

Aus der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde  
der Philipps-Universität Marburg  
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. J. A. Werner  
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,  
Standort Marburg

**Kontrolle der intracochleären Lage der Elektrodenträger  
nach Cochlea-Implantation mittels digitaler  
Volumentomographie**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten  
Humanmedizin  
dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Barbara Lips  
aus Lauterbach

Marburg 2011

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

am: 04.08.2008

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. Matthias Rothmund

Referent: Prof. Dr. J.A. Werner

Korreferent: Prof. Dr. W. Hundt

Meiner Familie gewidmet

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>FRAGESTELLUNGEN</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>PATIENTEN UND METHODEN</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Patienten</b>	<b>9</b>
<b>3.2</b>	<b>Methoden</b>	<b>10</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Die digitale Volumentomographie</b>	<b>10</b>
<b>3.2.1.1</b>	<b>Technische Grundlagen</b>	<b>10</b>
<b>3.2.1.2</b>	<b>Technische Daten des verwendeten Volumentomographen</b>	<b>11</b>
<b>3.2.1.3</b>	<b>Durchführung der Untersuchung</b>	<b>11</b>
<b>3.2.1.4</b>	<b>Post-Processing</b>	<b>13</b>
<b>3.2.1.4.1</b>	<b>Skalenlokalisierung</b>	<b>14</b>
<b>3.2.1.4.2</b>	<b>Radiologische Evaluation der Cochleostomie</b>	<b>14</b>
<b>3.2.1.4.3</b>	<b>Nähe zum Modiolus</b>	<b>14</b>
<b>3.2.1.4.4</b>	<b>Beurteilung der Insertionstiefe</b>	<b>15</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Auswertung der Operationsberichte</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>Digitale Volumentomographie</b>	<b>16</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Skalenlokalisierung</b>	<b>17</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Cochleostomie</b>	<b>19</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Modiolusabstand</b>	<b>20</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Insertionstiefe</b>	<b>20</b>
<b>4.2</b>	<b>Auswertung der Operationsberichte</b>	<b>21</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Abtragung knöcherner Überhänge</b>	<b>21</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Darstellbarkeit des runden Fensters</b>	<b>21</b>

4.2.3	Beschreibung der Cochleostomie	23
4.2.4	Beurteilung der Insertionstiefe	24
4.2.5	Intraoperative Besonderheiten	25
4.2.6	Verteilung der Elektroden von Oktober 2002 bis März 2008 im Vergleich mit den evaluierten Elektrodenlagen von April 2008 bis Dezember 2009	27
5	<b>DISKUSSION</b>	28
6	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	50
7	<b>ABSTRACT</b>	53
8	<b>LITERATUR</b>	55
9	<b>ANHANG</b>	62
9.1	Tabelle 1 Auswertung der digitalen Volumetomographie	62
9.2	Tabelle 2 Auswertung der Operationsberichte	64
10	<b>MEINE AKADEMISCHEN LEHRER</b>	71
11	<b>DANKSAGUNG</b>	72

# 1 Einleitung

Die Cochlea-Implantation (CI) ist mittlerweile eine anerkannte und weit verbreitete Methode, das Gehör bei einer angeborenen oder erworbenen Taubheit zu rehabilitieren. Sie ermöglicht die Rekonstruktion eines ausgefallenen Sinnesorgans und ist so eines der faszinierendsten Verfahren, die der Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde zur Verfügung stehen. Die postoperative Lagekontrolle eines Cochlea-Implantats ist von großem klinischem Interesse. Hierzu werden zunehmend neue radiologische Verfahren wie die digitale Volumetomographie (DVT) eingesetzt.

Weltweit sind mindestens 440 Mio. Menschen von einer Schwerhörigkeit betroffen, die die täglichen Aktivitäten negativ beeinflusst. Rund 14 Mio. leben derzeit in Deutschland, davon sind 7 Mio. behandlungsbedürftig. Betrachtet man die Gruppe der Kleinkinder und Neugeborenen, so weisen 1 bis 2 Neugeborene auf 1000 Lebendgeburten eine schwere Hörstörung auf, bei weiteren 1 bis 2 Kindern liegen weniger gravierende, jedoch immer noch klinisch relevante ein- oder beidseitige Hörstörungen vor [39].

Das Cochlea-Implantat arbeitet in Form einer elektronischen Reizprothese. Das Prinzip beruht auf der direkten Stimulation kleiner Gruppen von Hörnervenfasern und gewährleistet durch Überbrückung der Haarzellen die sensorische Weiterleitung akustischer Signale bei einer Dysfunktion der cochleären Sinneszellen. Die komplexe Funktion der Basilarmembran als Frequenzspektrometer wird durch das Verwenden mehrerer Elektroden imitiert [58]. Cochlea-Implantate erlauben, neben einer guten Diskrimination von Sprache und Umweltgeräuschen, auch die Wahrnehmung von Musik und die Möglichkeit zu Telefonieren [64]. Das Indikationsspektrum hat sich bis heute stark erweitert: Neben der Versorgung von Patienten mit funktionellem Restgehör stellt auch die frühe Cochlea-Implantat Versorgung bei ertaubten Kindern und Säuglingen einen Routineeingriff in modernen CI-Zentren dar.

Der Erfolg einer Cochlea-Implantat Versorgung wird neben nicht beeinflussbaren Faktoren wie dem Alter des Patienten oder der Dauer der Ertaubung auch von der Lage und Beschaffenheit der implantierten Elektrode beeinflusst. Vor diesem Hintergrund ist eine Evaluation der intracochleären Lage des Implantats von großem klinischem Interesse. Zur maximalen Erhaltung und Schonung der intracochleären Strukturen sollte eine Insertion in die Skala tympani erfolgen, da diese eine Elektrodenposition nahe den Sinneszellen unter dem Ductus cochlearis ermöglicht. Bei einem Skalenwechsel oder einer Insertion in die Skala vestibuli kann man davon ausgehen, dass die Penetration der Elektrode durch die Basilarmembran und dem darauf sitzenden Corti-Organ einen Zellverlust zur Folge hat. Neben diesen theoretischen Gesichtspunkten wird eine Insertion der Elektrode in die Skala tympani auch aufgrund von überlegenen Ergebnissen in den Sprachtests empfohlen [7, 23]. Vorangegangene Untersuchungen konnten jedoch zeigen, dass in einem relativ hohen Prozentsatz die tatsächliche Lage von der gewünschten abweicht: Nicht selten erfolgt eine Insertion der Elektrode in die Skala vestibuli oder es kommt zu einem Skalenwechsel der Elektrode während ihres intracochleären Verlaufs [7, 42, 52].

Zur Beurteilung der intracochleären Architektur und zur möglichst genauen Lokalisation der Elektrodenträger werden verschiedene Techniken beschrieben: histologische Aufarbeitungen [51, 52], konventionelle Röntgenaufnahmen [63], Videofluoreszenz [53], hochauflösende computertomographische Darstellungen (HRCT) [42] und dreidimensionale volumetomographische Darstellungen [6, 7, 34]. In der Literatur gibt es deutliche Hinweise auf die überragende Qualität der digitalen Volumetomographie (DVT) in der Felsenbeindiagnostik [18]. Mit einer hohen Ortsauflösung, schneller Datenakquisition und geringer Strahlenbelastung ergänzt die DVT zunehmend die digitale Bildgebung in der Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde. Histologische Felsenbeinstudien zur Lagekontrolle von Cochlea-Implantaten konnten bereits eine detailgenaue Ortsauflösung, verbunden mit einem geringen Auftreten von Metallartefakten, für die digitale Volumetomographie nachweisen [40]. Auch eine Differenzierung zwischen der Skala tympani und der Skala vestibuli war in präparierten Felsenbeinen mit der

DVT möglich [10]. Aufgrund des wachsenden klinischen Interesses an der exakten Lokalisation der Elektrode soll die vorliegende Untersuchung nun die Möglichkeiten der digitalen Volumtomographie in der klinischen Anwendung analysieren.

Da eine optimale Elektrodenposition mit einem besseren Versorgungsergebnis korreliert, könnte die digitale Volumtomographie vor dem Hintergrund der Qualitätssicherung wichtige Aussagen liefern. Neben einer korrekten Elektrodenlage in der Scala tympani sind die Lagebeziehung zum Modiolus und die Insertionstiefe für optimale Stimulationsbedingungen der Nervenzellen von Interesse. Das Bildmaterial kann als wichtige Analysemöglichkeit für die individuelle Fortbildung des Operateurs und für die Weiterentwicklung von Elektrodenträgern dienen. Auch die psychophysikalischen Daten der Audiologen und Ingenieure können ergänzt werden, dies kann für eine optimale Einstellung des Implantats hilfreich sein.

Der operative Zugang stellt - neben dem verwendeten Implantat und der Erfahrung des Operateurs - eine wichtige Einflussgröße für die Qualität der Cochlea-Implantation dar. Vorangegangene Untersuchungen konnten zeigen, dass die chirurgischen Techniken der Cochlea-Implantation, insbesondere die Wahl der Cochleostomie, noch stark zwischen den Operateuren variieren [2]. Ein optimales Ergebnis wird durch eine Minimierung von intra- und postoperativen Komplikationen, Vermeidung von intracochleären Dislokationen und Fehllagen sowie einer maximalen Wahrung der intracochleären Integrität gewährleistet. Hierzu ist eine präzise Wahl der Cochleostomie mit möglichst atraumatischer Insertion in die Scala tympani unerlässlich. Eine klare Identifikation und uneingeschränkte Einsicht auf die Rundfenstermembran erleichtert das korrekte Anlegen der Cochleostomie und eine adäquate Wahl des Insertionswinkels. Ein Abtragen von knöchernen Überhängen kann hierbei die Darstellbarkeit des runden Fensters bis um das 13-fache erhöhen und eine präzise Wahl der Cochleostomie gewährleisten [55]. Die direkte Einführung der Elektrode in die Scala tympani und die maximale Schonung der intracochleären Strukturen gilt als wichtige



Einflussgröße für die Reduktion des durch die Insertion induzierten Zell- und Hörverlusts. Vorangegangene Untersuchungen konnten ein erhöhtes Auftreten von Skala tympani Insertionen für eine anterior inferior und eine rein inferior zur Rundfenstermembran angelegte Cochleostomie aufzeigen [3, 7]. Histopathologische Untersuchungen konnten in einem Vergleich dieser beiden Lokalisationen der Cochleostomie ein häufigeres Auftreten von intracochleären Traumen für eine anterior inferiore Cochleostomie darstellen [3, 14].

Eine Verbesserung und Sicherung der Qualität des Versorgungsergebnisses können nur gewährleistet werden, wenn das postoperative Ergebnis der Cochlea-Implantation beobachtet und aufgezeichnet werden kann. Vor diesem Hintergrund ist eine exakte Evaluation der postoperativen Lage eines Cochlea-Implantates sowohl bei wissenschaftlichen Fragestellungen als auch in der klinischen Praxis wertvoll und erstrebenswert. Für die Genauigkeit der digitalen Volumetomographie existieren schon zuverlässige Daten unter standardisierten und artefaktminimierten Laborbedingungen. Aufgrund der großen klinischen Relevanz soll die vorliegende Untersuchung nun neue Erkenntnisse über die Anwendbarkeit unter klinischen Bedingungen liefern.

Die digitale Volumetomographie könnte mit einer hohen Ortsauflösung, verbunden mit einer geringen Strahlenbelastung und einem minimierten Zeitaufwand zur Datenberechnung, eine Optimierung der prä- und postoperativen Diagnostik bei der Cochlea-Implantation leisten. Die vorliegende Untersuchung soll vor diesem Hintergrund die Möglichkeiten der digitalen Volumetomographie zur postoperativen Lagekontrolle evaluieren und mögliche Zusammenhänge mit dem intraoperativen Verlauf diskutieren.

## 2 Fragestellungen

In der vorliegenden Dissertationsschrift wurden im Rahmen einer retrospektiven Untersuchung postoperative Bilder, die mit einem digitalen Volumentomographen nach erfolgter Versorgung mit einem Cochlea-Implantat zur Lagekontrolle angefertigt wurden, auf folgende, aus zwei Themengruppen entstandene Fragestellungen hin analysiert:

### A. Bildgebung

1. Ist es möglich, mit Hilfe des digitalen Volumentomographen die Lage des Cochlea-Implantates in der entsprechenden Skala zu lokalisieren?

Wenn ja, mit welcher Häufigkeit befindet sich die Elektrode

- a) in der Skala tympani,
- b) in der Skala vestibuli

oder kommt es

- c) zu einem Durchbrechen der Basilarmembran mit einem Wechsel der Skalen?
2. Ist die Lage der Cochleostomie zu lokalisieren?
  3. Liegt die Elektrode des Cochlea-Implantates modiolusnah oder -fern?
  4. Ist es gelungen, die Elektrode in ihrer vollen Länge zu inserieren?

## **B. Intraoperativer Verlauf**

1. Wurden die knöchernen Überhänge des runden Fensters abgetragen?
2. War das runde Fenster exakt zu identifizieren oder war die Einsicht auf das runde Fenster beschränkt?
3. Ist die genaue Lage der Cochleostomie im Operationsbericht angegeben und wenn ja, wie wurde die Cochleostomie gewählt?
4. Erfolgte laut Operationsbericht eine volle Insertion des Elektrodenträgers?
5. Traten intraoperative Besonderheiten auf und wenn ja, welche?
6. Ist es möglich, den intraoperativen Verlauf mit der evaluierten Elektrodenlage aus der Bildgebung in Verbindung zu bringen?

## **3 Patienten und Methoden**

### **3.1 Patienten**

49 Patienten, welche von Oktober 2002 bis Dezember 2009 in der Universitätsklinik für Hals- Nasen und Ohrenheilkunde Marburg uni- oder bilateral mit einem Cochlea-Implantat versorgt wurden, erhielten eine postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumetomographie. Von diesen 49 analysierten Patienten, waren 26 weiblichen und 23 männlichen Geschlechts. Das mittlere Alter zum Zeitpunkt der Implantat-Versorgung betrug 49 Jahre und reichte von 11 bis 85 Jahren.

46 Patienten erhielten eine einseitige Implantat-Versorgung, hierbei wurden 26 Patienten rechtsseitig und 20 Patienten linksseitig mit einem Cochlea-Implantat versorgt. 3 der 49 Patienten erhielten eine bilaterale sequentielle Implantation, sodass insgesamt 52 Elektroden auf die oben aufgeführten Fragestellungen hin analysiert werden konnten. 37 Elektroden der Firma Cochlear, 7 Elektroden der Firma MED-EL und 8 Elektroden der Firma Advanced Bionics wurden evaluiert.

Die Einschlusskriterien waren eine einwandfreie Qualität der Rohdaten, die die weitere Prozessierung zur dreidimensionalen Rekonstruktion ermöglichten. Kleinkinder mussten aufgrund der zu erwartenden Schwierigkeiten bei der Durchführung der Untersuchung, die eine bewegungslose, sitzende Position voraussetzt, ausgeschlossen werden. Diese Patienten erhielten eine postoperative Lagekontrolle der Elektrode mit einer konventionellen Röntgenaufnahme.

Nach der radiologischen Evaluation erfolgte eine Einsicht in die Operationsberichte, welche auf die oben aufgeführten Fragestellungen hin analysiert wurden.

## **3.2 Methoden**

### **3.2.1 Die digitale Volumentomographie**

Die digitale Volumentomographie (engl.: Flat-Panel Volume Computed Tomography; Cone Beam Computed Tomography) ermöglicht eine detailgenaue, dreidimensionale Darstellung knöcherner kranio-fazialer Strukturen. Wurde sie anfangs vorzugsweise in der Zahnheilkunde angewandt, etabliert sie sich nun wegen guter Bildqualität bei geringer Strahlenbelastung auch zunehmend in der Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde [11, 12, 17]. Neben Darstellungen des Gesichtsschädels, der Latero- und Frontobasis erweitert die digitale Volumentomographie auch die diagnostischen Möglichkeiten zur Darstellung des Felsenbeins [18]. Die digitale Volumentomographie zeichnet sich durch ein geringes Auftreten von Metallartefakten, verbunden mit einer niedrigen Strahlenexposition aus [4, 28, 40].

#### **3.2.1.1 Technische Grundlagen**

Bei der digitalen Röntgendiagnostik werden im Vergleich zu konventionellen Röntgenaufnahmen die Röntgenstrahlen direkt oder indirekt im Detektor in Ladungen umgewandelt, die sekundär digitalisiert werden. Die Schritte der Messung (Sensor), Informationsverarbeitung (Computer) und -darstellung (Monitor) erfolgen in separaten Geräten. Das so genannte Post-Processing bietet vielfältige Methoden der Bildverarbeitung. In der vorliegenden Dissertationsschrift wurde dies mit dem Strecken der Cochlea und dem Erstellen von verschiedenen Schnittebenen angewandt.

Basierend auf der Technik von Halbleiter-Elementen, die in einem x-y-Raster angeordnet sind, wird die einfallende Photonenenergie in den Sensoren proportional in Ladungen umgewandelt. Die dabei entstehenden Elektronen werden über Zeilen und Spalten der Pixelmatrix gesammelt und über einen Verstärker zur Informationsverarbeitung an einen Computer weitergeleitet. Als

analoges Signal wird die Ladung digitalisiert und über eine gleichgroße Spalten- und Zeilenmatrix eines Monitors dargestellt [26].

### **3.2.1.2 Technische Daten des verwendeten Volumentomographen**

Zur Durchführung der Untersuchung wurde das für Patientenanwendung zugelassene Gerät 3D Accuitomo-XYZ Slice View Tomograph (Morita, Kyoto, Japan), Modell MCT-1, Typ EX-2 F17 verwendet. Die Röhrenspannung ist zwischen 60 bis 90 kV in 0.1 kV-Schritten wählbar. In der vorliegenden Untersuchung wurde eine Röhrenspannung von 80 kV gewählt. Die Stromstärke ist zwischen 1 bis 10 mA in 0.1 mA-Schritten einstellbar. In der vorliegenden Untersuchung wurde eine Stromstärke von 8 mA angelegt. Die Fokusgröße beträgt 0.5x0.5 mm. Die Wahl des aufzunehmenden Bildzylinders kann zwischen 40 mm im Durchmesser und 40 mm in der Höhe bis zu 12x17 cm getroffen werden. Die Zeit der Aufnahme beträgt maximal 18 Sekunden. Die minimale Voxel-Größe beträgt 0,08x0.08x0.08 mm. Die Schichtdicke kann zwischen 0.08 mm und 2 mm gewählt werden. Das Gerät verfügt über eine Toshiba D-051 Röntgenröhre. Die Eingabegenauigkeit der Aufnahmeparameter wird mit  $\pm 10\%$ , die Zeit bis zur bildlichen Rekonstruktion am Personal Computer (PC) mit unter fünf Minuten vom Hersteller angegeben. Bei einer Aufnahme im 360° Modus werden ca. 580 zweidimensionale Einzelbilder aufgenommen, die auf dem PC zu einem dreidimensionalen Volumensatz rekonstruiert werden. Die effektive Strahlendosis pro Aufnahme liegt zwischen 10 und 120  $\mu\text{Sv}$ .

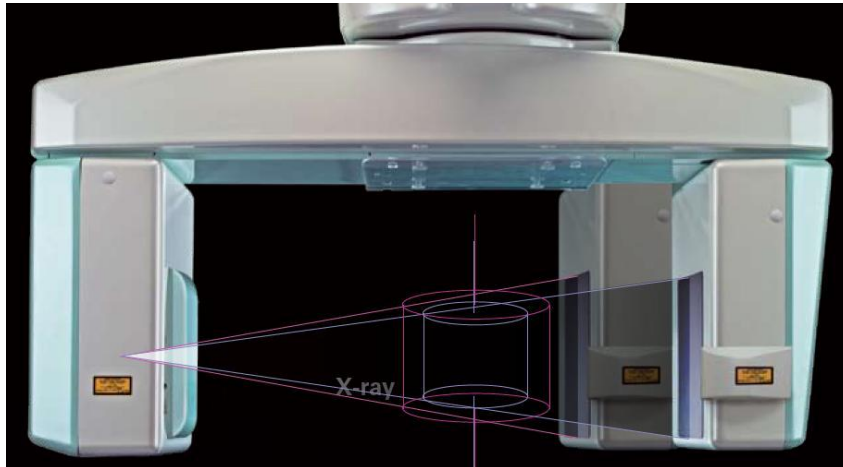
### **3.2.1.3 Durchführung der Untersuchung**

Der Patient sitzt in einer aufrechten Position, der Kopf wird dabei fixiert. Der digitale Volumentomograph besitzt einen offenen Aufbau und ist auch für klaustrophobische Patienten gut geeignet (Abb.1). Der Aufnahmearm, der während der Untersuchung einmal 360° um den Kopf des Patienten rotiert, trägt den Strahler und den Sensor.



**Abbildung 1 3D Accuitomo-XYZ Slice View Tomograph F17 (Firma Morita, Kyoto, Japan):** Der Patient sitzt aufrecht im Untersuchungsstuhl. Der Arm mit Röntgenröhre und Detektor rotiert während der Untersuchung um den Kopf des Patienten. Quelle: UKGM, Hals-, Nasen- und Ohrenklinik

Die zu untersuchende Region (Region of interest, ROI) wird mittels Lichtvisiereinstellung durch Bewegung des Patientenstuhls in den drei Raumachsen eingestellt. Die Ausbreitung der Röntgenstrahlen erfolgt pyramidenförmig, wobei die Spitze dieser Pyramide die Strahlenquelle, die Basis den Sensor darstellt (Abb.2). Durch die Drehung des Aufnahmearms entsteht aus der rechteckigen Schnittfläche des Strahlengangs ein zylinderförmiger Untersuchungsbereich (ROI). Die konischen Strahlenbündel erfassen das zu untersuchende Volumen in nur einem Umlauf.



**Abbildung 2 Bilderzeugung mit dem DVT:** Das Gerät akquiriert durch die gegenüberliegenden Bauteile, eine drehbar gelagerte Röntgenröhre und einen Flachbilddetektor, 580 zweidimensionale Einzelprojektionen. Durch die Drehung des Aufnahmearms entsteht ein zylinderförmiges Zielvolumen. Quelle: Firma Morita

Während der Drehung um  $360^\circ$  werden ca. 580 Schnittbilder mit Schichtdicken von mindestens 0.08 mm aufgenommen. Die zylinderförmige ROI wurde in der vorliegenden Untersuchung mit 6x6 cm gewählt. Das Volumen kann in drei zueinander orthogonalen Untersuchungsebenen befundet werden (Sagittalebene, Frontalebene und Horizontalebene). Die Software idixel der Firma Morita ermöglicht die Darstellung des zu untersuchende Bereichs in allen drei Ebenen des Raumes. Das beschriebene Volumen setzt sich aus Voxeln zusammen, deren Kantenlängen jeweils mindestens 0.08 mm betragen.

#### **3.2.1.4 Post-Processing**

In der vorliegenden Untersuchung wurde eine dreidimensionale Rekonstruktion des zu untersuchenden Volumens mithilfe des so genannten Curved MPR Modus vorgenommen. Zur genauen Skalenlokalisierung wurde die Cochlea entlang ihres Verlaufs gestreckt und zusätzlich orthogonale Schnitte entlang der Achse des Modiolus angefertigt.



#### **3.2.1.4.1 Skalenlokalisation**

Die Aufnahme wurde im Curved MPR Modus geöffnet und standardisiert so ausgerichtet, dass das Implantat in der coronaren Schnittebene in einer Ebene zur Darstellung kam. Mit der Draw MPR-spline Funktion wurden entlang des Implantats die gewünschten Schnittebenen gewählt, zu welchen die orthogonalen Schnitte angefertigt werden sollten. Im weiteren Post-Processing wurde die Cochlea entlang der gewählten Punkte gestreckt und die orthogonalen Schnitte erstellt. In der gestreckten Form konnte das Implantat der jeweiligen Skala zugeordnet werden, eine Lage der Elektrode im caudalen Kompartiment entsprach einer Insertion in die Skala tympani, die Lage der Elektrode im cranialen Kompartiment einer Insertion in die Skala vestibuli. Die orthogonalen Schnitte wurden zur Verifizierung der Implantatlage in der entsprechenden Skala herangezogen.

#### **3.2.1.4.2 Radiologische Evaluation der Cochleostomie**

Zur Identifikation der Cochleostomie wurde der Eintritt der Elektrode in die Cochlea sowohl in der coronaren Ebene als auch in den angefertigten orthogonalen Schnittebenen im Curved MPR Modus analysiert.

#### **3.2.1.4.3 Nähe zum Modiolus**

In den mit der Draw MPR-spline Funktion dargestellten orthogonalen Schnittebenen entlang des Modiolus wurden die Elektroden bezüglich ihrer Entfernung zum Modiolus im Verlauf der Cochlea bewertet und als modiulusnah oder modiulusfern eingestuft. Eine Elektrodenlage an der medialen Wand der Cochlea wurde als modiulusnah, eine Elektrodenlage an der lateralen Wand der Cochlea als modiulusfern bewertet.

#### **3.2.1.4.4 Beurteilung der Insertionstiefe**

Das Implantat wurde bezüglich seines extra- und intracochleären Verlaufs beurteilt. Hierbei wurde die Lage der ersten Stimulationselektrode als

- a) intracochleär oder
- b) extracochleär

eingestuft.

Eine intracochleäre Platzierung der ersten Stimulationselektrode wurde als volle Insertion interpretiert.

#### **3.2.2 Auswertung der Operationsberichte**

Die Auswertung der Operationsberichte erfolgte zur Vermeidung eines confirmation bias (Bestätigungsfehler) nach Abschluss der radiologischen Evaluation. Zur besseren Interpretation der Ergebnisse wurden die Operationsberichte von Oktober 2002 bis März 2008 vergleichend mit den Berichten von April 2008 bis Dezember 2009 evaluiert. Die Wahl der Zeiträume begründet sich in einem Wechsel des Operateurs mit entsprechenden abweichenden chirurgischen Techniken bei der Durchführung der Implantation.

Bei der Durchsicht der Operationsberichte wurde analysiert, ob ein Abtragen knöcherner Überhänge und die exakte Identifikation des runden Fensters dokumentiert wurden. Weiter wurden die Beschreibung der Cochleostomie, die Insertionstiefe und die intraoperativen Besonderheiten aus den Berichten entnommen.

Die mit dem digitalen Volumetomographen ermittelten Skalenlokalisationen wurden für die oben genannten Zeiträume vergleichend dargestellt.

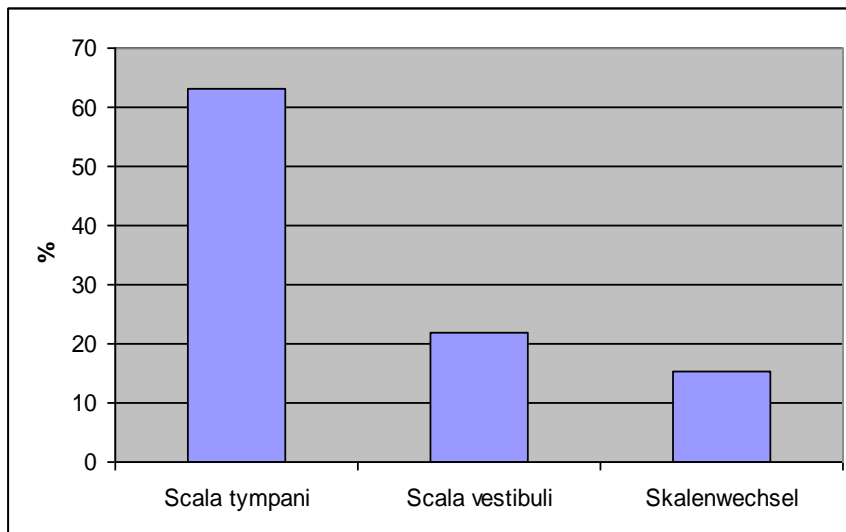
## 4 Ergebnisse

### 4.1 Digitale Volumetomographie

In der vorliegenden Untersuchung wurden 52 Elektroden bezüglich ihrer intracochleären Lage mit dem digitalen Volumetomographen evaluiert. Eine Auflistung der Ergebnisse findet sich im Anhang in der Tabelle 1. Eine Platzierung der Elektrode innerhalb der Cochlea konnte für alle Elektroden dargestellt werden.

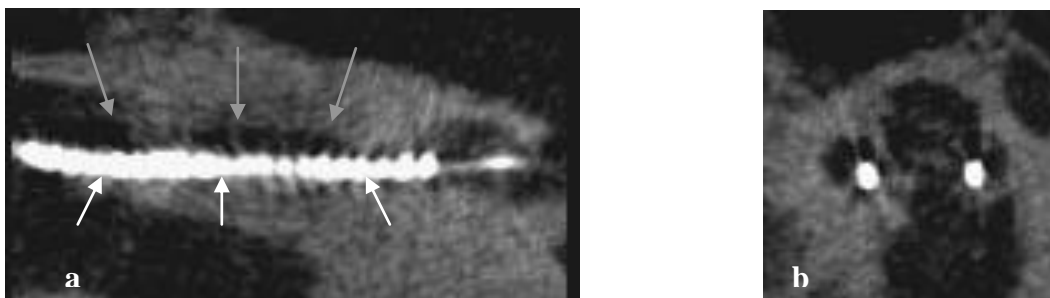
Eine exakte Elektrodenlokalisierung in der Skala tympani oder Skala vestibuli, sowie die Darstellung eines Skalenwechsels, gelangen bei 46/52 untersuchten Elektroden (88.5%). 6/52 Elektroden konnten aufgrund von Artefakten keiner exakten Skala zugeordnet werden. Bei den Artefakten handelte es sich in 4/6 Fällen um Bewegungsartefakte (66.7%) und in 1/6 Fällen um Metallartefakte (16.7%). In einem weiteren Fall lies ein gewähltes Zielvolumen von 80x80 mm keine exakte Skalenlokalisierung zu, die Darstellung der intracochleären Position war jedoch möglich.

29/46 Elektroden (63%) konnten in der Skala tympani und 10/46 Elektroden (21.7%) in der Skala vestibuli liegend dargestellt werden (Abb. 3). Bei 7/46 Elektroden (15.2%) ließ sich mit dem digitalen Volumetomographen ein Skalenwechsel darstellen. In fünf dieser Fälle erfolgte der Skalenwechsel von der Skala tympani in die Skala vestibuli (Abb. 7). In zwei Fällen durchstieß die Elektrode ein zweites Mal die Basilarmembran und kam im apikalen Teil der Cochlea wieder in der Skala tympani zum Erliegen (Abb. 8).

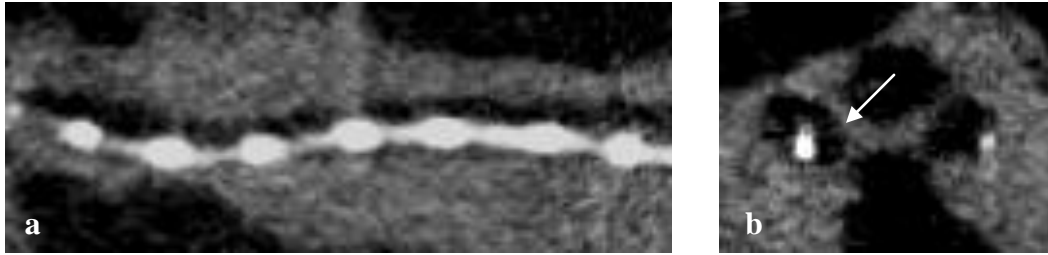


**Abbildung 3** Verteilung der mit dem digitalen Volumentomographen evaluierten Elektrodenlagen von April 2002 bis Dezember 2009: Eine Scala tympani Insertion erfolgte in 63% der Fälle, in 21.7% der Fälle konnte eine Scala vestibuli Insertion nachgewiesen werden. Ein Skalenwechsel zeigte sich bei 15.2% der evaluierten Elektroden.

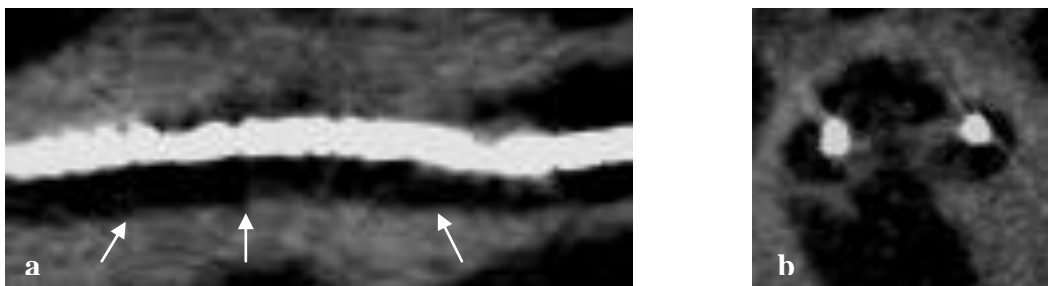
#### 4.1.1 Skalenlokalisierung



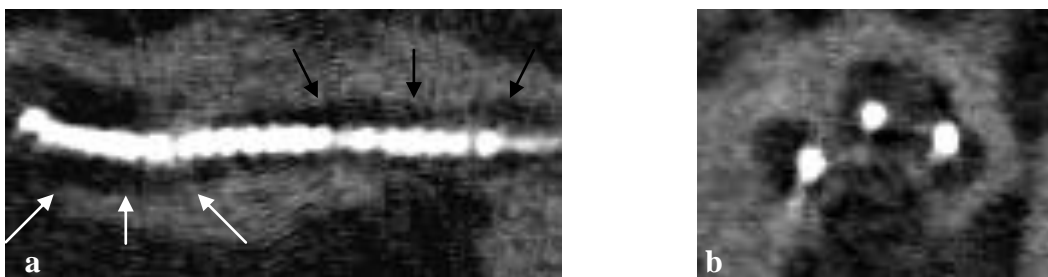
**Abbildung 4** Elektrode der Firma Cochlear in der Scala tympani: Die Darstellung der Elektrode in der gestreckten Form (a) zeigt den Verlauf der Elektrode in der basalen Windung der Cochlea. Das Implantat liegt in der Scala tympani (weiße Pfeile). Die grauen Pfeile weisen auf die leere Scala vestibuli. Die orthogonal zum Modiolus erstellte Schnittebene (b) verifiziert die Elektrodenlage in der Scala tympani.



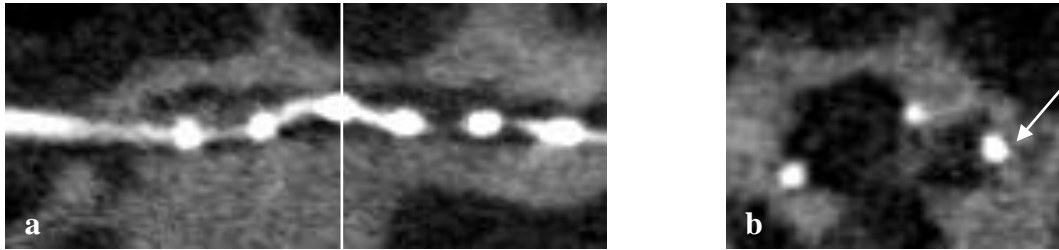
**Abbildung 5 Elektrode der Firma MED-EL in der Scala tympani:** Die Elektrode kann in der gestreckten Form (a) in der basalen Windung der Cochlea dargestellt werden. Die orthogonale Schnittebene zum Modiolus (b) bestätigt die Lage der Elektrode unterhalb der Basilarmembran (weißer Pfeil) in der Scala tympani.



**Abbildung 6 Elektrode der Firma Cochlear in der Scala vestibuli:** Die gestreckte Form (a) zeigt die Lage des Implantats im oberen Kompartiment der Cochlea, die Elektrode befindet sich in der Scala vestibuli. Die Pfeile weisen auf die leere Scala tympani. Die Scala vestibuli Insertion bestätigt sich in der orthogonal zum Modiolus erstellten Schnittebene (b).



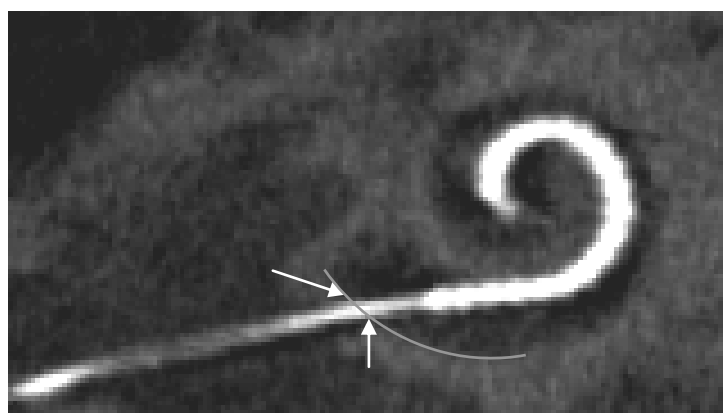
**Abbildung 7 Elektrode der Firma Cochlear mit Skalenwechsel:** Die gestreckte Form der Elektrode (a) zeigt einen Wechsel der Elektrode von der Scala tympani in die Scala vestibuli. Die ersten 8 Elektroden können der Scala tympani zugeordnet werden. Die schwarzen Pfeile zeigen auf die leere Scala vestibuli. Es kommt zu einem Durchbruch der Basilarmembran und zu einem Wechsel von der Scala tympani in die Scala vestibuli. Die apikal in der Cochlea liegenden Elektroden können im oberen Kompartiment der Cochlea dargestellt werden. Die nun leere Scala tympani ist mit den weißen Pfeilen gekennzeichnet. Das orthogonal zum Modiolus erstellte Bild (b) verifiziert den Skalenwechsel.



**Abbildung 8 Elektrode der Firma MED-EL mit Skalenwechsel:** Die in a dargestellte gestreckte Form der Elektrode zeigt einen Skalenwechsel im Bereich der dritten Elektrode. Nach nochmaligem Durchstoßen der Basilarmembran kommt die vierte Elektrode wieder in der Scala tympani zum Erliegen. Die orthogonal zum Modiolus dargestellte Schnittebene in Abbildung b wurde in der in Abbildung a eingezeichneten Ebene erstellt. Die Lage der mit dem weißen Pfeil gekennzeichneten Elektrode lässt einen Verlauf in der Scala media vermuten, eine exakte Abgrenzung zwischen der Scala vestibuli und der Scala media ist nicht möglich. Der Skalenwechsel im Bereich der dritten Elektrode lässt sich sowohl in der gestreckten (a) als auch in der orthogonalen Schnittebene (b) darstellen.

#### 4.1.2 Cochleostomie

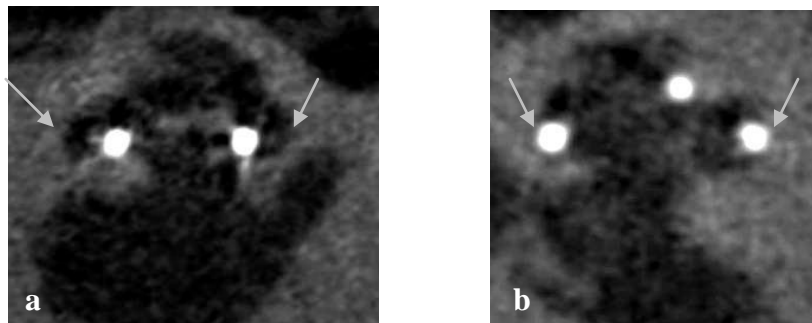
Der Eintritt der Elektrode in die Cochlea war mit dem digitalen Volumentomographen in 48/52 Fällen zu identifizieren (92.3%). Der Eintritt der Elektrode in die Cochlea konnte bei 7.7% der Implantate aufgrund von Bewegungsartefakten nicht exakt dargestellt werden. Die mangelhafte Möglichkeit zur Darstellung von Weichteilgewebe erschwerte eine exakte Lokalisation der Cochleostomie bezogen auf die Rundfenstermembran, sodass für diese Information auf die Operationsberichten zurückgegriffen wurde.



**Abbildung 9 Elektrodeneintritt in die Cochlea:** Die geschwungene Linie beschreibt die Wand der Cochlea. Der Eintritt der Elektrode in die Cochlea ist mit den weißen Pfeilen gekennzeichnet.

### 4.1.3 Modiolusabstand

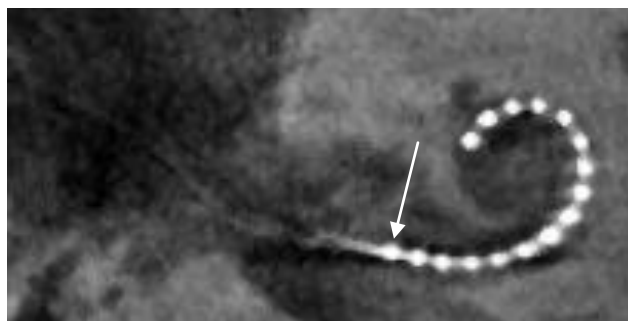
46/52 der in die Untersuchung aufgenommenen Elektroden konnten bezogen auf ihren Abstand zum Modiolus bewertet werden. Der Abstand der Elektrode zum Modiolus konnte bei den Elektroden der Firma Cochlear und Advanced Bionics in allen Fällen als modiolusnah eingestuft werden. Elektroden der Firma MED-EL lagen in 4/7 Fällen modiolusfern (57.14 %), in 3/7 Fällen modiolusnah (42.86%).



**Abbildung 10 Darstellung der Elektrodenabstände zum Modiolus:** Die Elektrode der Firma Cochlear (a) liegt der medialen Wand der Cochlea an, dies entspricht einer modiolusnahen Elektrodenlage. Die Elektrode der Firma MED-EL (b) liegt modiolusfern an der lateralen Wand der Cochlea. Die Pfeile weisen auf die laterale Begrenzung der Cochlea und verdeutlichen die mediale Elektrodenlage in Bild a und die an die laterale Wand grenzende und somit modiolusferne Elektrodenlage in Bild b.

### 4.1.4 Insertionstiefe

Eine vollständige Insertion konnte für alle Elektroden nachgewiesen werden. Abb. 11 zeigt eine Elektrode der Firma MED-EL, die komplett in die Cochlea inseriert wurde.



**Abbildung 11 Volle Insertion einer MED-EL Elektrode:** Die erste Stimulationselektrode (weißer Pfeil) des Cochlea-Implantats der Firma MED-EL liegt intracochleär. Eine Abgrenzung der einzelnen Elektroden ist gut möglich.

## **4.2 Auswertung der Operationsberichte**

46/52 Operationsberichte (88.5%) wurden analysiert. 6/52 Berichte (11.5%) waren nicht vorliegend. Die Auswertungen der einzelnen Operationsberichte sowie die zugehörigen mit dem DVT evaluierten Elektrodenlagen finden sich im Anhang in Tabelle 2.

18/23 Operationsberichte (78.3%) konnten von Oktober 2002 bis März 2008 ausgewertet werden, 28/29 Operationsberichte (96.6%) lagen von April 2008 bis Dezember 2009 vor.

### **4.2.1 Abtragung knöcherner Überhänge**

Während des ersten Zeitraumes wurde das Abtragen von knöchernen Überhängen in keinem der vorliegenden Operationsberichte aufgeführt. Von April 2008 bis Dezember 2009 wurde eine Abtragung von knöchernen Überhängen in 20/28 Fällen (71.4%) beschrieben.

### **4.2.2 Darstellbarkeit des runden Fensters**

Von Oktober 2002 bis März 2008 wurde eine klare Identifikation des runden Fensters in 12/18 Fällen (66.7%) beschrieben. 6/18 Berichte (33.3%) wiesen keine Angaben zur Identifikation des runden Fensters auf.

Von April 2008 bis Dezember 2009 wurde die klare Identifikation des runden Fensters in 22/28 Fällen (78.6%) beschrieben. 2/28 Berichte (7.1%) machten keine Aussage über die Darstellbarkeit des runden Fensters.



In 4/28 Berichten (14.3%) wurden folgende Besonderheiten oder Einschränkungen bei der Darstellung des runden Fensters beschrieben:

1. „Trotz weiteren Ausdünnens zur hinteren Gehörgangswand ist eine Aufsicht auf das runde Fenster nur im am weitesten cranial gelegenen Anteil möglich. Somit ist die durchzuführende Cochleostomie nur anterior möglich.“  
Die postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumentomographie zeigte eine Insertion in die Skala vestibuli.
2. „Eine klare Identifikation des runden Fensters ist nur im oberen Anteil des runden Fensters möglich.“  
Die postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumentomographie zeigte eine Insertion in die Skala tympani.
3. „Das runde Fenster scheint in seiner Achse nach vertikal gedreht, somit ist nur ein tangentialer Aufblick auf das runde Fenster möglich.“  
Die postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumentomographie zeigte eine Insertion in die Skala tympani.
4. „Es zeigt sich eine etwas verdrehte Anatomie, so dass das runde Fenster nach horizontal gedreht ist. Nach Herunterbohren von Knochen im Bereich des runden Fensters kann der vordere Anteil des runden Fensters sicher identifiziert werden.“  
Die postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumentomographie zeigte eine Insertion in die Skala tympani.

### 4.2.3 Beschreibung der Cochleostomie

Von Oktober 2002 bis März 2008 wurde die Durchführung der Cochleostomie in 11/18 Fällen (61.1%) „von gewohnter posteriorer Operationsposition aus“ durchgeführt.

8/18 Berichte (44.4%) beschrieben die Darstellung des Endostes der Cochlea, eine genaue Beschreibung zur Darstellung des Endostes der Skala tympani erfolgte in 4 dieser Berichte (22.2%). In 4/18 Berichten (22.2%) wurde die Eröffnung der Skala tympani dokumentiert.

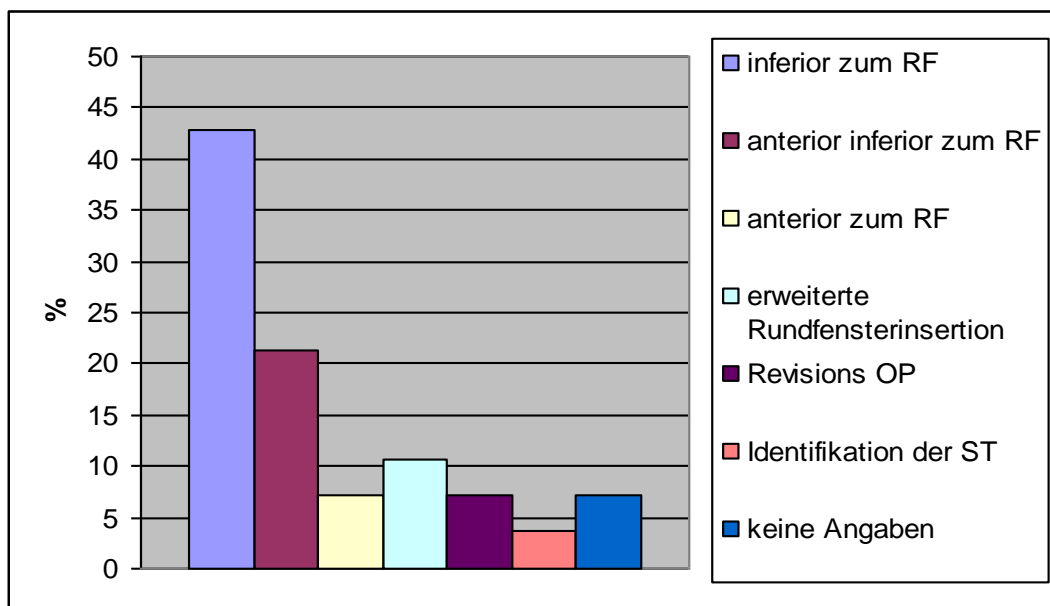
4/18 (22.2%) Operationsberichte bezogen sich bei der Beschreibung der Cochleostomie auf die Rundfenstermembran. Einer dieser Berichte beschrieb eine anterior zur Rundfenstermembran gewählte Cochleostomie, zwei eine anterior inferior zur Rundfenstermembran gewählte Cochleostomie und ein weiterer eine anterior superior zur Rundfenstermembran gewählte Cochleostomie.

Die Durchführung der Cochleostomie wurde in einem Fall durch otosklerotische Herde, die die basale Cochleawindung verschlossen, erschwert. Diese anatomische Besonderheit forderte die Eröffnung der Skala vestibuli. Einer der 18 Berichte wies keine Angaben zur Durchführung der Cochleostomie auf.

Folgende Angaben zur Cochleostomie fanden sich in den Operationsberichten von April 2008 bis Dezember 2009 (Abb.12):

Eine rein anteriore Cochleostomie wurde in 2/28 Fällen gewählt (7.1%). 6/28 Berichte (21.4%) dokumentierten eine anterior inferior zur Rundfenstermembran gewählte Cochleostomie, zwei dieser Berichte beschreiben zusätzlich die Einbeziehung des runden Fensters zur Durchführung der Cochleostomie. Das Anlegen einer inferior zur Rundfenstermembran gelegenen Cochleostomie wurde in 12/28 Berichten (42.9%) dokumentiert, sieben dieser Berichte beschreiben zusätzlich die Einbeziehung des runden Fensters zur Durchführung der Cochleostomie. In zwei Fällen (7.1%) handelte es sich um eine

Revisionsoperation. Hier wurde die bereits vorhandene Cochleostomie der vorherigen Implantation zur Insertion der Elektrode gewählt. Eine Identifikation der Scala tympani wurde in einem der Berichte beschrieben (3.6%). 3/28 Berichte (10.7%) beschrieben eine erweiterte Rundfensterinsertion. In zwei der analysierten Berichte (7.1%) zeigten sich keine genauen Angaben zur Durchführung der Cochleostomie.



**Abbildung 12 Beschreibungen der Cochleostomien von April 2008 bis Dezember 2009:** Das Anlegen einer inferior zur Rundfenstermembran gelegenen Cochleostomie konnte in ca. 43% der Fälle aus den Operationsberichten entnommen werden. Eine anterior inferiore Cochleostomie wurde in ca. 21%, eine rein anteriore Cochleostomie in ca. 7% der Fälle gewählt. RF= Rundes Fenster, ST= Skala tympani

#### 4.2.4 Beurteilung der Insertionstiefe

Alle in die Bewertung aufgenommenen Berichte dokumentierten eine volle Insertion der Elektrode.

#### 4.2.5 Intraoperative Besonderheiten

Folgende intraoperative Besonderheiten wurden von Oktober 2002 bis März 2008 dokumentiert:

1. „Durch einen weit lateral verlaufenden Nervus facialis ergibt sich eine enge posteriore Tympanotomie. Aufgrund der engen Verhältnisse gelingt das Einführen der Elektrode nur manuell ohne die Zuhilfenahme des Insertionstooles.“

Die postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumtomographie zeigte einen Skalenwechsel.

2. „Eine atypische Anatomie mit sehr engen Zugangsverhältnissen zum Mittelohr fordert die Chordaresektion zur Durchführung der Cochleostomie.“

Die postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumtomographie zeigte eine Elektrodenlage in der Skala vestibuli.

3. „Nach Entfernung der Hülse im Bereich der Elektrode fehlt eine Abwicklung im cranialen Bereich, so dass eine neue Elektrode eingesetzt wird. Daraufhin erfolgt das problemlose Einführen der zweiten Elektrode in die Cochleostomie.“

Die postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumtomographie zeigte einen Skalenwechsel.

Folgende intraoperative Besonderheiten wurden von April 2008 bis Dezember 2009 dokumentiert:

1. „Es erfolgt die klassische Insertion, Verschieben der Elektrode und Zurückziehen des Stiletts. Die Elektrode ist hierbei etwas schwerer einzuführen, es kann jedoch eine volle Insertion erfolgen. Auffällig ist, dass beim Zurückziehen des Stiletts mehr Kraft aufgewandt werden muss, um dieses zu ziehen. Es zeigt sich eine kleine Knickbildung im Stilet.“  
Die postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumetomographie zeigte eine Elektrodenlage in der Skala vestibuli.

2. „Bei der Präparation des Chorda-Fazialis-Winkels wird bei maximaler Platzausnutzung die Chorda etwas gedehnt und muss letztendlich geopfert werden.“

Die postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumetomographie zeigte eine Elektrodenlage in der Skala tympani.

3. „Es zeigt sich ein sehr enger Chorda-Fazialis-Winkel, wobei die Chorda sicher erhalten wird.“

Die postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumetomographie zeigte eine Elektrodenlage in der Skala vestibuli.

4. „Bei Zustand nach Cochlea-Implantation fordert eine Infektion im Bereich des Knochenbettes die Explantation und Reimplantation einer neuen Elektrode.“

Die postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumetomographie zeigte eine Elektrodenlage in der Skala vestibuli.

#### 4.2.6 Verteilung der Elektroden von Oktober 2002 bis März 2008 im Vergleich mit den evaluierten Elektrodenlagen von April 2008 bis Dezember 2009

20/23 Elektroden (86.96%) konnten von Oktober 2002 bis März 2008 mit dem digitalen Volumentomographen bezüglich ihrer Skalenlokalisierung bewertet werden. 9/20 Elektroden (45%) konnten der Skala tympani und 7/20 Elektroden (35%) der Skala vestibuli zugeordnet werden. 4/20 Elektroden (20%) wiesen einen Skalenwechsel auf.

Von April 2008 bis Dezember 2009 konnte bei 26/29 Elektroden (89.7%) eine exakte Skalenlokalisierung erfolgen. Hierbei kamen 20/26 Elektroden (76.9%) in der Skala tympani und 3/26 (11.5%) Elektroden in der Skala vestibuli zum Erliegen. Drei weitere Elektroden (11.5%) zeigten in der digitalen Bildauswertung einen Skalenwechsel.



**Abbildung 13 Verteilung der Elektroden von Oktober 2002 bis März 2008 im Vergleich zu den evaluierten Elektrodenlagen von April 2008 bis Dezember 2009:** Die digitale Volumentomographie zeigte während des ersten Zeitraumes ein Auftreten von Scala tympani Insertionen in 45% der Fälle. Von April 2008 bis Dezember 2009 konnten 76.9% der evaluierten Elektroden in der Skala tympani liegend dargestellt werden. Insertionen in die Scala vestibuli wurden von Oktober 2002 bis März 2008 in 35% der Fälle, von April 2008 bis Dezember 2009 in 11.5% der Fälle beschrieben. Ein Skalenwechsel zeigte sich während des ersten Zeitraumes in 20%, während des zweiten Zeitraumes in 11.5% der Fälle.

## 5 Diskussion

Die vorliegende Dissertationsschrift soll Auskunft darüber geben, ob sich die digitale Volumetomographie für die postoperative Lage- und Qualitätskontrolle in der klinischen Anwendung eignet. Vergleichende histologische und radiologische Untersuchungen konnten bereits die gute Anwendbarkeit der DVT zur intracochleären Lagebestimmung des Implantats in fixierten Felsenbeinen nachweisen [10, 18, 40]. Das Ziel dieser Untersuchung ist es, die Möglichkeiten der digitalen Volumetomographie zur postoperativen Lagekontrolle bei Patienten nach erfolgter Cochlea-Implantation zu analysieren und mögliche Zusammenhänge zwischen der evaluierten, intracochleären Elektrodenposition und dem operativen Vorgehen zu diskutieren.

In den folgenden Abschnitten wird zunächst auf das Indikationsspektrum, die Ein- und Ausschlusskriterien sowie auf die präoperative Diagnostik der modernen Cochlea-Implantation eingegangen. Anschließend werden die für die Darstellung von Cochlea-Implantaten geeigneten bildgebenden Verfahren, insbesondere die digitale Volumetomographie, vorgestellt. In den darauf folgenden Abschnitten wird auf die zuvor genannten Fragestellungen und Ergebnisse systematisch eingegangen und diese im Zusammenhang mit der aktuellen Literatur diskutiert.

Die Cochlea-Implantation hat sich zur Methode der Wahl zur Behandlung der Taubheit bei Kindern und Erwachsenen entwickelt. Indiziert ist eine Implantation, wenn bei hochgradiger Schwerhörigkeit oder Ertaubung die anatomischen und funktionellen Voraussetzungen zur Stimulation des Hörnervs gegeben sind und postoperativ mit einer großen Wahrscheinlichkeit eine erhebliche Verbesserung der Kommunikationsfähigkeit zu erwarten ist [20]. Absolute Kontraindikationen sind neben der Ablehnung durch den Patienten ein zu hohes Operationsbeziehungsweise Narkoserisiko und die fehlende Stimulationsmöglichkeit des Hörnervs. Relative Kontraindikationen liegen bei einem funktionell guten Restgehör, einer langen Ertaubungszeit mit schlechter Sprachkompetenz, fehlenden Rehabilitationsmöglichkeiten und prälingualer Ertaubung vor [37].

Wurden zu Beginn vornehmlich postlingual ertaubte Erwachsene ohne Restgehör mit einem Cochlea-Implantat versorgt, hat sich das Indikationsspektrum bis heute stark erweitert. Neben Kleinkindern und Säuglingen umfasst das Indikationsspektrum auch Patienten, die noch einen funktionell nutzbaren Hörrest aufweisen [39]. Das sich erweiternde Indikationsspektrum fordert eine möglichst atraumatische Elektrodeninsertion und erklärt das wachsende Interesse an einer detailgenauen radiologischen Darstellung des postoperativen Versorgungsergebnisses. Ob die digitale Volumetomographie diesen steigenden Anforderungen als hochauflösendes bildgebendes Verfahren gerecht werden kann soll in der vorliegenden Dissertationsschrift analysiert werden.

Eine hochauflösende Bildgebung ist neben der postoperativen Lagekontrolle auch für die Evaluation der Ein- beziehungsweise Ausschlusskriterien für eine Cochlea-Implantat Versorgung von großem Interesse. Eine ausführliche radiologische Evaluation der anatomischen Verhältnisse ist für die Auswahl eines passenden Patienten sowie für die Operationsplanung indiziert. Hierfür werden präoperative Voruntersuchungen mit hochauflösenden Computertomographen (HRCT) und Kernspintomographen empfohlen [8]. Neben der Identifikation von anatomischen Kontraindikationen können anatomische Eigenheiten erkannt werden, welche Konsequenzen für die Elektrodenwahl, die Auswahl des Ohres und die Durchführung der Operation darstellen können [38]. Untersuchungen an fixierten Felsenbeinen konnten bereits zeigen, dass sich die digitale Volumetomographie als hochauflösendes Verfahren zur Darstellung kleinster Knochenstrukturen des Felsenbeins eignet und somit, mit einer hoch qualitativen präoperativen Diagnostik, die akkurate Planung des chirurgischen Verfahrens sichern kann [18].

Die Magnetresonanztomographie (MRT) kann die präoperative Diagnostik durch die besonders gute Darstellbarkeit von membranösen Cochleaobstruktionen erweitern [38]. Sie ermöglicht eine gute Darstellung der Strukturen des inneren Gehörgangs mit einer genauen Beurteilung des Nervus cochlearis, facialis und vestibularis [41]. Patienten, die trotz eines unauffälligen Befundes bei der



Computertomographie oder der digitalen Volumentomographie einen hypo- oder aplatischen Hörnerv aufweisen, können so identifiziert werden. Die MRT kann somit in der präoperativen Diagnostik weitere wichtige Aussagen über den zu erwartenden intraoperativen Verlauf und das audiologischen Outcome liefern [61].

Die audiologischen Eignungskriterien ergänzen die radiologische Diagnostik und werden anhand der Anamnese, HNO-ärztlichen Spiegeluntersuchungen sowie audiologischer Diagnostik, wie einem Reintonaudiogramm, Messung der otoakustischen Emissionen, Sprachaudiometrie, Hirnstammaudiometrie und Elektrocochleographie festgelegt. Mit Hilfe dieser Verfahren kann die cochleäre Restfunktion quantifiziert und so die Hörfähigkeit evaluiert werden. Neben den Ergebnissen der anatomischen und audiologischen Tests müssen auch pädagogische Kriterien in die präoperative Diagnostik miteinbezogen werden. In der Sozial- und Höranamnese sollte die Unterstützung des Patienten durch sein soziales Umfeld klar zu erkennen sein. Auch die Erwartungshaltung sollte im pädagogischen Gesamtbild herausgearbeitet werden, da Motivation und eine positive Grundeinstellung für einen günstigen Rehabilitationsablauf zwingend sind [37].

Die röntgenologische Darstellung des Felsenbeins stellt einen festen Bestandteil in der Diagnostik und Therapie von Erkrankungen in der Hals-, -Nasen und Ohrenheilkunde dar. Die mikroanatomischen Verhältnisse stellen hohe Anforderungen an die bildgebende Diagnostik. Dieser Anspruch erklärt, warum die seit den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts eingeführte Computertomographie die konventionellen Röntgentechniken in der Felsenbeindiagnostik weitestgehend abgelöst hat [50, 65]. Die digitale Volumentomographie kann als hochauflösendes bildgebendes Verfahren detailgenaue Darstellungen des Felsenbeins leisten [17]. Dalchow und Mitarbeiter [18] beschrieben in einer radiologischen Untersuchung des Felsenbeines die digitale Volumentomographie als eine sinnvolle Ergänzung für die diagnostischen Möglichkeiten der Felsenbeindarstellungen. Der äußere Gehörgang, die

Paukenhöhle mit den Ossikeln, das Labyrinth, die pneumatisierten Mastoidzellen, der Nervus facialis und die Cochlea konnten in hochauflösender Bildqualität dargestellt werden. Auch die Lagekontrolle von Mittelohrimplantaten wurde durch die nahezu artefaktfreie Darstellungstechnik der DVT erleichtert: Dislokationen konnten mithilfe der DVT erkannt werden und so eine im Verlauf aufgetretene Hörverschlechterung radiologisch interpretiert werden. Bei der postoperativen Darstellung eines Cochlea-Implantates konnten alle 22 intracochleären Elektroden identifiziert und in ihrer Position zum Modiolus bewertet werden.

Die Evaluation von Cochlea-Implantaten stellt aufgrund der Bewertung besonders kleiner Strukturen und dem Auftreten von Metallartefakten durch das Implantat besondere Anforderungen an die digitale Röntgentechnik. Die digitale Volumtomographie zeichnet sich durch ein kleines Metallartefakt aus, dies ist für die postoperative Lagekontrolle von Cochlea-Implantaten von großem Vorteil [10]. Zudem stellt die darstellbare minimale Voxelkantenlänge von 0.08 mm verglichen mit der Darstellungsgenauigkeit anderer radiologischer Verfahren einen sehr guten Wert dar. Die vorliegende Untersuchung bestätigt, dass sich die DVT durch hochauflösender Bildqualität und einem geringen Auftreten von Metallartefakten für die postoperative Lagekontrolle von Cochlea-Implantaten eignet. Die genaue Darstellung der intracochleären Elektrodenlage mit einer Differenzierung zwischen den Skalen war bei 88.5% der Elektroden möglich.

Die Single- und Multi-Slice Computertomographie ermöglicht die Detektion des Implantats in der Cochlea [4] und die Darstellung von Fehllagen wie eine Insertion der Elektrode in das Mastoid oder Mittelohr, den Aquaeductus cochleae, oder die Tuba auditiva [35]. Bartling und Mitarbeiter [10] zeigten jedoch in einer vergleichenden Untersuchung zur radiologischen Evaluation von Cochlea-Implantaten, dass der Elektrodenträger bei der Multi-Slice CT aufgrund von Metallartefakten mehr als zwei Drittel des Cochleadurchmessers einnimmt. Bei der digitalen Volumtomographie hingegen nimmt das Implantat mit seinen Streuartefakten weniger als die Hälfte des Durchmessers ein, was eine exakte

Lokalisation der Elektrode innerhalb der Cochlea mit der digitalen Volumentomographie ermöglicht. Majdani und Mitarbeiter [44] konnten in einer Untersuchung an humanen Felsenbeinpräparaten ebenfalls theoretische und praktische Vorteile der digitalen Volumentomographie gegenüber der Computertomographie mit einer verbesserten Bildqualität für kleine Strukturen des Felsenbeins, wie die Cochlea, zeigen. Untersuchungen von Lane und Mitarbeitern [42] mit HRCT konnten zeigen, dass die HRCT in bis zu 30% keine exakten Aussagen über die intracochleäre Elektrodenposition liefern kann, sodass die digitale Volumentomographie bei der postoperativen Evaluation von Cochlea-Implantaten dieser Untersuchungstechnik vorgezogen werden sollte.

Bei der Darstellung des Felsenbeines stellt neben der höheren Bildqualität auch häufig die niedrigere Strahlenexposition der digitalen Volumentomographie einen Vorteil gegenüber der Computertomographie dar [18, 29]. In der Literatur gibt es Anhaltspunkte dafür, dass die digitale Volumentomographie nur 1% der Strahlenbelastung einer vergleichbaren computertomographischen Untersuchung haben könnte [17]. Hashimoto und Mitarbeiter ermittelten in einer zahnmedizinischen Untersuchung eine 400-fach niedrigere Dosis [28]. Abschließende Untersuchungen zum spezifischen Dosisvergleich stehen jedoch noch aus [43].

Da der Erfolg einer Cochlea-Implantation neben anderen, nicht beeinflussbaren Faktoren, auch von der intracochleären Elektrodenposition abhängt, ist eine Evaluation der Lage des Implantats mit einer Differenzierung zwischen den Skalen von großem klinischem Interesse. Bartling und Mitarbeiter [10] konnten mit der digitalen Volumentomographie die exakte intracochleäre Elektrodenlage mit einer Differenzierung zwischen der Skala tympani und der Skala vestibuli bestimmen. Histologische Schliffe verifizierten dabei die radiologisch evaluierte Skalenlokalisierung. Auch bei einer aufgrund von Metallartefakten nicht darstellbaren Lamina spiralis ossea konnte die Skala anhand der Querschnitte korrekt zugeordnet werden. Kurzweg und Mitarbeiter [40] konnten in einer vergleichenden histologischen und radiologischen Untersuchungen ebenfalls

hervorragende Ergebnisse für die Lagekontrolle von Cochlea-Implantaten mit der digitalen Volumtomographie aufzeigen.

In der vorliegenden Untersuchung war eine exakte Skalenlokalisierung mit einer Differenzierung der Elektrodenlage zwischen der Skala tympani und Skala vestibuli sowie die Darstellung eines Skalenwechsels in 46/52 Fällen möglich (88.5%). Dieser Wert bestätigt, dass eine exakte Evaluation der Elektrodenlage mit einer Differenzierung zwischen den Skalen auch in der klinischen Anwendung möglich ist. Aufgrund des sich zunehmend erweiternden Indikationsspektrums steigen die Anforderungen an die digitale Bildgebung der Cochlea-Implantation. Diesen Anforderungen kann die digitale Volumtomographie mit einer exakten Darstellung der Elektrodenlage in der entsprechenden Skala gerecht werden. Eine exakte Zuordnung konnte in 4/6 Fällen aufgrund von Bewegungsartefakten, in 1/6 Fällen aufgrund von Metallartefakten und in einem weiteren Fall aufgrund eines gewählten Zielvolumens von 80x80 mm, mit daraus resultierender geringerer Auflösung, nicht erfolgen.

Die Aufnahme erfordert eine bewegungslose, sitzende Position des Patienten. Es handelt sich um ein offenes System bei dem der Patient nicht wie bei einer computer- oder kernspintomographischen Untersuchung in ein geschlossenes System („Röhre“) geschoben werden muss. Der Kopf des sitzenden Patienten ist während der Untersuchung mittels Kinn- und Nackenstütze fixiert, eine komplett bewegungsfreie Untersuchung ist dadurch jedoch nicht gewährleistet. Die einmalige Rotation der Strahler- und Sensoreinheit beträgt ca. 18 Sekunden, während dieser Zeit kann durch leichte Bewegungen des Kopfes eine Verschlechterung der Bildqualität resultieren. In der vorliegenden Untersuchung war eine exakte Skalenlokalisierung aufgrund solcher Bewegungsartefakte bei vier der 52 analysierten Elektroden (7.7%) nicht möglich. Das komplette Vermeiden von Bewegungsartefakten ist in der klinischen Routine, verglichen mit in-vitro fixierten Felsenbeinen, fast ausgeschlossen. Die klinisch gute Anwendbar- und patientenorientierte Durchführbarkeit der digitalen Volumtomographie kann jedoch mit der geringen Zahl der Bewegungsartefakte (7.7%) bestätigt werden.

Eine intracochleäre Lokalisation der Elektrode war trotz der Artefakte möglich, was die Indikation zur Durchführung einer volumetomographischen Untersuchung zur postoperativen Lagekontrolle, trotz möglicher Bewegungsartefakte, rechtfertigt.

Die Frühimplantation ertaubter Kinder und Säuglinge stellt heute in CI-Zentren einen Routineeingriff dar. Die Einführung eines standardisierten Neugeborenen-Hörscreenings im Januar 2009 erlaubt die frühe Erstdiagnose einer angeborenen Schwerhörigkeit oder Taubheit. Effektivitätsuntersuchungen zur Frühdiagnose kindlicher Hörstörungen zeigten, dass das Alter der Erstdiagnose positiv mit der psychosozialen Entwicklung schwerhöriger Kinder korreliert [45]. Langzeitergebnisse zeigen weiter, dass eine möglichst frühe Versorgung mit einem Cochlea-Implantat mit einer überlegenen Sprachentwicklung einhergeht [59]. Bei angeborener hochgradiger Schwerhörigkeit oder Taubheit sollte demnach bei geeigneten anatomischen und physiologischen Verhältnissen immer eine möglichst frühe Versorgung mit einem Cochlea-Implantat angestrebt werden. Da eine Untersuchung mit dem digitalen Volumetomographen eine bewegungslose, sitzende Position zur Vermeidung von Bewegungsartefakten erfordert, ist die digitale Volumetomographie für die prä- und postoperative Diagnostik bei Kleinkindern und Säuglingen nur begrenzt anwendbar. Im Kindesalter wird postoperativ zumeist die klassische Röntgentechnologie eingesetzt. Die intraoperative Darstellung von Innenohrfehlbindungen und Fehlinsertionen ist besonders bei Kleinkindern und Säuglingen wünschenswert. Aufgrund der weiterentwickelten Technologien stehen mittlerweile Verfahren wie die HRCT oder die digitale Volumetomographie auch im Operationssaal zur Verfügung [8]. Aktuell kann man nur darüber spekulieren, welchen Einfluss die Elektrodenlage bei Kindern unter den Voraussetzungen der weiteren Entwicklung des auditorischen Systems hat. Eine Auswertung dieser Fragestellung könnte ein weiteres Ziel zukünftiger Studien darstellen.

Die Beurteilung von Schnittbildern kann durch Metallartefakte, wie sie zum Beispiel bei zahnmedizinischen Metallimplantaten in der konventionellen

Computertomographie erzeugt werden, stark beeinträchtigt sein. Aufgrund der speziellen Bedingungen nach einer erfolgten Cochlea-Implantation - die Elektroden bestehen teilweise aus Metall - werden besondere Anforderungen an die bildgebende Darstellung gestellt. Metallartefakte zeigten sich in der vorliegenden Untersuchung in Form von weißen und schwarzen, von den Elektroden ausgehenden Streifen. Gegenüberstellungen der prä- und postoperativen Aufnahmen zeigten diesen Effekt deutlich. Eine der 52 Elektroden (1.9%) konnte aufgrund von Metallartefakten nicht der entsprechenden Skala zugeordnet werden. Verglichen mit der Computertomographie sind die Metallartefakte der Elektrode bei der digitalen Volumtomographie in ihrer Ausbreitung deutlich geringer und verursachen weniger artefaktinduzierte Abbildungsfehler [10]. Das geringe Auftreten von Metallartefakten unterstreicht auch in dieser Untersuchung die gute Anwendbarkeit der digitalen Volumtomographie zur postoperativen Lagekontrolle von Cochlea-Implantaten, trotz der erschwerenden Implantateigenschaften.

Die Wahl des zylinderförmigen Zielvolumens ist für die zielorientierte Diagnostik von entscheidendem Wert. Eine detailgenaue Visualisierung der Cochlea, so wie sie in der vorliegenden Untersuchung gewünscht ist, erfordert die Wahl eines Zielvolumens von 40x40 mm oder 60x60 mm. Der verwendete 3D-Accu-I-tomo F17 erlaubt die Erfassung eines zylindrischen Zielvolumens von bis zu 120x170 mm, wobei das Zielvolumen entsprechend der diagnostischen Anforderungen individuell zwischen 40x40 mm, 60x60 mm, 80x80 mm, 100x100 mm und 120x170 mm gewählt werden kann. In der vorliegenden Untersuchung wurde in einem Fall ein Zielvolumen von 80x80 mm gewählt. Dieses Volumen ist für Abbildungen der Nasenhöhle und der Nasennebenhöhlen bedingt geeignet, für die Darstellung der Cochlea lässt dieses Zielvolumen eine detailgenaue Betrachtung bezogen auf die verschiedenen Skalen jedoch nicht zu, da eine zu geringe Ortsauflösung erzielt wird. Die Elektrode kann zwar in ihrer intracochleären Position bestätigt werden, eine exakte Lokalisation der Skala ist jedoch nicht möglich. Eine genaue Unterweisung des Untersuchers in Form einer Schulung zur

korrekten Positionierung des Patienten und zur richtigen Wahl des für die Diagnostik indizierten Zielvolumens, kann hier hilfreich sein.

Das derzeitige Ziel einer möglichst atraumatischen chirurgischen Vorgehensweise bei der Elektrodeninsertion, mit maximaler Erhaltung der intracochleären Strukturen, begründet sich in dem sich erweiternden Indikationsspektrum [25, 27, 60]. Hierzu sollte eine Insertion in die Scala tympani mit einer maximalen Erhaltung und Schonung der intracochleären Strukturen erfolgen. Die Scala tympani besitzt einen etwas größeren Durchmesser als die Scala vestibuli [66] und erlaubt eine Elektrodenposition nahe der Sinneszellen unter dem fragilen Ductus cochlearis. Bei einem Skalenwechsel kann man davon ausgehen, dass es, aufgrund des Durchstoßens der Elektrode durch die zwischen den Skalen liegenden anatomischen Strukturen wie der Basilarmembran und dem darauf sitzenden Corti-Organ, zu einer Verletzung an dieser Stelle kommt .

Eshraghi und Mitarbeiter [21] publizierten eine histologische Klassifizierung zur Einteilung von Insertionstraumata. Eine komplett atraumatische Insertion wurde als Grad 0, eine leichte Anhebung der Basilarmembran als Grad 1, eine Ruptur der Basilarmembran als Grad 2 und eine Elektrodendislokation in die Scala vestibuli als Grad 3 klassifiziert. Eine Fraktur der Lamina spiralis ossea wurde als Grad 4 bewertet. Am lebenden Patienten können durch die Implantation verursachte Traumen bisher nur durch postoperative audiologische Tests abgeschätzt werden. Das mit dem digitalen Volumetomographen erstellte Bildmaterial kann zwar noch nicht eine wie von Eshraghi publizierte Klassifizierung leisten, die Darstellbarkeit eines Skalenwechsels und die damit verbundene Penetration der Basilarmembran lässt jedoch, auch ohne postmortale oder in-vitro durchgeführte histologische Untersuchungen, schon jetzt eine gute Beurteilung des intracochleären Traumas zu. Weitere Entwicklungen zur besseren Darstellung von Weichteilgewebe und der damit verbesserten Visualisierung intracochleärer Traumata, sind für zukünftige Anwendungsgebiete der digitalen Volumetomographie erstrebenswert. Entwicklungen analog zur

Computertomographie mit ihren verschiedenen Hounsfield-Fenstern sind für die Zukunft sinnvoll.

Aschendorff und Mitarbeiter [7] untersuchten in einer Studie zur Qualitätskontrolle nach Cochlea-Implantation die postoperative Lage der Elektroden und verglichen diese mit den Ergebnissen aus dem Freiburger Zahlen- und Einsilbertest sowie dem Oldenburger Satztest. Die Untersuchung ergab ein unerwartet hohes Auftreten von Skala vestibuli Insertionen und Dislokationen von der Skala tympani in die Skala vestibuli. Während eine Insertion in die Skala vestibuli auf die chirurgischen Fähigkeiten mit einer Deplatzierung der Cochleostomie zurückzuführen sei, resultiere eine Dislokation vornehmlich aus den mechanischen Eigenschaften der Elektrode, so die Autoren. Nach einer Optimierung der Position der Cochleostomie konnte dann im weiteren Verlauf eine erhebliche Verbesserung der chirurgischen Ergebnisse erreicht werden. Die besten Ergebnisse im Sprachtest erzielten Patienten mit einer Insertion in die Skala tympani. Penetrationen der Elektrode durch die Basilarmembran gingen mit schlechteren Resultaten einher und Insertionen in die Skala vestibuli demonstrierten unterdurchschnittliche Ergebnisse. Wurde eine Skala tympani Insertion in der Vergangenheit aufgrund der anatomischen Verhältnisse und wegen theoretischer Gesichtspunkten empfohlen [56, 62], zeigen diese Ergebnisse weitere Vorteile für eine Insertion in die Skala tympani.

In der vorliegenden Untersuchung konnten über den gesamten Zeitraum betrachtet 29/46 Elektroden (63%) in der Skala tympani und 10/46 Elektroden (21.7%) in der Skala vestibuli liegend dargestellt werden. Bei 7/46 Elektroden (15.2%) ließ sich mit dem digitalen Volumetomographen ein Skalenwechsel darstellen. Die Ergebnisse zeigen, dass Fehlinsertionen Bestandteil chirurgischen Arbeitens sind. Im Vergleich der beiden Zeiträume konnte jedoch ein deutlicher Zurückgang der Fehlinsertionen und Dislokationen beobachtet werden: Während des ersten Zeitraumes traten in circa 55% der Fälle Fehlinsertionen auf, während des zweiten Zeitraumes sank die Dislokationsrate auf 23%. Verschiedene Ursachen können für die Reduktion der Fehlinsertionen angedacht werden: Der Wechsel des



Operateurs, die Zunahme an Erfahrung des Operateurs aber auch die radiologische Kontrolle des Insertionsergebnisses mit einer Optimierung des chirurgischen Vorgehens können ursächlich für die Optimierung des Ergebnisses sein. Nur wenn das postoperative Versorgungsergebnis evaluiert werden kann, können Rückschlüsse auf die Operationstechniken und deren Erfolgsraten geschlossen werden. Neben der Optimierung des chirurgischen Vorgehens kann die exakte Bildgebung zudem das anatomische Verständnis und das zu erwartende intraoperative Verhalten der Elektrode verbessern. Die postoperative Lagekontrolle mittels DVT kann hier einen sinnvollen Beitrag zur Qualitätskontrolle und zur Weiterbildung des Operateurs leisten.

Intensive Forschung zur optimalen Reizung des Hörnervs stellt einen großen Bestandteil aktueller Studien zur Cochlea-Implantation dar. Neben der Skalenlokalisation wird der Abstand der Elektrode zum Modiolus als Faktor für die Qualität der Hörnervstimulation diskutiert. Die einzelnen Elektroden des Implantats konnten in der vorliegenden Untersuchung mit dem digitalen Volumentomographen voneinander abgegrenzt werden. Dies ermöglicht theoretisch sowohl eine Aussage über die einzelnen Elektrodenabstände zum Modiolus, als auch eine Identifikation der ersten Stimulationselektrode, was für die Bewertung einer vollen Insertion von Bedeutung ist.

In der vorliegenden Untersuchung zeigten die verwendeten Implantate eine je nach Fabrikat typische Elektrodenlage in Bezug zum Modiolus. Die Implantate der Firma Cochlear und Advanced Bionics lagen in allen Fällen modiolusnah. Bei der Insertion einer Cochlear- oder Advanced Bionics Elektrode rollt sich diese zusammen und schmiegt sich an den Modiolus an. Diese elektrodenspezifische Materialeigenschaft erklärt die in allen Fällen evaluierte modiolusnahe Elektrodenlage. Die Elektroden der Firma MED-EL lagen in 57.14% der Fälle modiolusfern, in 42.86% der Fälle modiolusnah. Sie werden ohne ein materialbedingtes Zusammenrollen in die Cochlea inseriert. Die elektrodenspezifischen Materialeigenschaften können hier Erklärungen für den Elektroden-Modiolus-Abstand liefern.

Theoretische Überlegungen nehmen eine Verbesserung des audiologischen Ergebnisses für eine modiolusnahe Elektrodenlage an [56]. Tierversuche [16] und theoretische Rechenmodelle [13] vermuten sowohl geringere Antwortschwellen, als auch eine selektivere Stimulation des jeweiligen Kanals. Fitzgerald und Mitarbeiter [24] konnten jedoch keinen linearen Zusammenhang zwischen dem Elektroden-Modiolus-Abstand und einer verbesserten beziehungsweise verschlechterten Frequenzdiskriminierung herausstellen, vermuten jedoch eine Abhängigkeit der Variablen: Sowohl eine zu nahe als auch eine zu entfernte Elektrodenlage könnte das audiologische Ergebnis verschlechtern. Die digitale Volumetomographie erlaubt ein exaktes Ausmessen der einzelnen Elektroden-Modiolus-Abstände und kann so für weiterführende Fragestellungen hilfreich sein. Abschließende Untersuchungen zur Verifizierung dieser vermuteten Abhängigkeit stehen noch aus und könnten mithilfe der digitalen Volumetomographie zukünftig durchgeführt werden.

Die Reduktion unerwünschter Facialisstimulationen kann ein weiteres Anwendungsgebiet der digitalen Volumetomographie bei der postoperativen Lagekontrolle darstellen. Der Canalis facialis kann gezielt auffindig gemacht und der Abstand des Implantats zu diesem bestimmt werden. Dies ermöglicht die Identifikation der Elektrode mit dem kleinsten Abstand zum Nervus facialis und so eine Darstellung der Ursache der ungewollten Stimulation. Die digitale Volumetomographie kann wichtige Hinweise für die Ursache der Facialisreizung geben und so weitere Behandlungspfade zur Behebung des Problems in Betracht ziehen. Die Wichtigkeit zur zuverlässigen postoperativen Lagekontrolle wird auch hier wieder besonders deutlich.

Eine volle Insertion ist bei der Durchführung einer Cochlea-Implantation erstrebenswert. In der vorliegenden Untersuchung konnte für alle Elektroden eine solche Insertion nachgewiesen werden. Auch wenn eine volle Insertion erstrebenswert ist, sollte beim Auftreten von Widerständen beim Einführen der Elektrode eine Abwägung zwischen der Insertionstiefe und der durch sie möglicherweise hervorgerufenen Traumen erfolgen. Der Effekt der Insertionstiefe

der Elektroden bei Cochlea-Implantatträgern wurde in verschiedenen Studien diskutiert. Die Arbeitsgruppen Skinner [57] und Eyles [22] berichteten über bessere Ergebnisse in den Sprachtests bei Patienten mit tieferer Elektrodeninsertion, Hodges und Mitarbeiter [30] konnten jedoch keinen signifikanten Vorteil für eine besonders tiefe Insertion herausstellen. Die digitale Volumentomographie kann auch hier zukünftig hilfreiche Aussagen über Zusammenhänge zwischen der Insertionstiefe und dem audiologischen Ergebnis liefern.

Der individuelle Hörerfolg eines Patienten nach Cochlea-Implantation darf nicht ausschließlich auf die postoperative intracochleäre Elektrodenlage zurückgeführt werden. Das Ergebnis wird in erheblichem Ausmaß auch von anderen prognostischen Faktoren wie das Alter des Patienten, die Dauer der Ertaubung, die Intensität des postoperativen Trainings sowie psychologischer Faktoren und Intelligenz beeinflusst. Eine exakte Darstellung der intracochleären Elektrodenposition kann jedoch wichtige Aussagen für die klinische Qualitätssicherung liefern, da eine korrekte Position der Stimulationselektrode in der Skala tympani einen günstigen Einfluss auf das Versorgungsergebnis der Cochlea-Implantation hat [7].

Die vorliegende Untersuchung kann mit ihren Ergebnissen aus der Bildgebung abschließend eine Empfehlung zur standardisierten postoperativen Lagekontrolle mittels digitaler Volumentomographie aussprechen. Die digitale Volumentomographie ermöglicht eine Differenzierung zwischen den Skalen, eine Abmessung der einzelnen Elektrodenabstände zum Modiolus und die Darstellung einer vollen Insertion. Aufgrund der noch unzureichenden Darstellbarkeit von Weichteilgewebe kann das durch die Elektrode verursachte intracochleäre Trauma jedoch bisher nur abgeschätzt werden. Weiterentwicklungen zur verbesserten Darstellung von Weichteilgewebe sind deshalb für die digitale Volumentomographie in der Zukunft erstrebenswert.

Da jede röntgenologische Abbildung eines anatomischen Sachverhaltes ein nicht absolut die Realität abbildendes Darstellungsverfahren ist, stellt die genaueste Aussage über den tatsächlichen Zustand die postmortale Lagekontrolle am anatomischen Model dar. Da bei klinisch radiologischen Fragestellungen keine vergleichenden histopathologischen Schnitte zur Verfügung stehen, muss diese Ungenauigkeit der Darstellung in Kauf genommen werden und bei der Bewertung der Ergebnisse gebührend Berücksichtigung finden. Eine verblindete Mehrfachauswertung der DVT-Daten und ein größeres Patientenkollektiv hätten die Evidenz der Ergebnisse bestärken können.

Der Trend zu atraumatischen Operationsmethoden ist bei der modernen Cochlea-Implantation ungebrochen. Das erweiterte Indikationsspektrum stellt besondere Anforderungen an die chirurgische Technik der Cochlea-Implantation. Die Wahrung der intracochleären Integrität ist für ein optimales Versorgungsergebnis von entscheidendem Wert. Die sich anschließenden Abschnitte der vorliegenden Dissertationsschrift befassen sich daher mit den chirurgischen Techniken der Cochlea-Implantation. Hierbei soll zunächst die chirurgische Vorgehensweise dargestellt und anschließend die Ergebnisse der Untersuchung mit den aktuellen Empfehlungen aus der Literatur diskutiert werden.

Die Cochlea-Implantation wird in Intubationsnarkose durchgeführt. Bei der Schnittführung wird unter Berücksichtigung der vaskulären Versorgung [47] eine kurze retroaurikuläre Inzisionslinie gewählt [5]. Nach der Hautinzision erfolgt durch Abschieben der Weichteile die Darstellung des Planum mastoideum. Es folgt die Präparation des Implantatbettes für den Empfänger, wobei eine knöcherne Abtragung entsprechend der Vorlageform des Implantats erfolgt. Hierzu wird der Knochen gegebenenfalls bis auf die Dura abgeschliffen. Das Bett wird in ausreichend weitem Abstand zur Mastoidöffnung angelegt, sodass sowohl die komplette Versenkung des Implantatgehäuses auf das Niveau der Knochenoberfläche ermöglicht wird, als auch ein knöcherner Kanal oder Tunnel zur Mastoidhöhle gebohrt werden kann [36]. Mit dieser Technik wird die aus dem Implantat austretende Elektrode optimal durch die knöcherne Bedeckung

geschützt, sodass mögliche Folgen einer direkten Gewalteinwirkung von außen reduziert werden. Eine stabile und sichere Befestigung des Implantats ist zur Vermeidung einer Dislokation aus seinem Bett und den daraus folgenden Komplikationen, wie zum Beispiel ein Bruch von Elektrodenkabeln, zu gewährleisten [49].

Bei der Mastoidektomie werden als Orientierungspunkte der Sinus sigmoideus, der laterale Bogengang und der kurze Incusfortsatz dargestellt und identifiziert. Vor der Öffnung des Recessus facialis mittels posteriorer Tympanotomie werden die Chorda tympani und der Nervus facialis lokalisiert. Ein intraoperatives Neuromonitoring ist zur Schonung dieser beiden Strukturen hilfreich [31]. Der Chorda-Facialis-Winkel wird so aufgeweitet, dass das distale Ende des langen Incusfortsatzes, das Incus-Stapes Gelenk, die Stapediussehne, das Promontorium und die Rundfensternische zu sehen sind [19]. Während des Bohrens ist die kontinuierliche Spülung zur Entfernung von Knochenstaub und zur Vermeidung von Überhitzung unverzichtbar.

Die Sicht auf das runde Fenster kann durch die variierenden Ausmaße der knöchernen Überhänge der Rundfensternische um bis zu 30% eingeschränkt sein. Ein Abtragen dieser Überhänge kann den Blick auf das runde Fenster um einen Faktor von 1.5 bis 3, bei sehr engen Zugangsverhältnissen sogar bis um das 13-fache erhöhen. Nicht nur für die bessere Darstellbarkeit des runden Fensters, sondern auch für eine geeignete Wahl des Insertionswinkels zur korrekten Scala tympani-Insertion, kann das Abtragen der knöchernen Überhänge von Vorteil sein [55].

Die Lokalisation der Cochleostomie unterliegt noch keinem standardisierten Verfahren [2]. William F. House nutzte in den frühen 1970er Jahren das runde Fenster zur Insertion des Implantats in die Scala tympani [33]. Für das einkanalige Implantat stellte das runde Fenster einen adäquaten Zugang zum Erreichen der ersten wenigen Millimeter des basalen Segments der Cochlea dar. Die Entwicklung mehrkanaliger Elektrodenträger forderte jedoch eine tiefere

Insertion zur Ausnutzung des Tonotopie-Prinzips [32]. Das runde Fenster war für die damaligen Implantate als Zugangsweg zur Cochlea unzulänglich, da durch den Insertionswinkel häufig die Elektrode verbog und starke intracochleäre Traumata resultierten. Folglich wurde nach einer neuen Lokalisation zur Durchführung der Cochleostomie gesucht, um eine lineare Insertion mit möglichst geringem intracochleärem Trauma zu gewährleisten [15].

Aufgrund der überlegenen Ergebnisse im Sprachverständnis sollte die Cochleostomie so angelegt werden, dass die Elektrode in die Skala tympani inseriert wird und intracochleäre Schäden vermieden werden [7]. Anatomische Untersuchungen am Felsenbein postulieren ein vermehrtes Auftreten von Skala tympani-Insertionen, verbunden mit einem geringeren intracochleären Trauma bei Cochleostomien, die inferior oder anterior inferior zum runden Fenster angelegt werden [3]. Die Lokalisation der Cochleostomie unterliegt jedoch noch keinem standardisierten Verfahren und unterscheidet sich stark zwischen den verschiedenen Operateuren [2].

Nach dem Anlegen der Cochleostomie wird die Elektrode vorsichtig mithilfe eines speziellen Instrumentariums durch das Bohrloch in die Cochlea geschoben. Nach der Insertion werden kleine Bindegewebsstücke zur Abdichtung um die Elektrode platziert und die Empfängerspule in dem für sie präparierten Knochenbett befestigt. Die intraoperative Funktionstestung des Implantats mittels telemetrischer Messung ist sinnvoll, darüber hinaus kann die Beobachtung des Stapediusreflexes hilfreich sein [49]. Zur komplikationsfreien primären Wundheilung wird ein mehrschichtiger Wundverschluss vorgenommen und ein Druckverband angelegt, der das Gebiet des M. temporalis sanft der Kalotte annähert und Hämatome oder Serome vermeidet.

In der Literatur finden sich heute viele verschiedene Beschreibungen zur Durchführung der Cochleostomie. Mit Blick auf das Ziel einer atraumatischen Insertion rückt sie immer stärker in den Fokus heutiger Studien [1, 3, 7, 14, 54, 55]. Die präzise Wahl der Cochleostomie und eine exakte Insertion in die Skala

tympani sind wichtige Einflussfaktoren für die Reduktion des durch die Insertion induzierten Zell- und Hörverlusts. Die Cochleostomie sollte deshalb so gewählt werden, dass eine direkte Einführung der Elektrode in die Scala tympani gewährleistet ist und das Risiko für eine Elektrodeninsertion in die Scala vestibuli minimiert wird. Hierfür muss die Anatomie des runden Fensters in seiner Relation zur Basilarmembran, der Scala vestibuli und der Scala tympani für das chirurgische Vorgehen gut verstanden sein. Eine detailgenaue radiologische Darstellung des Felsenbeins, wie sie zum Beispiel mit der digitalen Volumetomographie ermöglicht wird, kann hier für das anatomische Verständnis von großem Vorteil sein.

Adunka und Mitarbeiter [2] zeigten bei einer Befragung von Chirurgen, dass die chirurgischen Techniken der Cochlea-Implantation, besonders die Wahl der Cochleostomie, stark interindividuell variieren. Erfahrenere Chirurgen tendierten zu einer kleineren und stärker inferior oder anterior inferior lokalisierten Cochleostomie. Auch superiore Cochleostomien seien angegeben worden, wobei die Entscheidung für eine solch gewählte Insertion unklar sei. Das Bohren superior der Rundfenstermembran beinhalte ein relativ „blindes“ Vorgehen auf dem Promontorium und berge so ein erhöhtes Risiko für eine Fehlinsertion in die Scala vestibuli oder das Vestibulum. Ein tieferes Bohren könne bis zu einem ungewollten Aufbohren des Modiolus führen. In der vorliegenden Untersuchung wurde in einem Fall eine anterior superiore Cochleostomie gewählt. Die Bildauswertung mit der digitalen Volumetomographie zeigte hierbei eine Insertion in die Scala vestibuli. Der Grund für eine anterior superiore Cochleostomie konnte aus dem entsprechenden Operationsbericht nicht entnommen werden. Die radiologisch evaluierte Scala vestibuli-Insertion lässt sich in Hinblick auf die oben dargestellten anatomischen Verhältnisse mit einer superior durchgeführten Cochleostomie in Verbindung bringen. Eine superior lokalisierte Cochleostomie sollte aufgrund der zu erwartenden Fehllage des Implantats und wegen möglicher Insertionstraumata vermieden werden.

Die Arbeitsgruppe um Adunka [2] zeigt die vorherrschende Tendenz, dass eine Einheitlichkeit bei der Wahl der Cochleostomie noch nicht gegeben ist. Auch in der vorliegenden Untersuchung variierten die Beschreibungen zur Durchführung der Cochleostomie sowohl inter- als auch intraindividuell. Diese Ergebnisse zeigen, dass eine Normierung zur Durchführung der Cochleostomie in der klinischen Praxis noch nicht erfolgt ist. Die postoperative Bildgebung mittels digitaler Volumentomographie ermöglicht wichtige Aussagen über die cochleäre Anatomie und kann durch die radiologische Kontrolle des Ergebnisses eine Optimierung des chirurgischen Vorgehens sichern. Sie ermöglicht eine Korrelation zwischen der gewählten Cochleostomie und dem postoperativen Versorgungsergebnis und kann so einen wichtigen Beitrag zur Qualitätssicherung leisten.

Neben der postoperativen Kontrolle können histopathologische Darstellungen zur Demonstration der cochleären Anatomie und Topographie wichtige Aussagen über die optimale Wahl der Cochleostomie liefern. Um Empfehlungen für eine möglichst atraumatische Cochleostomie darbieten zu können, beschrieben Briggs und Mitarbeiter [14] die komplexe Anatomie des für die Durchführung der Cochleostomie relevanten Bereichs. Die Autoren empfehlen eine Cochleostomie inferior zum runden Fenster nach Abtragen der knöchernen Überhänge. Sie begründen dies durch die anatomische Beziehung der Lamina spiralis ossea und der Basilarmembran zum runden Fenster. Beim Anlegen einer Cochleostomie inferior zum runden Fenster erreiche die Elektrode die Skala tympani ohne die intracochleären Strukturen zu gefährden und Mikotraumata hervorzurufen. Eine rein anteriore Cochleostomie berge das Risiko einer Verletzung der Basilarmembran und erhöhe die Wahrscheinlichkeit einer Insertion in die Skala vestibuli. Eine rein inferiore Cochleostomie sei auch einer anterior inferioren Cochleostomie überlegen, da diese eine atraumatischere Insertion gewährleiste.

Adunka und Mitarbeiter [3] stellten in einer histopathologischen Untersuchung die inferiore Cochleostomie der anterior inferioren Cochleostomie gegenüber. Für alle implantierten Elektroden konnte eine Insertion in die Skala tympani



nachgewiesen werden, wobei alle rein inferior gewählten Cochleostomien atraumatisch waren, die anterior inferioren Cochleostomien jedoch ein signifikant häufigeres Auftreten von intracochleären Traumata aufwiesen. Ein Abriss des unteren Teils des Ligamentum spirale der lateralen Wand der Scala tympani und Frakturen der knöchernen Spirallamina waren histologisch nachweisbar.

Eine zum runden Fenster anterior inferior angelegte Cochleostomie, wie sie auch in dieser Untersuchung aus den Operationsberichten entnommen werden konnte, wird in der Literatur als gebräuchlicher Zugangsweg für die Cochlea-Implantation beschrieben [7, 14]. Auch die von der Arbeitsgruppe Adunka durchgeführte Befragung [2] ergab, dass sich eine Mehrheit der Operateure für eine anterior inferiore oder eine rein inferiore Cochleostomie entscheidet.

In der vorliegenden Untersuchung bezogen sich von Oktober 2002 bis April 2008 nur 4/18 (22.2%) Berichte bei der Beschreibung der Cochleostomie auf die Rundfenstermembran. In zwei dieser Berichte wurde eine anterior inferiore Cochleostomie (11.1%) dokumentiert, eine wie von Briggs [14] und Adunka [3] empfohlene rein inferiore Cochleostomie findet sich in keinem der ausgewerteten Operationsergebnisse. Von April 2008 bis Dezember 2009 wurde in 12/28 Berichten (42.9%) eine inferiore Cochleostomie, in sechs der 28 Berichte (21.4%) eine anterior inferiore Cochleostomie dokumentiert. Die Operationsberichte jüngeren Datums zeigen die vorherrschende Tendenz, dass eine genaue Beschreibung der Cochleostomie bezogen auf die Rundfenstermembran zunehmend in den Blickpunkt des chirurgischen Interesses gerät. Die von Briggs und Mitarbeitern empfohlene inferiore Cochleostomie war mit 42.9% der Fälle die am häufigsten gewählte Lokalisation der Cochleostomie während des Zeitraumes von April 2008 bis Dezember 2009. Das Anlegen einer anterior inferioren Cochleostomie in weiteren 21.4% der Fälle bestätigt, dass eine Cochleostomie inferior des runden Fensters als adäquater Zugangsweg für eine Insertion in die Scala tympani angesehen wird. Die mit der digitalen Volumentomographie evaluierten Skalenlokalisationen zeigten im Vergleich der beiden Zeiträume ein erhöhtes Auftreten von Skala tympani-Insertionen während

des Zeitraumes von April 2008 bis Dezember 2009. Fehlinsertionen traten während des Zeitraumes von Oktober 2002 bis März 2008 häufiger auf als von April 2008 bis Dezember 2009. Für den ersten Zeitraum kann aufgrund der stark variierenden Lokalisationen der Cochleostomien keine Aussage über ein Zusammenhang zwischen der Lokalisation der Cochleostomie und der endgültigen Elektrodenlage getroffen werden. Ab April 2008 wurde insgesamt in 64.3% der Fälle eine Cochleostomie inferior oder anterior inferior zur Rundfenstermembran gewählt. Das Auftreten von Skala tympani-Insertionen in 76.9% der Fälle stellt einen guten Wert dar und lässt auch mit dieser Untersuchung vermuten, dass eine inferiore und anterior inferiore Cochleostomie einen adäquaten Zugangsweg für eine korrekte Insertion der Elektrode in die Skala tympani darstellen kann.

Die Festlegung eines Zusammenhang zwischen der Wahl der Cochleostomie und der endgültigen Elektrodenlage muss in dieser Untersuchung aufgrund der geringen Fallzahl und der nicht standardisiert abgefragten Lokalisationen der Cochleostomien kritisch betrachtet werden. Weiterführende Untersuchungen mit einem größeren Patientenkollektiv und standardisierten Fragebögen sind für ein signifikantes Ergebnis erforderlich. Ferner muss die Analyse des Operationsergebnisses multifaktoriell orientiert sein, da neben dem chirurgischen Vorgehen auch die mechanischen Eigenschaften der Insertionselektrode, die anatomischen Verhältnisse, die dadurch möglichen Einschränkungen des Operationsverlaufs und die interindividuellen Erfahrungen und Fähigkeiten des Operateurs das Ergebnis als mögliche Confounder beeinflussen können.

Die von Briggs [14] und Adunka [3] vorgestellten Ergebnisse aus in-vitro Felsenbeinstudien sollten in Zukunft die Wahl einer anterior inferioren Cochleostomie überdenken lassen, da diese, im Vergleich zur rein inferioren Cochleostomie, mit verstärkten intracochleären Traumata einherging. Aufgrund der eingeschränkten Darstellbarkeit von Weichteilgewebe kann die digitale Volumentomographie intracochleäre Traumata bisher nur durch das Darstellen von Fehllagen abschätzen. Da sowohl eine inferiore als auch eine anterior

inferiore Cochleostomie einen guten Zugangsweg für eine Insertion in die Scala tympani darstellen, gerät die digitale Volumetomographie hier, durch die unzureichende Darstellbarkeit des intracochleären Traumas, an ihre Grenzen. Anatomische oder postmortale Untersuchungen stellen bisher die einzige Möglichkeit zur exakten Darstellung von Mikrotraumen dar. Weitere Entwicklungen zur verbesserten Darstellbarkeit von Weichteilgewebe sowie eine höhere Ortsauflösung sind deshalb in der Zukunft für die digitale Volumetomographie zur verbesserten Abschätzung des intracochleären Traumas erstrebenswert.

Die intraoperative Darstellung der Cochlea, sowohl zur Abschätzung der Morphologie vor der Insertion, als auch zur perioperativen Kontrolle des Positionierungsergebnisses ist für die Zukunft erstrebenswert. Eine von Pau und Mitarbeitern [48] durchgeführte Untersuchung mit Optischer Kohärenz-Tomographie (OCT) konnte zeigen, dass dieses Verfahren eine zuverlässige Darstellung der Cochlea-Morphologie ermöglicht ohne dass dabei das Endost eröffnet werden muss. Die Scala tympani kann so vor der Eröffnung des Innenohres und der Elektrodeninsertion lokalisiert werden. Dieses Verfahren könnte in Zukunft als Orientierungshilfe in der Cochlea-Implantat-Chirurgie zur präzisen Scala tympani Lokalisation vor der Eröffnung des Innenohrs dienen. Auch die digitale Volumetomographie eröffnet für die Zukunft neue Möglichkeiten zur intraoperativen Kontrolle. Bei komplizierten Insertionen, wie sie bei Malformationen oder Obstruktionen des Innenohrs auftreten können, könnte intraoperativ direkt festgestellt werden, ob die Elektrode korrekt inseriert wurde. Auch die Ätiologie eines Insertionshindernisses könnte radiologisch intraoperativ evaluiert werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass die digitale Volumetomographie als klinisches Instrument zur postoperativen Evaluation der Elektrodenträger gut geeignet ist. Sie ermöglicht eine Darstellung von Fehllagen innerhalb der Cochlea und stellt so einen wichtigen Bestandteil der Qualitätskontrolle nach erfolgter Cochlea-Implantation dar. Auch die Nähe zum

Modiolus und die Insertionstiefe können aufgrund der hohen Ortsauflösung, verbunden mit dem geringen Auftreten von Metallartefakten, detailgenau dargestellt werden. Die vorliegende Untersuchung konnte zeigen, dass Fehlinsertionen in die Skala vestibuli und das Auftreten von Skalenwechseln noch immer Bestandteil chirurgischen Arbeitens sind. Das postoperativ erstellte Bildmaterial bietet hier eine wichtige Analysemöglichkeit für die individuelle Fortbildung des Operateurs.

Für eine Insertion in die Skala tympani ist die korrekte Wahl der Cochleostomie von entscheidendem Wert. Eine klare Identifikation des runden Fensters kann eine präzise Wahl der Cochleostomie erleichtern, gegebenenfalls müssen hierfür die knöchernen Überhänge des runden Fensters abgetragen werden. Die vorliegende Untersuchung unterstützt die theoretische Annahme, dass eine inferior zur Rundfenstermembran gewählte Cochleostomie die Wahrscheinlichkeit für eine korrekte Elektrodeninsertion in die Skala tympani erhöht.

## **6 Zusammenfassung**

Die Cochlea-Implantation hat sich zur Methode der Wahl bei der Behandlung von Patienten mit ausgeprägter Innenohrschwerhörigkeit entwickelt. Das Indikationsspektrum hat sich in den letzten Jahren stark erweitert und umfasst neben der Versorgung von Kindern auch Patienten mit funktionellem Restgehör. Auch die bilaterale Versorgung mit einem Cochlea-Implantat gehört zur klinischen Routine in Cochlea-Implantat Zentren.

Eine korrekte Elektrodenlage und die Wahrung der cochleären Integrität sind für die Qualität der Cochlea-Implantat Versorgung entscheidend. Die postoperative radiologische Lagekontrolle ist daher von großem klinischem Interesse. Zur detailgenauen Darstellung von Cochlea-Implantaten werden zunehmend Volumtomographen wie der in dieser Untersuchung verwendete 3D Accu-I Tomo (Morita, Kyoto, Japan) eingesetzt.

Für Patienten mit einer Elektrodeninsertion in die Scala tympani konnten in Sprachtests signifikant bessere Ergebnisse aufgezeigt werden. Die Elektrodenträger eines Cochlea-Implantats sollten demnach in die Scala tympani mit maximaler Schonung der intracochleären Strukturen inseriert werden. Vorangegangene klinische Untersuchungen zeigten jedoch ein relativ hohes Auftreten von Fehlinsertionen in die Scala vestibuli oder das Auftreten von Skalenwechseln.

In der vorliegenden Untersuchung erhielten Patienten, die an der Hals-Nasen-Ohrenklinik Marburg mit einem Cochlea-Implantat versorgt wurden, eine postoperative Lagekontrolle mittels digitaler Volumtomographie. Ziel der Untersuchung war es, die Möglichkeiten der digitalen Volumtomographie zur postoperativen Lage- und Qualitätskontrolle bei Cochlea-Implantat Trägern zu analysieren. Hierzu wurde zunächst überprüft, ob das mit der digitalen Volumtomographie erstellte Bildmaterial eine exakte Skalenlokalisierung mit

einer Differenzierung zwischen der Skala tympani und Skala vestibuli zulässt. Im Rahmen des Post-Processing wurde die Cochlea entlang ihres Verlaufs gestreckt und zum Modiolus orthogonale Schnittbilder erstellt. Eine Differenzierung zwischen den Skalen und die Darstellung von Skalenwechseln waren mit der digitalen Volumtomographie in 88.5% der Fälle möglich. Bewegungs- und Metallartefakte sowie eine zu geringe Ortsauflösung ließen in 11.5% der Fälle eine genaue Skalenlokalisierung nicht zu. 63% der Elektroden konnten der Skala tympani und 21.7% der Skala vestibuli zugeordnet werden. Bei 15.2% der evaluierten Elektroden konnte ein Skalenwechsel aufgezeigt werden.

Neben der Skalenlokalisierung wurden der Abstand des Implantats zum Modiolus und der Eintritt der Elektrode in die Cochlea dargestellt. Die verwendeten Implantate zeigten eine je nach Fabrikat typische Elektrodenlage in Bezug zum Modiolus. Elektroden der Firma Cochlear und Advanced Bionics lagen in allen Fällen modiolusnah, Elektroden der Firma MED-EL lagen in 57.1% der Fälle modiolusfern und in 42.9% der Fälle modiolusnah. Eine Erklärung für diese fabrikatspezifischen Modiolus-Elektroden-Abstände können die elektroden-spezifischen Materialeigenschaften (flexibel oder vorgeformt) liefern. Der Eintritt der Elektrode in die Cochlea konnte mit dem digitalen Volumtomographen dargestellt werden. Hierbei war eine volle Insertion bei allen evaluierten Elektroden nachweisbar. Die exakte Beurteilung der Cochleostomie in Bezug auf die Rundfenstermembran war jedoch aufgrund der nicht zufriedenstellenden Darstellbarkeit von Weichteilgewebe nicht möglich.

In der Zukunft wird die radiologische intraoperative Lagekontrolle zunehmend an Interesse gewinnen. Die digitale Volumtomographie steht aufgrund der weiterentwickelten Technologien mittlerweile auch im Operationssaal zur Verfügung und kann so intraoperativ wichtige Aussagen über die cochleäre Elektrodenposition liefern.

Nach der Auswertung des erstellten Bildmaterials erfolgte eine Durchsicht der Operationsberichte. Das Abtragen knöcherner Überhänge, die klare Identifikation

des runden Fensters, die Durchführung der Cochleostomie, die Insertionstiefe und intraoperative Besonderheiten wurden hierbei analysiert. Die Evaluation der Operationsberichte zeigte, dass die chirurgische Technik der Cochlea-Implantation noch stark inter- und intraindividuell variiert und eine Normierung zur Durchführung der Cochleostomie in der klinischen Praxis noch nicht erfolgt ist. Empfehlungen aus der Literatur zur Durchführung einer inferioren oder anterior inferioren Cochleostomie konnten durch die vorliegende Untersuchung unterstützt werden, da diese Formen der Cochleostomie mit einer hohen Anzahl von Insertionen in die Skala tympani in Verbindung gebracht werden konnten.

Die vorliegende Untersuchung kann mit ihren Ergebnissen eine Empfehlung zur standardisierten postoperativen Lagekontrolle mittels digitaler Volumetomographie aussprechen. Mit der Darstellung von Fehllagen des Implantats innerhalb der Cochlea kann sie entscheidend zur Qualitätskontrolle nach erfolgter Cochlea-Implantation beitragen. Das erstellte Bildmaterial kann als wichtige Analysemöglichkeit zur Fortbildung des Operateurs und der Weiterentwicklung von Elektroenträgern dienen. Zudem kann die audiologische Diagnostik ergänzt und die Einstellung des Implantats optimiert werden. Die digitale Volumetomographie stellt mit einer hohen Ortsauflösung verbunden mit einer geringen Strahlenbelastung ein ausgezeichnetes Instrument zur postoperativen Evaluation von Cochlea-Implantaten dar.

## **7 Abstract**

### **Evaluating Cochlear Implant Electrode Position by Digital Volume Tomography (DVT)**

Cochlear implant surgery is a well established and accepted procedure to reconstitute congenital or acquired deafness. Over the past years the indications for cochlear implantation have expanded and now include patients with leftover hearing and children. To improve the quality of speech understanding, an insertion into the scala tympani with minimized intracochlear trauma is desired. Consequently, an exact imaging and assessment of the postoperative situation of cochlea implants is an important element for the quality control. Against this background the aim of this dissertation was to question the clinical practicability of the DVT to determine the postoperative electrode position.

Previous studies presented a high rate of scala vestibuli insertions and dislocations from scala tympani to scala vestibuli. A scala tympani insertion is highly influenced by a precise and adequate choice for the cochleostomy. Because of that the operation reports have been analysed with special regard to the arranged cochleostomy site.

A total of 49 patients between 11 and 85 years have been analysed from October 2002 to December 2009. The mean age was 49. 26 patients were female, 23 male. Three patients received a bilateral sequentially implantation. In total 52 electrodes have been evaluated. 37 patients received a Cochlear Nucleus System, 8 an Advanced Bionics electrode array and 7 a MED-EL electrode array.

An intracochlear positioning with full insertion of the electrode could be demonstrated in all cases. 46/52 electrodes (88.5 %) could be evaluated relative to their exact intracochlear localisation with a differentiation between scala tympani,



scala vestibuli or a change of scalae. 6/52 electrodes (21.5 %) had to be excluded because of motion artefacts, metal artefacts and deficient picture quality. 29/46 electrodes (63 %) were placed in the scala tympani and 10/46 electrodes (21.7 %) in the scala vestibuli. 7/46 electrodes (15.2 %) showed a dislocation from one scala to another. It was possible to show the single electrodes and their relation to the modiolus.

The operation reports showed a great variability of the choice for cochleostomy site. If the cochleostomy has been arranged more inferior or anterior-inferior to the round window membrane scala tympani insertions increased.

The presented dissertation underlines, that digital volume tomography is a qualified imaging procedure for the postoperative evaluation of cochlear implants. High resolution combined with minimized metal artefacts and a suitable post processing allows an exact localisation of the implant with a determination of the exact scala. This detailed postoperative imaging is a desirable possibility to analyse the individual techniques of the surgeon. Consequently digital volume tomography is an excellent instrument for clinical quality control after cochlear implantation. Further development in soft tissue imaging for an improved evaluation of intracochlear trauma as well as intraoperative examination is desirable for the future.

## 8 Literatur

1. Adunka O, Unkelbach MH, Mack M, Hambek M, Gstoettner W, Kiefer J. Cochlear implantation via the round window membrane minimizes trauma to cochlear structures: a histologically controlled insertion study. *Acta Otolaryngol* 2004; 124: 807–812
2. Adunka O, Buchman C. Scala tympani cochleostomy I: results of a survey. *Laryngoscope* 2007; 117: 2187–2194
3. Adunka O, Radeloff A, Gstoettner W, Pillsbury H, Buchman C. Scala tympani cochleostomy II: topography and histology. *Laryngoscope* 2007; 117: 2195–2200
4. Aschendorff A, Kubalek R, Hochmuth A, Bink A, Kurtz C, Lohnstein P, Klenzner T, Laszig R. Imaging procedures in cochlear implant patients – evaluation of different radiological techniques. *Acta Otolaryngol* 2004; 552: 46–49
5. Aschendorff A, Jaekel K, Schipper J, Maier W, Laszig R, Klenzner T. The freiburg incision for cochlear implantation – initial results. *Laryngorhinootologie* 2005; 84: 408–411
6. Aschendorff A, Kubalek R, Turowski B, Zanella F, Hochmuth A, Schumacher M, Klenzner T, Laszig R. Quality control after cochlear implant surgery by means of rotational tomography. *Otol Neurotol* 2005; 26: 34–37
7. Aschendorff A, Kromeier J, Klenzner T, Laszig R. Quality control after insertion of the nucleus contour and contour advance electrode in adults. *Ear Hear* 2007; 28: 75–79
8. Aschendorff A. Imaging in cochlear implant patients. *Laryngorhinootologie* 2011; 1: 16-21
9. Banfai P. A surgical approach for the cochlear implant. *HNO* 1978; 26: 85–89

10. Bartling S, Gupta R, Torkos A, Dullin C, Eckhardt G, Lenarz T, Becker H, Stöver T. Flat-panel volume computed tomography for cochlear implant electrode array examination in isolated temporal bone specimens. *Otol Neurotol* 2006; 27: 491–498
11. Bremke M, Sesterhenn A, Murthum T, Al Hail A, Al Kadah B, Bien S, Werner JA. Digital volume tomography (dvt) as a diagnostic modality of the anterior skull base. *Acta Otolaryngol* 2008; 31: 1–9
12. Bremke M, Wiegand S, Sesterhenn A, Eken M, Bien S, Werner JA. Digital volume tomography in the diagnosis of nasal bone fractures. *Rhinology* 2009, 47: 126–131
13. Briaire J, Frijns JH. Field patterns in a 3d tapered spiral model of the electrically stimulated cochlea. *Hear Res* 2000; 148: 18–30
14. Briggs R, Tykocinski M, Stidham K, Roberson J. Cochleostomy site: implications for electrode placement and hearing preservation. *Acta Otolaryngol* 2005; 125: 870–887
15. Clark G, Tong Y. A multiple-channel cochlear implant. A summary of results for two patients. *Arch Otolaryngol* 1982; 108: 214–217
16. Cords A, Reuter G, Issing P, Sommer A, Kuzma J, Lenarz T. A silastic positioner for a modiolus-hugging position of intracochlear electrodes: electrophysiologic effects. *Am J Otol* 2000; 21: 212–217
17. Dalchow CV, Weber AL, Bien S, Yanagihara N, Werner JA. Value of digital volume tomography in patients with conductive hearing loss. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2006; 263: 92–99
18. Dalchow C, Weber A, Yanagihara N, Bien S, Werner JA. Digital volume tomography: radiologic examinations of the temporal bone. *AJR Am J Roentgenol* 2006; 186: 416–423
19. Dazert S, Sudhoff H, Hildmann H. Cochlear implantation. In Hildmann H, Sudhoff H, Hrsg. *Middle ear surgery*. Berlin: Springer, 2006: 146-152
20. Deggouj N, Gersdorff M, Garin P, Castelein S, Gérard JM. Today's indications for cochlear implantation. *B-ENT* 2007; 3: 9–14
21. Eshraghi A, Yang N, Balkany T. Comparative study of cochlear damage with three perimodiolar electrode designs. *Laryngoscope* 2003;113: 415–419

22. Eyles JA, Boyle PJ, Burton MJ. Characteristic frequency mapping in subjects using the nucleus 22-channel cochlear implant system with partial and full insertion. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 1995; 166: 356–358
23. Finley CC, Holden TA, Holden LK, Whiting BR, Chole RA, Neely GJ, Hullar TE, Skinner MW. Role of electrode placement as a contributor to variability in cochlear implant outcomes. *Otol Neurotol*. 2008; 7: 920-928.
24. Fitzgerald MB, Shapiro WH, McDonald PD, Neuburger HS, Ashburn-Reed S, Immerman S, Jethanamest D, Roland JT, Svirsky MA. The effect of perimodiolar placement on speech perception and frequency discrimination by cochlear implant users. *Acta Otolaryngol* 2007; 127: 378–383
25. Fraysse B, Dillier N, Klenzner T, Laszig R, Manrique M, Perez C, Morgon AH, Müller-Deile J, Ramos Macias A. Cochlear implants for adults obtaining marginal benefit from acoustic amplification: a European study. *Am J Otol* 1998; 19: 591–597
26. Frija J, de Kerviler E, de Géry S, Zagdanski AM. Computed radiography. *Biomed Pharmacother* 1998; 52: 59–63
27. Gantz BJ, Turner CW. Combining acoustic and electrical hearing. *Laryngoscope* 2003; 113: 1726–1730
28. Hashimoto K, Arai Y, Iwai K, Araki M, Kawashima S, Terakado M. A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row helical ct machine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 95: 371–377
29. Hashimoto K, Kawashima S, Kameoka S, Akiyama Y, Honjaya T, Ejima K, Sawada K. Comparison of image validity between cone beam computed tomography for dental use and multidetector row helical computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2007; 36: 465–471
30. Hodges AV, Villasuso E, Balkany T, Bird PA, Butts S, Lee D, Gomez O. Hearing results with deep insertion of cochlear implant electrodes. *Am J Otol* 1999; 20: 53–55

31. House JR, Luxford WM. Facial nerve injury in cochlear implantation. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1993; 109: 1078–1082
32. House WF, Edgerton BJ. A multiple-electrode cochlear implant. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 1982; 91: 104–116
33. House WF, Urban J. Long term results of electrode implantation and electronic stimulation of the cochlea in man. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1973; 82: 504–517
34. Husstedt HW, Aschendorff A, Richter B, Laszig R, Schumacher M. Nondestructive three-dimensional analysis of electrode to modiolus proximity. *Otol Neurotol* 2002; 23: 49–52
35. Jain R, Mukherji SK. Cochlear implant failure: imaging evaluation of the electrode course. *Clin Radiol* 2003; 58: 288–293
36. Kempf HG, Büchner A, Stöver T. Cochlear implants in adults: indications and realizations. Part I: Diagnosis, operation techniques and results. *HNO* 2003; 51: 591–602
37. Kempf HG, Büchner A, Stöver T. Cochlear implants in adults: indications and realization. Special cases and technical parameters of the implantation systems. *HNO* 2003; 51: 663–75
38. Klein HM, Bohndorf K, Hermes H, Schütz WF, Günther PW, Schlöndorff G. Computed tomography and magnetic resonance imaging in the preoperative work-up for cochlear implantation. *Eur J Radiol* 1992; 15: 89–92
39. Klingmann C, Plinkert PK. New developments in cochlear implantation. *HNO* 2009; 57: 633–634
40. Kurzweg T, Dalchow CV, Bremke M, Majdani O, Kureck I, Knecht R, Werner JA, Teymoortash A. The value of digital volume tomography in assessing the position of cochlear implant arrays in temporal bone specimens. *Ear Hear* 2010; 3: 413-419
41. Lane JJ, Ward H, Witte RJ, Bernstein MA, Driscoll CLW. 3-t imaging of the cochlear nerve and labyrinth in cochlear-implant candidates: 3d fast recovery fast spin-echo versus 3d constructive interference in the steady state techniques. *Am J Neuroradiol* 2004; 25: 618–622

42. Lane JJ, Witte RJ, Driscoll CLW, Shallop JK, Beatty CW, Primak AN. Scalar localization of the electrode array after cochlear implantation: clinical experience using 64-slice multidetector computed tomography. *Otol Neurotol* 2007; 28: 658–662
43. Lofthag-Hansen S, Thilander-Klang A, Ekestubbe A, Helmrot E, Gröndahl K. Calculating effective dose on a cone beam computed tomography device: 3d accuitomo and 3d accuitomo fpd. *Dentomaxillofac Radiol* 2008; 37: 72–79
44. Majdani O, Thews K, Bartling S, Leinung M, Dalchow C, Labadie R, Lenarz T, Heidrich G. Temporal bone imaging: comparison of flat panel volume ct and multisection ct. *Am J Neuroradiol* 2009; 30: 1419–1424
45. Neumann K, Gross M, Bottcher P, Euler HA, Spormann-Lagodzinski M, Polzer M. Effectiveness and efficiency of a universal newborn hearing screening in germany. *Folia Phoniater Logop* 2006; 58: 440–455
46. Obenauer S, Dullin C, Heuser M. Flat panel detector-based volumetric computed tomography (fpvct): performance evaluation of volumetric methods by using different phantoms in comparison to 64-multislice computed tomography. *Invest Radiol* 2007; 42: 291–296
47. Pau HW, Sievert U, Graumüller S, Wild E. Incisions for cochlear implant flaps and superficial skin temperature. Skin temperature/blood circulation in CI flaps. *Otolaryngol Pol* 2004; 58: 713–719
48. Pau HW, Lankenau E, Just T, Hüttmann G. Imaging of Cochlear Structures by Optical Coherence Tomography (OCT). Temporal bone experiments for an OCT-guided cochleostomy technique *Laryngorhinootologie*. 2008; 87: 641-6
49. Praetorius M, Staecker H, Plinkert PK. Surgical technique in cochlear implantation. *HNO* 2009; 57: 663–670
50. Reisser C, Schubert O, Weidauer H. 3-dimensional imaging of temporal bone structures using spiral ct. Initial results in normal temporal bone anatomy. *HNO* 1995; 43: 596–600

51. Richter B, Aschendorff A, Lohnstein P, Husstedt H, Nagursky H, Laszig R. The nucleus contour electrode array: a radiological and histological study. *Laryngoscope* 2001; 111: 508–514
52. Richter B, Aschendorff A, Lohnstein P, Husstedt H, Nagursky H, Laszig R. Clarion 1.2 standard electrode array with partial space-filling positioner: radiological and histological evaluation in human temporal bones. *J Laryngol Otol* 2002; 116: 507–513
53. Roland JT, Fishman AJ, Alexiades G, Cohen NL. Electrode to modiolus proximity: a fluoroscopic and histologic analysis. *Am J Otol* 2000; 21: 218–225
54. Roland PS, Wright CG. Surgical aspects of cochlear implantation: mechanisms of insertional trauma. *Adv Otorhinolaryngol* 2006; 64: 11–30
55. Roland PS, Wright CG, Isaacson B. Cochlear implant electrode insertion: the round window revisited. *Laryngoscope* 2007; 117: 1397–1402
56. Shepherd RK, Hatsushika S, Clark GM. Electrical stimulation of the auditory nerve: the effect of electrode position on neural excitation. *Hear Res* 1993; 66: 108–120
57. Skinner MW, Ketten DR, Holden LK, Harding GW, Smith PG, Gates GA, Neely JG, Kletzker GR, Brunsdan B, Blocker B. Ct-derived estimation of cochlear morphology and electrode array position in relation to word recognition in nucleus-22 recipients. *J Assoc Res Otolaryngol* 2002; 3: 332–350
58. Snyder RL, Middlebrooks JC, Bonham BH. Cochlear implant electrode configuration effects on activation threshold and tonotopic selectivity. *Hear Res* 2008; 235: 23–38
59. Suh MW, Cho EK, Kim BJ, Chang SO, Kim CS, Oh SH. Long term outcomes of early cochlear implantation in Korea. *Clin Exp Otorhinolaryngol* 2009; 2: 120–125
60. Talbot KN, Hartley DEH. Combined electro-acoustic stimulation: a beneficial union? *Clin Otolaryngol* 2008; 33: 536–545.

61. Trimble K, Blaser S, James AL, Papsin BC. Computed tomography and/or magnetic resonance imaging before pediatric cochlear implantation? Developing an investigative strategy. *Otol Neurotol* 2007; 28: 317–324
62. Wysocki J. Dimensions of the human vestibular and tympanic scalae. *Hear Res* 1999, 135: 39–46
63. Xu J, Xu SA, Cohen LT, Clark GM. Cochlear view: postoperative radiography for cochlear implantation. *Am J Otol* 2000, 21: 49–56
64. Zeng FG. Trends in cochlear implants. *Trends Amplif* 2004; 8: 1–34
65. Zinreich SJ, Mattox DE, Kennedy DW, Johns ME, Price JC, Holliday MJ, Quinn CB, Kashima HK. 3-d ct for cranial facial and laryngeal surgery. *Laryngoscope* 1998; 98: 1212–1219
66. Zrunek M, Lischka M, Hochmair-Desoyer I, Burian K. Dimensions of the scala tympani in relation to the diameters of multichannel electrodes. *Arch Otorhinolaryngol* 1980; 229: 159–165



## 9 Anhang

### 9.1 Tabelle 1 Auswertung der digitalen Volumentomographie

ST = Skala tympani; SV = Skala vestibuli; SW = Skalenwechsel; NL = nicht lokalisierbar;  
ROI = Region of interest

Patient	Datum	Firma	Impl Seite	Artefakte	Skala	Modiolus	Vollständige Insertion
1	04.10.2002	Cochlear	rechts	-	SW (ST-SV)	nah	ja
2	15.08.2003	Cochlear	rechts	-	SV	nah	ja
3	29.06.2004	Advanced Bionics	rechts	-	SW (ST-SV)	nah	ja
4	25.02.2005	Cochlear	rechts	-	ST	nah	ja
5	24.03.2005	Cochlear	links	-	SV	nah	ja
6	08.12.2005	Advanced Bionics	links	-	SV	nah	ja
7	13.12.2005	Cochlear	rechts	-	ST	nah	ja
8	06.01.2006	Advanced Bionics	rechts	-	ST	nah	ja
9	11.01.2006	Cochlear	rechts	-	SV	nah	ja
10	23.01.2006	Advanced Bionics	links	-	SW (ST-SV)	nah	ja
11	25.01.2006	Advanced Bionics	rechts	-	SV	nah	ja
12	26.01.2006	Cochlear	links	Bewegungs- artefakte	NL	NL	ja
13	16.02.2006	Advanced Bionics	rechts	-	ST	nah	ja
14	21.07.2006	Advanced Bionics	rechts	-	SV	nah	ja
15	27.07.2006	Cochlear	rechts	-	ST	nah	ja
16	10.08.2006	Cochlear	links	-	ST	nah	ja
17	16.08.2006	Cochlear	rechts	-	SV	nah	ja
18	06.08.2007	Cochlear	links	-	ST	nah	ja
19	30.08.2007	Cochlear	rechts	-	ST	nah	ja
20	15.10.2007	Cochlear	rechts	ROI von 80x80 mm	NL	NL	ja
21	21.11.2007	Cochlear	links	-	SW (ST-SV)	nah	ja
22	10.12.2007	Cochlear	rechts	-	ST	nah	ja
23	03.01.2008	Cochlear	links	Bewegungs- artefakte	NL	NL	ja
24	16.04.2008	Cochlear	rechts	-	SW (ST-SV)	nah	ja
25	13.05.2008	Cochlear	rechts	-	ST	nah	ja
26	15.07.2008	Cochlear	rechts	-	SV	nah	ja

Patient	Datum	Firma	Impl Seite	Artefakte	Skala	Modiolus	Vollständige Insertion
27	18.07.2008	Cochlear	links	-	ST	nah	ja
28	03.09.2008	Cochlear	rechts	-	ST	nah	ja
29	06.12.2008	Cochlear	links	-	ST	nah	Ja
30	14.01.2009	Cochlear	links	Metall- artefakte	NL	NL	ja
31	21.1.2009	Cochlear	rechts	-	ST	nah	ja
32	29.01.2009	Cochlear	links	-	ST	nah	ja
33	10.02.2009	MED-EL	rechts	-	SV	fern	ja
34	16.02.2009	Cochlear	rechts	-	ST	nah	ja
35	17.02.2009	MED-EL	rechts	-	ST	fern	ja
36	02.03.2009	Cochlear	rechts	-	ST	nah	ja
37	12.03.2009	Cochlear	rechts	-	SW (ST-SV-ST)	nah	ja
38	15.04.2009	MED-EL	rechts	-	ST	fern	ja
39	23.04.2009	Cochlear	rechts	-	ST	nah	ja
40	24.04.2009	Advanced Bionics	links	-	ST	nah	ja
41	02.06.2009	Cochlear	links	-	SV	nah	ja
42	03.07.2009	MED-EL	rechts	-	ST	nah	ja
43	20.07.2009	MED-EL	links	-	ST	fern	ja
44	31.08.2009	Cochlear	rechts	-	ST	nah	ja
45	18.09.2009	Cochlear	links	-	ST	nah	ja
46	22.09.2009	Cochlear	links	-	ST	nah	ja
47	30.09.2009	MED-EL	links	-	SW (ST-SM-ST)	nah	ja
48	08.10.2009	MED-EL	links	-	ST	nah	ja
49	12.10.2009	Cochlear	links	Bewegungs- artefakte	NL	NL	ja
50	22.10.2009	Cochlear	links	-	ST	nah	ja
51	29.10.2009	Cochlear	links	Bewegungs- artefakte	NL	NL	ja
52	02.12.2009	Cochlear	links	-	ST	nah	ja

## 9.2 Tabelle 2 Auswertung der Operationsberichte

ST = Skala tympani; SV = Skala vestibuli; SW = Skalenwechsel; NL = nicht lokalisierbar

Patient	Datum	Firma	Impl. Seite	Skala	knöcherne Überhänge	Identifikation des runden Fensters	Cochleostomie	Insertionstiefe	Komplikationen
1	04.10.2002	Cochlear	rechts	SW (ST-SV)	keine Angaben	nach Resektion des sehr hoch stehenden Musculus stapedius gute Einsicht der Rundfensternische	Aufsuchen der basalen Windung und Eröffnung der Skala tympani	volle Insertion	
2	15.08.2003	Cochlear	rechts	SV	keine Angaben	klare Identifikation	von gewohnter posteriorer Operationsposition aus Eröffnung der Scala tympani	volle Insertion	
3	29.06.2004	Advanced Bionics	rechts	SW (ST-SV)	keine Angaben	klare Identifikation	von gewohnter posteriorer Operationsposition aus	volle Insertion	enge posteriore Tympanotomie durch weit lateral verlaufenden Nervus facialis, aufgrund dessen nur manuelles Einführen der Elektrode ohne Zuhilfenahme des Insertionstools
4	25.02.2005	Cochlear	rechts	ST	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden
5	24.03.2005	Cochlear	links	SV	keine Angaben	keine Angaben	von gewohnter posteriorer Operationsposition aus, Darstellung des Endosts der Scala tympani	volle Insertion	
6	08.12.2005	Advanced Bionics	links	SV	keine Angaben	keine Angaben	von gewohnter posteriorer Operationsposition aus, Darstellung des Endosts der Cochlea	volle Insertion	

Patient	Datum	Firma	Impl. Seite	Skala	knöchernen Überhänge	Identifikation des runden Fensters	Cochleostomie	Insertionstiefe	Komplikationen
7	13.12.2005	Cochlear	rechts	ST	keine Angaben	klare Identifikation	von gewohnter posteriorer Operationsposition aus, Darstellung des Endosts der Skala tympani	volle Insertion	
8	06.01.2006	Advanced Bionics	rechts	ST	keine Angaben	keine Angaben	von gewohnter posteriorer Operationsposition aus, Eröffnung der Skala tympani	volle Insertion	
9	11.01.2006	Cochlear	rechts	SV	keine Angaben	klare Identifikation	von gewohnter posteriorer Operationsposition aus, Darstellung des Endostes der Cochlea	volle Insertion	
10	23.01.2006	Advanced Bionics	links	SW (ST-SV)	keine Angaben	klare Identifikation	von gewohnter posteriorer Operationsposition aus, Darstellung des Endostes der Cochlea	volle Insertion	
11	25.01.2006	Advanced Bionics	rechts	SV	keine Angaben	keine Angaben	von gewohnter posteriorer Seite her Durchführung der Cochleostomie anterior der Rundfenstermembran, dann Darstellung des Endostes der Skala tympani	volle Insertion	
12	26.01.2006	Cochlear	links	NL	keine Angaben	klare Identifikation	von gewohnter posteriorer Operationsposition aus, Darstellung des Endosts der Scala tympani, Eröffnen der Skala tympani	volle Insertion	
13	16.02.2006	Advanced Bionics	rechts	ST	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden

Patient	Datum	Firma	Impl. Seite	Skala	knöchernen Überhänge	Identifikation des runden Fensters	Cochleostomie	Insertionstiefe	Komplikationen
14	21.07.2006	Advanced Bionics	rechts	SV	keine Angaben	klare Identifikation	anterior superior zur Rundfenstermembran	volle Insertion	veränderte Anatomie mit sehr engen Zugangsverhältnissen zum Mittelohr, Chordaresektion zur Durchführung der Cochleostomie erforderlich
15	27.07.2006	Cochlear	rechts	ST	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden
16	10.08.2006	Cochlear	links	ST	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden
17	16.08.2006	Cochlear	rechts	SV	keine Angaben	keine Angaben	von gewohnter posteriorer Operationsposition aus, Darstellung des Endostes der Cochlea	volle Insertion	
18	06.08.2007	Cochlear	links	ST	keine Angaben	klare Identifikation	keine genauen Angaben zur Durchführung der Cochleostomie	volle Insertion	
19	30.08.2007	Cochlear	rechts	ST	keine Angaben	klare Identifikation	anterior inferior der Rundfenstermembran	volle Insertion	
20	15.10.2007	Cochlear	rechts	NL	keine Angaben	keine Angaben	Komplizierte Cochleostomie durch otosklerotische Herde in der basalen Cochleawindung, die diese komplett verschließen; Eröffnung der Skala vestibuli	volle Insertion	

Patient	Datum	Firma	Impl. Seite	Skala	knöchernen Überhänge	Identifikation des runden Fensters	Cochleostomie	Insertionstiefe	Komplikationen
21	21.11.2007	Cochlear	links	SW (ST-SV)	keine Angaben	klare Identifikation	anterior inferior der Rundfenstermembran	volle Insertion	Nach Entfernung der Hülse im Bereich der Elektrode fehlt eine Abwicklung im cranialen Bereich, sodass eine neue Elektrode eingesetzt wird, daraufhin problemloses Einführen der zweiten Elektrode.
22	10.12.2007	Cochlear	rechts	ST	keine Angaben	klare Identifikation	anterior inferior der Rundfenstermembran	volle Insertion	
23	03.01.2008	Cochlear	links	NL	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden
24	16.04.2008	Cochlear	rechts	SW (ST-SV)	keine Angaben	klare Identifikation	Identifikation der Scala tympani	volle Insertion	
25	13.05.2008	Cochlear	rechts	ST	keine Angaben	klare Identifikation	anterior inferior zur Rundfenstermembran	volle Insertion	
26	15.07.2008	Cochlear	rechts	SV	keine Angaben	Aufsicht auf das runde Fenster ist nur im cranialsten Anteil möglich. Somit ist die durchzuführende Cochleostomie nur anterior möglich	anterior zur Rundfenstermembran	volle Insertion	Schwieriges Einführen der Elektrode mit Erreichen der lateralen Wand. Beim Zurückziehen des Stilets mehr Kraftaufwand nötig um das Stilet zu ziehen.
27	18.07.2008	Cochlear	links	ST	keine Angaben	klare Identifikation ist nur im oberen Anteils des runden Fensters möglich	anterior zur Rundfenstermembran	volle Insertion	

Patient	Datum	Firma	Impl. Seite	Skala	knöchernen Überhänge	Identifikation des runden Fensters	Cochleostomie	Insertionstiefe	Komplikationen
28	03.09.2008	Cochlear	rechts	ST	abgetragen	klare Identifikation	anterior inferior zur Rundfenstermembran	volle Insertion	Chordaverlust
29	06.12.2008	Cochlear	links	ST	keine Angaben	Der Aufblick auf das runde Fenster ist nur tangential möglich, da dieses in seiner Achse nach vertikal gedreht ist.	anterior inferior zur Rundfenstermembran	volle Insertion	
30	14.01.2009	Cochlear	links	NL	abgetragen	klare Identifikation	anterior inferior zur Rundfenstermembran	volle Insertion	
31	21.1.2009	Cochlear	rechts	ST	abgetragen	klare Identifikation	inferior zur Rundfenstermembran	volle Insertion	
32	29.01.2009	Cochlear	links	ST	abgetragen	klare Identifikation	inferior zur Rundfenstermembran unter Einbeziehung des runden Fensters	volle Insertion	
33	10.02.2009	MED-EL	rechts	SV	abgetragen	klare Identifikation	inferior zur Rundfenstermembran mit Einbeziehung des runden Fensters	volle Insertion	sehr enger Chorda-Fazialis-Winkel
34	16.02.2009	Cochlear	rechts	ST	abgetragen	klare Identifikation	inferior zur Rundfenstermembran unter Einbeziehung des runden Fensters	volle Insertion	
35	17.02.2009	MED-EL	rechts	ST	keine Angaben	keine Angaben	inferior zur Rundfenstermembran unter Einbeziehung des runden Fensters	volle Insertion	

Patient	Datum	Firma	Impl. Seite	Skala	knöchernen Überhänge	Identifikation des runden Fensters	Cochleostomie	Insertionstiefe	Komplikationen
36	02.03.2009	Cochlear	rechts	ST	abgetragen	klare Identifikation	inferior zur Rundfenstermembran	volle Insertion	
37	12.03.2009	Cochlear	rechts	SW (ST-SV-ST)	abgetragen	klare Identifikation	inferior zur Rundfenstermembran	volle Insertion	
38	15.04.2009	MED-EL	rechts	ST	abgetragen	klare Identifikation	inferior zur Rundfenstermembran	volle Insertion	
39	23.04.2009	Cochlear	rechts	ST	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	kein Op-Bericht vorhanden	volle Insertion	kein Op-Bericht vorhanden
40	24.04.2009	Advanced Bionics	links	ST	abgetragen	klare Identifikation	inferior zur Rundfenstermembran unter Einbeziehung des runden Fensters	volle Insertion	
41	02.06.2009	Cochlear	links	SV	keine Angaben	klare Identifikation	Cochleostomie der vorherigen Implantation	volle Insertion	Revisions-OP
42	03.07.2009	MED-EL	rechts	ST	abgetragen	klare Identifikation	erweiterte Rundfensterinsertion	volle Insertion	
43	20.07.2009	MED-EL	links	ST	abgetragen	klare Identifikation	erweiterte Rundfensterinsertion	volle Insertion	
44	31.08.2009	Cochlear	rechts	ST	abgetragen	das runde Fenster ist nach horizontal gedreht, nur der vordere Anteil des runden Fensters kann sicher identifiziert werden	keine genauen Angaben	volle Insertion	



Patient	Datum	Firma	Impl. Seite	Skala	knöchernen Überhänge	Identifikation des runden Fensters	Cochleostomie	Insertionstiefe	Komplikationen
45	18.09.2009	Cochlear	links	ST	abgetragen	klare Identifikation	inferior zur Rundfenstermembran unter Einbeziehung des runden Fensters im vorderen Anteil	volle Insertion	
46	22.09.2009	Cochlear	links	ST	keine Angaben	keine Angaben	Cochleostomie der vorherigen Implantation	volle Insertion	Revisions-OP wegen Gerätedefekts
47	30.09.2009	MED-EL	links	SW (ST-SM-ST)	abgetragen	klare Identifikation	inferior zur Rundfenstermembran unter Einbeziehung des runden Fensters	volle Insertion	
48	08.10.2009	MED-EL	links	ST	abgetragen	klare Identifikation	anterior inferior zur Rundfenstermembran unter Einbeziehung des runden Fensters	volle Insertion	
49	12.10.2009	Cochlear	links	NL	abgetragen	klare Identifikation	inferior zur Rundfenstermembran unter Einbeziehung des runden Fensters	volle Insertion	
50	22.10.2009	Cochlear	links	ST	abgetragen	klare Identifikation	anterior inferior zur Rundfenstermembran unter Einbeziehung des runden Fensters	volle Insertion	
51	29.10.2009	Cochlear	links	NL	abgetragen	klare Identifikation	keine genauen Angaben	volle Insertion	
52	02.12.2009	Cochlear	links	ST	abgetragen	klare Identifikation	Erweiterte Rundfensterinsertion	volle Insertion	

## 10 Meine akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren  
Universitätsprofessoren und Dozenten in Marburg:

Dr. Adamkiewicz	Prof. Dr. Dr. Mueller
Prof. Dr. Basler	Prof. Dr. Mutters
Prof. Dr. Baum	Prof. Dr. Neumüller
Prof. Dr. Becker	Prof. Dr. Oertel
Prof. Dr. Czubayko	Prof. Dr. Plant
Prof. Dr. Dr. Daut	Prof. Dr. Renz
Prof. Dr. Dr. Dettmeyer	Prof. Dr. Richter
Prof. Dr. Eilers	Prof. Dr. Rothmund
Dr. Feuser	Prof. Dr. Röhm
Prof. Dr. Fuchs-Winkelmann	Prof. Dr. Ruchholtz
Prof. Dr. Grzeschik	Prof. Dr. Schäfer
Dr. Grundmann	Prof. Dr. Sekundo
Prof. Dr. Hertl	Prof. Dr. Vogelmeier
Prof. Dr. Hofmann	Prof. Dr. Wagner
Prof. Dr. Jacob	Prof. Dr. Werner
Prof. Dr. Kann	Prof. Dr. Wulf
Prof. Dr. Klose	
Prof. Dr. Koolman	
Prof. Dr. Kruse	
Prof. Dr. Lill	
Prof. Dr. Lohoff	
Prof. Dr. Maier	
Dr. Dr. Mandrek	
Prof. Dr. Moll	

## 11 Danksagung

Ich danke meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. J. A. Werner für die Ermöglichung dieser Arbeit, für seine Unterstützung, Motivation und Förderung.

Herrn Doktor Bremke danke ich für seine große Hilfsbereitschaft und hervorragende Betreuung.

Ich danke Herrn Dr. Weiß und Herrn Dr. Güldner für ihr Engagement, mich bei fachspezifischen Fragestellungen zu unterstützen.

Herrn Prof. Dr. S. Bien, Direktor der Abteilung für Neuroradiologie, UKGM, Standort Marburg, sei, wie auch seinem Team, herzlich gedankt für die Hilfe bei der Befundung der Bildgebung.

Ich danke meinen Freunden und Geschwistern, welche mich mit ihrer Hilfsbereitschaft und Freundschaft während meines gesamten Studiums bereichert und unterstützt haben.

Meiner Schwester Johanna danke ich für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Ein besonderer Dank geht an meine Eltern: Mit Eurer ausnahmslosen Unterstützung und Förderung habt ihr mir die nötige Sicherheit und Ruhe für mein Studium und die Realisation dieser Arbeit gegeben.