

Elektroden im Ohr

Gewebe-Metall-Schaltkreise und Cochlea-Implantate – bis 1984

SHINTARO MIYAZAKI

[D]ans le grand corps social de l'Empire qui est comme une énorme méduse échouée de toute sa rondeur sur toute la rondeur de la Terre, sont plantées des électrodes, des centaines, des milliers d'électrodes, des nombres à peine croyable d'électrodes.

TIQQUN: ET LA GUERRE EST A PEINE COMMENCEE

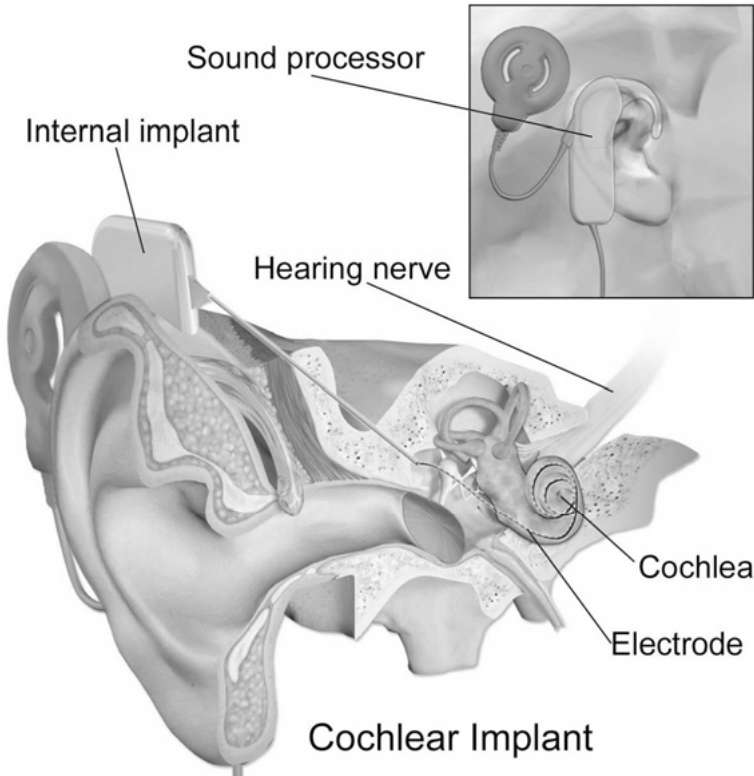
Während das linksradikale Autorenkollektiv *Tiqqun* unseren neoliberal-kapitalistischen Gesellschaftskörper als erdengroße Qualle, in deren Gewebe Aber-tausende von Elektroden implantiert wurden, allegorisiert und mit dieser grotesken Beschreibung die zunehmende Kybernetisierung unseres Lebens ins Visier ihrer Kritik nimmt,¹ scheint die prosaische Wüstigkeit der Realität im frühen 21. Jahr-hundert viel harmloser: Cochlea-Implantate zeigen, dass elektrodische Infrastruk-turen längst ins Innere des Menschen eingepflanzt werden. Schlimm ist es nicht. Die Invasion der Elektroden in Menschenfleisch, das heißt bis zu einem gewissen Grade das avancierte »Medien-Werden«² menschlicher Physiologie, geschieht

1 »Im großen Gesellschaftskörper des Imperiums, der wie eine auf der runden Erdoberflä-che gestrandete, riesige, erdgroße, runde Qualle ist, sind Hunderte, Tausende – ja, eine schier unglaubliche Menge an Elektroden implantiert.« (Übersetzung S.M.) Tiqqun: Et la guerre est à peine commencée, Regie: anonym, 2001, <https://vimeo.com/54313688> (letzter Zugriff: 21.06.2016).

2 Vogl, Joseph: Medien-Werden. Galileis Fernrohr, in: Archiv für Mediengeschichte 1 (2001), S. 115-123.

ironischerweise nicht um abzuhören, zu überwachen und zu kontrollieren, sondern um zu helfen und Lebensqualität zu verbessern.

Abbildung 1: herkömmliches Cochlea-Implantat, frühes 21. Jahrhundert



aus: Cochlear Implant by Blausen Medical Communications, Inc.; Wikiversity Journal of Medicine. DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 20018762.

Cochlea-Implantate sind technologisch hochentwickelte Hör-Systeme für Gehörlose deren Hörnerv nicht funktionsgestört ist, aber deren Haarsinneszellen in der Hörschnecke – Cochlea – durch Krankheiten oder Unfälle zerstört wurden (Abb. 1). Herkömmliche Hörgeräte helfen hier nicht, aber das Cochlea-Implantat. Es ist ein technisches Ensemble, das akustische Signale per Mikrophon empfängt, in Elektronik speichert, überträgt, prozessiert und zuletzt an die implantierte Elektrode in der Hörschnecke als Sequenz bioelektrischer Signale sendet. Aktuelle Varianten bestehen üblicherweise aus einem implantierten Empfänger, einem außen am Kopf angebrachten Sender und dem sogenannten Signalprozessor, der wie ein herkömmliches Hörgerät hinter dem Ohr getragen wird. Das Cochlea-Implantat ist daher eine

Medientechnologie, die die Lage seiner Trägerin³ auf drastischer Weise bestimmt. Es erweitert ihre physiopathologisch bedingte Gehörlosigkeit durch eine avancierte Technoästhetik, die eine auditive Teilhabe an ihrer gesellschaftlichen und kulturellen Umwelt ermöglicht.

Laut der *Deutschen Cochlear Implant Gesellschaft e.V.* gab es per 31. Dezember 2011 weltweit rund dreihundertfünfzig Tausend Cochlea-Implantat-Trägerinnen, davon ungefähr dreißig Tausend in Deutschland. Im medienhistorischen und -theoretischen Diskurs bisher eher unbeachtet zeichnet sich die Relevanz des Cochlea-Implantats nicht nur durch eine technologische Grenzüberschreitung⁴ ins Körperinnere und eine Verdrahtung von Elektronik mit Nerven- und Sinneszellen aus, sondern schließt auch einen Vorstoß in neue Möglichkeitsräume ästhetischer und soziotechnologischer Mediengestaltung und Kontrolle ein. Physiologische Prozesse der Wahrnehmung sind wie alle messbaren Vorgänge niemals direkt zugänglich, sondern werden, wie hier gezeigt wird, stets von medialen, epistemologischen, ästhetischen und sozialen Agenturen, Gefügen und Mitteln mitgeprägt, übersetzt, gestaltet und produziert.

1984 bewilligte die US-amerikanische Behörde *Food and Drug Administration* (FDA)⁵ das erste Cochlea-Implantat für Erwachsene über 18 Jahre. Vorliegender Beitrag setzt dies als medien- und wissenshistorische Horizontgrenze und legt zunächst zwei wichtige Vorbedingungen für die Emergenz der Cochlea-Implantat-Forschung in den 1960er-Jahren dar: Einerseits das Wissen über Metall-Gewebe-Medien- oder Elektroden-Elektrolyt-Systeme, die um 1800 begann und andererseits das Prinzip der elektrischen Modellierung neuronaler und aurikularer Prozesse durch sogenannte Ersatzschaltkreise, das sich spätestens in den 1920er Jahren als wissenschaftliche Methode etablierte. Im Anschluss daran werden die ersten Implantationsversuche und Stimulationsexperimente der 1960er Jahre dargelegt, um danach die Phase der Langzeitstudien und ersten Erfolge zwischen 1970 und 1984 zu beschreiben. Zuletzt beschäftigt sich der Beitrag unter anderem mit biopolitischen Aspekten des Alltagslebens im *protected mode*, den die Cochlea-Implantat-Trägerin akzeptieren muss. Daraus werden schließlich allgemeine Schlussfolgerungen bezüglich aktuellen postmedialen, technoökologischen Medienkonstellationen gezogen.

3 Ich verwende hier zwecks Einfachheit ausschließlich die weibliche Variante, die männliche ist stets mitgemeint.

4 Friedrich, Kathrin/Gramelsberger, Gabriele: Techniken der Überschreitung. Fertigungsmechanismen »verlässlich lebensfähiger« biologischer Entitäten, in: Zeitschrift für Medienwissenschaft 4 (2011), S. 31-37.

5 Verantwortlich für den Schutz der öffentlichen Gesundheit in den USA.

METALL-FLEISCH-ÜBERGÄNGE 1780-1902

Ein Cochlea-Implantat besteht nicht nur aus Elektronik, sondern ist auch ein Fleisch-Metall-Medium. Damit die biotechnologische Invasion in die Cochlea geschehen konnte, war ein fundiertes Wissen über Elektroden und die elektrochemischen Effekte, die sie auf Nervenzellen, organisches Gewebe, biologische Elektrolyte und Flüssigkeiten bewirkten, notwendig. Die Geschichte des Cochlea-Implantats beginnt folglich nicht um 1960, sondern 180 Jahre früher um 1780 mit Luigi Galvanis (1737-1798) animalischer Elektrizität und dem Frosch.⁶ Die Elektrosensibilität seines Schenkels machte ihn zum einfachen Messgerät und unverzichtbaren Agent innerhalb der Erforschung bioelektrischer Ströme. Der Froschschenkel zeigte nämlich die Existenz von Elektrizität mit einem Zucken an – man sprach vom galvanoskopischen oder stromprüfenden Frosch.⁷

Im März 1800 beschrieb Alessandro Volta (1745-1827) eine Apparatur – später Volta'sche Säule oder Voltasäule genannt –, mit der er Elektrizität nicht mehr wie bis dahin elektrostatisch durch Reibung, sondern elektrochemisch erzeugen konnte. Sie bestand aus übereinander geschichteten Kupfer- und Zinkscheiben, zwischen denen mit Salzwasser befeuchte Papp- oder Lederstücke gelegt wurden. Später im Juni wird der Bericht an einer Versammlung der *Royal Society of London* verlesen.⁸ Die neuartige Stromquelle war zwar strikt non-organisch, doch verglich Volta sie mit den lebendigen Organen eines elektrischen Fisches. Im selben Bericht beschrieb er das in der Geschichte des Cochlea-Implantats viel zitierte einmalige Selbstexperiment der elektrischen Stimulation seiner Ohren: Er hörte ein unangenehmes Geräusch. Das Experiment war ihm zu gefährlich und wurde von ihm nie wiederholt.

Vor allem in England kam es zu Nachbauten und Modifizierungen der Voltasäule. Die feucht-wässrigen Medien zwischen den Metallen der Voltasäule wurden bald durch flüssige ersetzt. Humphry Davy (1778-1829), ab 1802 Mitglied der *Royal Society of London*, beschrieb bereits im Dezember 1800 einen Aufbau mit

-
- 6 Rieger, Stefan: »Der Frosch – ein Medium?«, in: Münker, Stefan/Roesler, Alexander (Hg.), Was ist ein Medium?, Frankfurt a.M.: Suhrkamp 2008, S. 285-303.
 - 7 Dierig, Sven: Wissenschaft in der Maschinenstadt. Emil Du Bois-Reymond und seine Laboratorien in Berlin, Göttingen: Wallstein Verlag 2006, S. 101ff.; Schmidgen, Henning: Die Helmholtz-Kurven. Auf der Spur der verlorenen Zeit, Berlin: Merve 2009, S. 75.
 - 8 Volta, Alexander: »On the Electricity Excited by the Mere Contact of Conducting Substances of Different Kinds. In a Letter from Mr. Alexander Volta, F.R.S. Professor of Natural Philosophy in the University of Pavia, to the Rt. Hon. Sir Joseph Banks, Bart. K.B.P.R.S.«, in: Philosophical Transactions of the Royal Society of London 90 (1800), S. 403-431.

Schwefelsäure als »Medium« und bezeichnete den Aufbau als Zelle.⁹ Spätestens seit 1834 als sein Schüler Michael Faraday (1791-1867) in seiner berühmten Abhandlung zur elektrochemischen Dekomposition die heute noch üblichen Begriffe Elektrode, Elektrolyse, Anode und Kathode einführte,¹⁰ hatte sich der Begriff Zelle vor allem in England in der Nomenklatur der Elektrochemie etabliert. Die bekanntesten dieser Zellen waren die Daniell-*Cell*, die Grove-*Cell*, die Bunsen-*Cell* und die Poggendorff-*Cell*.

All dies führte Ende der 1840er Jahre beim Berliner Physiologen Emil Dubois-Reymond (1818-1896) zum epistemischen Kurzschluss elektrochemischer Zellen mit biologisch-physiologischen Zellen.¹¹ Die unerklärbaren Vorgänge der Nervenzellen, die den Muskel- und Nervenstrom erzeugten und die er erforschte, wurden von ihm per Analogisierung mit der Elektrolyse einer elektrochemischen Zelle verglichen. Dubois-Reymond beschrieb den Froschmuskel als ein komplexes Gefüge elektrochemischer Zellen: Nervenzellen als Batterien.¹² Nicht nur das: Zur Experimentalpraxis von Physiologen wie Dubois-Reymond, Hermann von Helmholtz (1821-1894) und deren Schülern gehörten nicht nur Messgeräte wie der Froschschenkel, das Galvanometer oder Kymographen mit rauchgeschwärzten Druckwalzen, sondern auch die erwähnten Batterie-Zellen und Induktionsspulen, mit denen sie die tierische Membrane elektrisch stimulierten. Ende der 1870er Jahre kam ein neues Medium hinzu: das Telefon.

»Es gelingt nun leicht, auch durch die Ströme des Telephons Zuckungen zu erregen. [...] [S]o geräth der Schenkel in Zuckungen, sobald man in des Telephon A hineinspricht, -singt, -pfeift, oder auch nur dessen Trichter etwas kräftig auf den Tisch aufsetzt. Dabei zeigt sich, dass der Nerv für gewisse Laute empfindlicher ist, als für andere. Ruft man ihm zu: Zucke! So zuckt der Schenkel; auf das erste i in: Liege still! reagirt er nicht.«¹³

9 Davy, Humphry: »An Account of some Additional Experiments and Observations on the Galvanic Phenomena«, in: *Journal of Natural Philosophy, Chemistry, and the Arts* 4 (December, 1800), S. 394-402, hier 394.

10 Faraday, Michael: »Experimental Researches in Electricity. Seventh Series«, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 124 (1834), S. 77-122, hier 118.

11 Dubois-Reymond, Emil Heinrich: *Untersuchungen über thierische elektricität*, Erster Band, Berlin: G. Reimer 1848, S. 200.

12 Ebd., 419. Vgl. auch Lenoir, Timothy: »Models and Instruments in the Development of Electrophysiology, 1845-1912«, in: *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 17.1 (1986), S. 1-54, hier 14ff.

13 Dubois-Reymond, Emil Heinrich: »Über das Telephon. Sitzung am 30. Nov. 1877«, in: *Archiv für Anatomie und Physiologie, Physiologische Abteilung* (1877), S. 573-576, hier S. 576. Vgl. dazu Volmar, Axel: »Stethoskop und Telefon. Akustemische Technologien

Hinsichtlich ihres technischen Ensembles und der involvierten Machtstruktur unterscheiden sich diese kruden Stimulationsexperimente, in denen akustische Signale telefonisch in elektrische Ströme, die Nervengewebe stimulieren, umgewandelt wurden, nur graduell von den späteren Stimulationsexperimenten der beginnenden Cochlea-Implantats-Forschung in den 1960er Jahren. Statt des Froschschenkels wurde lediglich die Cochlea stimuliert. Zum Telefon kamen später Elektronenröhren-Verstärker, Oszillator und Oszilloskop hinzu. Genau darin liegen aber die Unterschiede, die zählen, denn mit dem je unterschiedlichen Einzug neuer Medien entstanden neue Modelle, Episteme und wissenschaftliche Methoden.

BIOELEKTRISCHE ERSATZSCHALTKREISE 1867-1952

Die Wende weg von der Nervenzelle als Batterie hin zur selben als Kondensator¹⁴ zeitigt sich mit der Verbreitung der Telegrafie in den 1850er und 1860er Jahren. Cromwell F. Varley (1828-1883) war einer der ersten, der die relative hohe elektrische Kapazität einiger Elektrolyten – gemessen in Farad – experimentell festlegte und seine Laborergebnisse mit Kapazitätswerten von Telegrafienleitungen verglich (1871).¹⁵ Nicht zufällig war die Messung und Berechnung elektrischer Kapazitätsphänomene zu dieser Zeit ein wichtiges Innovationsfeld. Es ging nämlich um die Realisierung der ersten transatlantischen Telegrafienleitung. 1867 präsentierte Varley in einen Vortrag an der *Royal Institution of Great Britain* in London sein künstliches Atlantikkabel. Es bestand aus mehreren parallel geschalteten Kondensatoren und seriell verbundenen Widerständen (Abb. 2). Elektrische Modelle von Telegrafienleitungen, auch *artificial line* genannt, waren für die Optimierung der Signalübertragung in längeren, meist submarinen Kabelleitungen unerlässlich. Sie ersetzten die unmenschlich langen Kabel der Telegrafie durch eine Anordnung einfacher Bauteile und ermöglichte dadurch ihre Erforschung und Modellierung unter kontrollierten Bedingungen im Labor, statt im Feld oder gar unter Wasser. Diese Praktik des analogen Modellierens technischer Prozesse der Signalübertragung

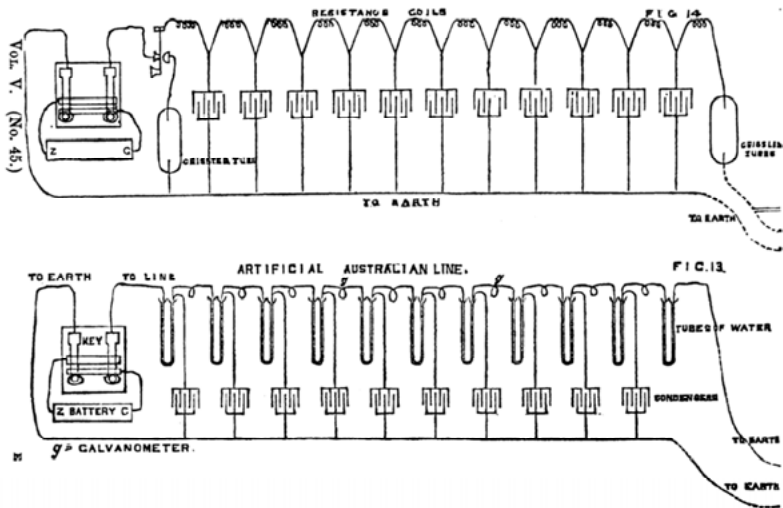
des 19. Jahrhunderts«, in: Schoon, Andi/Volmar, Axel (Hg.), *Das geschulte Ohr. Eine Kulturgeschichte der Sonifikation*, Bielefeld: transcript 2012, S. 71-93, hier S. 83.

14 Lenoir: »Models and Instruments«, S. 20.

15 Geddes, L. A.: »Historical evolution of circuit models for the electrode-electrolyte interface«, in: *Annals of Biomedical Engineering* 25.1 (1997), S. 1-14, hier S. 1; Varley, Cromwell Fleetwood: »Polarization of Metallic Surfaces in Aqueous Solutions. On a New Method of Obtaining Electricity from Mechanical Force, and Certain Relations between Electro-Static Induction and the Decomposition of Water«, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 161 (1871), S. 129-136, hier S. 133f.

durch elektrische Schaltkreise mündete später in die Methode des Ersatzschaltkreises.¹⁶ Im beginnenden 20. Jahrhundert wurde sie nicht nur zum Standardverfahren der Nachrichteningenieure, sondern fand auch Anwendung in der Physiologie.

Abbildung 2: elektrisches Modell einer Telegrafenleitung (artificial line), 1867



aus: Fig. 13 und 14 in Holland, Henry: »Cromwell F. Varley, On the Atlantic Cable (Friday, February 15, 1867)«, in: Notices of the Proceedings at the Meetings of the Members of the Royal Institution, with Abstracts of the Discourses 5 (1869), S. 49.

Mit der Etablierung elektronenröhrenbasierter Nachrichtentechnologien und Messinstrumente bahnte sich in den 1920er und 1930er Jahren in Großbritannien und den USA eine neue Phase der Nervenzellenforschung – die Neurologie – an.¹⁷ Nicht mehr rauchgeschwärmte Druckwalzen, Induktionsspulen, optische Mikroskope und Ammoniumsulfat, sondern Kathodenstrahlröhren, fotoelektrische Zellen, Geigerzähler, Elektronenmikroskope und manometrische Apparate gehörten nun zu den neuen Insignien der Physiologie, wie 1947 ein britischer Physiologieprofessor

16 Wittje, Roland: »The Electrical Imagination: Sound Analogies, Equivalent Circuits, and the Rise of Electroacoustics, 1863-1939«, in: Osiris 28.1 (2013), S. 40-63; Johnson, D. H.: »Origins of the equivalent circuit concept: the voltage-source equivalent«, in: Proceedings of the IEEE 91.4 (2003), S. 636-640.

17 McComas, Alan J.: Galvani's Spark: The Story of the Nerve Impulse, Oxford: Oxford University Press 2011, S. 75ff.

schrrieb.¹⁸ Die bereits erwähnte Methode der Prozessmodellierung mittels Ersatzschaltkreis, für die Erforschung der Nervenzellen nicht unwichtig, würde diese Liste vervollständigen, denn die neue Elektronik ermöglichte nunmehr hochpräzise Messverfahren, die auch neue Modelle provozierten. Nicht mehr die physischen Eigenschaften, sondern die elektronisch messbaren prozessualen Eigenschaften einer Zelle, das heißt ihre Operativität wurde maßgebend. Solch ein Modell bestand nicht mehr aus architektonischen Elementen oder mechanischen Teilen, sondern aus elektrischen Widerständen und Kondensatoren.

1952 veröffentlichten Alan L. Hodgkin (1914-1998) und Andrew F. Huxley (1917-2012) eine Beschreibung ihres Modells – ein Ersatzschaltkreis – für die detaillierte Formalisierung der bioelektrischen Prozesse bei der Erzeugung einer pulsartigen Spannungsveränderung an der Membranoberfläche der Nervenfasern eines Tintenfischs – das Aktionspotential. 1963 erhielten sie dafür den Nobelpreis für Physiologie oder Medizin. Im Wesentlichen ist das Hodgkin-Huxley-Modell ein simples elektrisches Netzwerk, das aus drei Widerständen und einem Kondensator, alle parallel in Reihe geschaltet, besteht (Abb. 3, A). Hinter dem einfach aussehenden Ersatzschaltkreis stand aber eine komplizierte mathematische Beschreibung aus miteinander gekoppelten Differentialgleichungen.¹⁹ Real-existierende Implementationen durch Analogcomputer oder Tunnelndioden-Schaltungen konnten erst in den 1960er Jahren durch Richard FitzHugh (1922-2007) und Jinichi Nagumo (1926-1999) gebaut werden.²⁰ Das Schaltungsdiagramm war folglich nicht primär für den Nachbau konzipiert. Vielmehr diente es der visuellen Kondensierung des mathematischen Modells und ermöglichte damit sowohl die konzentrierte Kommunikation der operativen, zeitgebundenen Prozesse, die sie erforschten als auch, wie noch gezeigt wird, den Anschluss an vorher-gehende Forschungsergebnisse.

Um 1950 waren technomathematische Kristallisationen in Ersatzschaltkreise nicht ungewöhnlich, sondern längst Teil der medialen Praktik der Elektrophysiologie. Als Elektroingenieure wie William Henry Eccles (1875-1966), Heinrich Barkhausen (1881-1956), Hans Ferdinand Mayer (1895-1980) oder Edward Lawry Norton (1898-1983) in den 1920er Jahren teilweise unabhängig voneinander die Idee des Ersatzschaltkreises entwickelten,²¹ hatte sie sich längst auch in der Physiologie etabliert. Kirchhoff'sche Regeln, die die Grundlagen aller Ersatzschaltkreise lieferten, fanden bereits 1850 bei Helmholtz Anwendung. Er zeichnete

18 Evans, C. Lovatt: »The Outlook for Physiology«, in: *The Lancet* 249.6438 (1947), S. 89-93, hier S. 91. Dank an Max Stadler für diesen Hinweis.

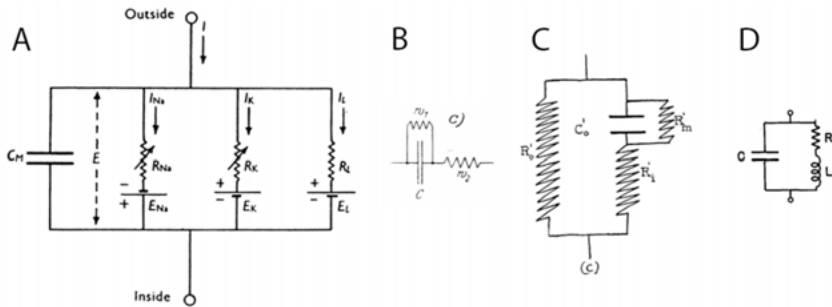
19 McComas: *Galvani's Spark*, S. 217.

20 Nagumo, J./Arimoto, S./Yoshizawa, S.: »An Active Pulse Transmission Line Simulating Nerve Axon«, in: *Proceedings of the IRE* 50.10 (1962), S. 2061-2070.

21 Siehe Fußnote 16.

jedoch keine Schaltdiagramme, sondern nur Gleichungen. Wie bereits dargelegt, waren es vermutlich Ingenieure aus dem Umfeld der Telegrafie wie Varley,²² die um 1860 als erste zwecks Modellierung und Prognose der Signal-übertragung mit künstlichen Ersatzleitungen – *equivalence circuits* oder *electrical analogues* – experimentierten.

Abbildung 3: A: Hodgkin-Huxley-Modell (1952); B: Tiermembran/Haut-Modell Martin Gildemeisters (1919); C: Blutzellen-Membran-Modell Hugo Frickes (1925) und D: Coles Ersatzschaltkreis (1941)



aus: A: Fig. 1 in Hodgkin, A. L., and A. F. Huxley: »A Quantitative Description of Membrane Current and Its Application to Conduction and Excitation in Nerve«, in: The Journal of Physiology 117.4 (1952), S. 501; B: Abb. 2 in Gildemeister, Martin: »Über elektrischen Widerstand, Kapazität und Polarisation der Haut«, in: Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere 176.1 (1919), S. 88; C: Fig. 1 in Fricke, Hugo, and Sterne Morse: »The Electric Resistance and Capacity of Blood for Frequencies Between 800 and 4½ Million Cycles«, in: The Journal of General Physiology 9.2 (1925), S. 154; D: Fig. 1 in Cole, Kenneth S.: »Rectification and Inductance in the Squid Giant Axon«, in: The Journal of General Physiology 25.1 (1941), S. 30.

1919 benutzte Martin Gildemeister (1876-1943) Ersatzschaltkreise für die Darstellung der elektrischen Eigenschaften tierischer Membrane (Abb. 3, B), jedoch ohne Elektronenröhrentechnik. Hugo Frickes (1892-1972) Forschungen hingegen hätten sich ohne Elektronenröhre und Hochfrequenztechnologie (Radio) nie ereignet. Er untersuchte um 1925 die Widerstands- und Kapazitätswerte von Blutzellenmembranen (Abb. 3, C) bei einer Durchmessung mit Frequenzen von bis zu 4 MHz. Kenneth Stewart Cole (1900-1984), der später mit Hodgkin kollaborierte, war in den 1920er Jahren als Student sein Mitarbeiter. Cole, der auch Gildemeisters Forschungsergebnisse kannte, war maßgeblich für die Kultivierung der Ersatzschalt-

22 Holland, Henry: »Cromwell F. Varley, On the Atlantic Cable (Friday, February 15, 1867)«, in: Notices of the proceedings at the meetings of the members of the Royal Institution, with abstracts of the discourses 5 (1869), S. 45-59.

kreise im Wissensfeld der Elektrophysiologie verantwortlich. Seine Forschungen Ende der 1930er-Jahre zum Aktionspotential einer Tintenfisch-Nervenfasern und der entsprechende Ersatzschaltkreis (Abb. 3, D)²³ waren Ausgangspunkte für das Hodgkin-Huxley-Modell.

COCHLEA-EXPERIMENTE 1920-1960

Die Experimentalisierung und Erforschung neuronaler Grundlagen des Hörvermögens begann mit wichtigen Impulsen aus den Forschungslaboratorien der *AT&T* und *Western Electric*, später *Bell Telephone Laboratories*, die an der Optimierung der Telephonie und aufkommenden transnationalen Kommunikationsnetzwerke forschten. 1924 veröffentlichten Raymond L. Wegel (1889–?) und Clarence E. Lane (1892-1952) einen Ersatzschaltkreis der Cochlea. Wegel war auch bei der Entwicklung des ersten kommerziellen Audiometers, einem diagnostischen Gerät zur Ermittlung der Hörfähigkeit, beteiligt.²⁴ Interessanterweise ließ sich einige Jahre später Ernest Glen Wever (1902-1991) von den beiden technisch beraten.²⁵ 1930 beschrieb er zusammen mit Charles W. Bray (1904-1982) einen Effekt, der bei den Ohrphysiologen weltweites Aufsehen erregte:

»By placing an electrode on the cat's auditory nerve near the medulla, with a grounded electrode elsewhere on the body, and leading the action currents through an amplifier to a telephone receiver, the writers have found that sound stimuli applied to the ear of the animal are reproduced in the receiver with great fidelity.«²⁶

-
- 23 Cole, Kenneth S.: »Rectification and Inductance in the Squid Giant Axon«, in: *The Journal of General Physiology* 25/1 (1941), S. 29-51.
- 24 Mills, Mara: »Deafening: Noise and the Engineering of Communication in the Telephone System«, in: *Grey Room* 43 (2011), S. 118-143, hier S. 129; Gerloff, Felix/Schwesinger, Sebastian: »Die Erfindung des Dezibels und Lärmessung in der Stadt. Auditive Medien als Reservoir epistemischer Werkzeuge«, in: *Navigationen* 15/2 (2015), S. 51-75, hier S. 55.
- 25 Mills, Mara: »Cochlear Implants after Fifty Years. A History and an Interview with Charles Graser«, in: Gopinath, Sumanth/Stanyek, Jason (Hg.): *The Oxford Handbook of Mobile Music Studies*, Vol. 1, Oxford: Oxford University Press 2014, S. 261-297, hier S. 267.
- 26 Wever, Ernest Glen/Bray, Charles W.: »Auditory Nerve Impulses«, in: *Science* 71.1834 (1930), S. 215.

Ähnliche Stimulations- und Signalübertragungsexperimente wurden bald auch beim Menschen durchgeführt und als Elektrophonie bezeichnet. Die Elektroden wurden jedoch stets außerhalb der Cochlea implantiert. 1940 bewiesen R. Clark Jones (1916-2004), Stanley S. Stevens (1906-1973) und Moses H. Lurie (1893-1979), dass solche elektrophonischen Effekte nur bei intakten Haarsinneszellen zu beobachten sind.²⁷ Folglich musste für die bioelektrische Stimulation einer Cochlea ohne Haarsinneszellen die Elektrode näher zum Hörnerv oder direkt in sie implantiert werden. Dazu kam es erst in den 1960er Jahren.

KALIFORNISCHE EXPERIMENTE 1961-1966

Elektroden durch den Gehörgang in das Mittelohr zu stecken, wie es in den 1940er und 1950er Jahren getan wurde, ist relativ einfach, vergleicht man dies mit dem chirurgischen Prozess, der für ihre Einfädung in die Cochlea notwendig ist. Es war deshalb kein Zufall, dass diese schwierige Aufgabe zuallererst von William F. House (1923-2012) bewältigt wurde. Ursprünglich als Zahnarzt ausgebildet, war er ein innovativer Hals-Nasen-Ohren-Chirurg, der sich für mikroskopgestützte Operationsverfahren am Ohr einsetzte. Ende der 1950er-Jahre entwickelte er mit dem Ingenieur Jack Urban (1902-1981)²⁸ Film-Apparaturen, mit denen das visuelle Geschehen unter einem Zeiss-Operationsmikroskops während einer Operation aufgezeichnet werden konnte – später ersetzt durch das Live-Fernsehbild. House beschäftigte sich unter anderem mit Knochenerkrankungen des Innenohrs (Otosklerose) oder Tumoren, die sich in den Hörnerven bilden (Akustikusneurinome), wobei sich wohl während der Operationen Gelegenheiten zu Stimulationsexperimenten ergaben. Als Hals-Nasen-Ohren-Chirurg stieß er mit solchen gewagten Experimenten bei manchen Kolleginnen auf Kritik, weshalb er die Operationen stets in Zusammenarbeit mit Neurologinnen durchführte.

Am 9. Januar 1961 implantierte House in Los Angeles mit Hilfe des Neurochirurgen John B. Doyle (*1927) und dessen Bruder James H. Doyle (*1928), einem Elektroingenieur, erstmals einem 40-jährigen Patienten eine Gold-Elektrode in die *Scala tympani* (*Perilymphe*), ein Gang innerhalb der Cochlea gleich neben

27 Jones, R. Clark/Stevens, S. S./Lurie, M. H.: »Three Mechanisms of Hearing by Electrical Stimulation«, in: The Journal of the Acoustical Society of America 12.2 (1940), S. 281-290, hier S. 288.

28 Wohnhaft in Burbank im Norden von Los Angeles arbeitete Urban wohl für verschiedene Unternehmen aus der Luftfahrtindustrie, aber auch für Walt Disney. Er war vermutlich bei der Konstruktion der elektronisch animierten Figur von Abraham Lincoln, die 1964 an der EXPO in New York und später im Disney-Park gezeigt wurde, beteiligt.

der Basilarmembran, worauf sich die Haarsinneszellen befinden. Am 4. März wurde im Bereich hinter dem Ohr ein auf Induktionsspulen basierendes Empfänger-system eingepflanzt. Aufgrund unvorhersehbarer Plastikallergien des Patienten wurde das Implantat nach zwei Wochen entfernt.²⁹ Die Stimulationsexperimente dieser kurzen Zeit waren für alle Beteiligte ermutigend, denn sie bewiesen nicht nur, dass die Stimulation der Cochlea möglich ist und beim Träger Hörwahrnehmungen erzeugen kann, sondern dass der Träger in einem eingeschränkten Bereich Tonhöhen von Testsignalen unterscheiden konnte. Das Innovationspotenzial schien wohl blendend, denn James Doyle, der als Ingenieur kommerzielles Potential vermutete, kontaktierte die Presse. Für House war dies deutlich zu früh. Schon Mitte 1961 beendete er die Zusammenarbeit mit den beiden Brüdern. James Doyle nahm dabei nicht nur das Wissen über die Elektronik und Stimulationsverfahren mit, sondern verweigerte auch jegliche Übergabe und Vermittlung an House.³⁰ Dies war das vorläufige Ende seiner Cochlea-Implantat-Forschung. House wandte sich wieder seiner üblichen Tätigkeit etwa im Feld der Akustikusneurinome zu. Wissenschaftliche Publikationen zu seinen innovativen Cochlea-Implantat-Experimenten erschienen erst in den 1970er Jahren.

Indes musste sich Francis Blair Simmons (1930-1998), der gerade eine Assistenzprofessur in Hals-Nasen-Ohren-Chirurgie der *Stanford Medical School* erhielt, für die Nachrichten der ersten Implantation interessiert haben, denn er war auf die Elektrophysiologie des Ohrs spezialisiert und ein ehemaliger Forschungsassistent der *Harvard Psychoacoustic Laboratory*, an dem in den 1940er Jahren die bereits erwähnten extra-cochläären Stimulationsexperimente stattfanden. Im Juli 1962 stimulierte er im Verlauf einer Tumorentfernung eines 18-jährigen Patienten in Zusammenarbeit mit einem interdisziplinären Team den freigewordenen Hörnerv. Im Mai 1964 implantierte er einem 60-jährigen Patienten eine Elektrode, die über das Mittelohr in die Cochlea führte. Die Verbindung mit dem Stimulator und den Messinstrumenten im Labor verlief transkutan, so dass hinter dem Ohr läppchen eine Steckbuchse durch den Knochen dahinter implantiert wurde.³¹ Im Oktober 1965 wurde das Implantat entfernt. Ausführliche Stimulationsexperimente wurden

29 House, William F.: »Cochlear Implant«, in: *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, Supplement 27, 85.3/2 (1976), S. 3-93, hier S. 5f.; Albert, Mudry/Mills, Mara: »The early history of the cochlear implant: A retrospective«, in: *JAMA Otolaryngology-Head & Neck Surgery* 139.5 (2013), S. 446-453, hier S. 448.

30 Ebd.

31 Simmons, F. Blair: »Electrical Stimulation of the Auditory Nerve in Man«, in: *Archives of Otolaryngology* 84/1 (1966), S. 2-54, hier S. 15.

in Stanford durchgeführt und später durch eine dreiwöchige Studie ergänzt,³² die in einem Krankenhaus in New Jersey in der Nähe der Bell Telephone Laboratories erstellt wurde. 1965 erschien ein kurzer Bericht in *Science* und 1966 wurde ein längerer Artikel in *Archives of Otolaryngology* publiziert. Beide gelten seitdem als wichtige Referenzen der Cochlea-Implantat-Forschung.

Die *Electrical Stimulation of the Auditory Nerve in Man*, wie Simmons seine 1966 publizierte wegweisende Studie nannte, legte eine akribisch recherchierte Vorgeschichte, eine ausführliche Auflistung der wissenschaftlichen Grundlagen und eine detaillierte Beschreibung des technischen Aufbaus seiner Stimulations-experimente dar. Seine interdisziplinäre Kompetenz verdankte er nicht nur den Einsichten seiner zahlreichen Kollaborateurinnen in Stanford und Kalifornien, sondern auch einigen Mitarbeiterinnen der *Bell Telephone Laboratories* an der Ostküste der USA. Die Hochburg medientechnologischer Forschung, Entwicklung und Innovation sorgte vermutlich nicht nur für die beste Labor- und Messelektronik, sondern lieferte auch Inspiration für neue Methoden, womöglich gar das Modellieren anhand von Ersatzschaltkreisen. Simmons lieferte nämlich eine dreifache Basis für die weitere Cochlea-Implantat-Forschung: erstens die Darlegung der elektrochemischen Eigenschaften der Elektrode, zweitens die Modellierung des Gewebe-Metall-Übergangs zwischen der Elektrode und dem Cochlea-Gewebe als einfacher Ersatzschaltkreis und drittens die Formulierung grundlegender Kriterien für die Zeitigung des Stimulationssignals. Um elektrolytisch erzeugte Gewebe-schäden zu vermeiden, wurde im Anschluss an John C. Lilly (1915-2001) ein zweiphasig-bipolarer Impuls als optimales Stimulationssignal definiert.³³

Simmons Medienmetapher für den Gewebe-Metall-Schaltkreis, den die Elektrode mit dem Nervengewebe eingeht, war ein Mikrophon-Verstärker-Lautsprecher-System.³⁴ Mikrophone und Lautsprecher seien als elektro-akustische Transduktoren vergleichbar mit Elektroden-Elektrolyt-Systeme, die elektrische in neuronal-bioelektrische Signale wandeln. Bei beiden Systemen läge die Ursache für Verzerrungen sowohl bei den Einzelkomponenten als auch in ihrem Zusammenspiel. Obwohl sich nicht jeder involvierte elektrochemische Mikroprozess isolieren, messen und optimieren ließ, konnte der Metall-Gewebe-Schaltkreis, den die Elektrode mit dem umliegenden Nervengewebe bildet, als Ersatzschaltkreis modelliert werden. Die erwähnte Medienmetapher wandelte sich in ein analoges Modell um. Das elektrische Verhalten der Gewebe, Fluide, Ionen und Membrane der Cochlea

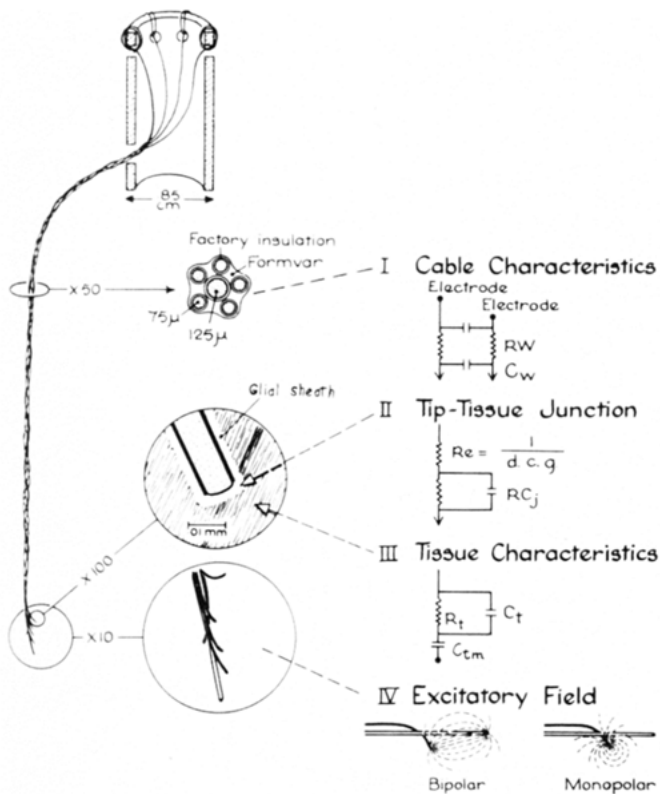
32 Simmons, F. Blair: »History of Cochlear Implants in the United States: A Personal perspective«, in: Schindler, Robert A./Merzenich, Michael M. (Hg.): *Cochlear Implants* New York: Raven Press 1985, S. 1-7, hier S. 4.

33 Simmons: »Electrical Stimulation of the Auditory Nerve in Man«, S. 22.

34 Ebd., S. 39.

wurde damit wie bereits bei Hodgkin/Huxley, Wegel/Lane, Cole, Fricke und Gildemeister durch Netzwerke von Kondensatoren und Widerstände modellierbar (Abb. 4); eine nicht unwichtige Bedingung für das Medien- und Elektronik-Werden der Cochlea. Denn ab sofort ließ sich die Cochlea nicht nur theoretisch, sondern klinisch-praktisch, ingenieurstechnisch wie ein Netzwerk elektrischer Bauteile behandeln. Sie wurde Teil kontrollierbarer Nachrichtentechnologie, Aus- und Eingang eines elektronischen Schaltkreises und eine direkte Koppelung von Hard- und Wetware.³⁵ Dazu kam es jedoch erst in den 1970er Jahren.

Abbildung 4: Technische und elektrische Eigenschaften der Elektroden und des umgebenden Gewebes



aus: Fig. 5 in Simmons, F. Blair: »Electrical Stimulation of the Auditory Nerve in Man«, in: Archives of Otolaryngology 84.1 (1966), S. 17.

35 Winthrop-Young, Geoffrey: »Hardware/Software/Wetware«, in: Mitchell, W.J.T./Hansen, Mark B.N. (Hg.): Critical Terms for Media Studies, Chicago: Chicago University Press 2010, S. 186-198.

Obwohl Simmons Experimente und die publizierten Ergebnisse wissenschaftlich fundiert waren, stießen sie noch bei den meisten Spezialisten auf Ablehnung. Noch betrachteten viele die elektrische Stimulation der Cochlea als Zeit- und Ressourcenverschwendung.³⁶

ELEKTRODEN IM OHR 1970-1984

Nicht nur das Aufkommen der Herzschrittmacher in den 1960er Jahren und die Verbreitung der Mikroelektronik, sondern auch die optimierte Biokompatibilität der Elektroden und des Isolationsmaterials sowie neue Erkenntnisse über die elektrische Stimulation der Cochlea durch Versuche mit Katzen und Meerschweinchen motivierten in den 1970er Jahren zu neuen Forschungsprojekten, Experimenten und Studien.³⁷ Bereits vier Jahre nach dem Bruch mit den Doyle-Brüdern begann William House – diesmal in Zusammenarbeit mit Jack Urban, mit dem er seit Ende der 1950er Jahre arbeitete – mit Recherchen, Präparationen und Testaufbauten für die Durchführung neuer Stimulationsexperimente. Weitere vier Jahre vergingen, bis er im September 1969 einem 61-jährigen Patienten eine Elektrode in die Cochlea operierte. Am 18. Juni 1970 wurde ein weiterer 41-jähriger Patient und am 10. Oktober eine 44-jährige Patientin operiert. Vor allem der zweite Patient, Charles Graser (*1929), erwies sich als hervorragendes Experimentalsubjekt, so dass House ihn schnell zum Vorzeigepatienten machte. Nach einer zweijährigen Phase anfänglicher Tests im Labor bekam Graser ab Mai 1972 einen von Jack Urban entwickelten portablen Stimulator den er mit nach Hause tragen durfte.³⁸ Er war damit der erste Cochlea-Implantat-Träger, der sein neues Medium im Feld testen konnte.

Im April 1973 präsentierte House seine erste Langzeitstudie beim Jahrestreffen der *American Otological Society*. Noch wurde er mit harscher Kritik konfrontiert, doch die Zahl der Gleichgesinnten nahm zu. Nach weiteren Implantationen, Studien, neuen Teammitgliedern, Patienten und viel Überzeugungsarbeit erfolgte 1984 die offizielle Bewilligung der US-amerikanischen Behörde *Food and Drug Administration* (FDA), die den Einsatz des House/3M-Implantats für hörgeschädigte Erwachsene über 18 Jahre zuließ.

36 Vgl. dazu die »Discussions« in House, William F./Urban, Jack: »Long Term Results of Electrode Implantation and Electronic Stimulation of the Cochlea in Man«, in: *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology* 82.4 (1973), S. 504-517, hier 511-517.

37 House: »Long Term Results«, S. 505.

38 House: »Cochlear Implant«, S. 12.

Graser war ein signifikanter Agent dieser Medien-, Wissens- und Sozialgeschichte.³⁹ Er war nicht nur ein lebender Beweis, dass Cochlea-Implantate funktionieren können, sondern wirkte auch auf produktgestalterischer und technoästhetischer Ebene in den Forschungs- und Entwicklungsprozess späterer Implantate ein. »By the end of 1970, C. G. was the principal test subject. As an ex-ham radio operator, he was a sophisticated listener and could fully describe the different signals presented as stimuli.«⁴⁰

Nach zahlreichen Stimulationsexperimenten durch Urban stellte sich bis Ende 1970 heraus, dass besonders bei Alltagsgeräuschen und für Sprachsignale eine Amplitudenmodulation des Eingangssignals mit einer Trägerfrequenz von 16 kHz optimal wäre.⁴¹ Die Signale vom Mikrophon wurden zuerst gefiltert und dann mit dem hochfrequenten Trägersignal gekoppelt, so dass die rhythmischen Eigenschaften des Eingangssignals, seine Hüllkurven, erhalten blieben. Diese Einstellungen und das Ein-Elektrodensystem⁴² wurden in das spätere House/3M übernommen und bis in die 1980er-Jahre behalten (Abb. 5). Interessanterweise beruhte diese Stimulationsmethode nicht auf einer wissenschaftlich beweisbaren Begründung, sondern alleine auf dem ästhetischen Urteil Grasers und der technisch-klinischen Machbarkeit. Zusätzlich zu dieser signaltechnischen und medien-ästhetischen Mitgestaltung gab Graser auch wichtige Impulse für die Entwicklung der magnetbasierten Halterung des Sendermoduls am Kopf, die noch heute bei den meisten Cochlea-Implantaten im Einsatz ist. Natürlich war Graser nicht der einzige, jedoch einer der ersten dieser engagierten Patienten-Kollaborateure, die aktive

39 Vgl. dazu einschlägig, Blume, Stuart: »Cochlear Implantation: Establishing clinical feasibility, 1957-1982«, in: Rosenberg, Nathan/Gelijns, Annetine C./Dawkins, Holly (Hg.), *Sources of Medical Technology: Universities and Industry* (Vol. 5 of *Medical Innovation at the Crossroads*), Washington 1995, S. 97-124; Mara Mills: »Do Signals have Politics? Inscribing Abilities in Cochlear Implants«, in: Pinch, Trevor/Bijsterveld, Karin (Hg.), *The Oxford Handbook of Sound Studies*, Oxford: Oxford University Press 2012, S. 320-346; Mudry, Albert/Mills, Mara: »The Early History of the Cochlear Implant«, Mills: »Cochlear Implants after Fifty Years«.

40 House: *Cochlear Implant*, S. 11.

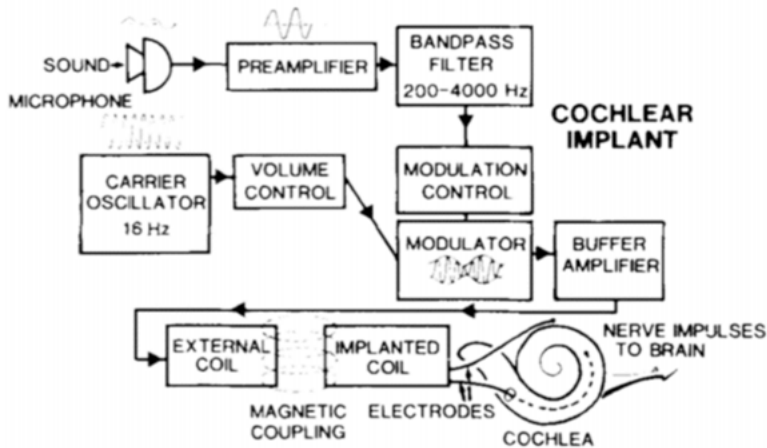
41 Ebd.

42 Im vorliegenden Beitrag geht es vor allem um die frühen »analogen«, das heißt nicht computerisierten, nicht-digitalen Verfahren, mit denen bioelektrische Signale an den Hörnerv geschickt wurden. Die Stimulation in aktuellen Systemen erfolgt durch digital-kontrollierbare Signale. Die Elektroden bestehen nicht aus *einer*, sondern aus bis zu 22 unabhängig adressierbaren Mikroelektroden. Die Geschichte dieser computerbasierten Cochlea-Implantats beginnt in den späten 1970er Jahre in Australien mit den Forschungen von Graeme M. Clark (*1935).

Rollen in den neuen Laboratorien der aufkommenden Cochlea-Implantat-Forschung einnehmen.

Das House/3M-Implantat ermöglichte der Trägerin vorerst das Erkennen von Sprachrhythmen, ohne jedoch deren Melodie extrahieren zu können, so dass Sprachkommunikation nur in Kombination mit Lippenlesen möglich war. Alltagsgeräusche konnten so nach ihrer rhythmischen Signatur erkannt werden, die Frequenzanteile der Klänge konnten die Trägerinnen jedoch nur sehr reduziert wahrnehmen.⁴³ Nichtsdestotrotz schien das für manche Patientinnen besser zu sein als Stille. Die neue Mobilität des Cochlea-Implantats erweiterte sein mediales Wirkungsfeld. Hinzu kamen nicht nur neue Signal- und Geräuschquellen aus dem Alltag zuhause und dem städtischen Umfeld, sondern auch neue Erkenntnisse über die psychologischen Lernprozesse, die das Cochlea-Implantat im Hörsystem einer Patientin erzeugte.

Abbildung 5: Blockschaltung des House-Urban, Einkanal-Cochlea-Implantats, ca. 1983



aus: Fig. 1 in Edgerton, Bradley J. et.al: »The Effects of Signal Processing by the House-Urban Single-Channel Stimulator on Auditory Perception Abilities of Patients with Cochlear Implants«, in: Annals of the New York Academy of Sciences 405.1 (1983), S. 312.

Nicht nur die Elektrode, die Elektronik und die Stimulationssignale, sondern auch die Charakteristika der neuen akustischen Signale und die kognitiv-neuronale Veranlagung der Patientin mussten berücksichtigt werden. Dadurch ergaben sich drei

43 Edgerton, Bradley J. u.a.: »The Effects of Signal Processing by the House-Urban Single-Channel Stimulator on Auditory Perception Abilities of Patients with Cochlear Implants«, in: Annals of the New York Academy of Sciences 405.1 (1983), S. 311-322.

Skalierungsstufen, in denen sich das Medien-Werden des Cochlea-Implantats manifestierte: die Mikroebene des Gewebe-Metall-Schaltkreises, die Makroebene der Signalübertragung im Cochlea-Implantat und die Metaebene des kognitiven Hörsystems der Patientin.

Medien-Werdungen korrelieren auch mit Transparent-Werdungen. Das Cochlea-Implantat bildet dabei keine Ausnahme. Optimal funktionierende Systeme sollten nach einer gewissen Anpassungszeit idealerweise kaum wahrgenommen werden. Als Graser 1972 den ersten tragbaren Prototyp testete, war dies kaum der Fall, ja viel eher ungewollt. Bereits in den vorhergehenden Experimenten war er stets das wichtigste Rückkopplungselement und sollte nun im Feldtest die im Labor gewonnenen Einstellungen der Verstärkung, Filterung und Modulation testen. Er war Teil des Experimentalsystems, übte dadurch notgedrungen eine starke Medien-reflexivität aus und konnte die Elektronik seines Prototyps noch selber einstellen. In den nachfolgenden Versionen verschwand diese Möglichkeit. Seit dem kam es zum *protected mode*.⁴⁴

GESCHÜTZTE TEILHABE

Weil Fehler menschlich sind, sind präventive Maßnahmen ubiquitär, um die Ausweitung geschützter Zonen zu sichern. In der Mediengeschichte des 20. Jahrhunderts sind solche Einschränkungen reichlich auffindbar. In den 1920er Jahren war das Rückkoppelungsverbot der Radioempfänger eine wichtige Bedingung für die Transformation der militärischen Funks zum Massenmedium Radio. Der militärisch-industriellen Logik entflohen, landeten solche Verbote seitdem stets im technischen Design neuer Medientechnologien. Seit 1982 gibt es in Intels Computerprozessoren den *protected mode*, der Speicherzugriffsrechte für Softwareprozesse begrenzte und damit Schutzmechanismen einführte, die Programmierfehler in der Speicherverwaltung verhindern sollten. Das Protektorat des Betriebssystems war zum Wohl des Benutzers. Derartige Kontrollverluste stehen im Schatten der gleichzeitig entstehenden Möglichkeiten. Die Souveränitätsabgabe der Speicherverwaltung diente nicht nur der Fehlerbeseitigung, sondern erhöhte auch deren Arbeitsleistung.

1984 führte das House/3M-Implantat diese Logik der Souveränitätsabgabe bei gleichzeitiger Eröffnung neuer Medienangebote fort. Die Teilhabe am kulturellen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Leben, die das Cochlea-Implantat verspricht, ging mit einem Kontrollverlust einher. Die konventionelle Cochlea-

44 Kittler, Friedrich: »Protected Mode«, in: Ders., Draculas Vermächtnis – Technische Schriften, Leipzig: Reclam Verlag 1993, S. 208-224.

Implantat-Trägerin kann die technischen Einstellungen nicht selber modifizieren, sondern bedarf dafür die Hilfe einer Fachkraft. Was Dubois-Reymonds Frosch-Telefon (1877), Wever und Brays verkabelte Katzen (1930) und das House/3M-Implantat (1984) mehr als alles andere zusammenschließt, ist neben dem Prinzip der elektrischen Exzitation das unilaterale soziotechnische Kontrollverhältnis zwischen Sender und Empfänger oder zugespitzter zwischen Meister und Diener. Graser setzte dieses Machtgefüge zeitweise außer Kraft, obwohl auch er vor allem bei den stundenlangen Stimulationsversuchen dieses einseitige Machtverhältnis verspürte. Mit der Mobilwerdung des Cochlea-Implantats verschwand aber der Meister, der die Stimulation auslöste. Die Stimulationselektronik gab die Kontrolle der Stimulation an die Alltags- und Stimmgeräusche ab. Es entstand eine Feedback-Schleife zwischen den Geräuschen, die die Trägerin selber erzeugt – wie die Stimme, aber auch Klopf- und Bewegungsgeräusche und den bioelektrischen Signalen, die die Trägerin hörte.

Unter Protektorat entwickeln sich nicht selten Widerstände, die jedoch im Fall des Cochlea-Implantats nicht nur seitens der Patienten entstanden. Oft meldete sich die Elektronik durch Störfälle, denn das Mikrophon und die vielen Kabel wirken nicht nur als Stromleiter, sondern auch als Antenne.

»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 the sound on. Placing the razor by the mike is not at all uncomfortable.«⁴⁵

»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 down, and I realized I had walked over a cable or by a cable or metal detector, or some other energy source.«⁴⁶

Solche medienästhetischen Erfahrungen zeigten Graser, dass er durch das Cochlea-Implantat Teil einer sonst unsichtbaren Medienökologie elektromagnetischer Felder und Kommunikationsprozesse wurde, die selbst heute noch widerständig sind.⁴⁷

45 Mills: »Cochlear Implants after Fifty Years«, S. 281.

46 Ebd., 291.

47 Tognola, Gabriella u.a.: »Electromagnetic interference and cochlear implants«, in: *Annali dell'Istituto Superiore Di Sanità* 43.3 (2007), S. 241-247.

2005, rund vier Jahrzehnte nach Graser, beschreibt der Autor, Essayist und Cochlea-Implantat-Träger Michael Chorost (*1964) weitaus subtilere Phänomene, die nicht mehr Effekt der Hardware, sondern der Software waren.

»I cocked my head and listened. »It sounds CIS-y« I said. And it did. A little bit bell-like. My voice sounded thin to me, as if I were at high altitude. The new ware might be eight times faster than the version of CIS I had tried before, but it was clearly still part of the same family. I could immediately tell a few other things. No weird binggg effects anymore; that problem had evidently been solved. [...] Within an hour or two, I'd gotten an approximate fix on the software. It was creamy, which was good, and subdued, which was bad. [...] It was like changing a computer screen's resolution from 640x480 to 1280x1024. Things were sharper, but also smaller.«⁴⁸

Chorosts Ausführungen beweisen Medienkompetenz. Er ist sich bewusst, dass seine klangästhetische Urteilskraft auf einem ständigen Adaptationsprozess zwischen neuen Software-Parametern und seiner Neuroplastizität beruht. Jede Softwareaktualisierung erzeugt einen ästhetischen Widerstand, den er durch Übung und Adaption weglernen muss. Epistemisch-ästhetische Störungen spielen damit auch bei Aktivierungs- und Einstellungsprozessen aktueller Cochlea-Implantat-Trägerinnen mit. Wie eine Studie von Beate Ochsner und Robert Stock zeigt, sind es besonders postlingual hörgeschädigte Trägerinnen, die solche Widerständigkeiten in Blogs und Büchern notieren.⁴⁹ Das Protektorat zeigt sich jedoch noch viel schlichter. Wie bereits beim House/3M-Implantat lassen sich die wichtigsten Einstellungen in den aktuellen Implantaten weder ändern, noch selber programmieren.

Am Beispiel des Cochlea-Implantats zeigt sich nicht nur das Ausmass der Protektoratserweiterung und Grenzüberschreitung, welche die Medientechnologie heute ermöglicht, vielmehr stellt sich heraus, dass Mensch, Tier und Maschine nicht erst in kybernetischen Systemen und Schaltkreisen des 20. Jahrhunderts konvergierten. Zusammenschlüsse des Lebendigen mit dem Technologischen finden durch Metall-Gewebe-Medien, das heißt durch Elektroden, Elektrolyte, Elektronen und Ionen statt. Diese Geschichte der Signalübertragung, der Transduktion zwischen Organismen, Objekte und Apparate beginnt bereits im 19. Jahrhundert. Das *Take off*⁵⁰ der Elektrostimulation von der Motorik, Therapie und Lebenserhaltung in die

48 Chorost, Michael: *Rebuilt. How Becoming Part Computer Made Me More Human*, Boston/New York: Houghton Mifflin Harcourt 2005, S. 111f.

49 Ochsner, Beate/Stock, Robert: »Das Hören des Cochlea-Implantats«, in: *Historische Anthropologie* 22/3 (2014), S. 408-425.

50 Kittler, Friedrich: »Vom Take Off der Operatoren«, in: Ders., *Draculas Vermächtnis*, S. 149-160.

Hoheitsräume der Ästhetik geschah durch die Intrusion der Elektrode ins Innenohr. Während die Strompulse bei Hofdamen, Fröschen und Herzschrittmachern für muskuläres Entzücken sorgten, sind die Signale des Cochlea-Implantats an die Perzeption adressiert. Nicht nur ist diese Geschichte eine der Neutralisation, Gleichstellung, Analogisierung und Retikularisierung⁵¹ von Leben und Nicht-Leben, sie ist eine der Rhythmen, Impulse und Signale in den Verbindungen. Ohne die bioelektrischen Signale gäbe es für die Cochlea-Implantat-Trägerin keine auditive Wahrnehmung.

Das Medien-Werden des Cochlea-Implantats steht exemplarisch für weitere bereits existente Kontexte avancierter Fleisch-Metall-Medien – Wetware – wie die *Deep Brain Stimulation*, Retina-Implantate und weitere Gehirnimplantate wie das *BrainGate*. Cochlea-Implantate sind nicht nur die prosaische Erdung spekulativ-zukünftiger Traumwelten des Science-Fiction-Films wie sie in *The Matrix* (1999) oder *Existenz* (1999) zu sehen sind, in denen die Lebenswelten der Protagonistinnen per Brain-Maschine-Interface mit virtuellen Computerwelten verkoppelt werden. Sie provozieren auch die triviale Erkenntnis, dass neurologisch gesteuerte Körperfunktionen wie Motorik, Perzeption, Kognition und vielleicht gar das Denken auf derselben Basis bioelektrischer Signale – Aktionspotentiale – operieren. Auf dieser Basis sind das Denken in Medien und das Tun durch Medien – Medientheorie und Medienpraxis praktisch ununterscheidbar.

51 Berry, David M.; Galloway, Alexander R.: A Network is a Network is a Network: Reflections on the Computational and the Societies of Control, in: *Theory, Culture & Society* (June, 2015), S. 1-22, hier S. 7.