

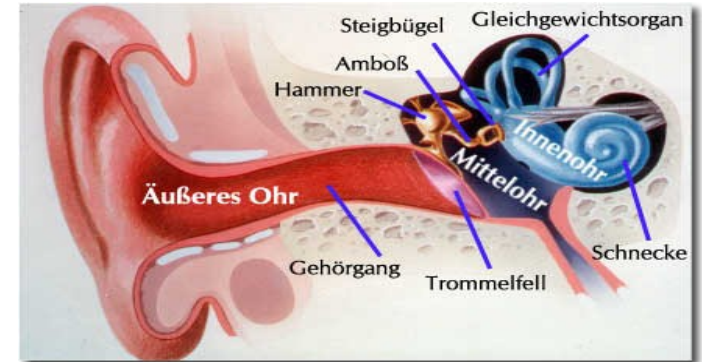
Seminar „Der künstliche Mensch“

Das Künstliche Ohr (Silicon Cochlea)

Prof. Dr. Rojas

Freie Universität Berlin, Institut für Informatik

- Das menschliche Ohr
 - Aufbau
 - Funktionsweise
- Silicon Cochlea
 - Komponenten
 - Funktionsweise
 - Kodierungsstrategien (Sprachprozessor)
- Ausblick und Entwicklung
- Quellen



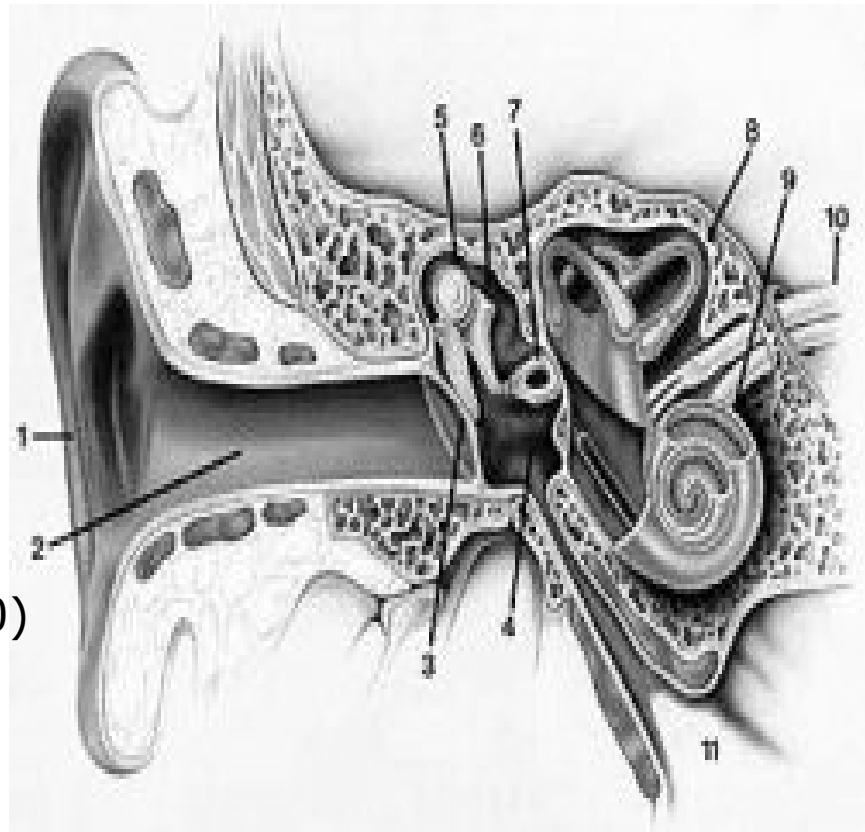
http://home.schule.at/teaching/Hoeren_und_Hoerprobleme/organ



<http://www.cochlear.de>

● Das menschliche Ohr

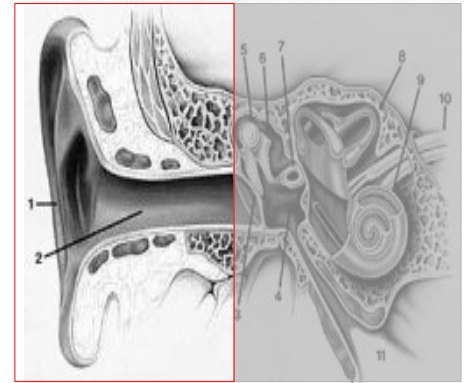
- Ohrmuschel (1)
- Gehörgang (2)
- Trommelfell (3)
- Mittelohr (4)
- Hammer (5)
- Amboss (6)
- Steigbügel (7)
- Gleichgewichtsapparat (8)
- Schnecke (Cochlea) (9)
- Hörnerv (10)



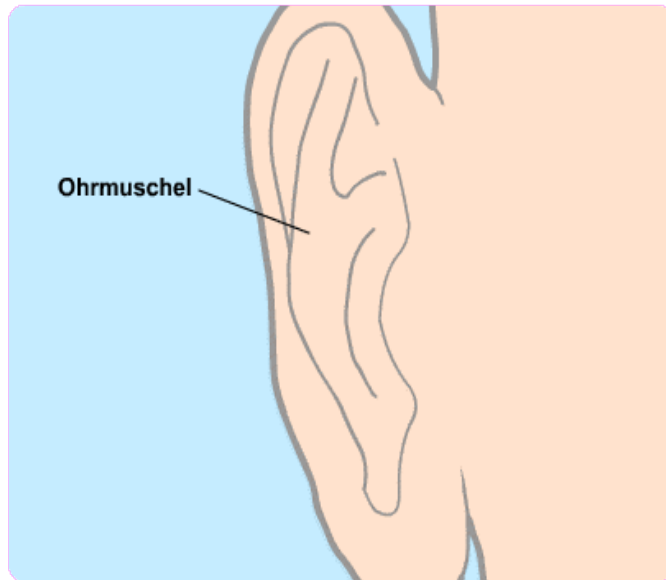
<http://user.cs.tu-berlin.de/~edda/gamingsickness.html>

• Das äußere Ohr

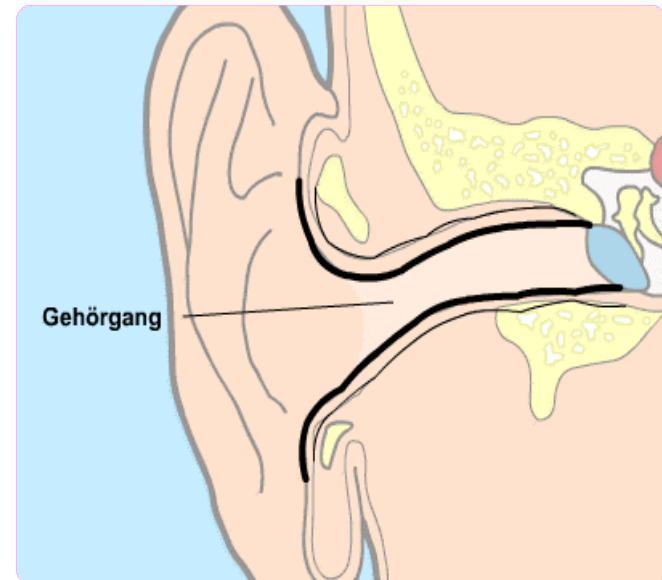
- Besteht aus Ohrmuschel (1) und Gehörgang (2)
- Durchschnittliche Länge 23 mm
- Durchschnittlicher Durchmesser 6-8 mm
- Im äußeren Drittel befinden sich Ceruminaldrüsen



<http://user.cs.tu-berlin.de/~vedda>
(geändert vom Autor)



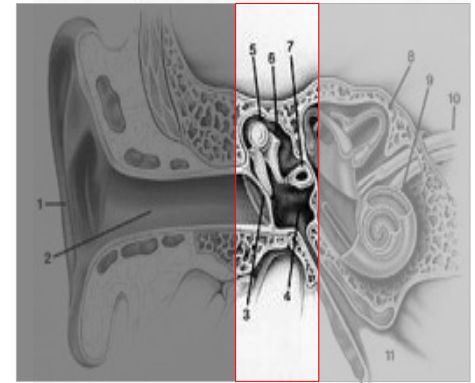
<http://www.kinderwelt.org>



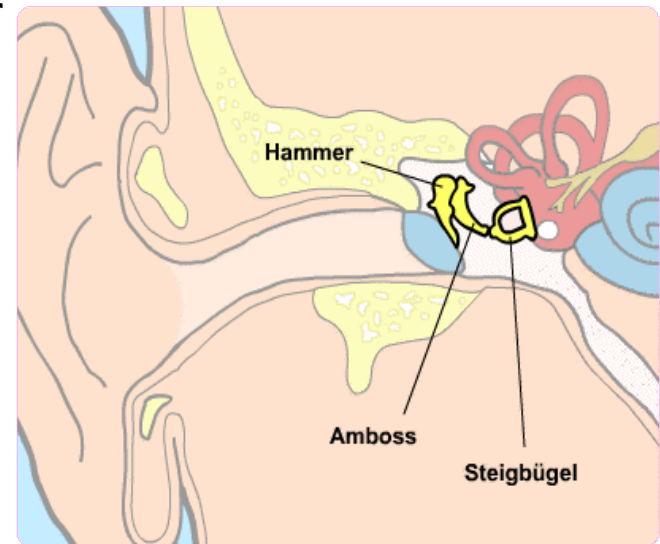
<http://www.kinderwelt.org>

● Das Mittelohr

- Trommelfell (3) befindet sich zwischen Gehörgang und Mittelohr
- Trommelfell Durchmesser ca. 10 mm
- Trommelfell ist Empfänger der Schallwellen
- Hammer (5), Amboss (6) und Steigbügel (7) sind Knochen und dienen zur Übertragung der Schallwellen zum Innenohr
- Die Fußplatte des Steigbügels ist mit der Cochlea (9) verbunden
- Mittelohr und Rachenraum sind durch die Eustachischen Röhre verbunden, sie dient zum permanenten Druckausgleich



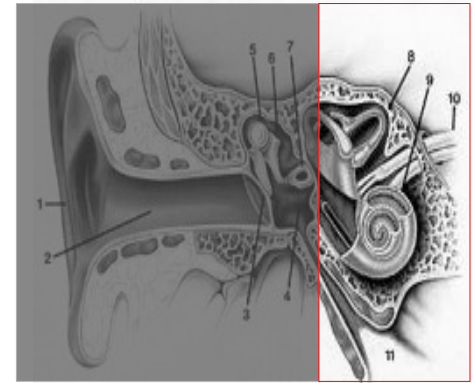
<http://user.cs.tu-berlin.de/~vedda>
(geändert vom Autor)



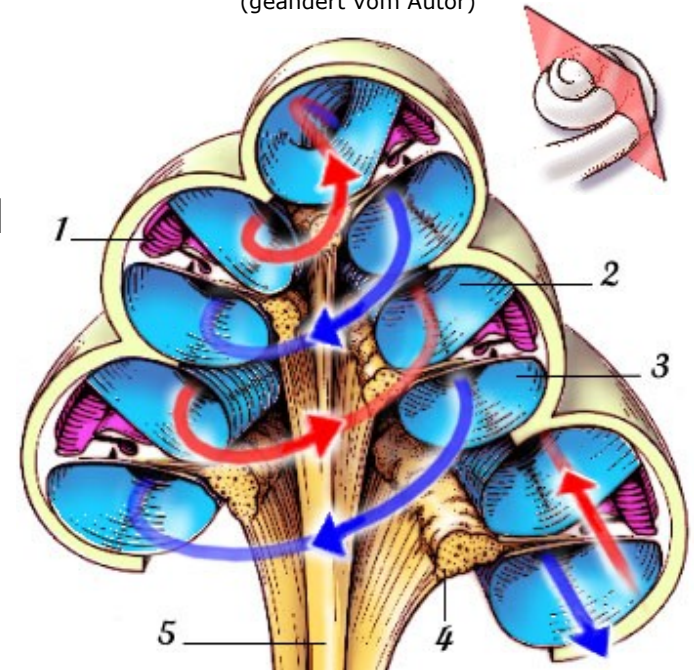
<http://www.kinderwelt.org>

• Das Innenohr – Cochlea (1)

- Cochlea ist eine 32 mm lange, spiralförmig gewundene Röhre
- Cochlea wird durch zwei Membrane in drei „Schläuche“ unterteilt
- Schläuche sind mit zwei unterschiedlichen Flüssigkeiten gefüllt
- Zwischen den Flüssigkeiten besteht eine elektrische Spannung, die als Energielieferant für die Reizaufnahme und -weiterleitung genutzt wird



<http://user.cs.tu-berlin.de/~vedda>
 (geändert vom Autor)



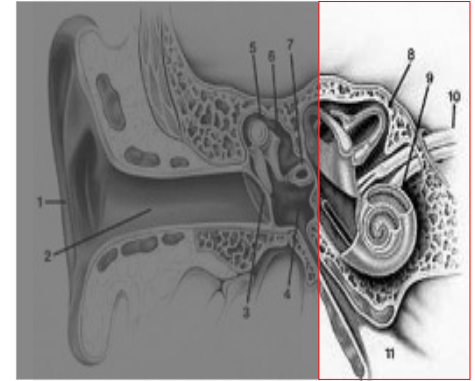
<http://www.sinnesphysiologie.de> (geändert vom Autor)

● Cortische Organ

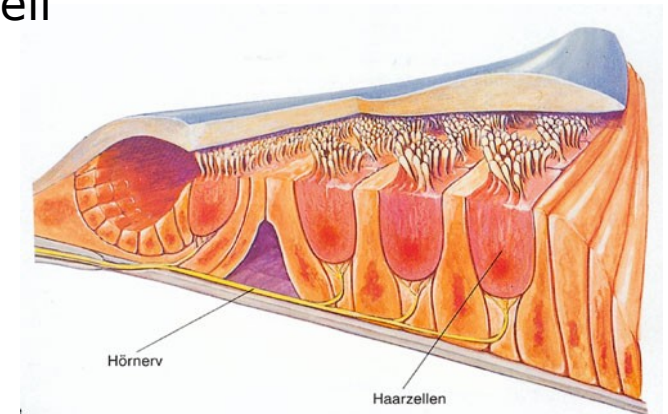
- Befindet sich in der Mitte der Cochlea auf dem Basilarmembran
- Es besteht aus ca. 20.000 Haarzellen, die in einer inneren und drei äußeren Reihen angeordnet und in 24 Gruppen unterteilt sind
- Jede dieser Gruppen ist für einen bestimmten Frequenzbereich zuständig
- Töne hoher Frequenz werden im vorderen Teil und Töne tiefer Frequenz im hinteren Teil der Cochlea wahrgenommen

● Die Haarzellen

- Wandeln mechanische Impulse in bioelektrische Impulse um
- Sehr empfindliches Organ



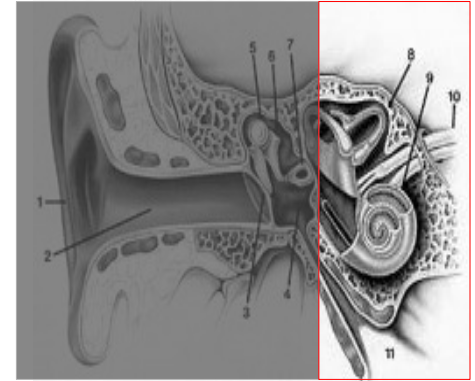
<http://user.cs.tu-berlin.de/~edda>
(geändert vom Autor)



http://www.stbg.de/sich_ges/laerm/ohr3la.jpg

• Der Hörnerv

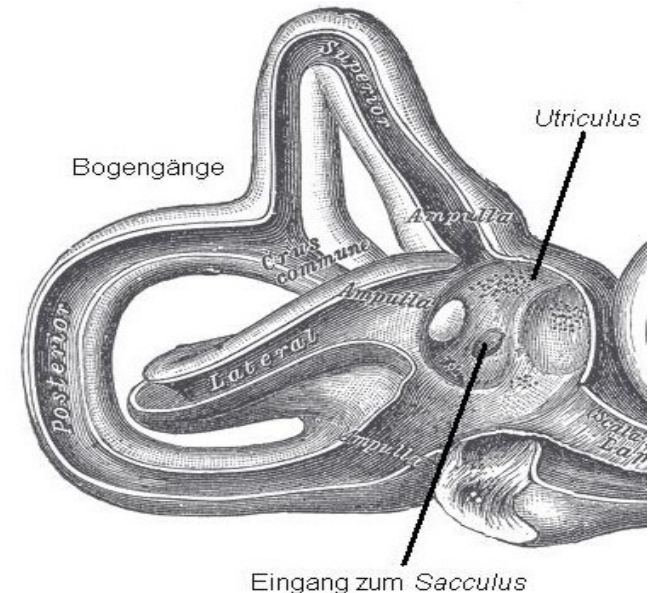
- Nervenbahn bestehend aus ca. 30.000 Fasern
- Direkt verbunden mit dem Hörzentrum im Gehirn
- Transportiert die Signale der Haarzellen



<http://user.cs.tu-berlin.de/~vedda>
(geändert vom Autor)

• Der Gleichgewichtsapparat

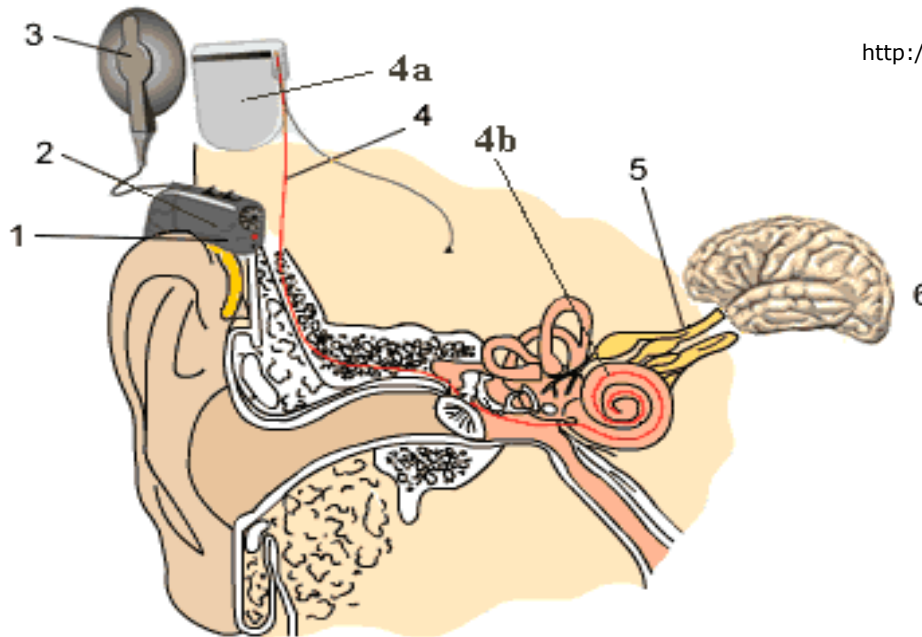
- Besteht aus zwei Bläschen (Sacculus & Utriculus) und drei Bögen
- Sacculus und Utriculus beinhalten winzige Kalksteinchen, deren Position sich mit der Lage des Kopfes verändert (Schwerkraft)
- Bogengänge registrieren Flüssigkeitsbewegungen, die durch Drehbewegungen des Kopfes ausgelöst werden



http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Gray_utriculus.jpg

Silicon Cochlea - Komponenten

- Mikrofon
- Sprachprozessor
- Sendeeinheit
- Implantat mit Elektrodenträger



● Mikrofon

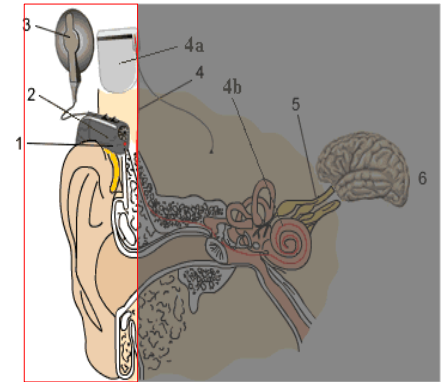
- Nimmt Schallwellen auf und leitet diese zum Sprachprozessor

● Sprachprozessor

- Verstärkt und filtert die Schallwellen
- Aufbereitete Schallwellen werden in elektrische Impulse umgewandelt
- Elektrische Impulse werden an Sendeeinheit weitergeleitet

● Sendeeinheit

- Spule, die elektromagnetische Hochfrequenzimpulse sendet (Rundfunk)
- Dauer (ca. 25 μ s) und Abfolge der Impulse enthält Daten



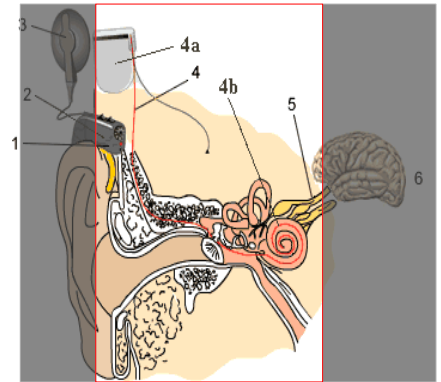
<http://www.medel.com>
(geändert vom Autor)

● Implantat

- Wertet die eingehenden Signale auf Richtigkeit aus
- Korrekte Signale werden an Elektrodenträger weitergeleitet (zeitlicher Abstand: ca. 1 ms)

● Elektrodenträger

- Elektroden müssen vollständig in der Cochlea sein
 - Probleme
 - Verknöcherung der Cochlea
 - Lösungen
 - Kleine Löcher, durch die die Elektroden Tonotopie gemäß angeordnet werden können
- Zur Reizung der Hörnervfasern wird eine Spannung an einer bestimmten Elektrode angelegt
- Leitende Flüssigkeit der Cochlea stimuliert an dieser Stelle die Hörnervfasern
- Hörnerv leitet eigene elektrische Signale ans Gehirn



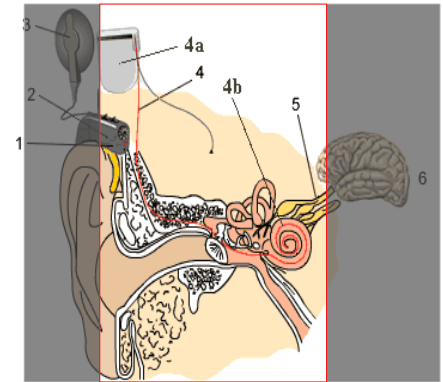
<http://www.medel.com>
 (geändert vom Autor)



<http://www.planet-wissen.de>

● Elektroden

- Es werden in der Praxis 6-22 Elektroden eingesetzt
- Höhrwahrnehmung hängt von dieser Anzahl ab
- Problem
 - Zu viele Elektroden -> Gefahr des Übersprechens
- Lösungsvorschläge
 - Zu jedem Zeitpunkt wird nur eine Elektrode angesprochen (sequentielle Stimulation)



<http://www.medel.com>
(geändert vom Autor)

- Umwandeln von akustischen Signalen in Elektrische
- Kodierung nach
 - Intensität
 - Frequenz
 - spektrale Maxima
 - ... (viele weitere)
- Eigenschaften hängen vom Individuum ab
 - nicht vorher absehbar
 - sehr unterschiedlich
 - Hören muss neu gelernt werden
 - Funktioniert meist nicht bei Erwachsenen, die von Geburt an Taub sind (fehlen synaptischer Verbindungen im Gehirn)
 - Personen, die ertaubt sind, bevor sie sprechen konnten

- Stimulation findet durch elektrische Felder statt
 - Felder können jedoch leicht wechselwirken
 - Mindestabstand erforderlich
 - Beschränkte Dichte der Pole
 - verschiedene Stimulationsmodi
- Bipolare Stimulation
 - Stimulation über zwei Pole
 - Stimulation am entsprechenden Ort (Ortskodiert)
 - Ein Elektrodenpol als Referenz
 - Je weiter Referenz entfernt ist, desto
 - geringer Hör- und Unbehaglichkeitsschwelle
 - geringer Auflösung

● Monopolare Stimulation

- Nur ein Pol nötig
- geringer Energieverbrauch
- Niedrige Hörschwellen
- Cochlea wird komplett stimuliert
 - Scharfe Kanaltrennung nicht möglich

● Common-Ground-Modus

- Immer nur eine Elektrode aktiv
- Restlichen Elektroden dienen als Referenz (Ground)
- Niedriger Energieverbrauch
- Leichtes Erkennen von Defekten Polen
- Leichtes Einstellen der Schwellen

● Analoge Kodierung

- Direkte lineare Umwandlung der Signale
- Kein Verstehen von Gesprochenem möglich
 - außer mit Hilfe von Lippenlesen und in wenigen Ausnahmen

● Compressed Analogue (CA)

- Weiterentwicklung der Analogen Kodierung
- Zerlegt Eingangssignal in Frequenzbänder
- Zeitliche Strukturen werden mit hoher Auflösung weitergegeben
- Signal wird simultan an allen Elektroden ausgegeben

● Fast Fourier Transformation

- Zerlegung in 64 Frequenzbänder von je 122 Hz
 - im Bereich 100 – 7800 Hz
- Hohe Auflösung der Frequenzen
- Sequentielle proportionale Umsetzung

● Feature Extraction

- Extrahiert nur relevante / gesprochene Information
- Wiedergabe nach Ortskodierung
- Grundfrequenz bestimmt Reizfolge
- Zweite Oberwelle bestimmt Elektrodenwahl
- Gesamtamplitude bestimmt Stromstärke

● **Continuous Interleaved Sampler (CIS)***

- Zerlegt Eingangssignal in Frequenzbänder
 - Anzahl Frequenzbänder = Anzahl Elektrodenpole
- Zwei Pole bilden einen Kanal
- Kanäle werden nicht-simultan stimuliert
 - Keine Kanalinteraktion möglich
- Frequenzen werden einzeln, proportional zum Eingangssignal auf einen Kanal gelegt
- Hohe Stimulationsfrequenz
- Niedrige Auflösung der Frequenzen

● **CIS+**

- Benutzt Hilbert-Transformation
 - Langsam aber hohe Auflösung
- Einfache und günstige Hardware

- **Paired Pulsatile Sampler (PPS)***
 - Weiterentwicklung von CIS
 - Teilsimultan
 - Zwei nicht benachbarte Kanäle werden parallel angesteuert
 - Somit weiterhin keine Kanalinteraktion
 - Höhere Stimulationsfrequenz
- **Quadruple Pulsatile Sampler (QPS)**
 - Weiterentwicklung von PPS

● **Spektrale Maxima (SPEAK)***

- Analyse der Spektralen Maxima
 - Auswahl von 8 Maxima aus 20 Frequenzbändern
- Gute Spracherkennung
- Wenig Einfluss von Störgeräuschen
- Hohe Frequenzauflösung
- Geringe Stimulationsfrequenz

● **Advanced Combination Encoders (ACE)***

- Kombination aus SPEAK und CIS
- Hohe Frequenzauflösung
- Hohe Stimulationsfrequenz

- **Fast-Rate-Stimulation (FRS)**
 - Analyse durch digitale Filter 2ter Ordnung
 - Einteilung in 5 Frequenzbänder
 - Nur 5 (von 15) Elektropole werden gleichzeitig angesteuert
- **Multi-Rate-Stimulation (MRS)**
 - Analyse und Stimulation wie bei FRS
 - Frequenz der Stimulation Frequenzabhängig
 - Elektroden an der äußeren Schnecke 1 kHz
 - Elektroden an der inneren Schnecke 250 Hz
- **HiResolution-Sound (HiRes™-Sound)***
 - Hohe Pulsraten
 - Versuch auch Musik hörbar zu machen
 - geringe Störgeräusche

* **Aktuell verbreitete Kodierungsstrategien**

● Vollständiges Implantat

- Ein Sprachprozessor für zwei Implantate
- Minimierung des Strombedarf
- Minimierung des Aufbaus
 - Integriertes Mikrofon und Prozessor
- Tiefere Einpflanzung

● Verbesserung der Elektroden

- Stimulation durch ca. 20 Elektroden muss zig-Tausende natürliche Neuronen ersetzen
- Präziseres Setzen der Stimulatoren
- Bessere Schirmung der elektrischen Felder
 - Interaktion der Felder kann Signale stören
- Anwachsen an Bindegewebe
 - So wächst der Stimulator an die Nervenzelle an

● Verbesserung des Sprachprozessors

- weitere Minimierung
- höhere Stimulationsfrequenzen
- bessere Filter für Störgeräusche
- geringere Druckempfindlichkeit

- Improved Implementation Of The Silicon Cochlea – Watts
- A Bidirectional analog VLSI Cochlea Model – Watts
- Cochlear Mechanics – Watts
- A Statistical Approach To Automatic Speech Recognition Using The Atomic Speech Units Constructed From Overlapping Articulatory Features – X. Sun
- Non Stationary Hidden Markov Models For Speech Recognition – X. Sun
- Energy-Efficient Adaptive Signal Decomposition the Silicon And Biological Cochlea – Sarpeshkar
- Improved Silicon Cochlea using Compatible Lateral Bipolar Transistors – van Schaik
- Cochlea Implantat Systeme – MDS
- Brain-Computer-Interfaces – Prof. Dr. M.C. Hepp-Reymond
- Univ.-HNO-Klinik Heidelberg – Prof. Dr. med. P.K. Plinkert
- www.ci-kids.de
- www.cochlea.de
- www.medel.com
- www.kinderwelt.org

Danke!