

Markus Christen

Der Einbau von Technik in das Gehirn

Das Wechselspiel von Informationsbegriffen und Technologieentwicklung am Beispiel des Hörens

Einführung

Das Ersetzen von funktionsuntüchtig gewordenen Körperteilen durch technologische Artefakte ist seit längerer Zeit medizinische Praxis.¹ Sind Körperteile mit «mechanischen» Funktionen wie Gelenke, Knochenplatten oder künstliche Herzklappen Ziel des Eingriffs, so stösst dies heutzutage auf keine öffentliche Resonanz mehr. Dies ist Ausdruck eines geänderten Selbstverständnisses im Umgang mit dem eigenen Körper. Er wird als komplexe «Maschine» aufgefasst, deren Teilfunktionen naturwissenschaftlich erfasst und technisch – wenn auch bisher nur unvollkommen – ersetzt werden können.² Um einiges problematischer – und zwar nicht nur in chirurgischer Hinsicht – sind technische Eingriffe, welche jene Teile des menschlichen Körpers betreffen, die als inhärenter Teil des personalen Selbst aufgefasst werden. Die operative Manipulation oder gar die Ersetzung von Funktionen dieser Körperteile durch technische Systeme löst öffentlich diskutiertes Unbehagen aus – was sich beispielsweise bei der Herztransplantation bis heute zeigt.³

Zweifellos am heikelsten sind Eingriffe am Gehirn, dem gleichsam «persönlichkeitsbildenden» Organ, welches Bewusstsein und Individualität eines Menschen hervorbringt. Dennoch zeigt sich ein zunehmendes Interesse der Medizin an Erkrankungen oder Funktionsstörungen des Gehirns. Dies hat mindestens zwei Ursachen: Zum einen hat die steigende Lebenserwartung eine höhere Zahl an neurodegenerativen Krankheiten zur Folge. Die moderne Lebensweise und der medizinische Fortschritt lassen den menschlichen Körper im Schnitt derart alt werden, dass die sich kumulierenden Defekte im Gehirn zum limitierenden Faktor der Lebenserwartung des personalen Selbst werden. Zum anderen hat sich, auch basierend auf den Fortschritten der Neurowissenschaften, das Gehirn als Angriffspunkt für Therapien von früher als «seelische

Erkrankungen» bezeichneten Funktionsschäden etabliert.⁴ Depressionen bei Erwachsenen oder das Aufmerksamkeits-Defizit-Syndrom bei Kindern werden als Störungen im Gehirn angesehen und entsprechend – meist medikamentös – behandelt.

Dieses zunehmende medizinische Interesse am Gehirn sorgt nicht zuletzt für einen Aufschwung der Neuroprothetik, also jenes Gebiets der Prothetik, welches Funktionsstörungen des Nervensystems beheben will.⁵ Einige Anwendungen der Neuroprothetik fallen in den unproblematischen Bereich der «Mechanik des Körpers», genauer gesagt der Steuerung dieser Mechanik. Beispiele sind Muskelstimulatoren als Therapie für Lähmungen oder ein Implantat für die Steuerung des Harnflusses. Andere Anwendungen hingegen betreffen entweder den sinnlichen Zugang des personalen Selbst zur Welt (sensorische Prothesen wie Retina-Chips oder Cochlea-Implantate) oder gar den Eingriff in bzw. die Ersetzung von primären Hirnfunktionen. Aufgrund der strukturellen Komplexität des Gehirns und der immer noch weitgehend unverstandenen Prinzipien der Informationsverarbeitung im Gehirn sind letztere Eingriffe noch vergleichsweise einfach. Beispiele sind die *deep brain*-Stimulationen für die Schmerzbekämpfung oder der Versuch einer Ersetzung der Hippocampus-Funktion mit einem elektronischen Chip.⁶ Diese Neuroprothesen können als «sensible Neuroprothesen» bezeichnet werden.

Zugleich deuten diese Bemühungen aber auf einen entscheidenden Wandel hin: Die Prothetik stösst immer mehr in Richtung Gehirn vor. Jenes Organ wird Objekt technischer Ersetzungswünsche, dessen Funktion wir als Ursache unserer personalen Identität ansehen. Die historische Analyse der Entwicklung einer solchen Technologie ist äusserst interessant. Denn der Gegenstand – das Gehirn bzw. die Sinnesorgane – bildet nicht nur das konstitutive Element unseres personalen Selbst, die damit verbundene Forschung rüttelt noch an einem weiteren zentralen medizin-ethischen Tabu – dem Autonomieprinzip –, da gewissermassen die «Infrastruktur» der Autonomiefähigkeit Gegenstand des technischen Eingriffs wird.⁷ Die Tragweite dieser Entwicklung induzierte zudem eine kulturwissenschaftliche Debatte um «Cyborgs» und neue Formen von Verschmelzung zwischen Mensch und Maschine, die im Fall der Neuroprothetik auf besondere Sensibilitäten stösst. Die meisten dieser technischen Entwicklungen sind aber noch sehr jung und entsprechend liegen erst wenige Erfahrungen und historische Quellen vor.

Dieser Beitrag beleuchtet deshalb die Entwicklung der Neuroprothetik an jenem Beispiel, das bereits am längsten existiert – sensorische Prothesen für den Hörsinn. Die ersten diesbezüglichen Versuche am Menschen gehen auf die 1950er Jahre zurück. In den 1960er Jahren kam es zur Entwicklung experimenteller Cochlea-Implantate (CI) durch eine weltweit sehr kleine Zahl von

Forschern, primär Mediziner. Die Einführung dieser Technologie in die klinische Praxis erfolgte in den 1970er Jahren gegen zunächst starken Widerstand aus naturwissenschaftlichen Kreisen, bis sie sich gegen Ende des Jahrzehnts zu etablieren begann. Für die Forschenden wohl unerwartete ethische Probleme sind in den 1980er und 1990er Jahren aufgetreten, als organisierte Gruppierungen von Gehörlosen das CI als Angriff auf ihre Gebärdensprache und Kultur auffassten. Gleichzeitig ist diese Technologie durch die Entwicklung von Hirnstamm-Implantaten weiter in Richtung Gehirn vorgestossen, so dass man heute sagen kann, dass die Hörprothetik gewissermassen am Cortex anklopft. Will man demnach verstehen, wie es zum «Einbau von Technik in das Gehirn» kam, dürfte sich das Beispiel des Hörens für eine wissenschafts- und technikhistorische Untersuchung als sehr ergiebig erweisen.

Diese Untersuchung hat folgenden Aufbau: In einem ersten Schritt wird eine plausible Strategie für den Vorstoss der Technologie entlang der Hörbahn in Richtung Cortex vorgeschlagen. Dazu werden kurz die wichtigsten gegenwärtigen Kenntnisse über das Hörsystem vorgestellt und zwei unterschiedliche Informationsbegriffe eingeführt, die für die nachfolgende Untersuchung von Bedeutung sind. In einem zweiten Schritt wird untersucht, ob die Entwicklung des CI tatsächlich dieser Strategie gefolgt ist. Diese Untersuchung wird durch eine geraffte Geschichte elektrophoner Effekte eingeleitet und konzentriert sich dann auf die wissenschaftlich-technische Forschung der 1950er bis 1980er Jahre. Sie wird abgeschlossen durch eine kurze Sicht auf die heutige Situation. In einem Fazit wird die Frage beantwortet, welche Schlüsse sich aus dieser Analyse für die heutigen Bemühungen, Funktionen des Gehirns und sensorischer Organe durch technische Systeme zu ersetzen, ziehen lassen.

Eine Strategie für den Vorstoss in Richtung Cortex

Eine der Grundaufgaben des Gehirns ist es, dem Organismus angemessene Reaktionen auf Umweltreize zu ermöglichen.⁸ Sinnesorgane bilden einen inhärenten Teil dieses sensomotorischen Komplexes. Sie machen dem Gehirn bestimmte Umweltinformationen zugänglich, was bereits eine Verarbeitung der Information beinhaltet. Insofern kann nicht eindeutig bestimmt werden, wo das Sinnesorgan aufhört und das Gehirn anfängt. Die Übergänge sind fließend. Beim Gehör zeigt sich diese unscharfe Trennlinie bei der auf mehreren Stufen stattfindenden Informationsverarbeitung eindrucklich. Physikalisch gesehen ist das vom Gehör aufgenommene Signal eindimensional und besteht in der durch den Schall induzierten Vor- und Rückwärtsbewegung des

Trommelfells. Vergleicht man diese Tatsache mit der ausdifferenzierten Welt von Geräuschen, Sprache und Musik, welche der Gehörsinn dem Menschen erschliesst, ahnt man etwas von der Komplexität der auditorischen Informationsverarbeitung, welche im Folgenden kurz nachgezeichnet wird. Das Schallsignal wird durch die Mittelohrknochen an das Innenohr weitergegeben und in der Cochlea in Nervenimpulse übertragen. Die Cochlea kann man sich als einen durch eine Membran (die Basilarmembran) zweigeteilten, flüssigkeitsgefüllten und aufgerollten Schlauch vorstellen. Die Schwingungen eines Schallsignals führen zu einer Wanderwelle in der Cochlea, die aufgrund der unterschiedlichen Steifigkeit der Basilarmembran je nach Frequenz des Signals an verschiedenen Stellen der Membran eine maximale Auslenkung erreicht. Mit diesem als tonotopes Prinzip bezeichneten Vorgang erfolgt ein erster Schritt in der auditorischen Informationsverarbeitung, der auf einem rein physikalischen Effekt beruht. Auf der Basilarmembran sitzt das Corti-Organ, bestehend unter anderem aus inneren und äusseren Haarzellen. Die inneren Haarzellen nehmen die Auslenkung der Membran durch die Wanderwelle wahr und übersetzen sie in Nervenimpulse, die äusseren Haarzellen sind verantwortlich für die aktive Verstärkung des Schallsignals. Über den Hörnerv gelangen die Nervenimpulse in den cochleären Nukleus, den ersten von einer ganzen Reihe von neuronalen Kernen im Stammhirn. Ab hier teilen sich verschiedene Aspekte der auditorischen Information auf – beispielsweise solche über den Ort und die Art der Schallquelle – und werden an unterschiedlichen Orten parallel verarbeitet. Über den inferioren Colliculus erreicht schliesslich die Information den primären auditorischen Cortex. Über die nachfolgende Ausbreitung der Information in den verschiedenen cortikalen Feldern ist bis heute noch wenig bekannt. Zudem finden sich in der ganzen Hörbahn von der Cochlea bis zum Cortex mehrere Rückkopplungsschleifen, welche die Komplexität des Systems weiter erhöhen. Zweifellos erreicht die vor-cortikale Informationsverarbeitung beim Hörsinn eine weit höhere Komplexität hinsichtlich anatomischer Struktur und funktionaler Einheiten als bei allen anderen Sinnesorganen des Menschen. Dieses System realisiert eine erstaunliche Kompression des Informationsgehaltes des Signals: Die Bitrate des Schallsignals eines Sprachreizes beträgt rund 100'000 Bit/sec und wird durch das Hörsystem auf etwa 50 Bit/sec derart reduziert, dass Sprachverstehen möglich wird.

Ein Kernbegriff bei dieser kurzen Beschreibung der wissenschaftlichen Erkenntnisse, die den Hörvorgang betreffen, ist zweifellos «Information», ein schillernder und oft unpräzise gebrauchter Begriff, der in den Biowissenschaften im 20. Jahrhundert eine grosse Bedeutung erlangt hat.⁹ Ohne eingehend auf die Bedeutung dieses für die Neurowissenschaften fundamentalen Begriffs eingehen zu wollen, wird die für den Zweck dieser Arbeit genügende, grund-

legende Unterscheidung zwischen einem exakten und einem lebensweltlichen Informationsbegriff eingeführt.¹⁰

Zum einen kann man «Information» im Sinn eines exakten, naturwissenschaftlich definierten Begriffs verwenden. In diesem Kontext sind die naturwissenschaftlichen Grundlagen des zu untersuchenden Systems hinreichend bekannt. Man weiss, welche physikalische Eigenschaften – im Fall des Hörens beispielsweise die zeitliche Änderung des Schalldrucks – als informationstragend zu bezeichnen sind. Man kann diese Eigenschaft wie auch deren Transformation in andere physikalische Eigenschaften messen – im Fall des Hörens beispielsweise die Feuerrate (Anzahl Nervenimpulse pro Zeiteinheit), die sich (via Mittelohr und Basilarmembran) als Folge einer bestimmten zeitlichen Änderung des Schalldrucks ergibt.

Zum anderen kann man «Information» als lebensweltlichen Begriff verwenden. In dieser Bedeutungsweise ist ein wahrnehmendes Subjekt inhärent eingeschlossen und die semantischen Aspekte der Information stehen im Vordergrund. Das damit Bezeichnete ist von unterschiedlicher Natur. So kann «Information» eine Sinnesbeschreibung beinhalten oder eine Ähnlichkeitsbeziehung zu etwas Bekanntem («das tönt wie ...»). Damit ist nicht gesagt, dass «lebensweltliche Information» nur einer rein qualitativen und subjektiven Betrachtungsweise zugänglich ist. So lassen sich in der Audiologie durchaus verschiedene Wahrnehmungsqualitäten unterscheiden, so ein «auditives Bewusstsein» (die Fähigkeit, überhaupt etwas zu hören), die Fähigkeit, raumzeitliche auditive Muster erkennen und voneinander unterscheiden zu können, und schliesslich die Fähigkeit, Sprache verstehen zu können. Exakte Messbarkeit ist im Fall «lebensweltlicher Information» aber nicht gegeben.

Diese Unterteilung nimmt in der Untersuchung des Problems des Hörverlusts und der Hörrückgewinnung eine prominente Rolle ein. Vom naturwissenschaftlichen Standpunkt aus wird angestrebt, möglichst viel von den zu untersuchenden Prozessen im Sinn der «exakten Information» zu verstehen. Exakte Information ist demnach die Leitvorstellung der Grundlagenforscher. Vom Standpunkt der Medizin aus kann von der Sichtweise des Patienten nicht vollständig abstrahiert werden. Der Bau nützlicher sensorischer Prothesen hängt schliesslich entscheidend vom Urteil ihrer Nutzer ab, welche deren Funktionsweise hinsichtlich der «lebensweltlichen Information» bewerten werden. Mediziner werden also diesem Aspekt von Information eine weit grössere Rolle einräumen wollen als Grundlagenforscher.

Trotz dieser unterschiedlichen Sichtweisen auf das Problem hat sich eine plausible Strategie für die Konstruktion von Neuroprothesen wie folgt etablieren können. In einem ersten Schritt werden möglichst umfassende Kenntnisse über die Prozesse des Informationstransfers und der Informationsverarbeitung

innerhalb des jeweiligen sensorischen Systems gewonnen. In einem zweiten Schritt werden diese Erkenntnisse über die exakte Information in Beziehung zu den für den Benutzer sinnhaften Elementen im Kontext von Wahrnehmung und Kontrolle gesetzt. Schliesslich werden die Geräte derart entwickelt, dass jene Elemente der exakten Information reproduziert werden (Stimulationsprofil), welche die gewünschte lebensweltliche Information erzeugen. Dies ist die vom Standpunkt des Ingenieurs wohl einzig richtige Strategie für den Vorstoss in Richtung Cortex. Von Interesse ist nun, ob diese Strategie im Fall des CI tatsächlich so umgesetzt wurde. Zu diesem Zweck wird die Geschichte der Entwicklung des CI anhand von Publikationen, Konferenzprotokollen und Zeitzeugen-Berichten ausführlich vorgestellt. In der Untersuchung stehen zwei Aspekte im Vordergrund. Erstens: Welche Begriffe von Information werden in den jeweiligen Publikationen von den verschiedenen Exponenten verwendet? Zweitens: Welches Bild wird von den Patienten vermittelt, welche in die Erforschung der CI eingebunden wurden?

Elektrophones Hören: Von Volta bis Stevens/Jones

Ein auffälliges Merkmal vieler früher wissenschaftlicher Veröffentlichungen über medizinische Anwendungen der Hörnerv-Stimulation ist der Verweis auf eine im Jahr 1800 publizierte Arbeit von Alexander Volta.¹¹ Dabei wird behauptet, Volta habe als erster Naturforscher versucht, die Auswirkungen elektrischer Stimulation auf den Hörsinn zu untersuchen. Das Kalkül dieses Verweises ist klar: Es geht darum, die eigenen Bemühungen in eine Reihe von Forschungsanstrengungen zu stellen, an deren Beginn ein «wissenschaftlicher Übervater» steht. Die zitierte Arbeit von Volta ist schliesslich eine der bedeutendsten Publikationen im Bereich der Erforschung der Elektrizität. Volta stellte darin das Konzept der galvanischen Zelle vor, welche elektrischen Strom – ein damals überaus spannendes Forschungsthema – erstmals konstant und dauernd zur Verfügung stellen kann. In dieser Arbeit hat Volta nebst der Präsentation der galvanischen Zelle auch eine Reihe von Experimenten beschrieben. Eines davon betraf den Hörsinn, welches er in einem kurzen Abschnitt erläuterte; ein sehr kleiner und für Volta eher unbedeutender Teil seiner Arbeit. Das Experiment verlief für Volta sehr schmerzhaft und wurde von ihm nicht mehr wiederholt.

Volta's negative Erfahrungen waren nicht dazu angetan, das Phänomen einer elektrisch induzierten Hörwahrnehmung weiter zu erforschen.¹² Lediglich der deutsche Physiker Johann Wilhelm Ritter hatte 1801 das Experiment nachgeahmt. Doch auch er musste schlechte Erfahrungen machen, so dass eine

ernsthaftere Untersuchung des Phänomens erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erfolgte. In dieser Zeit hat sich eine Reihe von Naturforschern systematisch mit elektrisch induzierten Hörwahrnehmungen beschäftigt, wobei die Art der Stimulation (Unterschiede zwischen Gleich- und Wechselstrom), die Platzierung der Stimulationselektroden sowie mögliche therapeutische Effekte für verschiedene Erkrankungen des Gehörs diskutiert wurden. Damals entwickelte sich eine eigentliche medizinische Fachrichtung, die Elektrotherapie, welche sich von der Applizierung von elektrischem Strom auf verschiedene Körperteile Heilwirkung versprach. Da aber einerseits sehr hohe Ansprüche bezüglich der Heilwirkung der Elektrotherapie erhoben wurden, andererseits Kenntnisse über mögliche Mechanismen der Heilwirkung kaum vorhanden waren, wurde bald einmal der Scharlatanerie-Verdacht gegenüber der Elektrotherapie erhoben.

In den ersten drei Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts erfolgte im Sinn der exakten Information eine Präzisierung der Vorgänge der auditorischen Informationsverarbeitung.¹³ Mehrere Elemente spielten eine Rolle: Durch die Forschung insbesondere von Edgar Douglas Adrian wurde deutlich, dass die Informationsübertragung zwischen Nervenzellen elektrischer Natur ist. An den Bell-Laboratorien wurde im Zuge der sich entwickelnden Telefontechnik eine quantitative Erfassung des Sprech- und Hörvorganges vorgenommen – unter anderem durch Harvey Fletcher. Zunehmend bessere Instrumente erlaubten es den Forschern Ernest Glen Wever und Charles William Bray, quantitative Schlüsse über die Hörnervreizung zu ziehen. Sie entdeckten das Phänomen, das heute ihren Namen trägt, wonach eine am Hörnerv angebrachte Elektrode Signale misst, deren Verlauf der Amplitudenmodulation des akustischen Signals entspricht. Dieser Zusammenhang zwischen Schallreizung und elektrischen Signalen weckte grosse Erwartungen im Hinblick auf ein künstliches Hören – zumal sich die noch junge Radio- und Telefontechnik als Modellsystem des Hörvorganges anerbote. Es entwickelte sich die *telephonic theory of hearing*.¹⁴

Dieses technologische Modell des Hörvorganges reichte aber nicht für eine Aufklärung der eigentlichen physikalisch-biologischen Natur des Hörvorganges. Zu Beginn der 1930er Jahre rückte deshalb die Cochlea als Ort der elektrischen Erregbarkeit in den Mittelpunkt der Forschungen, wobei vor allem russische und amerikanische Forscher aktiv waren. Quasi als Abschluss dieser Forschungsanstrengungen lässt sich die Publikation der drei amerikanischen Forscher R. C. Jones, S. S. Stevens und M. H. Lurie bezeichnen, in welcher drei Mechanismen des elektrischen Hörens identifiziert wurden: Bei den ersten zwei Mechanismen wirkt entweder das Mittelohr oder die Basilarmembran als Signalwandler, und die Induzierung von Hörerlebnissen ist demnach auf eine

intakte Cochlea angewiesen. Der dritte Mechanismus besteht in der direkten Reizung des Hörnervs. Zudem stellten die Forscher fest, dass praktisch alle bisher gefundenen Varianten des elektrophonen Hörens durch die ersten beiden Mechanismen hervorgerufen werden. Damit erhielten die Bemühungen um eine Therapie von Hörschäden durch elektrische Stimulation einen wesentlichen Rückschlag, da praktisch alle zur Verfügung stehenden Methoden tauben Menschen mit einem geschädigten Innenohr (sensorische Hörschäden) nicht helfen konnten.

Die Entwicklung des Cochlea-Implantats

Zu Beginn der 1940er Jahre präsentierte sich die Situation derart, dass elektrotherapeutische Interventionen bei sensorischen Hörschäden den Hörnerv (bzw. die Ganglienzellen der Cochlea) betreffen mussten. In diesem Jahrzehnt erfolgten aber offenbar keine Publikationen zu diesem Thema. Ein schwedischer Arzt namens Lundberg soll Anfang der 1950er Jahre Versuche zur elektrischen Stimulation des Hörnervs während Operationen durchgeführt haben.¹⁵ Im Jahr 1953 veröffentlichte dann der französische Audiologe André Djourno seinen Plan, Ertaubten durch Hörnervstimulation wieder eine gewisse Form von Hörempfindung zu vermitteln. Dieser Plan wurde in die Tat umgesetzt und im Jahr 1957 erfolgte die erste Publikation eines Forschungsberichtes, der die Hörnervstimulation bei Menschen schilderte.¹⁶ Dieser Bericht hatte seinen Weg in die allgemeine Presse gefunden, was für die nachfolgende Entwicklung eines medizinisch einsetzbaren CI bedeutsam werden sollte. Denn dadurch erfuhr ein junger amerikanischer Otologe, William House aus Los Angeles, von der Hörnervstimulation und er kam zur Idee, Tauben damit zu einem neuen Hörempfinden zu verhelfen. Zusammen mit dem Ingenieur James Doyle entwickelte und testete er erstmals in den USA 1961 ein Fünf-Kanal-Implantat, das die Cochlea an fünf verschiedenen Orten stimulieren konnte, um so zumindest rudimentär das tonotope Prinzip erhalten zu können. Diese Versuche wurden nicht publiziert. Doyle jedoch war von den Ergebnissen derart angetan, dass er eine Firma zur Entwicklung eines CI gründete, was House wiederum zum Abbruch der Zusammenarbeit bewog. Doyle fand Anschluss an eine andere Gruppe in Los Angeles um den Audiologen John Doyle, welche 1963 die erste amerikanische Arbeit über die elektrische Stimulation der Cochlea beim Menschen publizierten.

In den 1960er Jahren erfolgten dann weitere Veröffentlichungen von Experimenten mit Menschen, durchgeführt von lediglich zwei Gruppen: jener von Doyle und jener von Blair Simmons von der Stanford Medical School.¹⁷ House

gab die experimentelle Forschung für einige Zeit auf, nahm diese aber im Jahr 1968 zusammen mit dem Ingenieur Jack Urban wieder auf. Diese Resultate konnten zu jener Zeit nicht die üblichen Kommunikationswege der Wissenschaft beschreiten. So wurden Konferenzbeiträge zu solchen Themen abgewiesen und finanzielle Unterstützung von den National Institutes of Health war für derartige Forschung nicht zu erhalten. Die wenigen aktiven Forscher berichteten zudem von grossen Schwierigkeiten, Fachleute angrenzender Gebiete wie Sprachkodierung und Psychophysik zu Kooperationen zu bewegen.¹⁸ Auffallend sind die sehr geringe Zahl der beteiligten Wissenschaftler und die geographische Fokussierung der Forschungen auf Südkalifornien, währenddem europäische Forscher von den Entwicklungen zwar Notiz nahmen, aber selbst keine weiteren (publizierten) Aktivitäten unternahmen.¹⁹

Ein wichtiger Grund für diese generell ablehnende Haltung gegenüber dieser Forschung ist, dass im gleichen Zeitraum entscheidende Erkenntnisse über die Informationsverarbeitung im Hörsystem aufgrund von Tierversuchen, elektrophysiologischen und anatomischen Untersuchungen – also Erkenntnisse im Sinn der exakten Information – gewonnen wurden.²⁰ Gegen Ende der 1960er Jahre präsentierte sich damit die Situation wie folgt: Die *scientific community* von auditiv orientierten Elektrophysiologen und Hirnforschern hatte wesentliche Aspekte der Informationsverarbeitung im auditorischen System (der Cochlea und den Kernen im Hirnstamm, die Teil der Hörbahn sind) entschlüsselt und war dabei auf ein hochkomplexes System gestossen: Die Biophysik der Cochlea realisiert das tonotope Prinzip, wobei die Frequenzen des Schallsignals aufgeteilt und beim Menschen über gut 30'000 Kanäle (die Zahl der Nervenfasern von der Cochlea zum cochleären Nukleus, welche den Hörnerv bilden) weitergeleitet werden. Eine offene Frage war der genaue Vorgang der Codierung, insbesondere die Frage, wie stark neben einer Ortskodierung (tonotopes Prinzip) auch eine Kodierung durch die Frequenz der ausgelösten Aktionspotentiale der Nervenzellen eine Rolle spielte.

Ungeachtet dieser noch offenen Fragen war es angesichts des damals schon detaillierten Wissens über das Gehör schlicht unvorstellbar, dass durch simple Elektrostimulation des Hörnervs irgendetwas Sinnvolles für den Patienten zustande gebracht werden könnte. Diese Ansicht wird deutlich in den Worten der Audiologin Merle Lawrence: «So, in conclusion, on the basis of the data that has been accumulated through years of experimental work on the ear, there is no way, regardless of the number of terminals, by means of which one can get tonotopic or specific frequency stimulation by attempting to stimulate peripheral first order neuron dendrites. All that would be produced would be a noise. True it can vary in character and presumably then the nerve trunk is being stimulated, and not specific fibers. And thirdly, even if this is stimulated,

the dynamic range is liable to be most impractical.»²¹ Die Anforderungen an die durch CI an den Patienten übermittelte Information wurden gleichzeitig sehr hoch geschraubt. Als befriedigend galt das Resultat erst dann, wenn diese Implantate ein Sprachverstehen ermöglichen würden. Nelson Kiang, eine unbestrittene Koryphäe des Fachs und einer der schärfsten Kritiker der frühen CI-Forschung, stellte dazu 1972 fest: «To date, no experiment on any deaf human subject has produced hearing that could be considered adequate for conventional speech communication.»²²

Die Kenntnisse über das Hörsystem wurden von den frühen CI-Forschern natürlich nicht einfach negiert. So bestand das 1961 eingesetzte System von William House aus insgesamt fünf Elektroden, um die Cochlea an verschiedenen Orten zu stimulieren und damit zumindest rudimentär dem tonotopen Prinzip gerecht werden zu können. Erstaunlicherweise hatte sich gezeigt, dass die Versuchsperson dann am meisten Sinn aus der Stimulation schöpfen konnte, wenn alle fünf Elektroden gleichermaßen die Cochlea stimulieren (was einem Einkanal-System gleichkommt) – ein überraschender Befund.²³ Derartige Erkenntnisse vergrösserten allerdings die Kluft zwischen den «CI-Pionieren» und der Mehrzahl ihrer Gegner: Erstere sahen sich bestärkt in ihrer Absicht, ihre Forschungen unabhängig vom Kenntnisstand – der gegen sie sprach – fortzusetzen. Für die Gegner wiederum waren solche Ergebnisse ein weiterer Beweis für die Unsinnigkeit der CI-Forschungen – schliesslich ist das tonotope Prinzip eines der Kernelemente der Theorie der Cochlea.

Lebensweltliche Information und der Patient

Aufgrund des wissenschaftlichen Kenntnisstandes von 1970 und der wenigen Versuche zur Entwicklung eines CI war die Ausgangslage für einen harten wissenschaftlichen Streit gegeben, der in einer Reihe von Konferenzen in den frühen 1970er Jahren ausgetragen wurde – insbesondere an der Konferenz der American Otological Society im April 1973. Die CI-Befürworter waren klar in der Minderheit, da zu Beginn der 1970er nebst den Exponenten House und Simmons lediglich eine Gruppe um Robin Michelson in San Francisco und eine Gruppe um William Doherty in Utah Experimente in diesem Bereich durchführten. Blair Simmons erklärte in einem Rückblick: «[...] all but a very few basic scientists were hostile towards the entire idea.»²⁴ Kiang brachte diese Mehrheitshaltung auf folgendes Urteil: «My overwhelming impression is that the current crop of workers on human auditory prostheses simply do not make use of the known results in auditory physiology. [...] Dr. House's results are no different from those of previous workers, except that the criteria to the

definition of success have been lowered. Enthusiastic testimonials from patients cannot take the place of objective measures of performance capabilities.»²⁵ Dieses Zitat macht das Spannungsfeld zwischen den beiden Informationsbegriffen deutlich: Die «known results» (exakte Information) würden von den CI-Forschern ignoriert und stattdessen werde auf die «enthusiastic testimonials» (lebensweltliche Information) der Patienten verwiesen. Der Patient wird dabei als dritte Partei in den Streit eingeführt, die sich hinsichtlich der Entwicklung des CI als entscheidend herausstellen sollte.²⁶ Nicht nur der Wille und das Engagement der Versuchspersonen waren Voraussetzungen für diese Entwicklung,²⁷ sondern deren persönliche Sinneserfahrungen entschieden über Abbruch oder Weiterführung der Versuche – und damit die durch sie erfahrene lebensweltliche Information.

Die Interpretation der Aussagen der Versuchspersonen unterschied sich bei den Befürwortern und den Gegnern dieser Versuche deutlich. Beispielhaft ist dafür die Passage in einer Publikation von Simmons: «The first encounter with <speech sounds> may help the reader to see precisely what we mean: Toward the end of an early session, a 100/sec stimulus was introduced in a final attempt to extract a spontaneous description from the subject. After some minutes of repeated stimulation and questioning, for no special reason the intensity was varied continuously and irregularly over a range of about 10 db. The subject's response to this irregular amplitude modulation was immediate: <Sounds like somebody trying to talk.> Stimulation in the same fashion at several other rates established that the voice was male and that it was always the same <voice>».²⁸ Wo es nach Ansicht der Kritiker also «just noise» geben kann, war nach Ansicht der CI-Entwickler eine «male voice» vorhanden – wobei hier anzufügen ist, dass die Versuchsperson keine sprachliche Information von dieser «Stimme» übermittelt bekommen hat.

Die Wichtigkeit der Versuchspersonen für die Entwicklung ihrer Technologie war den CI-Befürwortern natürlich bewusst. House meinte: «C. G. [Chuck Graeser] was perhaps a very fortunate choice. He is an ambitious and goal-oriented individual who is tenacious in his desire to maximize the use he can derive from his implant. He has enthusiastically participated in whatever studies deemed necessary. In addition, he is both articulate and an excellent observer.»²⁹ Von Seiten der CI-Gegner wurden solche Beschreibungen kaum kommentiert – man wies höchstens darauf hin, dass die Implantate offenbar kein Sprachverstehen ermöglichen würden. Die CI-Befürworter hingegen entschieden sich zu jener Zeit gegen den damaligen Kenntnisstand über das auditorische System und für die Wahrnehmung ihrer wenigen Patienten. Oder in den Worten von House: «At this point, Jack and I were faced with a dilemma. Should we accept what the patient, Chuck Graser, was telling us,

namely that the VIIIth nerve listens to the electric current it wants to hear, or should we say no, we don't believe it, because it makes no physiological sense. We accepted what Chuck was telling us and thus the single-channel implant was born.»³⁰ Die wenigen CI-Patienten jener Zeit nutzten die durch die Implantate vermittelte Information zu ganz eigenen Zwecken: Sie beschrieben nicht nur die Wiedererlangung eines «auditorischen Bewusstseins», die Implantate erlaubten ihnen auch die Unterscheidung verschiedener akustischer Reize, unterstützten andere Kommunikationsformen wie das Lippenablesen und ermöglichten in manchen Fällen ein rudimentäres Verstehen einzelner Wörter. Die durch die Implantate übermittelte Information wurde damit in einen Sinnzusammenhang gestellt, welcher den Patienten im Alltag durchaus weiterhelfen konnte.

Der Standpunkt der Grundlagenforscher war ein anderer: Angesichts des Wissensstandes – im Sinn der exakten Information – war es schlicht unmoralisch, Experimente an Menschen durchzuführen, da befürchtet wurde, dass es durch die elektrische Stimulation zu Gewebeschäden kommt. So plädierte Kiang für mehr Forschung und gegen weitere Versuche an Menschen: «Although certain key issues can only be resolved eventually by work on humans, the present state of basic knowledge and technical competence argues strongly for additional preliminary work on animals.»³¹ House berichtet in seinen Erinnerungen, dass Kiang die Mitarbeiter seines Labors aufsuchte und sie fragte, wie sie ihre Arbeit mit ihrem Gewissen vereinbaren könnten. Der Einwand, dass eine Implantierung direkt körperliche Schäden bei Patienten verursachen kann, ist auch später mehrfach erhoben worden.³² Zudem wurde kritisiert, die CI-Befürworter würden durch ihre Forschungen nicht einlösbare Erwartungen bei den Patienten schüren. Moses H. Lurie, einer der drei Autoren der einflussreichen Jones/Stevens/Lurie-Publikation von 1940, bemerkte: «There will be people demanding that these procedures will be done on them and I think that is one of the things we have to be very careful about because here in this Society you have listened to papers of scientific value, more or less, but they should not be released to the newspapers. Many newspapers will enlarge and expand it so that when it reaches the headlines you likely will read that <Otologists are now restoring hearing to the deaf.> That is the big danger as I see it.»³³

Die Medien spielten tatsächlich eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der Propagierung dieser Technologie. Bereits die Versuche von Djourno und Eyries führten zu Artikeln, welche (wie bereits erwähnt) House auf das Feld aufmerksam machten. Die CI-Befürworter machten unterschiedlich Gebrauch von den Medien: Während Simmons einer medialen Begleitung der Forschung abgeneigt war,³⁴ nutzte House die Medien zu seinen Gunsten: Sein Patient

Chuck Graeser wurde zu einem eigentlichen Medienstar mit mehreren Auftritten in der Presse und im Fernsehen.³⁵

Anlässlich der Konferenz von 1973 war den CI-Befürwortern klar geworden, dass ihre Patientenberichte die Mehrheit der Forscher nicht überzeugen konnten. Das Weiterführen der Forschung wurde deshalb gleichsam zu einer «neue Aufgabe» der Otologie emporstilisiert (House): «We are entering a new era of otology. For the past thirty years we have been in the conductive hearing loss era which was a very stimulating, interesting and wonderful time to have practiced but we are now entering the era of the sensory hearing loss. There is great urgency about this because, as was pointed out by Dr. Lurie and several other speakers, patients who are totally deaf want to hear and they have a right to hear. That is what medicine is all about. That is why we are here.»³⁶

Etablierung der CI-Technologie

Trotz der harten Kritik an der CI-Forschung anlässlich der Konferenz von 1973 brachte diese einen Durchbruch, da neue Forschungsberichte nun publiziert vorlagen und Audiologen wie Ingenieure in anderen Ländern auf das Thema aufmerksam machten. In Australien begann eine Gruppe um Graeme Clark an der Universität Melbourne mit systematischen Untersuchungen, in deren Folge wesentliche, auch heute noch gebräuchliche technische Konzepte hinsichtlich Stimulationsmethoden entwickelt wurden, vor allem die transkutane Signal- und Energieübertragung. In Europa begannen Forscher in Deutschland (Paul Banfai), England (Ellis Douek), Frankreich (Claude Henri Chouard), Österreich (Kurt Burian) und der Schweiz (Norbert Dillier, Ugo Fisch, Thomas Spillmann) mit Versuchen zur direkten elektrischen Hörstimulation, alle mit Mehrkanal-CI. Vor allem Chouard erwies sich als enthusiastischer Vertreter dieser neuen Technologie und implantierte praktisch jeden Monat ein neues CI in Patienten. Im Frühjahr 1974 folgte eine Reihe von Medienberichten zu seinen Arbeiten. Etwa 1976 begann er auch, CI in Kinder zu implantieren – was bisher keine andere Forschungsgruppe gewagt hatte. Zu diesem Zeitpunkt meldeten sich jedoch erstmalig Gehörlosenorganisationen zu Wort, welche die Versuche an Kindern vehement verurteilten.³⁷ Dies markiert eine erste Wendung hinsichtlich der ethischen Beurteilung der neuen Technologie. Diese erfolgte erstmals von Seiten der Betroffenen, wenn auch noch mit einem primär forschungsethischen Argument, dem Problem der Einwilligung minderjähriger Versuchspersonen.

Als wichtiger Eckpunkt für die Akzeptanz der CI galt der 1977 veröffentlichte Bilger Report.³⁸ In diesem wurde erstmals durch eine von den National

Institutes of Health zusammengestellte, unabhängige Forschergruppe der medizinische Nutzen der CI bei den bisher implantierten (amerikanischen) Patienten (total 13 Personen) untersucht und festgestellt, dass das CI ein grundsätzlich brauchbares therapeutisches Konzept ist. Der Grund für die Weiterentwicklung des CI im Verlauf der 1970er Jahre lag aber nicht nur in den Forschungen einer zunehmenden Zahl von CI-interessierten Wissenschaftlern und Medizinerinnen. Simmons zählt zwei weitere, externe Aspekte auf, welche der Entwicklung dieser Technologie förderlich waren:³⁹ Ende der 1960er Jahre wurde eine Reihe von Experimenten zur Wiederherstellung der Sehfähigkeit aufgrund elektrischer Stimulation des visuellen Cortex unternommen.⁴⁰ Es hatte sich dann aber gezeigt, dass das visuelle System auf der Ebene des Cortex zu kompliziert ist, um mittels Elektrostimulation vernünftige Resultate (d. h. mehr als Phosphene) zu erhalten. Einige dieser Forscher sind deshalb auf das auditorische System gewechselt, weil sie glaubten, dort mehr Erfolg haben zu können. Zudem war Ende der 1970er Jahre ein steigendes Interesse von Ingenieuren an Fragestellungen der Biomedizin feststellbar. Zumindest in den USA steht dies offenbar in Zusammenhang mit der Einstellung des Apollo-Programms durch die NASA, wodurch sehr viele Fachkräfte ihre Arbeit verloren hatten.⁴¹ Gleichzeitig wuchs der Rechtfertigungsdruck für Forscher, welche den gesellschaftlichen Nutzen ihrer Forschung aufzeigen mussten.

In den 1970er Jahren zeigte sich weiter eine interessante Bruchlinie hinsichtlich der technologischen Weiterentwicklung der CI. William House war aufgrund seiner frühen Versuche davon überzeugt, dass Einkanal-CI die besten Resultate bringen würden. Er versteifte sich auf dieses Konzept, obwohl mit den zunehmenden technischen Möglichkeiten bald einmal klar war, dass dieses Konzept eine Sackgasse darstellt und Mehrkanal-CI bessere Resultate bringen würden.⁴² Aufgrund des Renommées des «CI-Pioniers», insbesondere bei den Medizinerinnen, überzeugte House das US-Unternehmen 3M, ein Einkanal-CI zu entwickeln, dessen Marktzulassung in den USA im November 1984 erfolgte – die erste Marktzulassung eines CI überhaupt.⁴³ Auch dieser Schritt wurde von einem grossen Medieninteresse begleitet – jetzt aber unter veränderten Vorzeichen, da das CI als etablierte Technologie galt.⁴⁴ Die Kritik an ihrer Medialisierung erfuhr damit eine neue Note. Nun wurde befürchtet, das Medieninteresse an den CI behindere die Anwendung anderer Technologien für die Therapie von Hörschäden, wie vibrotaktile und elektrotaktile Stimulatoren.⁴⁵ Ab den 1980er Jahren begann ein Zusammenwachsen des mit den Begriffen exakte und lebensweltliche Information markierten Grabens hinsichtlich der Konstruktion und der klinischen Anwendung der CI. So wurde eine detaillierte Untersuchung von Kodierungsstrategien in Angriff genommen, um möglichst guten Gebrauch von CI machen zu können. Man konnte also das

Problem wieder ganz im Fokus der exakten Information abhandeln. Der Wissenschaftler Gerald E. Loeb bemerkte: «In the early days, the clinical pioneers ignored and were usually ignored by the basic research community. It is now widely recognized that the resultant blind empiricism is no longer an effective way to advance this complex art.»⁴⁶ Unternehmen, die auf diese Strategie setzten, namentlich das australische Unternehmen Cochlear, das mit dem australischen CI-Forscher Graeme Clark zusammenarbeitete, konnten sich denn auch durchsetzen. Das Unternehmen 3M jedoch, welches zu Beginn der 1980er Jahre die wohl besten Voraussetzungen für die Entwicklung eines kommerziellen CI hatte, setzte mit dem Einkanal-CI von House auf das falsche Konzept und verlor das Rennen um die Umsetzung des CI in ein kommerziell verwertbares Produkt.⁴⁷

Heutzutage sind Cochlea-Implantate medizinischer Standard. Weltweit wurden bisher über 60'000 Systeme implantiert.⁴⁸ Die überwiegende Mehrzahl der CI sind heute Mehrkanal-Systeme (bis zu 22 Kanäle) und erlauben ihren Trägern eine in Standardtests festgestellte Spracherkennungsrate von über 90 Prozent (Prozentsatz verstandener Wörter ohne Sichtkontakt mit dem Sprecher). CI-Träger sind aber weiterhin als Schwerhörnde einzustufen, und sie erreichen keine normale Hörfähigkeit. Medizinische Aspekte wie Abstoßung und Unverträglichkeit gelten heute ebenfalls als gelöst. Für die Erklärung der Funktion von CI steht heute zudem ein neues Konzept zur Verfügung, das während der Entwicklungsphase noch unbekannt war: die neuronale Plastizität. Offenbar hat das Gehirn die Fähigkeit, auch ungewohnten «Input» sinnvoll zu nutzen. Neuere Studien zeigen das Auftreten dieses Phänomens auch im Fall von CI.⁴⁹ Die durch die neuronale Plastizität gegebene Flexibilität des Hörsinns hat aber ihre Grenzen, was sich darin zeigt, dass CI bei sehr früh implantierten, taub Geborenen sowie bei im Erwachsenenalter Ertaubten die besten Erfolge zeitigen. Im ersten Fall besitzt das Gehirn eine maximale Flexibilität und kann sich auf die durch die CI hervorgerufenen Signale anpassen, im letzteren Fall besteht bereits ein auf Sprache abgestimmtes neuronales Netzwerk, das sich noch im genügenden Mass dem neuartigen Input anzupassen vermag.

Ethik der Implantierung

Die CI-Technologie hat sich also technologisch durchgesetzt – aber eine andere, wohl gerade von den CI-Befürwortern unerwartete ethische Debatte ausgelöst, welche von Seiten der Gehörlosen-Organisationen getragen wurde.⁵⁰ Bereits die CI-Versuche an Kindern von Chouard haben in den 1970er Jahren

erste Einwände hervorgerufen. Diese Kritik erlebte aber in den 1980er Jahren einen markanten Schwerpunktwechsel, als die durch die Zeichensprache aufgebaute «kommunikative Welt» durch hörende Forscher zunehmend untersucht und als weitaus komplexer als bisher angenommen erkannt wurde.⁵¹ Dies ebnete den Weg zu einer Argumentation, wonach die Anwendung von CI bei taub Geborenen als Bedrohung der Kultur der Taubstummen empfunden wurde, was vor allem in den 1990er Jahren heftige Debatten auslöste. Gehörlose argumentierten, dass Taubheit nicht als Behinderung aufzufassen sei, sondern Anlass zur Entwicklung einer eigentlichen «Taubstummen-Kultur» mit eigener Sprache (der Zeichen-/Gebärdensprache) gebe. Durch den Einsatz von CI bei taub geborenen Kindern werde dieser kulturellen Gemeinschaft der Nachwuchs vorenthalten. Die Implantierung wird damit von Seiten der Gehörlosen zum Ausdruck eines ärztlichen Paternalismus, wonach der Arzt «das Beste» für die Patienten wolle, wobei aber der Entscheid zur Implantierung in Unkenntnis der Situation der Betroffenen gefällt werde. Das CI wird damit als technologische Bedrohung einer mühsam errungenen Anerkennung der Gehörlosen-Kultur empfunden.

Die «lebensweltliche Information» erhält in diesem Diskussionszusammenhang eine andere Bedeutung als bei den frühen CI-Experimenten mit ehemals Hörenden: Die Gehörlosigkeit ermöglicht einen Zugang zur Lebenswelt, der auf einem ausdifferenzierten visuellen Sinn beruht – die durch das CI übermittelten auditorischen Reize hingegen werden nicht als hilfreich, sondern als störend für den Aufbau dieser Fähigkeit gesehen. Das CI, so das Argument, vermindere dadurch den Umfang an lebensweltlicher Information, der den Gehörlosen zur Verfügung steht, statt diesen zu erweitern – insbesondere, wenn Kinder bereits sehr früh implantiert würden und dadurch nicht in der Lage seien, den visuellen Sinn ausreichend zu trainieren. Dadurch, so die Kritik, würden gehörlose Kinder Randständige in der Welt der Hörenden statt vollwertige Mitglieder der Gemeinschaft der Gehörlosen.

Heute hat die ethische Debatte um die CI an Heftigkeit verloren, wenngleich Gehörlosen-Organisationen dem CI immer noch kritisch gegenüberstehen. Unter anderem dürfte dies zwei Gründe haben: Zum einen haben die meisten taub geborenen Kinder hörende Eltern. Da das Selbstbestimmungsrecht der Eltern gegenüber den eher unspezifischen Rechten hinsichtlich einer Erhaltung der Gehörlosenkultur höher gewichtet wird und die Eltern in der Regel wünschen, dass ihre Kinder «ihrer» Welt zugehörig sind, wird entsprechend implantiert, zumal die Operation heute einen Routinecharakter hat. Zum anderen hat sich der strikte Gegensatz zwischen einer akustischen und einer auf Zeichensprache basierenden Kommunikation aufgeweicht. Beide Kommunikationsformen können bei implantierten Kindern koexistieren. Auch

wenn die Debatte um die Ethik der Implantierung abgeklungen ist, zeigt sie auf, dass eine in den sensorischen Zugang des Menschen zur Welt eingreifende Prothetik ganz andere Sensibilitäten berührt als eine solche, die als «Reparatur» an der «Maschine Mensch» aufgefasst wird.

Fazit

Welche Schlüsse lassen sich aus der Entwicklung des CI hinsichtlich des Vorgehens und der Bewertung künftiger prothetischer Eingriffe in die Sensorik und das Gehirn des Menschen ziehen? Bevor diese Frage beantwortet werden soll, ist der grundlegende Einwand, wonach die CI-Entwicklung ein singuläres Ereignis ist und nicht Anlass für vergleichende Betrachtungen liefern kann, zu untersuchen. Hierfür eignet sich ein Blick auf die Entwicklung des Hirnstamm-Implantates. Obwohl die ersten diesbezüglichen Versuche erst Ende der 1970er Jahre begannen, als sich die Situation sowohl hinsichtlich der wissenschaftlichen Fakten wie auch der technologischen Möglichkeiten um einiges günstiger präsentierte als gut 20 Jahre zuvor, zeigen sich erstaunliche Parallelen: Die wissenschaftliche Faktenlage sprach gegen solche Eingriffe: Nicht nur ist der cochleäre Nukleus hinsichtlich der Anzahl Zelltypen und ihrer strukturellen Anordnung ein weit komplexeres Objekt für elektrische Stimulation als die Cochlea, so dass man also auch hier «just noise» als Ergebnis erwarten konnte. Der Hirnstamm ist auch ein weit diffizileres Gebiet für chirurgische Eingriffe, da nur geringe Fehler schwerste Beeinträchtigungen für den Patienten zur Folge haben können. Dennoch haben genau dieselben Leute wie beim CI, z. B. William House vom House Ear Institute in Los Angeles, sich an diese Versuche gewagt, und zwar aufgrund eindringlicher Bitten einer gehörlosen Frau. Die Darstellung der Wahrnehmungen der Versuchsperson folgten dem vom CI bekannten Muster: «The patient was enthusiastic about the sound she was receiving through the stimulation unit.»⁵² Weitere Publikationen zu diesem Thema betonten den «pioneering spirit» der Versuchspersonen.⁵³ Und auch die Medien berichteten teilweise vor den Fachpublikationen von den Versuchen – so bei der kürzlich erfolgten, erstmaligen Implantation von Elektroden direkt in den Hirnstamm.⁵⁴ Diese frappante Parallelität gibt einen Hinweis auf die Besonderheiten, mit der jener Teil der Neuroprothetik konfrontiert ist, welcher das personale Selbst direkt tangiert. Die erste dieser Besonderheiten betrifft den durch die Begriffe exakte und lebensweltliche Information kenntlich gemachten Unterschied. Prothetische Eingriffe in die Sensorik und das Gehirn eines Menschen ändern dessen inneres Erleben und konfrontieren ihn mit der Aufgabe, aus dem

«neuen» Input Sinn zu gewinnen. Dieser Sinn ist in Begriffen der exakten Information nicht zu fassen. Dazu kommt, dass je näher man dem Cortex kommt, desto komplexer sich die naturwissenschaftliche Sachlage präsentiert. Man sollte sich vom gegenwärtigen Boom der Neurowissenschaften nicht dahin gehend beirren lassen, als sei die neuronale Informationsverarbeitung wirklich verstanden. Die Neuroprothetik wird demnach sowohl aufgrund der angesprochenen Kluft zwischen lebensweltlicher und exakter Information wie auch wegen der zunehmend geringeren Wissensbasis hinsichtlich der exakten Information bei stärkerer Annäherung an den Cortex nicht der im zweiten Abschnitt erläuterten Strategie folgen können – auch wenn dies gegen aussen so kommuniziert werden muss. Jeder neue Schritt der Prothetik in Richtung Cortex wird eine Phase des «trial and error» beinhalten, in der die durch den Patienten übermittelte lebensweltliche Information Anstoss zur Weiterentwicklung oder zum Abbruch einer bestimmten neurotechnologischen Entwicklung geben wird.

Damit ist die zweite Besonderheit angesprochen: die Rolle des Patienten. Im üblichen Rahmen klinischer Versuche lässt sich eine Reihe objektivierbarer Kriterien festlegen, welche die Auswahl der Patienten bestimmen. Das Beispiel CI zeigt aber, dass im Fall der «sensiblen» Neuroprothetik nicht nur die Bereitschaft für das Eingehen potentiell «persönlichkeitsverändernder» Risiken eingeholt werden muss, sondern dass diese Patienten auch sehr gute Beobachter des personalen Selbst sein müssen, um die Wirkkraft dieser Prothesen abschätzen zu können.

Die dritte Besonderheit betrifft schliesslich die öffentliche Wirkung einer solchen Technologie. Neue Entwicklungen im Bereich der Neuroprothetik sind sich einer grossen medialen Aufmerksamkeit gewiss. Sie können wohl sogar davon profitieren, um eine auf Vorsicht plädierende Wissenschaftsgemeinschaft umgehen zu können, indem durch Medienberichte das Interesse einiger weniger Forscher und Patienten geweckt wird, die gewillt sind, weiterzumachen und Risiken auf sich zu nehmen. Eine sich zunehmend dem Gehirn nähernde Neuroprothetik wird sich wohl aber immer weniger auf eine solche unterstützende Dynamik verlassen können, da der «Frankenstein-Verdacht» virulenter wird, je stärker die neuronalen Grundlagen des menschlichen Selbst tangiert werden. Wie das Beispiel CI gezeigt hat, können auch unerwartete ethische Debatten angestossen werden, da gewisse Abnormitäten hinsichtlich oder Sinnes- und Gehirnleistungen kulturelle Gemeinschaften geschaffen haben könnten, deren Komplexität unbekannt war und ist. Auch in dieser Hinsicht wird sich die sensible Neuroprothetik nur schwer in das Bild einer die «neuronale Mechanik» des Menschen reparierende Technologie einfügen können.

Anmerkungen

- 1 Ich danke Stuart Blume (Universität von Amsterdam, Departement für Soziologie und Anthropologie), Norbert Dillier (Universitätsspital Zürich, Labor für experimentelle Audiologie), Michael Hagner (ETH Zürich, Professur für Wissenschaftsforschung), John House (House Ear Institute, Los Angeles) und Albert Kern (ETH Zürich, Institut für Neuroinformatik) für ihre wertvollen Hinweise, Anregungen und kritischen Kommentare.
- 2 Der Begriff Maschine ist in Anführungszeichen gesetzt, da Maschinen – zumindest gemäss der klassischen Definition – auf einem von einem Designer entworfenen Plan beruhen, Ergebnis einer Konstruktion sind und für ein bestimmtes Ziel gebaut wurden. All diese Aspekte werden einem menschlichen Körper, abgesehen vielleicht von religiösen Kontexten, nicht zugeschrieben.
- 3 Zu erinnern ist in diesem Zusammenhang an die Untersuchungen von Paul P. Pearsall, der anhand von Fallgeschichten von Herztransplantationen die Übertragung von Charaktereigenschaften des Spenders an den Empfänger behauptet. Diese Resultate sind in Fachkreisen sehr umstritten, haben aber in den 1990er Jahren eine grosse öffentliche Resonanz hervorgerufen, welche die besondere Bedeutung des Herzens vor Augen führt.
- 4 Vgl. dazu: Hell, Daniel: Seelenhunger. Der fühlende Mensch und die Wissenschaften vom Leben, Bern 2003.
- 5 Für eine aktuelle Übersicht der verschiedenen Anwendungen der Neuroprothetik siehe Finn, Warren E. und Peter G. LoPresti (Hg.): Handbook of Neuroprosthetic Methods. Boca Raton, London, New York, Washington 2003.
- 6 Der Hippocampus ist eine vergleichsweise klar strukturierte, gut verstandene Hirnregion und spielt eine wichtige Rolle bei der Gedächtnisbildung. Die Gruppe um Theodore W. Berger der University of Southern California entwickelte einen implantierbaren Chip, der die Hippocampus-Funktion übernehmen soll und momentan (2003) in Tierexperimenten getestet wird.
- 7 Das Autonomieprinzip spielt sowohl in grundlegenden Überlegungen zur Fundierung der Ethik, etwa im Sinne des kantischen kategorischen Imperativs, als auch in praktischen bioethischen Anwendungen wie der Prinzipienethik eine wichtige Rolle (Beauchamp, Tom and James Childress: Principles of Biomedical Ethics, 5. Aufl., Oxford 2001). Im Sinne von Kant beinhaltet Autonomie die Fähigkeit des Menschen, sich die wesentlichen Ziele und Werte seines Lebens selbst setzen zu können. In der Prinzipienethik verlangt das Autonomieprinzip die Achtung des Willens eines Patienten in Fragen, die seine Behandlung betreffen. Eine Schädigung der Gehirnfunktion beeinträchtigt die Wahrnehmung der Autonomie.
- 8 Die Ausführungen dieses Abschnitts basieren auf folgenden Referenzen: Geisler, C. D.: From Sound to Synapse. Physiology of the Mammalian Ear, Oxford 1998; Langner, Gerhard: Periodicity coding in the auditory system, in: Hearing Research 60 (1992), S. 115–142; Zatorre, Robert J.: Sound analysis in auditory cortex, Trends in Neurosciences 26 (2003) 5, S. 229–230. Die Abschätzung der Kompression des Sprachsignals stammt von Clark, Graeme, M. et al.: Cochlear Prosthesis. Edinburgh, London, Melbourne und New York 1990, S. 49.
- 9 Dies betrifft vor allem die Genetik, Molekular- und Entwicklungsbiologie. Vgl. dazu Kay, Lily E.: Who Wrote the Book of Life? Stanford 2000; Oyama, Susan: The Ontogeny of Information, Durham, 2000 (second edition); Smith, John Maynard: The Concept of Information in Biology, Philosophy of Science 67 (2000), S. 117–194.
- 10 Die Unterscheidung zwischen einem exakten und einem lebensweltlichen Informationsbegriff liegt jedem Versuch, Information zu quantifizieren, zu Grunde, was bereits Claude Shannon in seinem berühmten Aufsatz «A Mathematical Theory of Communication» festhielt (in: The Bell Systems Technical Journal, 27 (1948), 379–423, 623–656).
- 11 Volta, Alexander: On the Electricity excited by the mere Contact of conducting Substances of different kinds. Philosophical Transactions of the Royal Society, London, (1800) 2, S. 403–431.
- 12 Die Übersicht in diesem Abschnitt beruht auf Simmons, F. Blair: Electrical Stimulation of the Auditory Nerve in Man, in: Archives of Otolaryngology 84 (1966), S. 24–32.
- 13 Die wichtigsten Referenzen, in der Reihenfolge ihres Auftretens: Adrian, Edgar Douglas: The

- Basis of Sensation, London 1928; Fletcher, Harvey: Speech and Hearing, New York 1929; Wever, Ernest Glen and Charles William Bray: The Nature of the Acoustic Response: The Relation Between Sound Frequency and Frequency of Impulses in the Auditory Nerve, in: Journal of Experimental Psychology 13 (1930), S. 373–387; Jones, R. C., S. S. Stevens und M. H. Lurie: Three Mechanisms of Hearing by Electrical Stimulation, in: Journal of the Acoustical Society of America 12 (1940), S. 281–290.
- 14 Simmons 1966 (wie Anm. 12), S. 27.
 - 15 Zitiert nach Clark 1990 (wie Anm. 8), S. 3. William House berichtet in einem kurzen zeitlichen Abriss von vergleichbaren Versuchen, die bereits Ende der 30er Jahre stattgefunden haben sollen, ohne aber Referenzen anzugeben. In: House, William F.: Cochlear Implants, in: Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology, Supplement 27, 85 (1976) 3. Hier gilt es anzumerken, dass die Elektrostimulation des Cortex in den 1950er Jahren durchaus ein Forschungsthema war, primär aber zur Feststellung funktionaler kortikaler Felder, vgl. dazu Penfield, Wilder und Theodore Brown Rasmussen: The Cerebral Cortex of Man, New York 1954.
 - 16 Djourno, André und Charles Eyries: Prothèse auditive par excitation électrique à distance du nerf sensoriel à l'aide d'un bobinage inclus à demeure. Presse médicale 65 (1957), S. 1417. Erstaunlich ist, dass erste vergleichbare Tierexperimente erst im Jahr 1961 veröffentlicht wurden: Nieder, Philip C. und William D. Neff: Auditory Information from Subcortical Electrical Stimulation in Cats, in: Science 133 (1961), S. 1010–1011.
 - 17 In der zeitlichen Reihenfolge der Publikation: Doyle, James H. et al.: Electrical Stimulation in Eighth Nerve Deafness, in: Bulletin of the Los Angeles Neurological Society 28 (1963), S. 148–150. Doyle, James H. John B. Doyle und Frederick M. Turnbull: Electrical Stimulation of Eighth Cranial Nerve, in: Archives of Otolaryngology 80 (1964), S. 388–390. Simmons, Blair L. et al.: Electrical Stimulation of Acoustical Nerve and Inferior Colliculus, in: Archives of Otolaryngology 79 (1964), S. 559–567. Simmons, Blair L. et al.: Auditory Nerve: Electrical Stimulation in Man, in: Science 148 (1965), S. 104–106. Simmons, Blair L.: Electrical stimulation of the auditory nerve in man, in: Archives of Otolaryngology 84 (1966), S. 24–76. Im Rückblick wurden von manchen Forschern nur die Ergebnisse von Simmons als «signifikant» bezeichnet (Clark 1990 (wie Anm. 8), S. 41).
 - 18 Sowohl Blair Simmons wie auch William House berichteten von entsprechenden Schwierigkeiten. Siehe: Simmons Blair: History of cochlear implants in the United States: A Personal Perspective, in: Schindler R. A., und Merzenich, M. M. (Hg.): Cochlear Implants, New York 1985, S. 4; und House, William F.: Cochlear Implants. My perspective. AllHear, Aurora/Oregon 1995. Zugänglich unter: www.allhear.com.
 - 19 Zöllner, F. und W. D. Keidel: Gehörvermittlung durch elektrische Erregung des Nervus acusticus, in: Archiv der Ohren-, Nasen-, Kehlkopfheilkunde 181 (1963), S. 216–223.
 - 20 Vgl. dazu: Zwislocki, J. J.: Review of recent mechanical theories of cochlear dynamics, in: Journal of the Acoustical Society of America 25 (1953), S. 743–751; DeReuck, A. V. S. und J. Knight (Hg.): Hearing Mechanisms in Vertebrates. London, Churchill 1968.
 - 21 Zitiert nach: William F. House: A Personal Perspective on Cochlear Implants, in: Schindler/Merzenich 1985 (wie Anm. 18), S. 15.
 - 22 Kiang, Nelson Y. S. and Edwin C. Moxon: Physiological considerations in artificial stimulation of the inner ear, in: Annals of Otology 81 (1972), S. 714.
 - 23 Siehe dazu House 1995 (wie Anm. 18).
 - 24 Simmons 1985 (wie Anm. 18), S. 1.
 - 25 Zitiert nach den Protokollen der 1973 stattgefundenen Konferenz der American Otological Society über Cochlea-Implantate. Abgedruckt in den Annals of Otology 82 (1973), S. 511/512.
 - 26 Auf die grosse Bedeutung des Patienten bei der Entwicklung der CI-Technologie wies insbesondere auch Stuart Blume hin. Vgl. Blume, Stuart: Cochlear Implantation: Establishing Clinical Feasibility, 1957–1982, in: Rosenberg, Nathan, Annetine C. Gelijns, and Holly Dawkins: Sources of Medical Technology: Universities and Industry, Washington 1995.
 - 27 Blair Simmons nennt als Beispiel eine seiner Versuchspersonen, einen 60-jähriger, praktisch vollständig blinden Mann, der für die Bestätigung der Versuchsergebnisse in den Bell Labs für

- die 1965 in «Science» publizierte Arbeit erstmals in seinem Leben eine Flugreise auf sich nahm und drei Wochen in einer für ihn fremden Umgebung leben musste. Aus: Simmons, 1985 (wie Anm. 18), S. 4.
- 28 Simmons 1966 (wie Anm. 12), S. 41.
- 29 House 1976 (wie Anm. 15), S. 184.
- 30 House, William: Cochlear Implants: Past, Present and Future. In: Fraysse B. und O. Deguine (Hg.): Cochlear Implants: New Perspectives. Basel, Freiburg, Paris 1992, S. 2.
- 31 Kiang/Moxon (wie Anm. 22), S. 729. Kiang weigerte sich offenbar auch, an der ersten im Jahr 1973 stattgefundenen Konferenz über Cochlea-Implantate teilzunehmen, weil diese den Titel trug «Electrical Stimulation of the Acoustic Nerve as a Treatment for Profound Sensorineural Deafness in Man», zitiert nach: House 1985 (wie Anm. 21), S. 14.
- 32 Medical World News vom 11. Juni 1984, S. 34.
- 33 Siehe Anm. 25, S. 513.
- 34 Simmons wurde durch die Medienberichte, ausgelöst durch die erste US-Publikation zum Thema im Jahr 1963, geradezu provoziert, eigene Versuche durchzuführen, um den dort geäußerten «irresponsible claims» entgegenzutreten. Zitiert nach Blume 1995 (wie Anm. 26), S. 101.
- 35 Das House Ear Institute war überdies Behandlungsstätte einer Reihe prominenter Persönlichkeiten aus Film und Showbusiness – ein Aspekt, welchen House zu nutzen wusste. Für so manchen Wissenschaftler wiederum war diese Einbindung der Medien und der Prominenz suspekt und der Name der Wirkstätte von House – sein Bereich wurde von Walt Disney unterstützt und nannte sich entsprechend «Walt Disney Hearing Rehabilitation Research Center» – wurde zuweilen spöttisch zur Kenntnis genommen.
- 36 Siehe Anm. 25, S. 517.
- 37 Vgl. Blume 1995 (wie Anm. 26), S. 113.
- 38 Bilger R. C. et al.: «Evaluation of subjects presently fitted with implanted auditory prostheses», Ann Oto Rhin & Larynx, Supp 38 – Vol 86. May–June 1977, No. 3, Part 2. Dieser Report wurde bereits 1976 fertig gestellt, wurde aber erst ein Jahr später veröffentlicht, da das Thema immer noch als sehr kontrovers galt.
- 39 Simmons 1985 (wie Anm. 18), S. 5.
- 40 Für grosse mediale Aufmerksamkeit sorgten insbesondere die Experimente des britischen Forschers Brindley: Brindley, G. S. und W. S. Lewis: The sensations produced by electrical stimulation of the visual cortex, in: Journal of Physiology 196 (1968), S. 479–493. Aufgrund des sowohl wissenschaftlich wie gesellschaftlich grösseren Interesses am visuellen System und an der Erblindung lancierten die National Institutes of Health ein Programm für cortikale und sub-cortikale Elektrostimulation zwecks Wiederherstellung des Sehannes. Dieses Programm wurde später eingestellt.
- 41 Die Lancierung der CI-Forschung in der Schweiz ist ein Beispiel dieser Entwicklung. Im Jahr 1973 verliess der NASA-Ingenieur Larry Leifer, selbst von Schwerhörigkeit betroffen, das Apollo-Programm und kam nach Zürich. In einem Kolloquium referierte er über den Informationsgehalt in Nervenimpulsen (spike trains) des auditorischen Nervs. Diese Veranstaltung veranlasste Norbert Dillier zur weiteren Beschäftigung mit diesem Thema (N. Dillier, persönliche Mitteilung in einem Gespräch vom 30. Januar 2004).
- 42 Die Frage, warum die Einkanal-CI in bestimmten Fällen unerwartet gute Resultate geliefert haben, hat bis heute keine eindeutige Antwort gefunden. Vergleiche dazu: House 1995 (wie Anm. 18). House plädiert auch heute dafür, Einkanal-CI in bestimmten Fällen weiterhin anzuwenden, da der damit verbundene medizinische Eingriff am risikolosesten sei, währenddem die grosse Mehrheit der anderen Exponenten (so Clark 1990 (wie Anm. 8), S. 62/66) dies verneint. Die Debatte dauerte bis in die 1990er Jahre an (vgl. mit diversen Leserbriefen und Entgegnungen im American Journal of Otology 16 (1995) 1, S. 118–124). House vertreibt Einkanal-CI heute durch eine eigene Firma (www.allhear.com).
- 43 Die durch die Food and Drug Administration erteilte Marktzulassung des CI bezeichnet überdies einen wichtigen Schritt in der Geschichte der Regulierung der Medizintechnologie, da

- es sich um eine der ersten solchen Zulassungen überhaupt handelte (N. Dillier, wie Anm. 41). Offenbar war die Entwicklung der CI Anstoss für die Erarbeitung einer Gesetzgebung im Bereich der Medizintechnologie/Implantate, wo die USA eine Vorreiterrolle einnahm. In Europa gab es zu diesem Zeitpunkt keine Regelungen. Die Schweizer Forscher im Bereich der CI stützten sich auf die amerikanischen Regelungen. Dieser interessante Aspekt konnte aus Zeitgründen nicht weiter untersucht werden.
- 44 Bis Juni 1983 erhielten insgesamt 269 Erwachsene im Rahmen der klinischen CI-Forschung des House Ear Institute Implantate, 86 Prozent von ihnen benutzten dieses täglich. Quelle: Margaret A. Thielemeier: Status and Results of the House Ear Institute Cochlear Implant Project in Adults, in: Schindler/Merzenich 1985 (wie Anm. 18), S. 455–459.
- 45 «To the general public, the fascination of advanced surgical procedures and high technology overshadows the availability of much simpler and less glamorous devices.» Martin, M. C.: Alternatives to Cochlear Implants, in: Schindler/Merzenich (wie Anm. 18), S. 455–459.
- 46 Loeb, Gerald L.: Cochlear Protheses, in: Annual Review of Neuroscience 13 (1990), S. 368.
- 47 Dillier, N. (wie Anm. 41).
- 48 Schätzung für das Jahr 2003 durch N. Dillier: Weitere Quellen für die Angaben in diesem Abschnitt: Møller, Aage R.: Neurophysiologic Basis for Cochlear and Auditory Brainstem Implants, in: American Journal of Audiology 10 (2001), S. 68–77; Loizon, Philipos C.: Mimicking the human ear. IEEE Signal Processing Magazine 9 (1998), S. 101–130; Rauschecker, J. P. und R. V. Shannon: Sending Sound to the Brain, in: Science 295 (2002), S. 1025–1029.
- 49 Klinke, Rainer et al.: Recruitment of the Auditory Cortex in Congenitally Deaf Cats by Long-Term Cochlear Electrostimulation, in: Science 285 (1999), S. 1729–1733; Nishimura, Hiroshi et al.: Neural Plasticity detected in short- and long-term cochlear implant users using PET, in: Neuroreport 11 (2000) 4, S. 811–815.
- 50 Die Debatte um die ethischen Aspekte des Einsatzes von Cochlea-Implantaten – insbesondere bei Kindern – umfasst eine umfangreiche Literatur und kann hier nur summarisch aufgeführt werden. Vgl. als Beispiel Lane, H: The mask of benevolence. New York 1993. Zur Gegenposition: Balkany, Thomas et al: Ethics of cochlear implantation in young children, in: Otolaryngology, Head and Neck Surgery 114 (1996), S. 748–755. Umfangreiche Literaturhinweise finden sich in der International Bibliography of Sign Language unter: <http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/bibweb/Bibliography.html> unter den Stichworten «cochlear-implant» und «cochlear-implant for children».
- 51 Vgl. als Beispiel Sacks, Oliver: Seeing Voices: A Journey into the World of the Deaf, Berkely/Los Angeles 1989.
- 52 Edgerton, Bradley J., William F. House und William Hitselberger: Hearing by cochlear nucleus stimulation in humans, in: Annals of otology, rhinology and laryngology, supplement, 91 (1984), S. 123.
- 53 Brachmann, Derald E. et al.: Auditory brainstem implant: I. Issues in surgical implantation. Otolaryngology – Head and Neck surgery 108 (1993), S. 632.
- 54 First brainstem implants aim to tackle deafness, in: New Scientist vom 7. Januar 2004.