

# Rehabilitation der Hochtoninnenschwerhörigkeit

## Einsatz eines aktiven Mittelohrimplantats

### Hintergrund und Fragestellung

Trotz aktueller Entwicklungen in der Technologie konventioneller Hörgeräte ist die Rehabilitation der Hochtonschwerhörigkeit mit diesen Systemen unzureichend. Bedingt durch physikalische Limitationen konventioneller Hörgeräte und die anatomisch-physiologischen Übertragungseigenschaften des Ohrs ist die Verstärkung im hohen Frequenzbereich limitiert [1] bzw. führt zu Verzerrungen [2]. Die unzureichende Verstärkung hoher Frequenzen äußert sich speziell in geräuschvoller Umgebung als vermindertes Sprachverständnis.

Überdies besteht für Patienten mit mittel- bis hochgradigen Hochtoninnenschwerhörigkeiten und annähernd normalem Hörvermögen im tiefen Frequenzbereich das Risiko für das Auftreten des Okklusionseffektes. Durch das Verschließen des Gehörgangs mit dem Hörgerät werden tief frequente Anteile der eigenen Stimme verstärkt. Dies führt zu einer verfälschten Wahrnehmung der eigenen Stimme (Tonneneffekt), zur Frequenzmaskierung [21] und zur störenden Wahrnehmung sprachmaskierender Kaugeräusche. Bei ausgeprägter Hochtonschwerhörigkeit mit geringgradigem Tieftonhörverlust ist die geschlossene Versorgung nachteilig, da nur hohe Frequenzen verstärkt werden sollen und die Okklusion das normale Tieftongehör behindert.

Für diese spezielle Patientengruppe bieten aktive Mittelohrimplantate audi-

ologische Vorteile [16]. Durch die Platzierung des „floating mass transducer“ (FMT) im Mittelohr bleibt der Gehörgang offen. So wird der Okklusionseffekt vermieden, und tiefe Frequenzen werden durch den freien Gehörgang natürlich gehört. Gleichzeitig können hohe Verstärkungen bis in den Hochfrequenzbereich (bis 8 kHz) rückkopplungsfrei erreicht werden.

### Patienten und Methoden

Die Vibrant Soundbridge® wurde in 30 Fällen (14 Frauen und 16 Männer, Alter von 30–75 Jahre mit einem Durchschnittsalter  $52 \pm 11,2$  Jahre) implantiert. Alle Patienten hatten Erfahrung mit Hörgeräten. In der vorliegenden retrospektiven Studie werden die Ergebnisse einer Subgruppe von 9 Patienten mit einem Hochtonsteilabfall von mindestens 25 dB/Oktave im Frequenzbereich zwischen 1 und 8 kHz dargestellt. Einbezogen sind ausschließlich Patienten, deren Hörschwelle im Indikationsfeld für die Vibrant Soundbridge® im Tieftonbereich (500 Hz) mit einem Puffer von mindestens 15 dB zum oberen Limit (65 dB HL) liegt. In **Abb. 1** sind die individuellen Hörschwellen und der Mittelwert der Hörschwelle eingetragen. Im Hochtonbereich (4–8 kHz) lag der Hörverlust in 3 Fällen in mindestens einer Frequenz außerhalb des Indikationsfeldes.

Über einen retroaurikulären Zugang und eine posteriore Tympanotomie wurde der FMT des Vibrant Soundbridge®

Mittelohrimplantats (VORP 502X) mithilfe einer Titaniumklemme am langen Ambossschenkel ohne Verwendung von Kleber oder Zement befestigt. Für eine optimale Ankopplung des Systems wurde der FMT in direktem Kontakt an das Incudostapedialgelenk platziert.

Der Audioprozessor (Audio Processor 404, Siemens) wurde 4–8 Wochen postoperativ angepasst und nach Habituation entsprechend nachjustiert. Die Programmierung des Audioprozessors erfolgte mithilfe der Symfit-3.0-Fitting-Software; hierbei wurde die funktionelle Verstärkung entsprechend dem Hörverlust angepasst.

Die für die weitere Auswertung relevanten audiologischen Messungen umfassen

- die prä- und postoperativen Hörschwellen mithilfe der Reintonaudiometrie über Kopfhörer. Hierbei werden die Daten von allen versorgten Patienten (n=30) verwendet;
- die Hörschwelle im freien Schallfeld für Wobbeltöne, postoperativ einerseits mit Audioprozessor in Funktion („versorgt“) und andererseits ohne Audioprozessor („unversorgt“). Die Differenz zwischen diesen beiden Werten wird als *funktionaler Hörgewinn* bezeichnet;
- die Einsilberverständlichkeit in Ruhe mithilfe des Freiburger Einsilber-Sprachtests sowie
- die Einsilberverständlichkeit im Störgeräusch mithilfe des Döring-

Tests [4] bei einem Signalrauschabstand (SNR) von +5 dB und +20 dB bei konstantem Rauschpegel von 60dB SPL.

Der Döring-Test gilt als besonders anspruchsvoller Test für Hörgeschädigte und wird von den österreichischen Kostenträgern im Gesundheitswesen im Anpassbericht für Hörgeräteverordnungen in speziellen Fällen gefordert.

Bei Messungen im freien Schallfeld war der Lautsprecher für das Signal jeweils frontal in 1-m-Abstand vom Patienten positioniert; der Störschall wurde aus einem Lautsprecher von hinten angeboten.

## Ergebnisse

### Erhalt des Gehörs

Mit Ausnahme eines Seroms trat in keinem der 30 Fälle eine intra- oder postoperative medizinische Komplikation auf. Das Aufladen der Gehörknöchelchenkette mit dem FMT bewirkte keine klinisch signifikante Hörschwellenveränderung bei 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 6 und 8 kHz (Mittelwert 4 dB,  $p < 0,01$ , Wilcoxon-signed-rank-Test; **Abb. 2**).

### Funktioneller Hörgewinn

Einen Überblick über den Hörverlust für Wobbeltöne im freien Schallfeld der 9 Patienten mit Hochtonsteilabfall sowohl mit als auch ohne Audioprozessor (linearer Verstärkungsmodus) in Funktion gibt **Abb. 3**. Daraus ergibt sich als durchschnittlicher funktioneller frequenzabhängiger Hörgewinn der 9 Patienten mit Hochtonsteilabfall im Hochfrequenzbereich 33 dB bei 2000 Hz, 32 dB bei 3000 Hz, 34 dB bei 4000 Hz, 34 dB bei 6000 Hz und 37 dB bei 8000 Hz (**Abb. 4**). Entsprechend dem geringen Tieftonhörverlust dieser Gruppe war der Hörgewinn im Tieffrequenzbereich geringer mit 15 dB bei 500Hz und 22 dB bei 1000Hz.

### Sprachverständnis in Ruhe

Mit der Vibrant Soundbridge® war das durchschnittliche Einsilbberverständnis

## Zusammenfassung · Abstract

HNO 2007 · 55:690–695 DOI 10.1007/s00106-006-1506-4  
© Springer Medizin Verlag 2006

K. Böheim · A. Nahler · M. Schlögel

### Rehabilitation der Hochtoninnenohrschwerhörigkeit. Einsatz eines aktiven Mittelohrimplantats

#### Zusammenfassung

**Hintergrund und Fragestellung.** Trotz moderner konventioneller Hörgeräte ist die Rehabilitation der mittel- bis hochgradigen Hochtonschwerhörigkeit unzureichend. Ziel der Untersuchung war die Evaluation der Rehabilitation dieser Patientengruppe mit dem aktiven Mittelohrimplantat Vibrant Soundbridge®.

**Patienten und Methoden.** Aus einem mit Vibrant Soundbridge® implantierten Patientenkollektiv von 30 Fällen wurden 9 Patienten mit einem Hochtonsteilabfall von mindestens 25 dB/Oktave im Frequenzbereich zwischen 1 und 8 kHz selektiert. Die Messungen umfassen prä- und postoperative Hörschwellen, den funktionellen Hörgewinn und die Einsilbberverständlichkeit in Ruhe und im Störlärm.

**Ergebnisse.** Die Implantation bewirkte keine signifikante Änderung des Gehörs. Der durchschnittliche funktionelle Hörgewinn zwischen 2 und 8 kHz betrug 34 dB. Das durchschnittliche Einsilbberverständnis verbesserte sich sowohl in Ruhe als auch im Störlärm signifikant.

**Schlussfolgerung.** Die Vibrant Soundbridge® ist besonders leistungsstark im Hochtonbereich. Diese Eigenschaft ermöglicht eine verbesserte Rehabilitation bei Hochtoninnenohrschwerhörigkeit.

#### Schlüsselwörter

Aktives Mittelohrimplantat · Hochtonschwerhörigkeit · Hochtonsteilabfall · Vibrant Soundbridge® · Hörrehabilitation

### Rehabilitation of high frequency hearing loss. Use of an active middle ear implant

#### Abstract

**Background.** In spite of modern technology conventional hearing aids are only helpful in a limited number of patients with sensorineural hearing loss. In particular, patients presenting with moderate to severe high frequency hearing loss but only mild hearing loss in the low frequencies suffer from problems associated with conventional hearing aids such as occlusion of the ear canal and feedback. The aim of the study was the evaluation of rehabilitation of patients with high frequency hearing loss with the active middle ear implant Vibrant Soundbridge®.

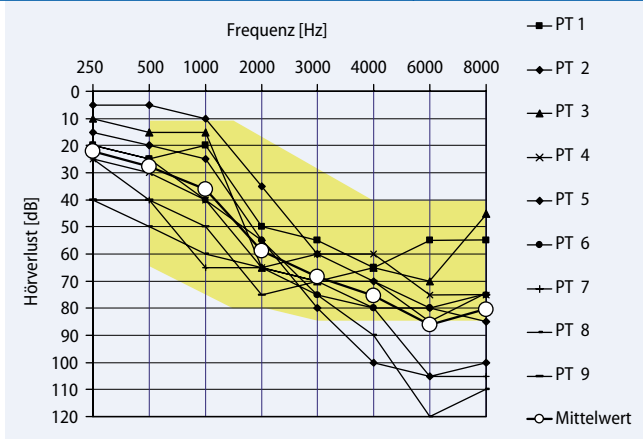
**Patients and methods.** The Vibrant Soundbridge® was surgically implanted into 30 patients, and the floating mass transducer was clipped onto the long process of the incus. Out of the 30 patients 9 presented with a ski slope audiogram of high frequency hearing loss of 25 dB within 1 octave in the frequency range 1000–8000 Hz. Main outcome measures were pure tone audiometry, speech audiometry in quiet and in noise.

**Results.** Residual hearing was preserved in all cases. Functional hearing gain was in proportion to the individual hearing losses and was remarkably high in the high frequencies up to 8000 Hz. Mean functional gain was 34 dB in the frequencies between 2000–8000 Hz. Speech recognition scores in quiet and in noise were significantly higher with the implant compared to the unaided situation.

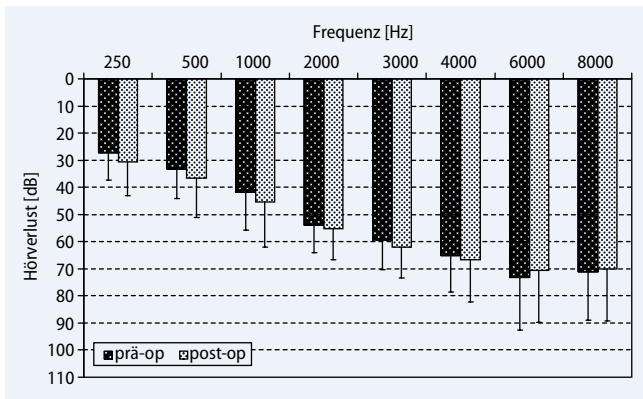
**Conclusion.** The middle ear implant Vibrant Soundbridge® has been shown to be performed extremely well especially in the high frequencies. It offers a new solution for rehabilitation of high frequency hearing loss.

#### Keywords

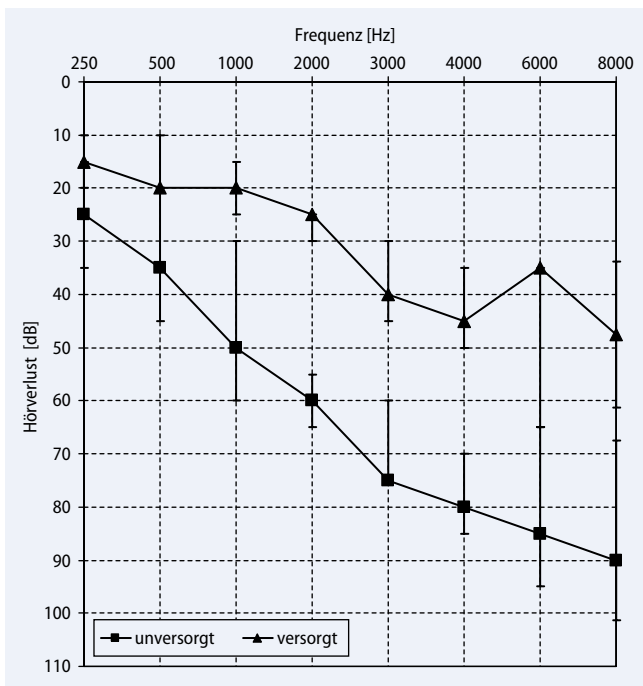
Active middle ear implant · High frequency hearing loss · Ski slope audiogram · Vibrant Soundbridge® · Hearing rehabilitation



**Abb. 1** ◀ Individuelle präoperative Hörschwellen der Subgruppe mit Hochtonsteilabfall (n=9) vor dem Hintergrund des Indikationsfeldes der Vibrant Soundbridge®. Die durchschnittliche Hörschwelle zeigt im Hochfrequenzbereich einen hochgradigen Hörverlust



**Abb. 2** ◀ Hörverlust präoperativ und 6 Monate postoperativ bei allen 30 mit Vibrant Soundbridge® versorgten Patienten. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung des Hörverlustes im Tonaudiogramm



**Abb. 3** ◀ Hörschwelle für Wobbeltöne im freien Schallfeld bei 9 Patienten mit Hochtonschwerhörigkeit ohne („unversorgt“) und mit („versorgt“) Audioprozessor in Funktion. Eingetragen sind Median und Quartilgrenzen

nis in Ruhe signifikant bei 65 dB SPL ( $p=0,005$ , Wilcoxon-signed-rank-Test) und 80 dB SPL ( $p=0,005$ , Wilcoxon-signed-rank-Test) gegenüber dem unversorgten Zustand verbessert (▣ Abb. 5).

### Sprachverständnis im Störlärm

Das durchschnittliche Einsilberverständnis im Störgeräusch war mit der Vibrant Soundbridge® signifikant bei SNR +5 dB

( $p=0,018$ , Wilcoxon-signed-rank-Test) und SNR +20 dB ( $p=0,008$ , Wilcoxon-signed-rank-Test) gegenüber der Situation ohne Vibrant Soundbridge® verbessert (▣ Abb. 6).

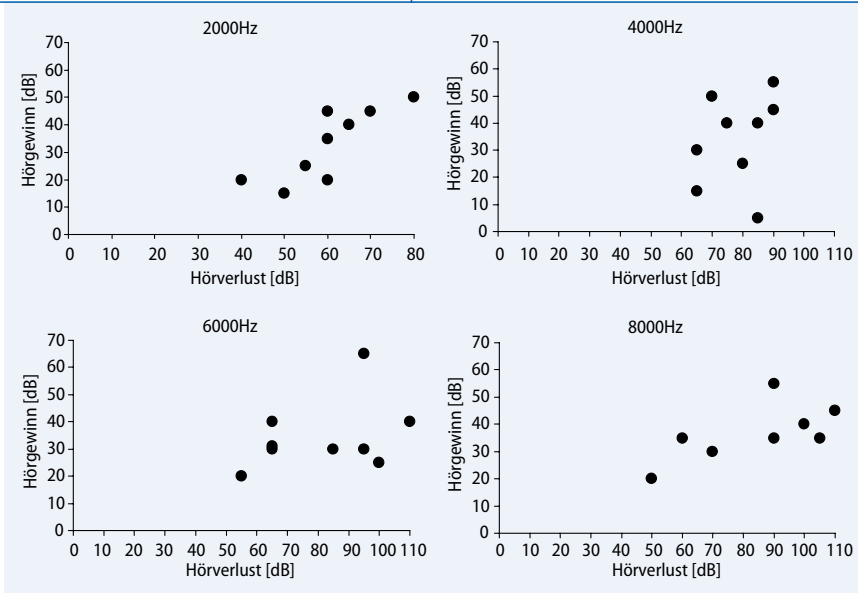
### Diskussion

Trotz neuer Entwicklungen in der modernen Hörgerätetechnik, bleibt die Versorgung von Hochtoninnenohrschwerhörigkeit eine besondere Herausforderung. Zur Vermeidung des Okklusions-effektes, der bei Patienten mit einer geringgradigen Tieftonschwerhörigkeit verbunden mit einer mittel- bis hochgradigen Hochtonschwerhörigkeit als besonders störend empfunden wird, favorisiert man in den letzten Jahren zunehmend die offene Versorgung. Die Hörgeräteindustrie hat daher „offene Hörsysteme“ für leichte Hochtoninnenohrschwerhörigkeiten entwickelt, die sich durch die Verwendung neu entwickelter Feedback-Algorithmen bei gering- bis mittelgradigen Innenohrschwerhörigkeiten bewähren. Sie eignen sich aber aufgrund der Rückkopplungsproblematik nur bedingt für mittelgradige Hochtonschwerhörigkeiten, die mehr Verstärkung erfordern und stellen für hochgradige Hochtoninnenohrschwerhörigkeiten keine ausreichende Lösung dar. In diesem Bereich können aktive Mittelohrimplantate das Therapiespektrum ideal ergänzen. Letztere eignen sich für solche Patienten, die mit konventionellen Hörgeräten nicht oder nur unzureichend versorgt werden können [7, 11, 12, 17].

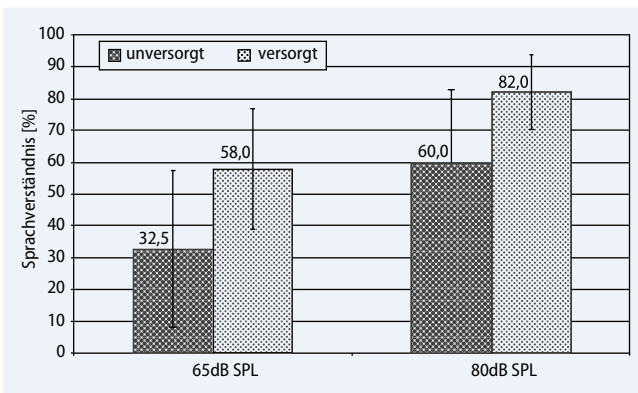
Die Implantation von aktiven elektronischen Mittelohrimplantaten wurde als wirksame und sichere Methode der hörverbessernden Operation bei Innenohrschwerhörigkeiten beschrieben [8, 9, 10, 18, 19, 20]. Die hier dargestellten Untersuchungen an mit der Vibrant Soundbridge® implantierten Patienten zeigten, dass das Gehör erhalten werden konnte und sich kein statistisch signifikanter Abfall der Innenohrfunktion nachweisen ließ. Dieses Ergebnis stimmt mit dem anderer Arbeitsgruppen überein [3, 5, 9, 10, 13, 15] und ist allgemein eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz implantierbarer Hörsysteme. Dies kann durch die geringe Masse des FMT von 25 mg erklärt werden.

Hier steht eine Anzeige.

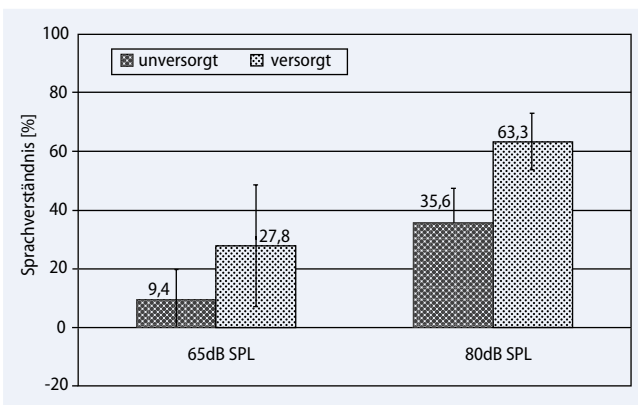




**Abb. 4** ▲ Individuelle Werte des Hörgewinns für Wobbelöne bei 2, 4, 6 und 8 kHz bei 9 Patienten mit Hochtonschwerhörigkeit (Hörgewinn: Differenz zwischen Hörschwelle im freien Schallfeld mit und ohne Audioprozessor in Funktion)



**Abb. 5** ▲ Sprachverständnis für Einsilber (Freiburger Sprachtest) in Ruhe im freien Schallfeld bei 9 Patienten mit Hochtonschwerhörigkeit ohne („unversorgt“) und mit („versorgt“) Audioprozessor in Funktion bei einem Sprachschallpegel von 65 dB SPL bzw. 80 dB SPL. Eingetragen sind Mittelwert und Standardabweichung



**Abb. 6** ▲ Sprachverständnis im Störlärm (Döring-Test) bei 9 Patienten mit Hochtonschwerhörigkeit ohne („unversorgt“) und mit („versorgt“) Audioprozessor in Funktion. Störschallpegel konstant 60 dB SPL, Sprachschallpegel 65 dB SPL bzw. 80 dB SPL. Eingetragen sind Mittelwert und Standardabweichung

Der FMT arbeitet dabei mit einer sogenannten Einpunktfixierung; hierdurch konnte er bei allen Operationen mithilfe der Titanklemme sicher an der Ossikelkette befestigt werden. Der intraoperative Vorteil der Einpunktfixierung liegt darin, dass keine Justierarbeit notwendig ist, um die Kopplung zu optimieren.

Das aktive Mittelohrimplantat Vibrant Soundbridge® eignet sich besonders zur Versorgung mittel- und hochgradiger Hochtonschwerhörigkeiten, da es hohe Verstärkungen bis zu 8 kHz ermöglicht. Konventionelle Hörsysteme können aufgrund der Technologie der Hörer in der Regel nur Frequenzen bis 6 kHz verstärken; hierbei müssen die physiologischen Impedanzen des Trommelfells und der Gehörknöchelchenkette überwunden werden. Der FMT verstärkt wirkungsvoll im Frequenzbereich zwischen 500 Hz und 8 kHz. Seine Einpunktfixierung am langen Ambosschenkel umgeht das Trommelfell und vermindert das Risiko von Verzerrungen. Die räumliche Trennung zwischen FMT (Mittelohr) und Mikrofon (retrosupraaurikulär) vermeidet dabei das Auftreten von Rückkopplungspfeifen. Selbst bei Verstärkungen von 60–65 dB traten keine Rückkopplungen auf. Durch die Platzierung des FMT im Mittelohr bleibt der Gehörgang frei, Okklusion wird vermieden und tiefe Frequenzen erreichen das Innenohr auf natürlichem Wege. Gleichzeitig werden die Schwingungen der Ossikelkette im mittleren und hohen Frequenzbereich durch den FMT verstärkt.

Der erforderliche Hörgewinn konnte durchschnittlich bei allen Patienten entsprechend den Hörverlusten erzielt werden. Besonders bemerkenswert ist der hohe Hörgewinn im Hochfrequenzbereich zwischen 2 und 8 kHz von durchschnittlich 34 dB; im Einzelfall wurden maximale Verstärkungen von bis zu 65 dB gemessen und als angenehm empfunden. Die Akzeptanz hoher Verstärkungen im Hochfrequenzbereich ist durch die direkte Stimulation der Gehörknöchelchenkette möglich. Das Trommelfell, das bei hohen Schalldruckpegeln und hohen Frequenzen verzerrt [2], wird dabei umgangen. Vorteile der direkten mechanischen Ankopplung zur Rehabilitation der Hochtonschwerhörigkeit sind mit einer Reihe

von aktiven Mittelohrimplantaten klinisch dokumentiert [11, 17].

Patienten mit Hochtonschwerhörigkeit haben ein relativ gutes Sprachverstehen in Ruhe, weil sie in der Regel ein gutes Tieftonrestgehör haben. Mit der Vibrant Soundbridge® konnte dieses Sprachverstehen in Ruhe in allen Fällen weiter verbessert werden. Erklärungen sind die mögliche Verstärkung im Hochfrequenzbereich, die ein verbessertes Konsonantenverstehen bewirkt, und die Linearität des FMT, die zu einem verbesserten Klangbild führt [1]. Etwaige Resonanzen, wie sie bei konventionellen Hörsystemen auftreten können, werden durch den direkten Antrieb der Ossikelkette vermieden.

Hochtonschwerhörige klagen v. a. über Kommunikationsprobleme beim Verstehen in geräuschvoller Alltagsumgebung. Unter Anwendung des Döring-Tests, eines anspruchsvollen Sprachtests, bei dem ein Normalhörender bei einem Signalrauschabstand von +5 dB etwa 70% diskriminieren kann, verbesserte sich das Sprachverständnis der hier untersuchten Patienten mit Hochtonschwerhörigkeit um durchschnittlich 18 Prozentpunkte. Im Vergleich dazu gilt eine Verbesserung um 10 Prozentpunkte als ein gutes Ergebnis bei konventioneller Hörgeräteversorgung. Die Verbesserung der Sprachdiskrimination im Lärm mit Vibrant Soundbridge® wurde von Garin et al. [6] untersucht. Die Überlegenheit der direkten Stimulation mit der Vibrant Soundbridge® gegenüber akustischer Stimulation mit Hörgeräten gleicher Signalverarbeitung bei der Rehabilitation des Sprachverstehens in Ruhe und im Störlärm von Hochtonschwerhörigen ist von Uziel et al. belegt [14].

## Fazit für die Praxis

**Bei der Hochtonschwerhörigkeit, insbesondere beim Hochtonsteilabfall, bietet sich die Vibrant Soundbridge® als eine neue Rehabilitationslösung an, da der Gehörgang völlig frei bleibt und damit das Tieffrequenzgehör auch auf natürliche Weise genutzt werden kann. Gleichzeitig beweisen die hier berichteten klinischen Ergebnisse die Leistungsstärke der Vibrant Soundbridge® im Hochtonbereich. Sie ist derzeit das einzige, klinisch**

**verfügbare System, das Verstärkung bis 8 kHz ermöglicht; dies führt insbesondere zu einer Verbesserung des Sprachverstehens im Störlärm.**

## Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. Dr. h.c. K. Böheim**

Abteilung für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde,  
Landeskrankenhaus  
Probst-Führer-Straße 4, 3100 St. Pölten  
Österreich  
klaus.boeheim@stpoelten.lknoe.at

**Interessenkonflikt.** Es besteht kein Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen. Die Präsentation des Themas ist unabhängig und die Darstellung der Inhalte produktneutral.

**Danksagung.** Wir danken Frau Prof. Dr. Kunigunde Welzl-Müller für Anregungen zu dieser Arbeit.

## Literatur

- 1 Ball GR, Katz BH (1997) Signal analysis of direct drive middle ear implant (Diskussionsschrift). Symphonix Devices Inc, Innsbruck
- 2 Ball GR, Huber A, Goode RL (1997) Scanning laser Doppler vibrometry of the middle ear ossicles. *Ear Nose Throat J* 76: 213–218
- 3 Dazert S, Shehata-Dieler WE, Dieler R, Helms J (2000) Das Mittelohrimplantat „Vibrant Soundbridge“ zur Hörrehabilitation bei sensorischer Schwerhörigkeit: Klinik, Indikation und erste Ergebnisse. *Laryngorhinootologie* 79: 459–464
- 4 Döring HW, Hamacher V (1992) Neue Sprachverständlichkeitstests in der Klinik: Aachener Logatometest und Dreinsilbertest im Störschall. In: Kollmeier B (Hrsg) *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. Medianverlag von Killisch-Horn, Heidelberg, S 137–168
- 5 Fisch U, Cremers CW, Lenarz T et al. (2001) Clinical experience with the Vibrant Soundbridge implant device. *Otol Neurotol* 6: 962–972
- 6 Garin P, Thill MP, Gerard JM et al. (2002) Speech discrimination in background noise with the Vibrant Soundbridge middle ear implant. *Otorhinolaryngol Nova* 12: 119–123
- 7 Jenkins HA, Niparko JK, Slattery WH et al. (2004) Otologics middle ear transducer ossicular stimulator: performance results with varying degrees of sensorineural hearing loss. *Acta Otolaryngol* 124: 391–394
- 8 Lenarz T, Weber BP, Mack KF et al. (1998) Vibrant Soundbridge System: Ein neuartiges Hörimplantat für Innenohrschwerhörigkeit, Teil 1. *Laryngorhinootologie* 77: 247–255
- 9 Lenarz T, Weber BP, Issing PR et al. (2001) Vibrant Soundbridge system. A new kind of hearing prosthesis for patients with sensorineural hearing loss. 2. Audiological results. *Laryngorhinootologie* 7: 370–380
- 10 Luetje CM, Brackman D, Balkany TJ et al. (2002) Phase III clinical trial results with the Vibrant Soundbridge implantable middle ear hearing device: a prospective controlled multicenter study. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2: 97–107

- 11 Silverstein H, Atkins J, Thomson JH, Gilman N (2005) Experience with the Soundtec implantable hearing aid. *Otol Neurotol* 26: 211–217
- 12 Snik AF, Mylanus EA, Cremers CW et al. (2001) Multicenter audiometric results with the Vibrant Soundbridge, a semi-implantable hearing device for sensorineural hearing impairment. *Otolaryngol Clin North Am* 34(2): 373–388
- 13 Sterkers O, Bouccara D, Labassi S et al. (2003) A middle ear implant, the Symphonix Vibrant Soundbridge: retrospective study of the first 125 patients implanted in France. *Otol Neurotol* 24: 427–436
- 14 Uziel A, Mondain M, Hagen P et al. (2003) Rehabilitation for high-frequency sensorineural hearing impairment in adults with the Symphonix Vibrant Soundbridge: a comparative study. *Otol Neurotol* 24: 775–783
- 15 Vincent C, Fraysse B, Lavielle JP et al. (2004) A longitudinal study on postoperative hearing thresholds with the Vibrant Soundbridge device. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 261: 493–496
- 16 Zenner HP (2000) Implantierbare Hörgeräte – Der aktuelle Stand. *Laryngorhinootologie* 79 [Suppl 2]: S141–161
- 17 Zenner HP (2000) TICA totally implantable system for treatment of high-frequency sensorineural hearing loss. *Ear Nose Throat J* 79: 770–777
- 18 Zenner HP, Leysieffer H (1997) Aktive elektronische Hörimplantate für Mittel- und Innenohrschwerhörige – Eine neue Ära der Ohrchirurgie, Teil I: Grundprinzipien und Nomenklaturvorschlag. *HNO* 45: 749–757
- 19 Zenner HP, Leysieffer H (1997) Aktive elektronische Hörimplantate für Mittel- und Innenohrschwerhörige – Eine neue Ära der Ohrchirurgie, Teil II: Gegenwärtiger Entwicklungsstand. *HNO* 45: 758–768
- 20 Zenner HP, Leysieffer H (1997) Aktive elektronische Hörimplantate für Mittel- und Innenohrschwerhörige – Eine neue Ära der Ohrchirurgie, Teil III: Perspektiven für Innenohrschwerhörigkeit. *HNO* 45: 769–774
- 21 Zwicker E, Fastl H (1990) Pure tones masked by narrow-band noise. In: Zwicker E, Fastl H (eds) *Psycho-acoustics*, 2nd edn. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, p 64