersten ‚analogen‘ Systemen, die ohne digitalen Prozessor arbeiteten (Abb. 6.).<sup>53</sup> Demnach handelt es sich bei digitalen Cochlea-Implantaten (lediglich) um eine Eskalation der Signalverarbeitung und -prozessierung – ins besondere des gesprochenen Wortes, also der Sprache.<sup>54</sup> Um eine ‚optimale‘ Verständlichkeit des Gesprächs zu erzielen, sitzt der Prozessor<sup>55</sup> hinter dem Ohr (Abb. 7.) und verarbeitet die im Mikrophon ankommenden Schallereignisse zu elektrischen Signalen, die über die Magnetspule ans Implantat gesendet werden. Neben der Verarbeitung von akustischen Signalen sind moderne CI-Prozessoren in der Lage, „das gleiche Drahtlosprotokoll“ zu empfangen, „wie Bluetooth®[sic] und WLAN-Geräte.“<sup>56</sup> „Die CI-Träger[] begeben sich [...] in eine akustische Isolation, indem sie sich direkt mit Musikabspielgeräten verbinden, sodass Umgebungsgeräusche ausgestellt werden.“<sup>57</sup> Dadurch entsteht ein Kurzschluss zwischen CI-Träger und technischem Gerät, was folglich die Akustik ausschließt.

---

<sup>46</sup> Jürgen Tchorz in: Karin Harrasser / Jürgen Tchorz, „Geräte zum Hören und Kulturen der Behinderung. Ein Gespräch zwischen Karin Harrasser und Jürgen Tchorz“, in: *SenseAbility. Mediale Praktiken des Sehens und Hörens*, hrsg. v. Beate Ochsner u. Robert Stock, 2016, S. 345–356, hier: S. 348.

<sup>47</sup> Vgl. ebd.

<sup>48</sup> Ebd., S. 347.

<sup>49</sup> Anm. zu Abb. 4.: Der Terminus Klang in ‚Klangprozessor‘ bezieht sich auf die Akustik und nicht auf das Dazwischen, „[z]wischen Physik und kulturelle[r] Semantik“ (Ernst (B), S. 1).

<sup>50</sup> Universität Innsbruck, Institut für Ionenphysik und Angewandte Physik, in: *Signalverarbeitung*, URL: <https://www.uibk.ac.at/ionen-angewandte-physik/angewandte-physik/signalverarbeitung.html.de> (Stand: 15.08.2017).

<sup>51</sup> Vgl. Tchorz, S. 347.

<sup>52</sup> Miyazaki (A), Anm. 42, S. 140.

<sup>53</sup> Vgl. ebd.

<sup>54</sup> Anm.: Bei Schädigung des Hörnerven ist ein CI unbrauchbar, weshalb es die Möglichkeit der Implantation eines ‚Hirnstamm-Implantats‘ gibt, welches – wie der Name schon sagt – direkt den Hirnstamm stimuliert. (Vgl. Universitätsspital Zürich, „Hirnstamm-Implantat“, in: *Weitere Hör-Implantate*, URL: <http://www.orl.usz.ch/fachwissen/cochlea-implantat-zentrum/seiten/weitere-h%C3%B6r-implantate.aspx> (Stand: 04.07.2017); In wie weit es sich hierbei um eine technische Eskalation oder (vielleicht) doch um einen epidemischen Bruch handelt, muss an anderer Stelle diskutiert werden.

<sup>55</sup> Oft wird der Prozessor als ‚Sprachprozessor‘ bezeichnet, da dessen Hauptaufgabe darin besteht, die Sprache aus einer ‚Geräuschkulisse‘ heraus zu filtern. Neue Systeme, wie *SmartSound iQ*, passen sich der aktuellen ‚Sound-Situation‘ (z. B. Konzert, Spaziergang im Freien, etc.) an und optimieren dadurch die Hörwahrnehmung. (Vgl. Broschüre i. A.: S. 12).

<sup>56</sup> Broschüre i. A., S. 16.

<sup>57</sup> Ochsner/ Stock, S. 421.



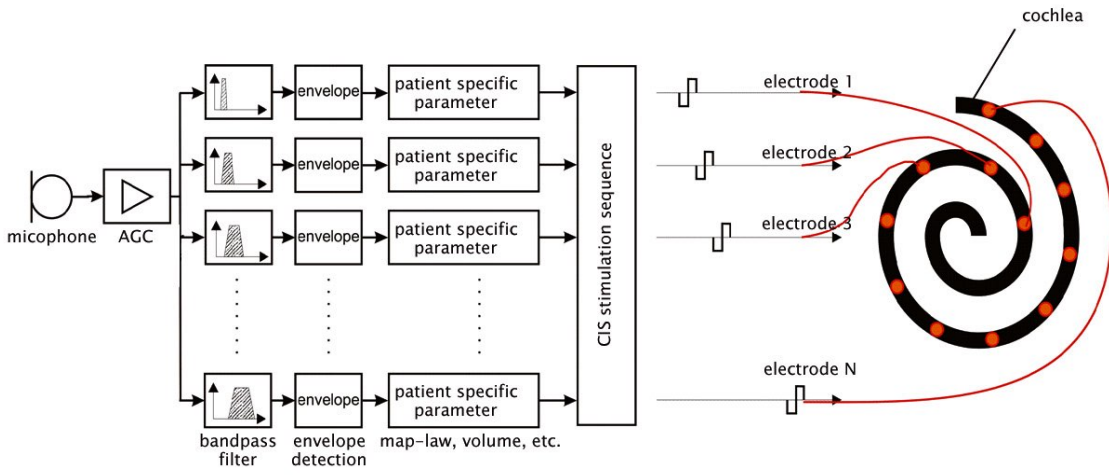


Abb. 5.: Continuous Interleaved Sampling- (CIS-) Strategie.

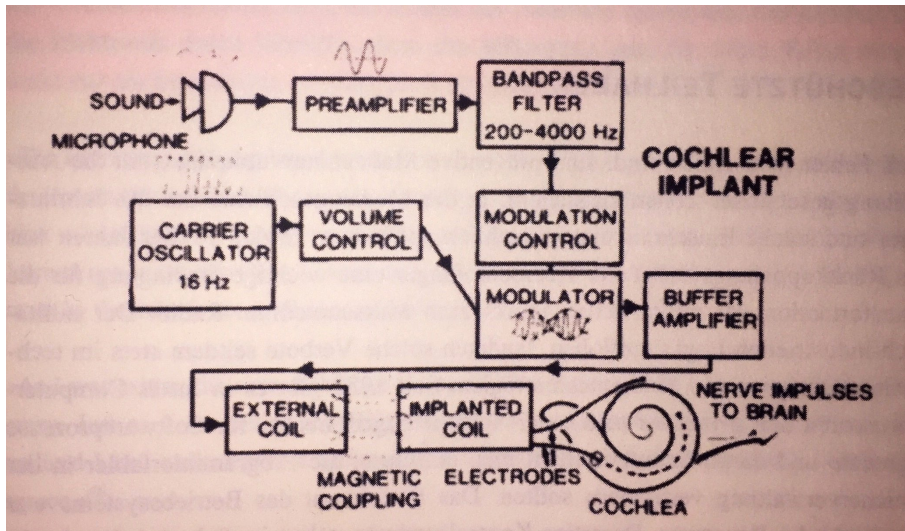


Abb. 6.: Blockschaltung eines Einkanal-Cochlea-Implantats.



Abb. 7.: CI mit Magnetspule (1) und Prozessor (2).

---

## Sonikation – Abseits der Akustik

Das Hören via CI lässt sich in zwei Bereiche aufteilen: Der Erste – und hierin liegt der eigentliche Grund für die Implantation eines Cochlea-Systems – bezieht sich auf die Wahrnehmung akustischer Ereignisse, die mittels Mikrophon empfangen und daraufhin prozessiert werden. Dies ermöglicht dem CI-Träger die Teilhabe an der akustischen Umwelt, samt deren Konsequenz, folglich auch der Erfahrung des Sonischen, also der Verbindung des Akustischen mit einer „kulturhistorischen Dimension“<sup>58,59</sup> sowie der Sonifikation, der akustischen Repräsentation von Daten. Der zweite Bereich befindet sich *abseits der Akustik* und ist dadurch befreit von deren Physik. Es handelt sich dabei um die Wahrnehmung einer „medientechnisch operationalisierte[n] Form von Klang“<sup>60</sup>, der Wahrnehmung der Sonik, die ohne CI lediglich für „techno-mathematische Apparate zu erhören“<sup>61</sup> ist, da die Signale sich im elektrischen Raum bewegen und nicht im akustischen.

Die Sonik als Operation ist im Grunde exklusiv, nicht für das menschlich Ohr, eine Bit-Kette im Computer, Laufzeit im elektrischen Raum, die erst durch Sonifizierung als hörbares Klangprodukt aus der (eigentlichen) Stille enthoben wird.<sup>62</sup> Doch das CI, dieses *operative Ohr*, durchbricht im wahrsten Sinne die Stille und der Träger tritt ein in den exklusiven elektrischen Raum – der für den Träger im Übrigen der einzig hörbare ist. Denn die Akustik lässt sich nur mit Mikrophon erfahren; quasi die sonifizierte Sonik im umgekehrten Sinne. Daraus folgt ein divergentes Klangverständnis: anstelle des „kulturisierte[n] Schall[s]“<sup>63</sup>, dem Sonischen, tritt nun die medientechnische Operation im elektrischen Raum.

Sonik [...] meint die technologische Eskalation und Autonomisierung dieser Wahrnehmungssphäre: die Emanzipation von der kulturellen oder anthropologischen Bindung des Klangs, als gegenüber Stimme und Instrument klangkörperlos, ja mathematisch gewordener Klang – der dann umso emphatischer wiedereinkehrt.<sup>64</sup>

Demnach sind es nicht die kulturellen Praxen, die den Klang formieren, ihm seine ‚Zeichen‘ zuordnen,<sup>65</sup> sondern die im Prozessor in bioelektrische Signale transformierten Bit-Ketten. Die kulturelle Semantik weicht der medientechnischen Information, der operativen Ordnung, dem „Algorithmus“<sup>66</sup>. Folglich ist der Klang nicht an kulturhistorische Zuweisungen gebunden, die via Akustik vermittelt werden; stattdessen

---

<sup>58</sup> Peter Wicke, „Das Sonische in der Musik“, in: *PopScriptum 10 – Das Sonische-Sounds zwischen Akustik und Ästhetik*, 2008, URL: [https://www2.hu-berlin.de/fpm/popscrip/themen/pst10/pst10\\_wicke.pdf](https://www2.hu-berlin.de/fpm/popscrip/themen/pst10/pst10_wicke.pdf) (Stand: 29.05.2017). S. 3.

<sup>59</sup> Vgl. ebd..

<sup>60</sup> Ernst (B), S. 2.

<sup>61</sup> Ebd., S. 4.

<sup>62</sup> Ebd., S. 7.

<sup>63</sup> Wicke, S. 3.

<sup>64</sup> Ernst (B), S. 2.

<sup>65</sup> Vgl. ebd., S. 1f; Vgl. Wicke, S. 1f.

<sup>66</sup> Algorithmus „ist aus der begrifflichen Synthese des technomathematischen und informatischen Begriffs *Algorithmus* mit dem musikalisch-sonischen Begriff *Rhythmus* entstanden.“ (Miyazaki, S. 7).

erfolgt die Differenzierung mittels Algorithmen,<sup>67</sup> die „die richtigen Elektroden auf adäquate Weise physikalisch“ ansprechen, „damit [...] der Träger die für den Hörnerv sonst sinnlosen elektrischen Signale [...] verstehen kann.“<sup>68</sup> Ohne Algorithmen würde der CI-Träger zwar ein Geräusch hören – wie *Volta* im Selbstversuch beschrieben hatte –, doch erst die korrekte Ordnung der Operationen im CI-Prozessor, also die richtige Abfolge bioelektrischer Signale, minutiös gesteuert durch Algorithmen, bilden den Klang. Verbindet beispielsweise ein CI-Träger den Prozessor des Implantats mit einem Computer, um darüber einen für ihn hörbaren, nicht-akustischen Klang zu erfahren, dann handelt es sich dabei um ein operatives Ereignis, eine „algorithmische Komposition“ die ohne Akustik auskommt: „Hier wird die Zahl, die Mathematik operativ, und hier kommen mathematische Formeln und Funktionen ins Spiel.“<sup>69</sup> Insofern ließe sich von einer algorithmischen Semantik sprechen, der erst dann eine kulturelle folgen kann. Folglich meint die „Sonik [...] in ihrer letztendlichen Form die differente Klanghervorbringung durch den Computer.“<sup>70</sup>

Um also dem Gehörlosen ein Gehör zu vermachen, bedarf es lediglich bioelektrischer Signale; doch um einen Klang zu generieren, werden Algorithmen benötigt – so scheint es. Denn das *operative Ohr* ist vielmehr als nur ein am Schädel sitzender Computer, der prozessierte Information an die Cochlea sendet. Es ist ein technisches Artefakt, bestehend aus Mikrofon und Kabeln, die „nicht nur als Stromleiter, sondern auch als Antenne“<sup>71</sup> wirken, und dadurch – eigentlich ungewollt – Störfälle der Elektronik hervorrufen:<sup>72</sup>

The instrument picks up interference from fluorescent lights, power lines, and other items. If the instrument is turned 90 degrees, it usually stops the interference. Passing slowly under a high voltage line will quickly cause one to turn the system down very quickly. I have already learned not to use my electric razor up close to my right ear with sound on. Placing the razor by the mike is not at all uncomfortable.<sup>73</sup>

As I was exiting the aircraft through the boarding tunnel, the instrument momentarily went crazy. Just as I was telling my wife that the instrument was out, it calmed out, and I realized I had walked over a cable or metal detector, or some other energy source.<sup>74</sup>

In Mitten von Elektronik, von der elektromagnetische Strahlung ausgeht, umgeben den Menschen nicht-hörbare Ereignisse, welche jedoch durch das CI erfahrbar werden, weshalb der Träger nicht nur die akustische, sondern auch die elektromagnetische und damit die elektrotechnische Umwelt wahrnimmt. Denn während zuvor der Klang durch einen Algorithmus prozessiert wurde, organisiert nun die von der Elektronik ausgehende elektromagnetische Strahlung die in der Cochlea befindlichen Elektroden, die für die

---

<sup>67</sup> Vgl. Miyazaki (B), S. 8.

<sup>68</sup> Ebd.

<sup>69</sup> Ernst (B), S. 12.

<sup>70</sup> Ebd.

<sup>71</sup> Miyazaki (A), S. 143.

<sup>72</sup> Vgl. ebd.

<sup>73</sup> Zitiert nach Mills in: Miyazaki (A), S. 143.

<sup>74</sup> Ebd.

Stimulierung des Hörnerven verantwortlich sind. Der CI-Träger ist somit (theoretisch)<sup>75</sup> in der Lage, anhand der durch technische Interferenzen ausgelösten Klänge eine Einordnung der dafür verantwortlichen Faktoren vorzunehmen. Demnach vermutet der CI-Träger im genannten Beispiel, dass die Störquelle ein Kabel oder ein Metalldetektor sein könnte. Der vernommene Klang gibt also Aufschluss über die elektrotechnische Umwelt und deren elektromagnetische Felder. Ähnlich der Sonifikation, repräsentiert dieser Klang Daten, nämlich die Frequenz elektromagnetischer Wellen, die mittels CI – vergleichbar dem Radio – empfangen und zum hörbaren Ereignis für den Träger werden. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf elektrotechnische Artefakte ziehen. Diese klangliche Repräsentation elektromagnetischer Wellen, die ohne Akustik für den CI-Träger hörbar sind, also sich im elektrischen Raum der Sonik bewegen, gibt (theoretisch) Auskunft über die elektrotechnische Umwelt und wird im Folgenden als *Sonikation* definiert.

Während die Zuordnung der bioelektrischen Signale zuvor durch Algorithmen bestimmt wurde und der resultierende Klang der Sonik zugeschrieben werden konnte, rücken nun elektromagnetische Wellen an die Stelle mathematischer Operationen. Die kulturelle Semantik bleibt zunächst weiterhin zweitrangig. Nach wie vor spielt sich der Klang-Prozess im elektrischen Raum ab, weshalb die Sonifikation, die an ein „Auditory Display“<sup>76</sup> gebunden ist, als Terminus unbrauchbar erscheint.

*Auditory Display* encompasses all aspects of a human-machine interaction system, including the setup, speakers or headphones, modes of interaction with the display system, and any technical solution for the gathering, processing, and computing necessary to obtain sound in response to the data. In contrast, *Sonification* is a core component of an auditory display: the technique of rendering sound in response to data and interactions.<sup>77</sup>

Das CI ist folglich nicht nur verantwortlich für das Hören, sondern ist zugleich auch Auditory Display. Im Zusammenhang mit der im elektrischen Raum lokalisierten Sonik, wirkt der hier verwendete Begriff ‚Auditory‘ jedoch unpassend, da die für den CI-Träger hörbaren Ereignisse nach wie vor keine akustischen sind.

Nichtsdestotrotz zeigen sich Parallelen zwischen Sonifikation und *Sonikation*: Beide Begriffe lassen sich als „Verfahren und Praktiken zur Organisation intermedialer Übersetzungsprozesse“ verstehen, „bei denen [...] Eingangsdaten“ in hörbare „Ereignisse [...] übersetzt und mittels eines“ Auditory Displays oder CIs „der Interpretation durch einen Hörer zugänglich gemacht werden.“<sup>78</sup> Demnach bietet sich das zwar noch junge, jedoch bereits gut erarbeitete Forschungsfeld der Sonifikation als Vorlage für die *Sonikation* an.<sup>79</sup> Denn gerade anhand der Entstehungsgeschichte der von *Joseph Leopold Auenbrugger* entwickelten „Perkussion [...] zu einer diagnostischen

---

<sup>75</sup> Anm.: Da Daten aus der Praxis fehlen, lässt sich lediglich auf einer theoretischen Ebene argumentieren.

<sup>76</sup> Hermann/ Hunt/Neuhoff, S. 1.

<sup>77</sup> Ebd.

<sup>78</sup> Schoon/ Volmar, S. 11.

<sup>79</sup> Vgl. Volmar (A), S. 71.

Praxis“<sup>80, 81</sup> lässt sich ein Ausblick auf die Möglichkeit klanglicher Repräsentation elektromagnetischer Wellen, der *Sonikation*, wagen.

Der österreichische Arzt *Auenbrugger* stellte Mitte des 18. Jahrhunderts fest, dass der Klopfeschall bei Perkussion des menschlichen Brustkorbs, je nach Krankheitsbild, variiert.<sup>82</sup> „Die Abweichung des krankheitsbedingten Klopfeschalls vom gesunden führt *Auenbrugger* u.a. auf eine krankhafte Zu- und Abnahme der üblichen Luft- bzw. Flüssigkeitsmenge im Körper oder Ausdehnungen oder Verhärtungen von Organen zurück.“<sup>83</sup> Dieses frühe Beispiel der akustischen Repräsentation von Daten, in diesem Fall die akustische Diagnostik, hatte den Vorteil, ohne invasiven Eingriff den Gesundheitszustand des Patienten *erhören* zu können.<sup>84</sup> Der Pariser Arzt und Erfinder des Stéthoscope (griech.: Brustbetrachter) *René Théophile Hyacinthe Laënnec* griff letztlich die akustische Diagnostik *Auenbruggers* auf und führte diese auf eine höhere Stufe:<sup>85</sup>

Erst wenn es *Laënnec* gelungen war, einen eindeutigen Zusammenhang zwischen einem charakterlichen Klangmuster und einem bestimmten Läsionstyp herzustellen, akzeptierte er das akustische Ereignis als diagnostisches Zeichen, das stellvertretend für diese Läsion stehen konnte.<sup>86</sup>

Demnach stellt der Kurzschluss zwischen Krankheit und Schallereignis, also die Zuordnung einer Erkrankung zu einem dementsprechenden akustischen Ereignis, aus einem Geräusch einen Klang her. Entscheidend ist folglich die Zeichenzuordnung, die der Sonifikation zugrunde liegt und auch bei der *Sonikation* von hoher Bedeutung ist.

Vergleicht man nun das Verfahren von *Auenbrugger* und *Laënnec* mit der *Sonikation*, so ließe sich der menschliche Körper mit dem des technischen Artefakts gleichsetzen; die Erkrankung und deren spezifisches Schallereignis mit der Frequenz der elektromagnetischen Welle der Elektronik. Daraus ergibt sich ein Klangmuster, welches elektrotechnische Artefakte, wenn nicht deutlich bestimmt, zumindest stark eingrenzt. Zunächst muss klar sein, dass die Elektronik von elektrotechnischen Artefakten mittels elektromagnetischer Wellen auf das CI einwirken. Der CI-Träger erfährt ein Geräusch, ausgelöst durch elektromagnetische Wellen, die als bioelektrische Signale an die Elektroden weitergeleitet werden und dort die Cochlea stimulieren. Die Frequenzhöhe des Geräusches gibt bereits Auskunft darüber, welche Elektrode welchen (Frequenz)Bereich der Cochlea stimuliert. Hinzu kommt die von der Frequenz der elektromagnetischen Wellen abhängigen Rhythmik. Folglich müsste es möglich sein, anhand der Frequenzhöhe und der Rhythmik des Geräusches eine klangliche Zuordnung zu einem elektrotechnischen Artefakt herzustellen. Ähnlich der von *Laënnec* hergestellten Zusammenhänge zwischen Läsionstyp und Klangmuster, bedarf es einer „Referenzbeziehung[]“ zwischen Geräusch und elektrotechnischem Artefakt, welcher

---

<sup>80</sup> Volmar (A), S. 73f.

<sup>81</sup> Vgl. ebd.

<sup>82</sup> Vgl. ebd.

<sup>83</sup> Ebd., S. 74f.

<sup>84</sup> Vgl. ebd., S. 76.

<sup>85</sup> Vgl. ebd., S. 78ff.

<sup>86</sup> Ebd., S. 80.

jedoch ein „Zuordnungsprozess“<sup>87</sup> vorausgeht. Die *Sonikation* gibt demnach, durch die korrekte Zuweisung elektromagnetischer Wellen, eine klangliche Auskunft über elektrotechnische Artefakte.

---

## Ausklang

Das CI ist schon lange kein Experiment mehr – vor allem keins mit Froschschenkeln –, welches fern ab der Gesellschaft im Labor abläuft. Bereits 2011 nutzten laut der *Deutschen Cochlea Implantat Gesellschaft e.V.* weltweit 300.000 Personen ein *operatives Ohr* und es werden stetig mehr.<sup>88</sup> Doch auch wenn (noch) die Anzahl der CI-Träger überschaubar ist, kann davon ausgegangen werden, dass es zur Eskalation der Hör-Kultur kommen wird. Denn bereits jetzt emanzipiert sich dieses technische Artefakt von den gewohnten Hörmechanismen, indem es einen Kurzschluss zwischen sich und anderen medientechnischen Geräten herstellt und damit die Akustik ausgrenzt.

Dem schließt sich eine neuen Betrachtung des Hörens an und des damit einhergehenden Verständnisses von Klang. Während Personen ohne Beeinträchtigung des Gehörs lediglich auf akustische Signale Zugriff haben, lässt sich mittels CI auch die techno-mathematischen Welt erhören. Damit ist bereits heute die Sonik nicht mehr auf die Transformation des im elektrischen Raum erzeugten Klanges in akustische Ereignisse angewiesen, um hörbar zu sein. Folglich ist mit der Abspaltung des Hörnervs von dem mechanischen Teil des Ohres auch die Sonik zum autonomen Gegenstand der Wissenschaft geworden. Im Schlepptau trägt sie die *Sonikation* mit sich, eine Hypothese, die hier nur theoretisch vorgestellt werden konnte. Zwar zeigen dokumentierte Erfahrungsberichte, dass elektromagnetische Wellen Geräusche im CI produzieren, doch bleibt fraglich, ob die Zuordnung zwischen Geräusch und elektrotechnischem Artefakt in dem Maße möglich ist, wie es seinerzeit *Laënnec* in der akustischen Diagnostik gelungen war. Des Weiteren bleibt fraglich, welche Vorteile ein CI-Träger durch die *Sonikation* hat, da die erfahrenen Hör-Ereignisse eher als störend beschrieben werden.

Nichtsdestotrotz denke ich, dass das *operative Ohr* und dessen Form der Hörwahrnehmung eine wichtige Stellung in der zukünftigen Medienwissenschaft – aber auch der Kybernetik – einnehmen wird. Denn es scheint paradox, ohne die Existenz einer Schallwelle zu hören, aber bereits heute ist es Realität.

---

<sup>87</sup> Volmar (A), S. 80.

<sup>88</sup> Vgl. Ochsner/ Stock, S. 408.

---

## Literaturverzeichnis

### Literatur

- Ernst (A), Wolfgang, *Gleichursprünglichkeit. Zeitwesen und Zeitgegebenheit von Medien*, Berlin: Kulturverl. Kadmos, 2012 (Berliner (Programm) einer Medienwissenschaft, Bd. 11).
- Harrasser, Karin/ Jürgen Tchorz, „Geräte zum Hören und Kulturen der Behinderung. Ein Gespräch zwischen Karin Harrasser und Jürgen Tchorz“, in: *SenseAbility. Mediale Praktiken des Sehens und Hörens*, hrsg. v. Beate Ochsner u. Robert Stock, 2016, S. 347–356.
- Hermann, Thomas/ Andy Hunt/ John G. Neuhoff, „Introduction“, in: *The Sonification Handbook*, hrsg. von Thomas Hermann/ Andy Hunt & John G. Neuhoff, Berlin: Logos, 2011, S. 1–6.
- Hohmann Volker, „Signal Processing in Hearing Aids“, in: *Handbook of Signal Processing in Acoustics*, hrsg. von David Havelock /Sonoko Kuwano u. Michael Vorlander, New York: Springer, 2008, S. 205–212.
- McLuhan, Marshall, *Die magischen Kanäle. Understanding media* (1964), Düsseldorf; Wien: Econ, 1968.
- Miyazaki (A), Shintaro, „Elektrode im Ohr. Gewebe-Metall-Schaltkreise und Cochlea-Implantate – bis 1984“, in: *SenseAbility. Mediale Praktiken des Sehens und Hörens*, hrsg. v. Beate Ochsner u. Robert Stock, 2016, S. 125–145.
- Miyazaki (B), Shintaro, *Algorhythmisiert. Eine Medienarchäologie digitaler Signale und (un)erhörter Zeiteffekte*, Berlin: Kulturverl. Kadmos, 2013 (Berliner (Programm) einer Medienwissenschaft, Bd. 12).
- Ochsner, Beate/ Robert Stock, „Das Hören des Cochlea-Implantats“, in: *Historische Anthropologie* 22 (2014), 3., S. 408–425.
- Schoon, Andi/ Axel Volmar, „Informierte Klänge und geschulte Ohren. Zur Kulturgeschichte der Sonifikation“, in: *Das geschulte Ohr. Eine Kulturgeschichte der Sonifikation*, Andi Schoon & Axel Volmar (Hg.), Bielefeld: Transcript, 2012, S.9–26.
- Volmar (A), Axel, „Stethoskop und Telefon – akustemische Technologien des 19. Jahrhunderts“, in: *Das geschulte Ohr. Eine Kulturgeschichte der Sonifikation*, Andi Schoon & Axel Volmar (Hg.), Bielefeld: Transcript, 2012, S. 71–93.
- Volmer (B), Axel, *Klang-Experimente. Die auditive Kultur der Naturwissenschaften 1761-1961*, (2012), Dissertation an der Universität Siegen, Frankfurt a. M.; New York: Campus-Verl., 2015.
- Weaver, Warren, „Ein aktueller Beitrag zur mathematischen Theorie der Kommunikation“ (1949), in: *Mathematische Grundlagen der Informationstheorie*, hrsg. von Scientia Nova, München: R. Oldenbourg, 1976, S.11–40.

## Online-Quellen

Ernst (B), Wolfgang, „Zum Begriff des Sonischen (Mit medienarchäologischem Ohr erhört/ vernommen)“, in: *PopScriptum 10 – Das Sonische-Sounds zwischen Akustik und Ästhetik*, URL: [https://www2.hu-berlin.de/fpm/popscrip/themen/pst10/pst10\\_ernst.pdf](https://www2.hu-berlin.de/fpm/popscrip/themen/pst10/pst10_ernst.pdf) (Stand: 12.01.2017), 2008.

Hörlabor der HTW Berlin, *Das Gehör*, URL: <https://hoerlabor.wordpress.com/hoerprozess/> (Stand: 08.07.2017).

Universität Innsbruck, Institut für Ionenphysik und Angewandte Physik, in: *Signalverarbeitung*, URL: <https://www.uibk.ac.at/ionen-angewandte-physik/angewandte-physik/signalverarbeitung.html.de> (Stand: 15.08.2017).

Universitätsspital Zürich, „Hirnstamm-Implantat“, in: *Weitere Hör-Implantate*, URL: <http://www.orl.usz.ch/fachwissen/cochlea-implantat-zentrum/seiten/weitere-h%C3%B6r-implantate.aspx> (Stand: 04.07.2017).

Wicke, Peter, „Das Sonische in der Musik“, in: *PopScriptum 10 – Das Sonische-Sounds zwischen Akustik und Ästhetik*, 2008, URL: [https://www2.hu-berlin.de/fpm/popscrip/themen/pst10/pst10\\_wicke.pdf](https://www2.hu-berlin.de/fpm/popscrip/themen/pst10/pst10_wicke.pdf) (Stand: 29.05.2017).

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1. Frequenzverteilung auf der Basilarmembran, *Hörlabor der HTW Berlin*, URL: <https://hoerlabor.files.wordpress.com/2013/06/frequenzverteilung-e1370508377503.png> (Stand: 14.08.2017)
- Abb. 2. Basilarmembran, *Hörlabor der HTW Berlin*, URL: <https://hoerlabor.files.wordpress.com/2013/06/basilarmembran1-e1370511805338.png> (Stand: 14.08.2017).
- Abb. 3. Akustisches Galvanoskop, Volmar, Axel, „Stethoskop und Telefon – akustemische Technologien des 19. Jahrhunderts“, in: *Das geschulte Ohr. Eine Kulturgeschichte der Sonifikation*, Andi Schoon & Axel Volmar (Hg.), Bielefeld: Transcript, 2012, S. 71–93, hier: 84.
- Abb. 4. Cochlea-Implantat (21. Jahrhundert), „Eine bionische Hörprothese: das Cochlea-Implantat“, in: *BIOKON. Das Bionik-Kompetenznetz*, URL: [http://www.biokon.de/bionik/best-practices/detail/?tx\\_nenews\\_uid=1636&cHash=3dbb41d456513c2140a931f85681194a](http://www.biokon.de/bionik/best-practices/detail/?tx_nenews_uid=1636&cHash=3dbb41d456513c2140a931f85681194a) (Stand: 14.08.2017), 2014.
- Abb. 5. CIS-System, „Ontology 2“, in: *DNBhelp*, URL: <https://dnbhelp.files.wordpress.com/2011/10/cis.jpg> (Stand: 14.08.2017).
- Abb. 6. Blockschaltung Einkanal-Cochlea-Implantat (1983), Bradly J. Edgerton in: Miyazaki, Shintaro, „Elektrode im Ohr. Gewebe-Metall-Schaltkreise und Cochlea-Implantate – bis 1984“, in: *SenseAbility. Mediale Praktiken des Sehens und Hörens*, hrsg. v. Beate Ochsner u. Robert Stock, 2016, S. 125–145, hier: S. 141.



Abb. 7. CI mit Magnetspule und Prozessor, *Berliner Zeitung*, URL: <http://www.berliner-zeitung.de/gesundheit/cochlea-implantat-nach-30-jahren-taubheit-wieder-hoeren-853740> (Stand: 15.08.2017), 2015.