

HNO

<https://doi.org/10.1007/s00106-025-01628-x>

Angenommen: 19. März 2025

© The Author(s) 2025



Empfehlungen zur Auswahl von Zielparametern und Prozessempfehlungen bei audiologisch-technischen Funktionsprüfungen des Cochlea-Implantats

Erarbeitet von der Arbeitsgruppe ERA (AG-ERA) der ADANO in Kooperation mit dem Fachausschuss „Cochlea-Implantate und implantierbare Hörsysteme“ der DGA. Bestätigt vom Vorstand der ADANO am 31.01.2025.

Alexander Müller¹ · M. Blümer² · O. C. Dziemba³ · A. Elsholz² · L. Fröhlich⁴ · U. Hoppe⁵ · D. Polterauer⁶ · T. Rahne⁷ · T. Steffens⁸ · M. Walger⁹ · T. Weißgerber¹⁰ · T. Wesarg¹¹ · S. Zirn¹² · T. Rader⁶

¹ Hörzentrum Berlin, Klinik für Hals-, Nasen-, und Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie, Plastische Operationen, Zentrum für Hörimplantate, Vivantes Klinikum im Friedrichshain, Berlin, Deutschland;

² Klinik- und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Deutschland; ³ Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenkrankheiten, Kopf- und Halschirurgie, Universitätsmedizin Greifswald, Greifswald, Deutschland;

⁴ Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Universitätsklinikum Bonn, Bonn, Deutschland; ⁵ Hals-, Nasen-, Ohrenklinik, Kopf- und Halschirurgie, Universitätsklinikum Erlangen, Erlangen, Deutschland; ⁶ Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München, München, Deutschland; ⁷ Hallesches Hör- und ImplantCentrum, Universitätsklinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie, Universitätsmedizin Halle (Saale), Halle (Saale), Deutschland;

⁸ Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Universitätsklinikum Regensburg, Regensburg, Deutschland; ⁹ Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie, Audiologisches Zentrum, Universitätsklinikum, Köln, Deutschland; ¹⁰ Klinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Universitätsmedizin, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, Deutschland; ¹¹ Universitätsklinikum Freiburg, Medizinische Fakultät, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, Deutschland; ¹² Peter-Osypka-Institut für Medizintechnik, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien, Offenburg, Deutschland

Präambel

Während des gesamten Cochlea-Implantat(CI)-Versorgungsprozesses muss eine möglichst detaillierte Information über die technische und physiologische Funktion des Implantats zur Verfügung stehen. Zusätzlich soll die korrekte Lage des Elektrodensträgers regelmäßig überprüft werden. Zu diesem Zweck werden i. d. R. intra- und postoperativ umfangreiche technische und elektrophysiologische Messungen mit dem CI durchgeführt [11,

42, 57, 58]. Sie sind fester Bestandteil der audiologischen Diagnostik.

Trotz internationaler Bestrebungen zur Vereinheitlichung der Prozesse besteht immer noch eine große Heterogenität in den Abläufen der CI-versorgenden Einrichtungen bei der Auswahl und Nutzung geeigneter Methoden sowie der damit verbundenen Zielparameterwahl [2, 3]. Deshalb halten die Autoren einen standardisierten Prozess der audiologisch-technischen Funktionsprüfungen des CIs, die Festlegung durchzuführender Mess-

Die englische Version dieses Beitrags ist unter <https://doi.org/10.1007/s00106-025-01629-w> zu finden.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

verfahren und die Definition relevanter Zielparameter für notwendig. Als Ergebnis eines offenen Verfahrens innerhalb der Arbeitsgruppe Elektrische Reaktionsaudiometrie (AG-ERA) der ADANO (Arbeitsgemeinschaft Deutschsprachiger Audiologen, Neurootologen und Otologen) der DGHNO-KHC (Deutsche Gesellschaft für HNO-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie) und in enger Kooperation mit dem Fachausschuss „Cochlea-Implantate und implantierbare Hörsysteme“ in der DGA (Deutsche Gesellschaft für Audiologie) wurde ein Minimalstandard zur Durchführung audiologisch-technischer Funktionsprüfungen von CIs während des gesamten Versorgungsprozesses festgelegt und konsentiert.

Dieser Minimalstandard gilt nicht nur für die CI-versorgenden Einrichtungen, sondern bezieht explizit auch die CI-Firmen mit ein. Es ist essenziell, dass herstellerseitig geeignete Mess- und Auswerteverfahren zur Verfügung gestellt und in die jeweiligen Anwendersoftware-Lösungen integriert werden. Durch diese Maßnahmen soll gewährleistet werden, dass die Messwerte der definierten Zielparameter zuverlässig erfasst, reproduzierbar ausgewertet und über verschiedene Versorgungseinrichtungen hinweg vergleichbar gemacht werden können.

Der Einsatz von Impedanzmessungen der Elektroden [1, 29, 30, 37, 40, 41, 55, 57], Messungen der Impedanz- oder Spannungsmatrix [5, 6, 17, 22, 25, 45, 54, 59], elektrisch evozierten Stapediusreflexen [8, 16, 31, 53, 56, 57], Summenaktions- und Hirnstammpotentialen [7, 9, 13, 14, 18–21, 26, 27, 31, 32, 34–36, 38, 39, 43, 47, 51, 52, 60], Potentialen des auditorischen Kortex [15, 27, 33, 46, 48, 58] und der extra- und intracochleären Elektrocochleographie während und nach der Elektrodeninsertion [10, 23, 24, 28] bietet eine große Bandbreite möglicher zu messender Zielgrößen. Zudem gibt es verschiedene herstellereinspezifische Optionen und Implementierungen der o.g. Messverfahren in der jeweiligen Anwendersoftware. Einige dieser Verfahren sind derzeit jedoch nicht bei allen Herstellern standardmäßig integriert. Daher enthalten diese Empfehlungen auch Angaben für den jeweiligen Messprozess. Die definierten Zielparameter- und Prozessempfehlungen sol-

Die kontinuierliche Kontrolle der technischen und physiologischen Funktion von Cochlea-Implantaten (CI) stellt einen zentralen Baustein im gesamten Versorgungsprozess dar. Trotz weltweiter Bestrebungen zur Vereinheitlichung der Verfahren zeigen sich nach wie vor erhebliche Unterschiede zwischen den CI-versorgenden Einrichtungen – insbesondere hinsichtlich der eingesetzten Methoden, ihrer praktischen Umsetzung und der Festlegung aussagekräftiger Zielgrößen. Für eine verlässliche Qualitätssicherung und verbesserte Vergleichbarkeit ist ein einheitlicher, strukturierter Prüfprozess erforderlich. Vor diesem Hintergrund wurde in einem offenen Konsensverfahren der Arbeitsgruppe Elektrische Reaktionsaudiometrie (AG-ERA) der ADANO, gemeinsam mit dem Fachausschuss „Cochlea-Implantate und implantierbare Hörsysteme“ der DGA, ein Minimalstandard für die audiologisch-technische Funktionsprüfung von CI entwickelt. Dieser definiert grundlegende Anforderungen an Durchführung und Dokumentation und dient als praxisnahe Empfehlung für CI-versorgende Einrichtungen. Ziel ist eine standardisierte, nachvollziehbare Vorgehensweise, die die interdisziplinäre Zusammenarbeit verbessert, die Versorgungsqualität erhöht und eine strukturierte, langfristig optimierte Betreuung von CI-Tragenden ermöglicht.

Schlüsselwörter

Qualitätssicherung · Minimalstandard · Messverfahren · Evozierte Potentiale · Impedanzen

len einerseits die profunde Beurteilung der Messergebnisse ermöglichen, um damit auch die regelhafte technische und physiologische Funktion des Implantats zu bestätigen. Andererseits sollen sie zur Sicherung der Versorgungsqualität [49] gemäß der aktuell gültigen S2k-Leitlinie zur CI-Versorgung der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF-Register-Nr.: 017–071) [4] und des Weißbuchs „Cochlea-Implantat (CI)-Versorgung“ der DGHNO-KHC [12] beitragen und sollen ggf. auch für das DGHNO-CI-Register Verwendung finden [50].

Die Anwendung weiterer Methoden und die Auswahl zusätzlicher Zielparameter zur Untersuchung individueller Fragestellungen, z.B. bei relativer Kontraindikation zur CI-Versorgung (s. [4], S. 33), sollen durch diese Empfehlung explizit nicht eingeschränkt werden.

Empfehlungen

Wenn im Sinne dieser Empfehlungen audiologisch-technische Funktionsprüfungen des CIs oder elektrophysiologische Funktionsprüfungen des Hörsystems während und nach der Elektrodeninsertion durchgeführt werden, sollen für verschiedene Fragestellungen die in **Tab. 1** aufgeführten Methoden (Spalte 1) genutzt und jeweils die genannten Zielparameter (Spalte 3) sowie während der Operation entsprechend der Prozessbeschrei-

bung aus **Abb. 1** gemessen, bestimmt und berichtet werden. Ebenfalls sollen die aufgeführten Prozessempfehlungen (Spalte 4) eingehalten werden.

Die Sicherung einer möglichst hohen Qualität der Untersuchungsergebnisse wird durch die Sicherstellung der fehlerfreien Funktion aller medizintechnischen Gerätekomponenten, die Schaffung optimaler Messbedingungen (angemessener Untersuchungsraum) durch Artefaktreduktion bei möglichst geringen Störschallpegeln und/oder Beseitigung/Abschirmung von elektromagnetischen Störfeldern, die Minimierung des Restrauschens und der Reststörung (z.B. durch Entspannung/Schlaf/Sedierung/Narkose der zu untersuchenden Person) und die fachliche Qualifikation und Erfahrung der Anwendenden gewährleistet.

Begriffsbestimmungen

Stimulationsstrominduzierte nichtstimulierende Elektroden-Spannung. Indirektes Maß für die elektrische Feldausbreitung entlang des Elektrodenstrahlers und aus der Cochlea heraus (im Text auch mit SCINSEV [44] abgekürzt), gemessen als Spannung pro Stromeinheit und dargestellt in einer $m \times n$ -Matrix, d.h. die durch den Eingangsstrom I an einer Stimulationselektrode (m) induzierte elektrische Spannung U als Potentialdifferenz zwischen einer (nichtstimulierenden)

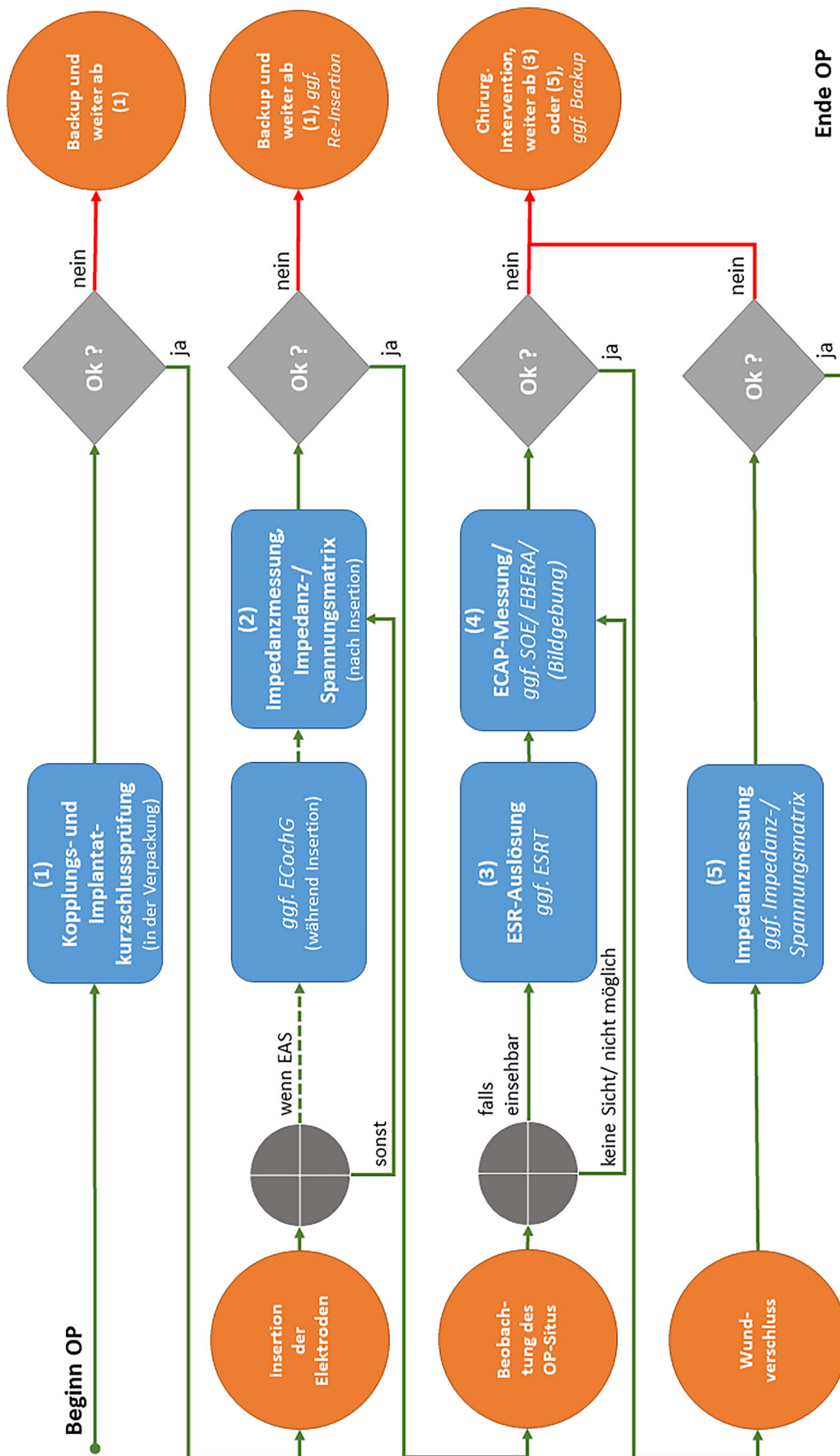


Abb. 1 ◀ Prozessbeschreibung bei audiologisch-technischen Funktionsprüfungen des Cochlea-Implantats während der Operation: Nach der Kopplungs- und Implantatkurzschlussprüfung in der Verpackung und/oder in Natriumchlorid(NaCl)-Lösung (1) erfolgt die Insertion des Elektrodenträgers, bei resthörehaltenden Operationen (EAS) ggf. mit Echtzeit-Elektrocochleographie(EOCG)-Monitoring. Anschließend werden die elektrischen (technischen) Funktionskontrollen des Cochlea-Implantats mittels Impedanzmessung und Messung der Impedanz- oder Spannungsmatrix durchgeführt (SCIN-SEV) (2). Bei festgestelltem Elektrodenproblem soll unmittelbar der möglichen Ursache nachgegangen werden und im Bedarfsfall ein Backup-Implantat zum Einsatz kommen. Wenn möglich, erfolgt im Anschluss unter Beobachtung des Operationsitus die elektrische Auslösung der Stapediusreflexe (ESR), ggf. mit Bestimmung der Auslöseschwelle (ESRT) (3) und die Messung der elektrisch evozierten Summenaktionspotentiale (ECAP) (4). Bei schwierigen Fragestellungen oder unklaren Ergebnissen werden zusätzlich elektrisch evozierte Hirnstammpotentiale (EBERA) und/oder die Spread-of-Excitation (SOE) gemessen, ggf. wird eine intraoperative Bildgebung durchgeführt. Falls erforderlich, folgt eine chirurgische Intervention und/oder die Verwendung des Backup-Implantats. Nach Wundverschluss wird die Impedanzmessung wiederholt (5)

Tab. 1 Zielparameter- und Prozessempfehlungen der unterschiedlichen Messmethoden				
Methoden	Fragestellung(en)	Zielparameterempfehlung	Prozessempfehlung	Regelmäßiger Befund (Minimalkonsens)
STANDARD-VERSORGUNG (Vorhaltung notwendig)				
Kopplungs- und Implantatkurzschlussprüfung	– Prüfung auf bidirektionale telemetrische Datenübertragung – Kontrolle der spezifikationsgerechten Funktion des Implantats inkl. der Elektrodenkontakte – Hinweise auf Defekte des Implantats	Spulen-Implantat-Kopplung [ja/nein] Impedanzen [Z in kΩ]	Messung in allen verfügbaren Stimulationsmodi an allen Elektrodenkontakten des Implantats präOP: vor Beginn der Operation in der sterilen Verpackung (alternativ: Überprüfung in NaCl-Lösung direkt vor Insertion) intra-/postOP: Monitoring der Kopplung während der gesamten audiologisch-technischen Diagnostik	(1) stabile Kopplung und bidirektionale Datenübertragung (2) keine Kurzschlüsse zwischen den Elektrodenkontakten z. B. in [3, 57, 58]
Impedanzmessung der Elektroden	– Kontrolle der spezifikationsgerechten Funktion des Implantats – Überprüfung aller Elektrodenkontakte auf dem Elektrodenträger sowie der externen Referenzelektrode(n) – Hinweise auf Defekte des Implantats	Impedanzen [Z in kΩ] Massepfadimpedanz [Z in kΩ]	Messung in allen verfügbaren Stimulationsmodi an allen Elektrodenkontakten des Implantats intraOP: direkt nach Insertion (ggf. nach Elektrodenfixierung) und nach Wundverschluss postOP: regelmäßig (z. B. vor jeder/m Anpassung/ Fitting)	(1) kein Hinweis auf offene Stromkreise (keine auffälligen Impedanzen) (2) keine Kurzschlüsse zwischen den Elektrodenkontakten (3) Impedanzen aller intracochleären Elektroden im Erwartungsbereich des jeweiligen Implantatmodells oder Herstellers z. B. in [1, 29, 30, 37, 40, 41, 55, 57]
Messung der stimulationsinduzierten nichtstimulierenden Elektrodenspannung (SCINSEV)	– Kontrolle der spezifikationsgerechten Funktion des Implantats – Schätzung der Elektrodenposition(en) und Identifizierung einer Fehllage wie „tip fold-over“, „base kinking“ – Derzeit im Fokus der Forschung sind Einführtiefe und Lage des Elektrodenträgers, z. B. bei Migration des Elektrodenträgers [5, 6]	Spannung pro Stromeinheit [R _{n,m} in kΩ]	Messung der SCINSEV und Darstellung in einer 12 × 12-, 16 × 16- oder 22 × 22-Matrix (je nach Implantatmodell) intraOP: nach Elektrodenträgerinsertion (ggf. nach Elektrodenträgerfixierung) postOP: regelmäßig im Verlauf	(1) kein Hinweis auf offene Stromkreise (keine auffälligen Impedanzen) (2) keine Kurzschlüsse zwischen den Elektrodenkontakten (3) kontinuierlicher Abfall der Spannung pro Stromeinheit an der Aufzeichnungselektrode mit zunehmender Entfernung von der Stimulationselektrode z. B. in [17, 22, 25, 45, 54, 59]
Elektrisch evozierte Stapediusreflexe (ESR)	– Physiologische Funktionsprüfung der Signalleitung (untere Hörbahn – Olivenkomplex – Hirnstammebene) und Reflexauslösung durch den N. <i>facialis</i> – Bestätigung der vollständigen Insertion bzw. Anschluss einer möglichen Fehlinsertion des Elektrodenträgers – Bestimmung der oberen Grenze des elektrischen Dynamikbereiches (Über- oder Unterstimulation) – Plausibilitätskontrolle von Stimulationsparametern und ECAP	Auslösen des Reflexes [auslösbar/nicht auslösbar] ESR-Auslöseschwellen [Q in nC]	Stimulation auf mehreren über den Elektrodenträger verteilten Elektrodenkontakten (basal – medial – apikal) intraOP: visuelle Detektion (ipsilateral) nach erster Impedanzmessung und Messung der SCINSEV unter Sicht (intraoperativer Situs) bei elektrischer Stimulation (z. B. durch Eingabeln der Auslöseschwellen) postOP: bei Bedarf und wenn durchführbar Messung über ein Impedanzaudiometer bei direkter elektrischer Reizung (ipsilateral) an ausgewählten Elektroden oder Bestimmung der Auslöseschwellen im Freifeld	(1) Reflex auslösbar und als Bewegung der/des Stapessehne und/oder -köpfchens identifizierbar z. B. in [8, 16, 31, 53, 56, 57]

Tab. 1 (Fortsetzung)

Methoden	Fragestellung(en)	Zielparameterempfehlung	Prozessempfehlung	Regelhafter Befund (Minimalkonsens)
Elektrisch evoked Summenaktionspotentiale des Hörnervs (ECAP)	- Reizantwortschwelligendiagnostik/Schwellenprofil (Ausgangsbefunde und Daten für die CI-Anpassung) - Verlaufsüberwachung der neuronalen Parameter/retrocochleäre Diagnostik bei unklarer Integrität des Hörnervs - Lageprüfung des Elektrodenstrahlers (z. B. Ausschluss von „tip fold-over“, Elektrodenmigration)	Nachweisbarkeit der ECAP [ja/nein] ECAP-Schwellen [Q in nC] ECAP-Wachstumsfunktionen (AGF), N1–P1-Amplitude [U in µV] Absolutlatenzen von N1 und P1 [t in µs] SOE-Profil, N1–P1-Amplituden [U in µV]	Bestimmung der ECAP-AGF, ECAP-Latenzen sowie ECAP-Schwellen auf allen intracochleären Elektroden (12–22, je nach Implantatmodell) Messung von ein oder mehreren SOE-Profilen an mehreren Elektroden (apikal), je nach Implantatmodell und Elektrodenstrahler intraOP: nach erfolgter Impedanzmessung, ggf. auch nach Elektroden-Konditionierung, bei Bedarf im Anschluss SOE-Messung postOP: regelmäßig (vor/bei Anpassung/Fitting) nach Impedanzmessung, bei Bedarf SOE-Messung	(1) ECAP an allen Elektroden nachweisbar (2) ECAP-Schwellen liegen im Erwartungsbereich des jeweiligen Implantatmodells (abhängig von den Werten der Stimulationsparameter) z. B. in [7, 19, 26, 31, 32, 36, 38, 47] (3) bei SOE unter Beibehaltung einer definierten Prüfelektrodenposition (Prüf- und Ableitrode) nimmt der Einfluss der Verschiebung der Maskierungsposition (Maskerlektrode) entlang des Elektrodenstrahlers kontinuierlich ab (abhängig von den Werten der Stimulationsparameter und vom jeweiligen Implantatmodell) z. B. in [9, 14, 21, 35, 39, 43]
Frühe elektrische Potentiale (FEEP, Technik: EBERA)	- Retrocochleäre Diagnostik bei auditorischer Synaptopathie/Neuropathie (AS/AN) sowie unklarer Integrität des Hörnervs und unteren Hirnstamms, Detektion von Reifungs- und Degenerationsprozessen - Beurteilung der Reizverarbeitung und -weiterleitung in besonderen Fällen, d. h. wenn keine ECAP-Messung möglich (bei erworbenen Veränderungen des Innenohrs, z. B. nach chronischen Entzündungen, traumatischen Veränderungen) - Reizantwortschwelligendiagnostik	Absolutlatenzen der Wellen e11 und eV sowie Interpeaklatenz (IPL) in Abhängigkeit von der Reizstärke: [t in ms] Kleinsten Reiz mit identifizierbarer reproduzierbarer Reizantwortschwelle [Q in nC] Potentialamplituden [U in nV]	Potentialmessung auf ausgewählten (intracochleären) Elektrodenkontakten oder Bereichen, Detektion der Potentiallatenzen und Bestimmung der Reizantwortschwelle intraOP: bei Bedarf Messung über ein AEP/ERA-System nach Impedanz-/ESR-/ECAP-Messung, Position der Ableitroden: Cz oder Fpz vs. Mastoid oder Ohr- läppchen (kontralateral) bzw. im unteren Bereich des M. sternocleidomastoideus (ipsilateral) postOP: bei Bedarf Messung über ein AEP/ERA-System, Position der Ableitroden: Cz oder Fpz vs. Mastoid oder Ohr läppchen (ipsi- und kontralateral)	(1) Hirnstampmpotentiale übersichtlich auslesbar, Wellen e11 und eV gut identifizierbar, Absolutlatenzen sowie Interpeaklatenzen liegen im Erwartungsbereich (abhängig von den Werten der Stimulationsparameter) (2) FEEP-Schwellen liegen im Erwartungsbereich (abhängig von den Werten der Stimulationsparameter) z. B. in [13, 18, 20, 27, 34, 51, 52, 58, 60]
BEI EAS/HYBRID-VERSORGUNG (Vorhaltung im Einzelfall nützlich)				
Elektrocochleographie (ECochG)	- Kontrolle und Überwachung (Monitoring) der cochleären Funktion von Haarsinneszellen sowie afferenten Hörnervenfaser (Restgehörhalt) vor, während sowie nach der Insertion des Elektrodenstrahlers - Kontrolle der Haarzellfunktion während und nach der Implantation	Nachweisbarkeit der 3 Signalkomponenten der ECochG (CM, CAP, SP), mind. „cochlear microphonic“ (CM) Bestimmung der (größten) CM-Amplitude [U in µV]	Akustische Stimulation, z. B. bei 500 Hz („tone burst“) mit ca. 40 dB SL sowie Potentialmessung auf ausgewählten Elektrodenkontakten intraOP: bei Bedarf Ableitung der ECochG extracochleär: Elektrode am runden Fenster (vor Insertion) oder auf dem Promontorium (während der Insertion), intracochleär: apikale Elektrode; jeweils in Referenz zu einer Ableitrode (Cz oder Fpz) postOP: bei Bedarf Ableitung der ECochG intracochleär: apikale Elektrode (22 oder 1 je nach Implantatmodell); jeweils in Referenz zu einer Ableitrode (Cz oder Fpz)	(1) kein (rascher) Amplitudenabfall in der ECochG während der Insertion des Elektrodenstrahlers (2) Intra- und postOP stabile CM-Amplituden z. B. in [10, 23, 24, 28]

Tab. 1 (Fortsetzung)		Regelhafter Befund (Minimalkonsens)		
Methode	Fragestellung(en)	Zielparameterempfehlung	Prozessempfehlung	
OPTIONAL (vorwiegend wissenschaftlich interessant)	– Integritätsprüfung der Hörbahn bis zur Ebene der Hirnrinde – Beurteilung der Hörbahnreifung auf kortikaler Ebene	P1–N1–P2–N2-Komplex [t in ms]	Potentialmessung auf ausgewählten Elektrodenkontakten bzw. Bereichen, Detektion der Potentiallatenzen und Bestimmung der Reizantwortschwelle postOP: bei Bedarf Messung über ein AEP/ERA-System, Position der Ableitelektroden: Cz oder Fpz vs. Mastoid oder Ohrfläppchen (ipsi- und kontralateral)	(1) Kortikale Potentiale übersichtlich auslösbar, P1–N1–P2–N2-Komplex gut identifizierbar, Absolutlatenzen sowie Interpeaklatenzen liegen im Erwartungsbereich (abhängig von den Werten der Stimulationsparameter) z. B. in [15, 27, 33, 46, 48, 58]
				AEP Akustisch Evozierte Potentiale, AGF Amplitude Growth Function, CAP Compound Action Potential, CI Cochlea-Implantat, CM Cochlear Microphonic, Cz Elektrodenposition am Vertex, EAS Elektrisch-akustische Stimulation, EBERA Electrically-evoked Brainstem Response Audiometry, ECAP Electrically-evoked Cortical Response Audiometry, ECoChG Elektrocochleographie, ERA Elektrisch Reaktionsaudiometrie, ESR Electrically-evoked Stapedius Reflex, ESRT Electrically-evoked Stapedius Reflex Threshold, FEFP Frühe Elektrisch Evozierte Potentiale, Fpz frontozentrale Elektrodenposition, NaCl Natriumchlorid, SCINSEV Stimulation-Current-Induced Non-Stimulating Electrode Voltage, SEEP Späte Elektrisch Evozierte Potentiale, SOE Spread-of-Excitation, SP Summationspotential

Aufzeichnungselektrode (n) und einer Masseelektrode, angegeben in der Maßeinheit kΩ mit

$$R_{m,n} = \frac{U_n}{I_m}$$

Reizantwortschwelle. Kleinste angelegte elektrische Ladung Q mit (noch) identifizierbarer und reproduzierbarer Reizantwort (in der Tab. 1 auch als Auslöseschwelle oder Schwelle bezeichnet) als Produkt von Stimulationsstrom und -zeit (Pulsphasenzeit), angegeben in der Maßeinheit nC mit

$$Q = I \cdot t$$

Wenn diese Maßeinheit nicht verfügbar ist, soll die herstellerabhängige Intensitätseinheit angegeben und entsprechend gekennzeichnet werden.

Korrespondenzadresse

Dr.-Ing. Alexander Müller
Hörzentrum Berlin, Klinik für Hals-, Nasen-, und Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie, Plastische Operationen, Zentrum für Hörimplantate, Vivantes Klinikum im Friedrichshain
Landsberger Allee 49, 10249 Berlin, Deutschland
alexander.mueller@vivantes.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A. Müller, M. Blümer, O.C. Dziemba, A. Elsholz, L. Fröhlich, U. Hoppe, D. Polterauer, T. Rahne, T. Steffens, M. Walger, T. Weißgerber, T. Wessarg, S. Zirn und T. Rader geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen

Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Alahmadi A, Abdelsamad Y, Yousef M, Almuhas F, Hafez A, Alzhirani F, Hagr A (2024) Cochlear Implantation: Long-Term Effect of Early Activation on Electrode Impedance. J Clin Med. <https://doi.org/10.3390/jcm13113299>
2. Aljazeera I, Abdelsamad Y, Alsanosi A et al (2024) Minimum intraoperative testing battery for cochlear implantation: the international practice trend. Eur Arch Otorhinolaryngol. <https://doi.org/10.1007/s00405-024-08944-y>
3. Alzhirani F, Aljazeera I, Abdelsamad Y et al (2024) International Consensus Statements on Intraoperative Testing for Cochlear Implantation Surgery. Ear Hear 45(6):1418–1426. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001526>
4. Aschendorff A, Baumann U, Delank K, Ernst A, Hoppe U et al (2020) Cochlea-Implantat Versorgung: S2k-Leitlinie 017/071 der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf und Hals-Chirurgie e.V. (DGhNO KHC), Bonn. https://register.awmf.org/assets/guidelines/017-071_S2k_Cochlea-Implantat-Versorgung-zentral-auditorische-Implantate_2020-12.pdf
5. Ayas M, Muzaffar J, Borsetto D, Eituts S, Phillips V, Tam YC, Salorio-Corbetto M, Bance ML (2024) A scoping review on the clinical effectiveness of Trans-Impedance Matrix (TIM) measurements in detecting extracochlear electrodes and tip fold overs in Cochlear Ltd devices. PLoS ONE 19(3):e299597. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299597>
6. Ayas M, Tam YC, Bysouth-Young D, Eituts ST, Salorio-Corbetto M, Axon PR, Donnelly NP, Tysome JR, Borsetto D, Smith ME, Bance ML (2024) Intraoperative Detection of Extracochlear Electrodes Using Stimulation Current Induced Non-Stimulating Electrode Voltage (SCINSEV) Measures (Transimpedance Measures)-A Case Series. Clin Otolaryngol 49(6):827–832. <https://doi.org/10.1111/coa.14212>
7. Berger K, Hocke T, Hessel H (2017) Lautheitsoptimierte Messung von Summenaktionspotentialen bei Cochlea Implantat Trägern. Laryngorhinootologie 96(11):780–786. <https://doi.org/10.1055/s-0043-119292>
8. Chai B, Holland ML, Camposeo EL, King K, Schwartz-Leyzac KC (2024) Patient and Device Factors Contributing to Electrically Evoked Stapedial Reflex Thresholds in Cochlear Implanted Adults. Audiol Neurotol 29(4):263–270. <https://doi.org/10.1159/000535058>
9. Cinar BC, Özses M (2024) How differ eCAP types in cochlear implants users with and without inner ear malformations: amplitude growth function, spread of excitation, refractory recovery function. Eur Arch Otorhinolaryngol. <https://doi.org/10.1007/s00405-024-08971-9>
10. Dalbert A, Weder S (2024) Anwendung der extra- und intracochleären Elektrocochleographie während und nach der Cochlea-implantation. HNO. <https://doi.org/10.1007/s00106-024-01481-4>
11. Deutsche Gesellschaft für Audiologie e. V. (2015) Audiologische Leistungen nach der CI-Indikation: Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Audiologie (DGA). Z Audiol 54(1):36–37

12. Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V. (2021) Weißbuch Cochlea-Implantat(CI)-Versorgung: Empfehlungen zur Struktur, Organisation, Ausstattung, Qualifikation und Qualitätssicherung in der Versorgung von Patienten mit einem Cochlea-Implantat in der Bundesrepublik Deutschland. https://www.ci-register.de/wp-content/uploads/DGHNO_Weissbuch_CI-Versorgung.pdf (2. Aufl. Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V., Bonn)
13. Dziemba OC, Hocke T, Müller A (2022) EABR on cochlear implant—measurements from clinical routine compared to reference values. *Gms Z Audiol Acoust.* <https://doi.org/10.3205/zaud000023>
14. Dziemba OC, Salim MP, Müller A (2024) References for electrophysiological measurements for intraoperative verification of placement for several types of CI electrodes. *Gms Z Audiol – Audiol Acoust.* <https://doi.org/10.3205/ZAUD000049>
15. Firszt JB, Chambers RD, Kraus AN, Reeder RM (2002) Neurophysiology of cochlear implant users I: effects of stimulus current level and electrode site on the electrical ABR, MLR, and N1-P2 response. *Ear Hear* 23(6):502–515. <https://doi.org/10.1097/00003446-200212000-00002>
16. Franke-Trieger A, Mattheus W, Seebacher J, Zahnert T, Neudert M (2021) Stapedius reflex evoked in free sound field in cochlear implant users compared to normal-hearing listeners. *Int J Audiol* 60(9):695–703. <https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1866780>
17. Franke-Trieger A, Lailach S, Strahl SB, Murrmann K, Schebsdat E, Neudert M, Zahnert T (2024) Voltage matrix algorithm for intraoperative detection of cochlear implant electrode misplacement. *Audiol Neurotol.* <https://doi.org/10.1159/000543264>
18. Gabr T, Debis H, Hafez A (2024) Electric Auditory Brainstem Response Audiometry in Cochlear Implants: New Recording Paradigm. *Audiol Res* 14(4):581–592. <https://doi.org/10.3390/audiolres14040049>
19. Gärtner L, Bräcker T, Kals M, Penninger RT, Billinger-Finke M, Lenarz T, Büchner A (2022) ARTFit-A Quick and Reliable Tool for Performing Initial Fittings in Users of MED-EL Cochlear Implants. *Life.* <https://doi.org/10.3390/life12020269>
20. Gordon KA, Papsin BC, Harrison RV (2006) An evoked potential study of the developmental time course of the auditory nerve and brainstem in children using cochlear implants. *Audiol Neurotol* 11(1):7–23. <https://doi.org/10.1159/00008851>
21. Grolman W, Maat A, Verdam F, Simis Y, Carlsen B, Freling N, Tange RA (2009) Spread of excitation measurements for the detection of electrode array foldovers: a prospective study comparing 3-dimensional rotational x-ray and intraoperative spread of excitation measurements. *Otol Neurotol* 30(1):27–33. <https://doi.org/10.1097/mao.0b013e31818f57ab>
22. Hans S, Arweiler-Harbeck D, Kaster F, Ludwig J, Hagedorn E, Lang S, Meyer M, Holtmann LC (2021) Transimpedance Matrix Measurements Reliably Detect Electrode Tip Fold-over in Cochlear Implantation. *Otol Neurotol* 42(10):e1494–e1502. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000003334>
23. Harris MS, Koka K, Thompson-Harvey A, Harvey E, Riggs WJ, Saleh S, Holder JT, Dwyer RT, Prentiss SM, Lefler SM, Kozlowski K, Hiss MM, Ortmann AJ, Nelson-Bakkum ER, Büchner A, Salcher R, Harvey SA, Hoffer ME, Bohorquez JE, Alzhrani F, Alshihri R, Almuhawes F, Danner CJ, Friedland DR, Seidman MD, Lenarz T, Telischi FF, Labadie RF, Buchman CA, Adunka OF (2024) Amplitude Parameters Are Predictive of Hearing Preservation in a Randomized Controlled Trial of Intracochlear Electrocochleography During Cochlear Implant Surgery. *Otol Neurotol* 45(8):887–894. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000004286>
24. Haumann S, Mynarek Née Bradler M, Maier H, Helmstaedt V, Büchner A, Lenarz T, Teschner MJ (2024) Does Intraoperative Extracochlear Electrocochleography Correlate With Postoperative Audiometric Hearing Thresholds in Cochlear Implant Surgery? A Retrospective Analysis of Cochlear Implant Monitoring. *Trends Hear* 28:23312165241252240. <https://doi.org/10.1177/23312165241252240>
25. Hoppe U, Brademann G, Stöver T, Ramos de Miguel A, Cowan R, Manrique M, Falcón-González JC, Hey M, Baumann U, Huarte A, Liebscher T, Bennett C, English R, Neben N, Ramos Macías A (2022) Evaluation of a Transimpedance Matrix Algorithm to Detect Anomalous Cochlear Implant Electrode Position. *Audiol Neurotol* 27(5):347–355. <https://doi.org/10.1159/000523784>
26. Hoth S, Herisanu I, Praetorius M (2016) Objektive Maße bei der Anpassung der Prozessoren von Cochlea-Implantatsystemen: Nutzung von Diskriminationsfunktionen und Betrachtung von Elektrodenprofilen. *HNO* 64(12):870–879. <https://doi.org/10.1007/s00106-016-0281-0>
27. Hoth S, Dziemba OC (2017) The Role of Auditory Evoked Potentials in the Context of Cochlear Implant Provision. *Otol Neurotol* 38(10):e522–e530. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001480>
28. Kim J-S (2020) Electrocochleography in Cochlear Implant Users with Residual Acoustic Hearing: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* <https://doi.org/10.3390/ijerph17197043>
29. Konrad S, Büchner A, Lenarz T, Paasche G (2023) Impedance development after implantation of hybrid-L24 cochlear implant electrodes. *Int J Audiol* 62(12):1137–1144. <https://doi.org/10.1080/14992027.2022.2125914>
30. Körtje M, Stöver T, Leinung M, Baumann U (2022) The Importance of a Preinsertion Integrity Device Test of Cochlear Implants. *Otol Neurotol* 43(6):e641–e644. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000003548>
31. Kosaner J, Spitzer P, Bayguzina S, Gultekin M, Behar LA (2018) Comparing eSRT and eCAP measurements in pediatric MED-EL cochlear implant users. *Cochlear Implants Int* 19(3):153–161. <https://doi.org/10.1080/14670100.2017.1416759>
32. Lambriks L, van Hoof M, Debruyne J, Janssen M, Hof J, Hellingman K, Devocht E, George E (2023) Toward neural health measurements for cochlear implantation: The relationship among electrode positioning, the electrically evoked action potential, impedances and behavioral stimulation levels. *Front Neurol* 14:1093265. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1093265>
33. Lamminmäki S, Cormier K, Davidson H, Grigsby J, Sharma A (2023) Auditory Cortex Maturation and Language Development in Children with Hearing Loss and Additional Disabilities. *Children.* <https://doi.org/10.3390/children10111813>
34. Lassaletta L, Calvino M, Díaz M, Morales-Puebla JM, Sánchez-Cuadrado I, Varela-Nieto I, Gavilán J (2024) Intraoperative assessment of cochlear nerve functionality in various vestibular schwannoma scenarios: Lessons learned. *Hear Res* 446:108997. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2024.108997>
35. Liebscher T, Mewes A, Hoppe U, Hornung J, Brademann G, Hey M (2021) Electrode Translocations in Perimodiolar Cochlear Implant Electrodes: Audiological and Electrophysiological Outcome. *Z Med Phys* 31(3):265–275. <https://doi.org/10.1016/J.ZEMEDI.2020.05.004>
36. Liebscher T, Hornung J, Hoppe U (2023) Electrically evoked compound action potentials in cochlear implant users with preoperative residual hearing. *Front Hum Neurosci* 17:1125747. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1125747>
37. Lin DP-Y, Chen JK-C, Tung T-H, Li LP-H (2019) Differences in the impedance of cochlear implant devices within 24 hours of their implantation. *PLoS ONE* 14(9):e222711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222711>
38. Müller A, Hocke T, Mir-Salim P (2015) Intraoperative findings on ECAP-measurement: normal or special case? *Int J Audiol* 54(4):257–264. <https://doi.org/10.3109/14992027.2014.969410>
39. Müller A, Kropp MH, Mir-Salim P, Aristidou A, Dziemba OC (2021) Intraoperative Tip-Foldover-Screening mittels Spread of Excitation Messungen. *Z Med Phys* 31(3):276–288. <https://doi.org/10.1016/J.ZEMEDI.2020.07.002>
40. Mussoi BS, Meibos A, Woodson E, Sydlowski S (2024) The association between electrode impedance and short-term outcomes in cochlear implant recipients of slim modiolar and slim straight electrode arrays. *Cochlear Implants Int* 25(1):59–68. <https://doi.org/10.1080/14670100.2023.2290768>
41. Oberhoffner T, Mlynski R, Schraven S, Brademann G, Dierker A, Spitzer P, Hey M (2024) Effects of Intraoperative Cochlear Implant Electrode Conditioning on Impedances and Electrically Evoked Compound Action Potentials. *IEEE Trans Biomed Eng* 71(2):650–659. <https://doi.org/10.1109/TBME.2023.3313198>
42. Rader T, Baumann U, Stöver T, Weissgerber T, Adel Y, Leinung M, Helbig S (2016) Management of Cochlear Implant Electrode Migration. *Otol Neurotol* 37(9):e341–e348. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001065>
43. Rader T, Nachtigäller P, Linke T, Weißgerber T, Baumann U (2023) Exponential fitting of spread of excitation response measurements in cochlear implants. *J Neurosci Methods* 391:109854. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2023.109854>
44. de Rijk SR, Tam YC, Carlyon RP, Bance ML (2020) Detection of Extracochlear Electrodes in Cochlear Implants with Electric Field Imaging/Transimpedance Measurements: A Human Cadaver Study. *Ear Hear* 41(5):1196–1207. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000837>
45. de Rijk SR, Hammond-Kenny A, Tam YC, Eitutus ST, García C, Carlyon RP, Bance M (2022) Detection of Extracochlear Electrodes Using Stimulation-Current-Induced Non-Stimulating Electrode Voltage Recordings With Different Electrode Designs. *Otol Neurotol* 43(5):e548–e557. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000003512>
46. Saravanan P, Devi N, Geetha C (2024) Electrically evoked late latency response using single electrode stimulation and its relation to speech perception among paediatric cochlear implant users. *Front Hum Neurosci* 18:1441854. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1441854>
47. Schrank L, Nachtigäller P, Müller J, Hempel J-M, Canis M, Spiegel JL, Rader T (2024) ART and AutoART ECAP measurements and cochlear nerve anatomy as predictors in adult cochlear implant recipients. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 281(7):3461–3473. <https://doi.org/10.1007/s00405-023-08444-5>
48. Sharma A, Dorman MF, Spahr AJ (2002) A sensitive period for the development of the central auditory system in children with cochlear implants: implications for age of implantation.

- Ear Hear 23(6):532–539. <https://doi.org/10.1097/00003446-200212000-00004>
49. Stöver T, Leinung M, Loth A (2020) Welche Qualität macht den Unterschied in der Cochlea-Implantat-Versorgung? *Laryngorhinootologie* 99(S 01):S107–S164. <https://doi.org/10.1055/a-1019-9381>
 50. Stöver T, Plontke SK, Guntinas-Lichius O, Welkoborsky H-J, Zahnert T, Delank KW, Deitmer T, Esser D, Dietz A, Wienke A, Loth A, Dazert S (2023) Struktur und Einrichtung des Deutschen Cochlea-Implantat-Registers (DCIR). *HNO* 71(12):767–778. <https://doi.org/10.1007/s00106-023-01309-7>
 51. Thai-Van H, Cozma S, Boutitie F, Disant F, Truy E, Collet L (2007) The pattern of auditory brainstem response wave V maturation in cochlear-implanted children. *Clin Neurophysiol* 118(3):676–689. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.11.010>
 52. Thangaraj M, Arunachalam R, Gore M, Ajith Kumar U (2023) Prediction of behavioral MCL using electrophysiological responses in children using MED-EL implant. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 172:111696. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2023.111696>
 53. Tyagi Y, Chatterjee I (2023) The effect of cochlear implant age and duration of intervention on ESRT in children with cochlear implant. *Cochlear Implants Int* 24(4):224–234. <https://doi.org/10.1080/14670100.2023.2221048>
 54. Vanpoucke FJ, Boermans P-P, Frijns JH (2012) Assessing the placement of a cochlear electrode array by multidimensional scaling. *IEEE Trans Biomed Eng* 59(2):307–310. <https://doi.org/10.1109/TBME.2011.2173198>
 55. Wei JJ-F, Tung T-H, Li LP-H (2021) Evolution of impedance values in cochlear implant patients after early switch-on. *PLoS ONE* 16(2):e246545. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246545>
 56. Weiss NM, Óvári A, Oberhoffner T, Demaret L, Bicer A, Schraven S, Ehrt K, Dahl R, Schneider A, Mlynski R (2021) Automated detection of electrically evoked stapedius reflexes (eSR) during cochlear implantation. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 278(6):1773–1779. <https://doi.org/10.1007/s00405-020-06226-x>
 57. Wesarg T, Arndt S, Aschendorff A, Laszig R, Zirn S (2014) Intraoperative audiologisch-technische Diagnostik bei der Cochlea-Implantatversorgung. *HNO* 62(10):725–734. <https://doi.org/10.1007/s00106-014-2936-z>
 58. Wesarg T, Arndt S, Aschendorff A, Laszig R, Beck R, Jung L, Zirn S (2017) Intra- und postoperative elektrophysiologische Diagnostik. *HNO* 65(4):308–320. <https://doi.org/10.1007/s00106-016-0195-x>
 59. Zhang L, Schmidt FH, Oberhoffner T, Ehrt K, Cantré D, Großmann W, Schraven SP, Mlynski R (2024) Transimpedance Matrix Can Be Used to Estimate Electrode Positions Intraoperatively and to Monitor Their Positional Changes Postoperatively in Cochlear Implant Patients. *Otol Neurotol* 45(4):e289–e296. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000004145>
 60. Zirn S, Arndt S, Aschendorff A, Wesarg T (2015) Interaural stimulation timing in single sided deaf cochlear implant users. *Hear Res* 328:148–156. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2015.08.010>

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.

Recommendations for selection of target parameters and process recommendations for audiological and technical functional testing of cochlear implant. Prepared by the ERA consortium (AG-ERA) of ADANO in cooperation with the Implantable Hearing Systems expert committee of the DGA. Confirmed by the board of ADANO on 31.01.2025. German version

Continuous monitoring of the technical and physiological function of cochlear implants (CI) is a central part of the care process. Despite worldwide efforts to standardise procedures, there is still considerable variation between CI centres, particularly in terms of the methods used, their practical implementation and the definition of meaningful target parameters. A standardised structured test procedure is needed for reliable quality assurance and better comparability. Against this background, the ADANO Working Group for Evoked Response Audiometry (AG-ERA), in close cooperation with the Cochlear Implants and Implantable Hearing Systems Committee of the German Society of Audiology (DGA), developed a minimum standard for audiological and technical functional testing of CIs in an open consensus process. This standard defines basic requirements for performance and documentation and serves as a practical recommendation for CI centres. It is intended to improve interdisciplinary cooperation, increase the quality of care and enable structured long-term optimised care for CI patients.

Keywords

Quality assurance · Minimum standard · Measurement methods · Evoked potentials · Impedances