

# Roboterassistierte Cochlea-Implantation

**Prof. Dr. med. Marco Caversaccio<sup>a,b</sup>; Wilhelm Wimmer<sup>a,b</sup>, PhD; Tom Williamson<sup>b</sup>, PhD; Juan Anso<sup>b</sup>; Manuel Stebinger<sup>b</sup>; Arne Feldmann<sup>c</sup>; Christoph Rathgeb<sup>b</sup>; Nicolas Gerber<sup>b</sup>, PhD; Dr. med. Franca Wagner<sup>d</sup>; Prof. Dr. sc. techn. Dr. med. Martin Kompis<sup>a</sup>; Dr. med. Georgios Mantokoudis<sup>a</sup>; Kate Gerber<sup>b</sup>, PhD; Prof. Dr.-Ing. Stefan Weber<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, Kopf- und Halschirurgie, Inselspital Bern; <sup>b</sup> ARTORG Center for Biomedical Engineering Research, Universität Bern; <sup>c</sup> Institut für chirurgische Technologien und Biomechanik, Universität Bern; <sup>d</sup> Universitätsklinik für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie, Inselspital Bern

Im Sommer 2016 wurde in der Schweiz doppelt Tunnelbohrgeschichte geschrieben. Neben der feierlichen Eröffnung des Gotthard-Basistunnels konnte in Bern in gänzlich anderen Größenordnungen eine weitere Weltpremiere gefeiert werden: die erste roboterassistierte Cochlea-Implantation am Patienten.



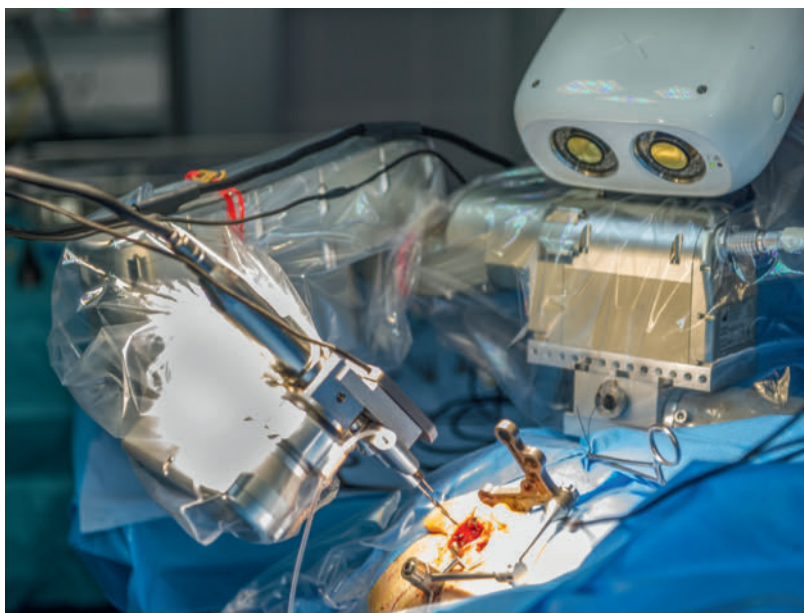
Marco Caversaccio

## Cochlea-Implantat

Das Cochlea-Implantat ist eine Hörprothese, die den Hörnerv mit elektrischen Impulsen zur Vermittlung von Höreindrücken stimuliert. Cochlea-Implantate kommen vorrangig bei beidseitig ertaubten Patienten, die nur wenig oder überhaupt nicht mehr von Hörgeräten profitieren können, zur Anwendung. In der Schweiz werden pro Jahr rund 200 dieser Hörprothesen im Zuge einer Cochlea-Implantation eingesetzt.

## Schlüssellochchirurgie am Ohr

Die roboterassistierte Cochlea-Implantation stellt die Übertragung des Prinzips der Schlüssellochchirurgie auf Eingriffe am Ohr dar. Dabei wird mit Hilfe eines Roboters im Schläfenbein ein kleiner Zugangstunnel (1,8 mm Durchmesser) direkt zum Innenohr des Patienten gebohrt. Neben den allgemeinen Vorteilen eines minimalinvasiven Zuganges, wie kleineren Hautschnitten und einer reduzierten Wundheilungszeit, können speziell die Luftzellen des Mastoids durch die Vermeidung einer Mastoidektomie erhalten werden. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit zur Optimierung des Einführwinkels des Elektrodenträgers im Bezug zur Cochlea. Bislang konnten aufgrund der durch die Anatomie des Schläfenbeins vorgegebenen hohen Sicherheits- und Genauigkeitsanforderungen derzeit erhältliche Navigationssysteme nicht für einen solchen Eingriff verwendet werden. Aus diesem Grund wurde in Bern in mehrjähriger Forschungsarbeit ein System zur roboterassistierten Cochlea-Implantation entwickelt (Abb. 1) [1].



**Abbildung 1:** Das in Bern entwickelte System zur roboterassistierten Cochlea-Implantation im klinischen Einsatz.

## Technologie

Die Anwendung des neuartigen Systems stellt eine veränderte Situation für Chirurgen dar, da die Operation in gewisser Weise schon vor dem eigentlichen Eingriff stattfindet: Zunächst werden virtuell anhand eines Bildgebungsdatensatzes alle für die Bohrung kritischen Strukturen im Schläfenbein (u. a. der Gesichtsnerv, die Chorda tympani und die Ossikel) mittels einer Pla-

nungssoftware identifiziert. Darauf aufbauend wird eine Bohrtrajektorie von der Oberfläche des Mastoids bis zum Ziel an der Cochlea (in der Regel das runde Fenster) bestimmt. Nach abgeschlossener Planung wird die Bohrung von einem tragbaren Robotikarm, der direkt am Operationstisch befestigt ist, am Patienten durchgeführt. Um die Integrität der anatomischen Strukturen während des Bohrvorganges zu gewährleisten, kommen gleichzeitig mehrere Sicherheitsmechanismen zum Tragen. Das System bestimmt die Position des Bohrers mittels eines präzisionsoptischen Navigationssystems und ist in der Lage, im Knochen mit einer Genauigkeit im Sub-Millimeter-Bereich ( $0,15 \pm 0,08$  mm) zu bohren. Gleichzeitig ermittelt ein davon unabhängiges Verfahren die Bohrerposition durch ständiges Abgleichen der auftretenden Bohrkräfte mit der Dichteverteilung im Knochen, wie sie aus präoperativem Bildmaterial extrahiert werden kann [2]. Um Schäden durch überhöhte Temperaturen zu vermei-

den, wird die Wärmeentwicklung durch eine spezielle Bohrergeometrie und ein adaptives Bohrprotokoll auf ein Minimum reduziert [3]. Die Funktion des Gesichtsnervs wird in der kritischen Phase, das heisst beim Passieren des Nerven, mit einer selbst entwickelten Neuro-monitoring-Sonde überprüft [4]. Schlussendlich kann der korrekte Verlauf des Tunnels mittels intraoperativer Bildgebung kontrolliert werden.

### Integration in klinische Arbeitsabläufe

Neben der Sicherheit bei der roboterassistierten Cochlea-Implantation muss eine einwandfreie Integration der Arbeitsabläufe in die klinischen Routineprozesse beachtet werden (Abb. 2). Damit die hohe Bohrgenauigkeit erreicht werden kann, werden beim Patienten retroaurikulär vier kleine Knochenschrauben als künstliche Referenzen eingesetzt. Auf Basis einer Computertomographie (CT) mit den Schrauben wird anschliessend die Planung des Eingriffes durchgeführt, zeitgleich wird der Patient für den Eingriff auf dem Operationstisch gelagert. Der eigentliche Bohrvorgang kann in kurzer Zeit (ca. 8 min) ausgeführt werden. Nach Fertigstellung der Bohrung werden die Knochenschrauben wieder entfernt. Da sich das System noch in der klinischen Erprobungsphase befindet, wird zum Einführen des Elektrodenträgers ein tympanomeataler Lappen als Hilfszugang gebildet [5]. Durch denselben retroaurikulären Einschnitt wird das Implantatbett vorbereitet, das Cochlea-Implantat fixiert und der Elektrodenträger mit einem Führungsröhrchen durch den Tunnel direkt von aussen in die Cochlea eingeführt.

### Erste Anwendung am Patienten

Das robotische System wurde am 14. Juli 2016 im Rahmen einer klinischen Machbarkeitsstudie (genehmigt durch die Kantonale Ethikkommission Bern und die Swissmedic) erstmals an einer beidseitig ertauhten Patientin für eine Cochlea-Implantation auf der rechten Seite eingesetzt. Bei der Patientin wurde vorgängig die Funktion des Gesichtsnervs getestet. Der komplette Eingriff erfolgte in Generalanästhesie. Der Bohrvorgang wurde gemäss des Arbeitsprotokolls durchgeführt, wobei die korrekte Bohrrichtung mittels intraoperativer Bildgebung bestätigt wurde. Danach wurde das runde Fenster dargestellt und der Elektrodenträger in die Cochlea eingeführt. Zur Bestätigung der korrekten Lage und Funktion des Implantates wurden abschliessend die routinemässige Telemetrie (Impedanzen und elektrisch evozierte Summenaktionspotentiale) sowie die Bildgebung mittels digitaler Volumentomographie durchgeführt (Abb. 3). Postoperativ konnten keine Beeinträchti-

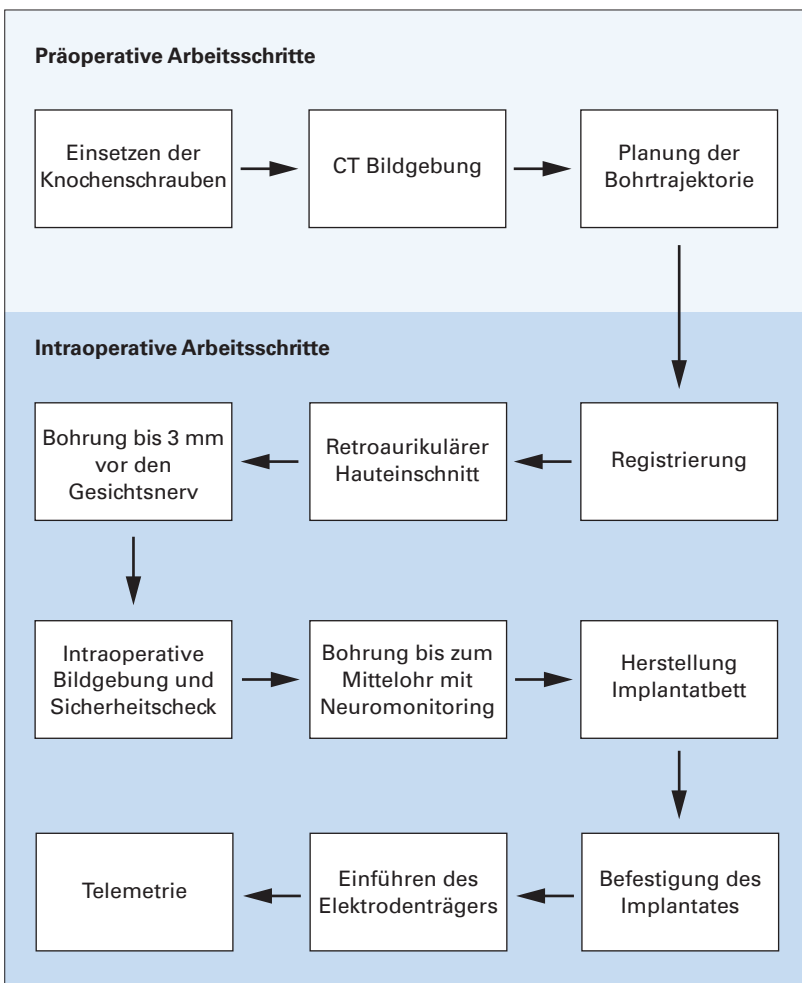
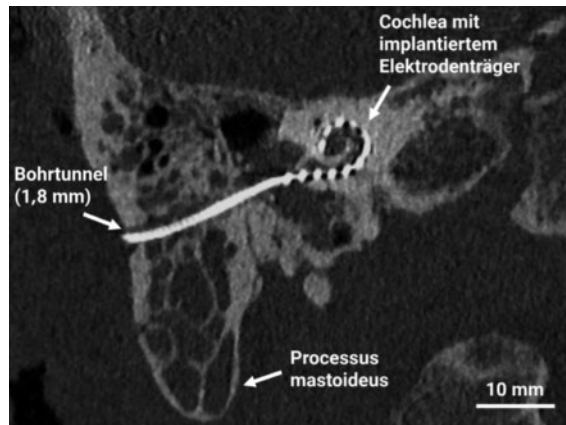


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Arbeitsabläufe bei der roboterassistierten Cochlea-Implantation. CT = Computertomographie.



**Abbildung 3:** Postoperative Computertomographie des Schläfenbeins der ersten Patientin mit Darstellung des Bohrtunnels und des eingeführten Elektrodenträgers.

gungen bei der Funktion des Nervus facialis festgestellt werden. Die Patientin hat mittlerweile den zweiten Anpassungstermin abgeschlossen und erzielt bereits gute Erfolge beim Sprachverstehen.

### Fazit und Ausblick

Die roboterassistierte Cochlea-Implantation stellt eine vollständig neuartige Form der Chirurgie mit potenti-

ellen Anwendungen in anderen Gebieten dar. In den nächsten Jahren sind internationale Studien mit dem System zur Belegung der Wirksamkeit sowie zur Evaluation des Kosten-Nutzen-Verhältnisses geplant. Zusätzlich stellt das System neue Herausforderungen an die Akzeptanz bei den Chirurgen und der Bevölkerung.

#### Disclosure statement

Die Autoren bedanken sich bei allen institutionellen und privatwirtschaftlichen Förderern, die die Forschung in der Vergangenheit überaus grosszügig unterstützt haben. Stellvertretend für eine Vielzahl soll hier dem Schweizer Nationalfonds SNF, der Schweizerischen Kommission für Technologie und Innovation (KTI), der Europäischen Kommission sowie der Firma Med-El gedankt werden.

#### Literatur

- 1 Bell B, Gerber N, Williamson T, et al. In vitro accuracy evaluation of image-guided robot system for direct cochlear access. *Otol Neurotol.* 2013;34:1284–90.
- 2 Williamson T, Bell BJ, Gerber N, et al. Estimation of tool pose based on force-density correlation during robotic drilling. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2013;60:969–76.
- 3 Feldmann A, Wandel J, Zysset. Reducing temperature elevation of robotic bone drilling. *Med Eng Physics.* 2016;38:1495–1504.
- 4 Ansó J, Dür C, Gavaghan K, et al. A Neuromonitoring Approach to Facial Nerve Preservation During Image-guided Robotic Cochlear Implantation. *Otol Neurotol.* 2016;37:89–98.
- 5 Wimmer W, Bell B, Huth ME, et al. Cone beam and micro-computed tomography validation of manual array insertion for minimally invasive cochlear implantation. *Audiol Neurootol.* 2014;19:22–30.

Korrespondenz:  
 Wilhelm Wimmer, PhD  
 Universität Bern  
 Murtenstrasse 50  
 CH-3008 Bern  
[wilhelm.wimmer\[at\]artorg.unibe.ch](mailto:wilhelm.wimmer[at]artorg.unibe.ch)