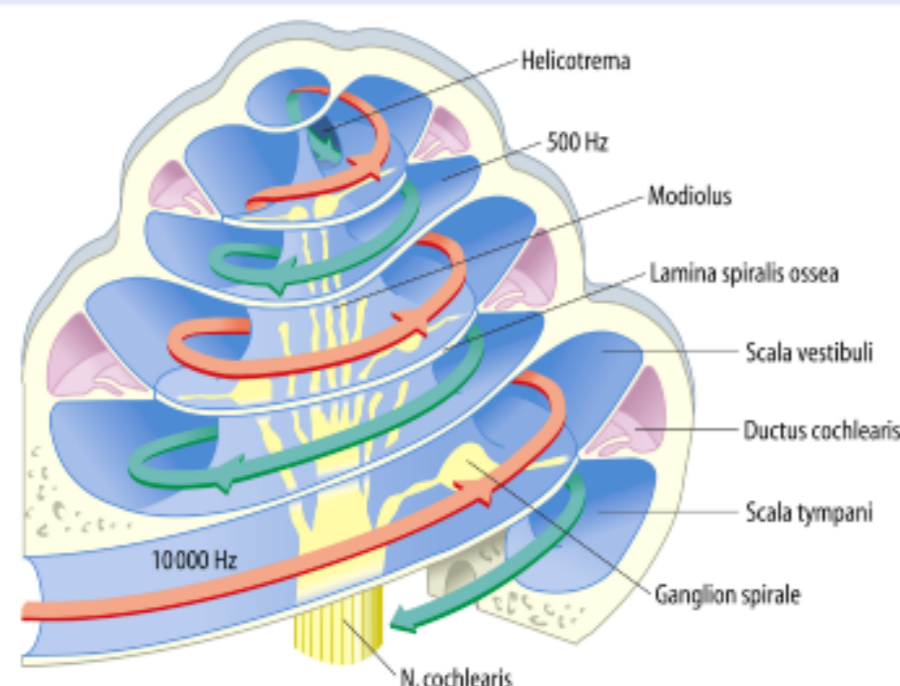
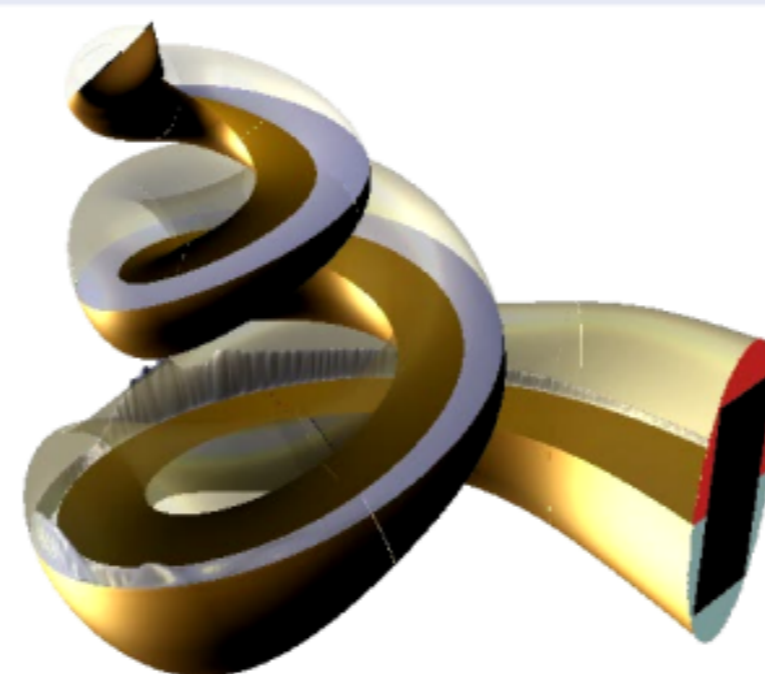


## Biomechanische 3D-Modelle des Innenohres



Schnitt durch die Schnecke in der Schneckenachse; Perilymphbewegung, Frequenzabbildung [Boenninghaus, Lenarz, HNO, 12. Auflage]



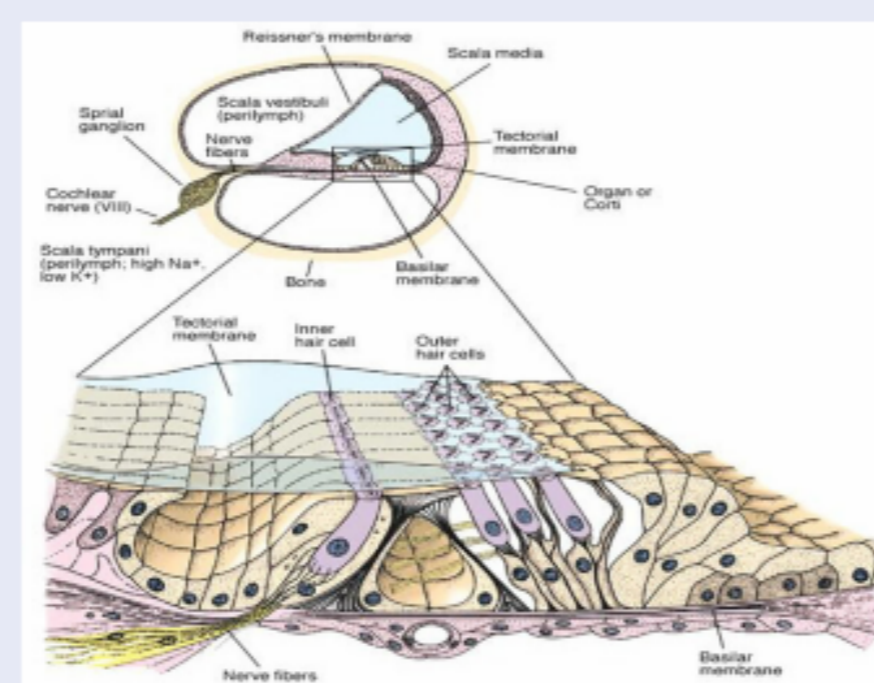
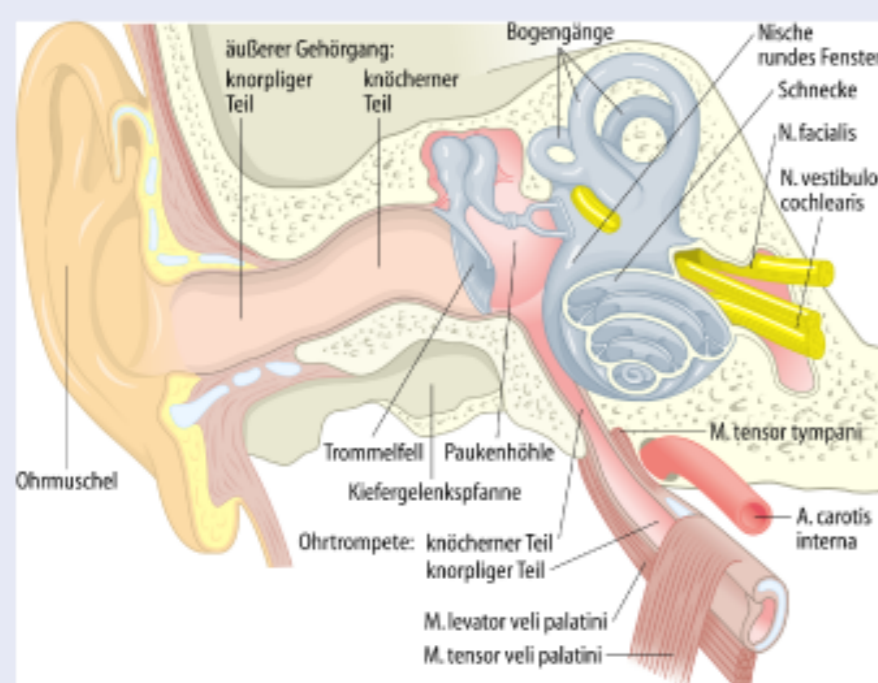
Givelbergs Simulation, 2003

### Mechanik in der Cochlea

- Entwicklung eines 3D-Modells zur Simulation der Wellenmechanik der Basilarmembran.
- Möglichst physikalisch genaue Abbildung der entstehenden Wanderwelle im Innenohr.
- Untersuchung der Wellenmechanik bei Resthörigkeit und Insertion von Hybrid-Cochlea-Implantaten.

### Anatomie der Cochlea

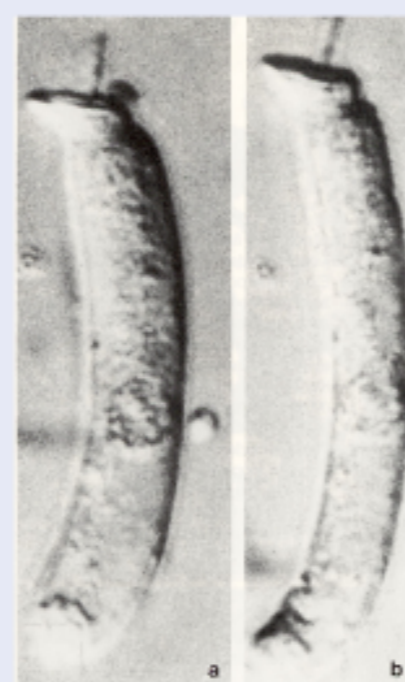
Die Cochlea (Schnecke) im Innenohr besteht aus drei mit Peri-/Endolymphe gefüllten Scalae. Äußere Haarzellen (OHC) sind auf dem Cortischen Organ in drei Reihen angeordnet. Auf den Haarzellen sitzen Stereozilien (Sinneshärchen), die untereinander durch Tiplinks verbunden sind und durch Scherung die mechano-elektrische Transduktion einleiten. Während der Transduktion kommt es zur Kontraktion der OHC, die die eintreffende Schalldruckwelle aktiv durch Einbringung von Kraft verstärkt. Diese Kontraktion führt dazu, dass die Basilarmembranbewegung sich von der passiven Wanderwelle zur aktiven Wanderwelle verändert. Die inneren Haarzellen übernehmen die afferente Reizweiterleitung.



links: Übersicht über äußeres, Mittel- und Innenohr. rechts: Übersicht Cortisches Organ.



links: Schematische Darstellung, passive, aktive Wanderwelle [Leonhardt, Praxis der Audiometrie] rechts: isolierte OHC im kontrahierten, elongierten Zustand [Dr.-Arbeit Zimmermann]



### Auswahl existierender Arbeiten zur Cochleamodellierung

- Givelberg: globales Modell mit Visualisierung der passiven Wanderwelle. Eigene Shelltheorie, Anwendung der Immersed-Boundary-Methode, Parallelisierung

- Dresden-Tübingen: lokale Analyse der Fluid-Haarzellstruktur-Interaktion
- Harvard-MIT: Modelle für Cochlea-Mikromechanismen, z.B. regelungstechnisch
- Bochum: BoHear: FEM-Modell des menschlichen Kopfes und Ohres mit kommerzieller Software, z.B. zur Simulation von Knochenschalleitung

### Vorgehen und Methoden

1. Erstellung eines mathematischen Modells der Cochlea mit geeigneten numerischer Methoden (FVM/FEM, FSI).
  2. Erstellung der Simulationsinfrastruktur (verteiltetes Netz) und -software. Die HNO beteiligt sich durch Bereitstellung experimenteller realer Geometrie- und Materialparameterdaten.
  3. Verarbeitung und Verifikation der Simulationsergebnisse anhand hörphysiologischer und audiologischer Messungen und umgekehrt.
- Modellierung mit differentialgeometrischen Methoden unter Berücksichtigung der Krümmung und der viskosen Flüssigkeit; mehrere Skalen.
  - inkompressible Navier-Stokes-Gleichungen (partielles DGL-System für Geschwindigkeit und Druck):  
$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla p + \nu \Delta \mathbf{v} + \mathbf{f}, \quad \nabla \cdot \mathbf{v} = 0$$
  - hinreichend feines Gitter zur Feinstruktur-Modellierung des Cortischen Organs. Problem: Rechenzeit; verteilte Algorithmen notwendig

### Visionen

#### Offene Fragestellungen in der Cochlea:

- Mechanismus des Feintunings der Cochlea (ihre hohe Frequenzselektivität / Frequenztrennschärfe)
- Mechanismen nicht-linearer Verstärkungseffekte
- Einfluss der Krümmung der cochlearen Geometrie auf die Wellendynamik (vgl. Papers von Chadwick)

#### Langfristige Anwendungen der Cochleasimulation:

- Simulation von normalem, intaktem und gestörtem, pathologischem (nicht funktionierende oder fehlende Haarzellen) Cochleazustand
- Testen von Hypothesen, z.B. zum Ursprung otoakustischer Emissionen, Diagnose lokal gestörter Cochleaabschnitte
- patientenindividuelle Geometrie zur individuellen Therapie und Programmierung von Hörimplantaten
- Untersuchung der Beeinflussung des Resthörvermögens bei teilweise intakten sensorischen Haarzellen nach Hörimplantatsinsertion: Konsequenzen bzgl. Steuerung, Konstruktion, optimaler Lage der Implantate? Interessant beim Design von Hybrid-Cochlea-Implantaten, mit denen gleichzeitig akustisch und elektrisch stimuliert wird.