

Auditorische Wahrnehmung

- Sprache
- Akustisches Erkennen von Objekten/Personen
- Auditorische Lokalisation
- Musik
- Signalisieren von Gefahr

Töne und komplexere Schalle

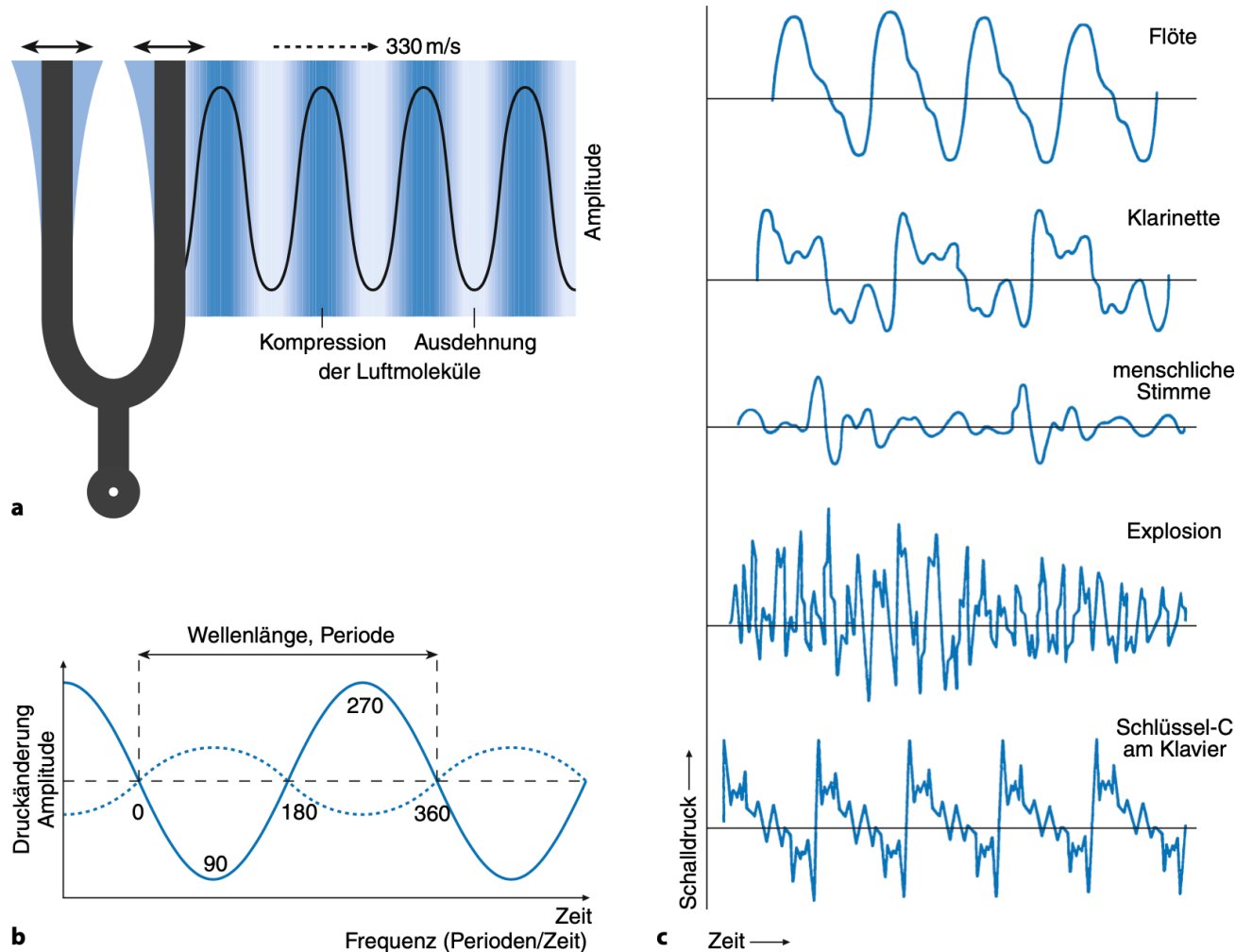
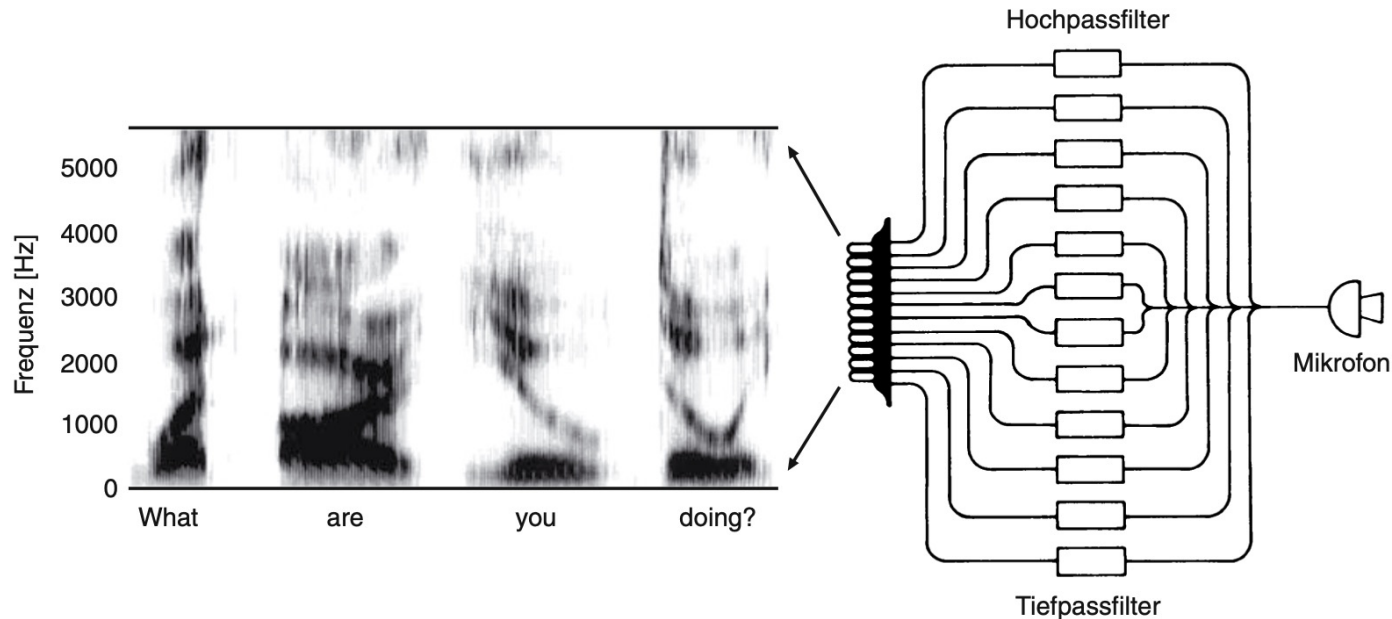


Abb. 4.1 Charakteristika von Schallwellen. Die Geräuschquelle, zum Beispiel eine Stimmgabel (a), verursacht Zusammenstöße von Molekülen, die sich als Druckwellen ausbreiten, das heißt Longitudinalwellen, deren Eigenschaften sich aber als Sinuswellen beschreiben lassen (b). Lautere Töne haben eine höhere Amplitude, höhere Töne eine höhere Frequenz. Komplexe Wellenformen (c) werden als musikalischer Ton empfunden, wenn sie sich regelmäßig wiederholen, als Lärm, wenn sie unregelmäßig sind. Wellenformen vertrauter Geräusche (zum Beispiel bei einer Explosion). Gezeigt sind: Flöte, Klarinette, menschliche Stimme, der Ton c1 am Klavier. Bei letzterem wird die grundlegende Wellenlänge durch den Grundton hervorgebracht. Die mitschwingenden Saiten vibrieren jedoch auch auf einigen höheren Frequenzen, die die Auszackungen des Wellenmusters bedingen. Diese zusätzlichen Frequenzen werden im Klangspektrum identifiziert

Sprachspektrogramme



■ **Abb. 4.3** Spektrogramme (visuelle Darstellung) der menschlichen Sprache für die angegebene englische Frage. Dazu *rechts* die schematische Darstellung eines Tonspektrografen, der die Aufzeichnung hervorbringt. Über ein Mikrofon (*ganz rechts*) und eine Reihe von spezifischen Frequenzfiltern wird der gesamte Ton in entsprechend viele Frequenzanteile zerlegt, die dann bildlich aufgezeichnet werden können. Die *Graustufen* drücken die Lautstärke aus

Die Akustik menschlicher Sprache

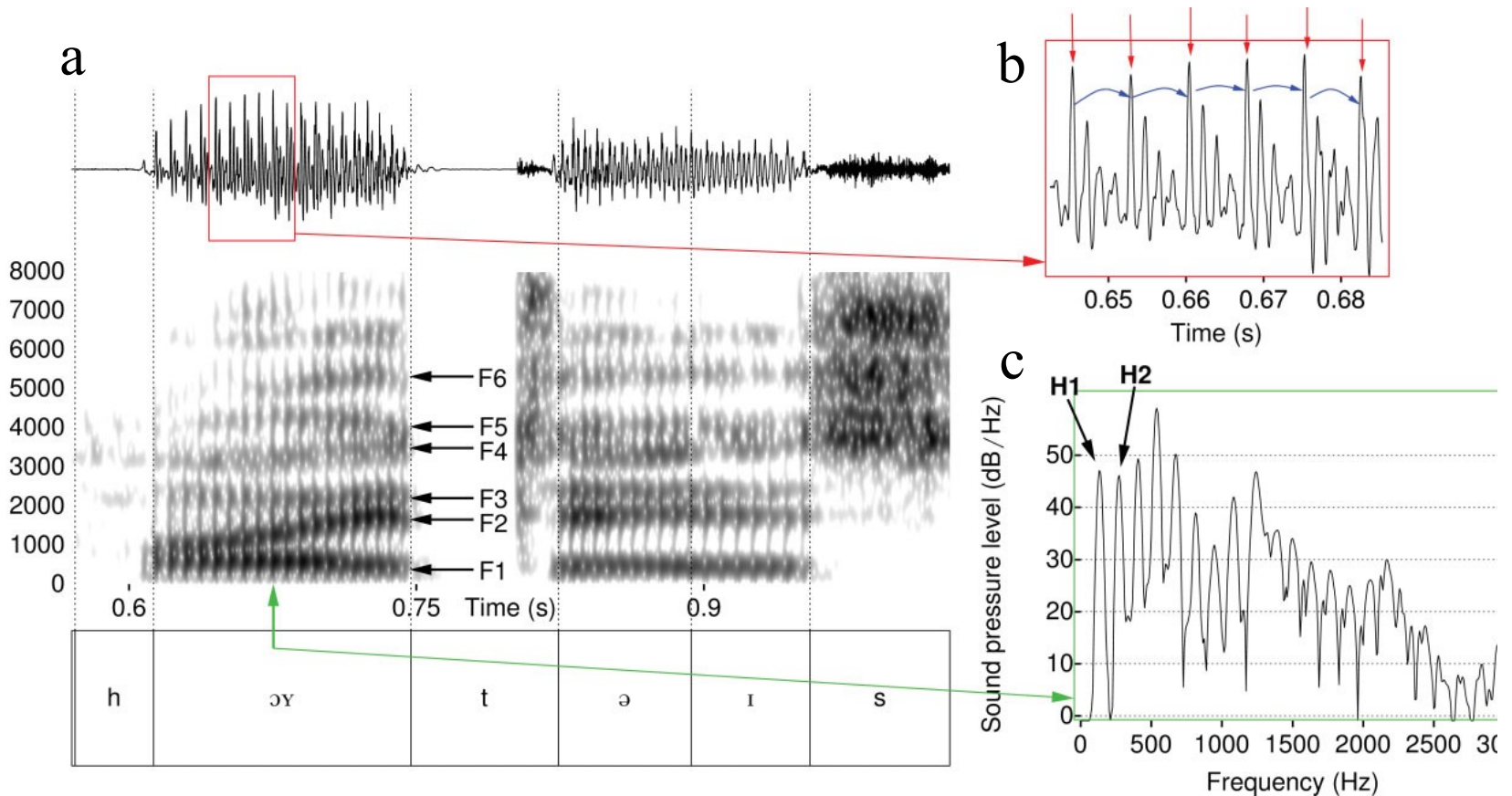


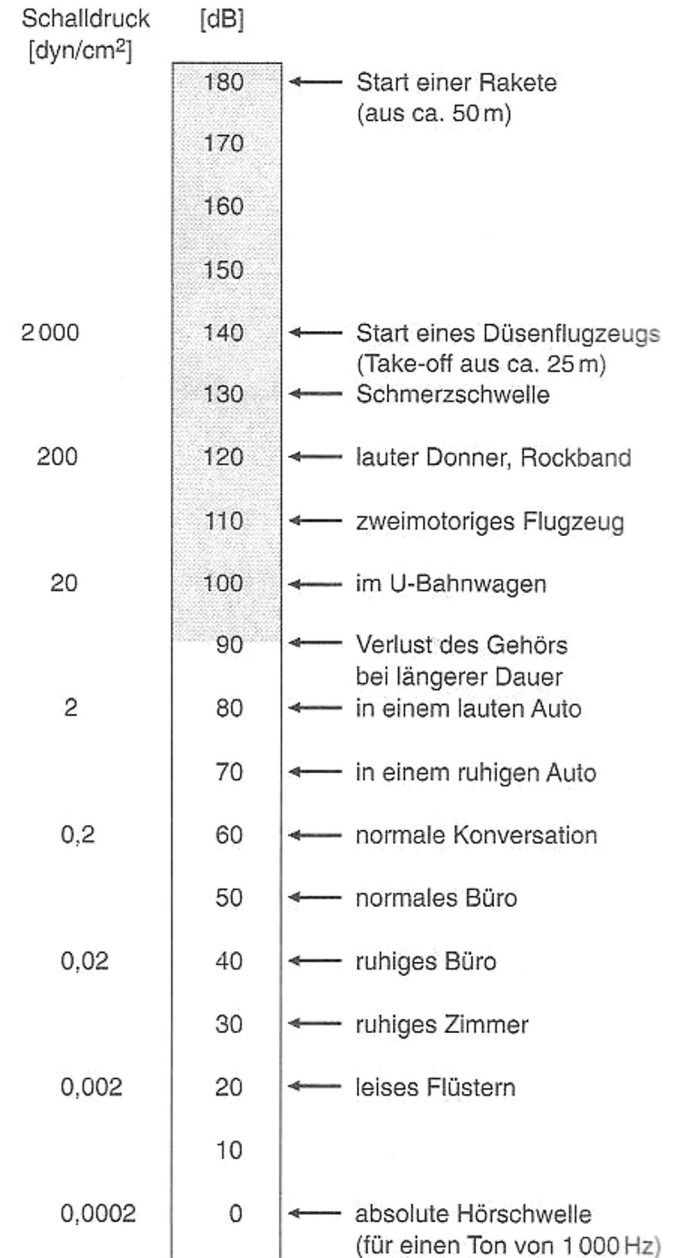
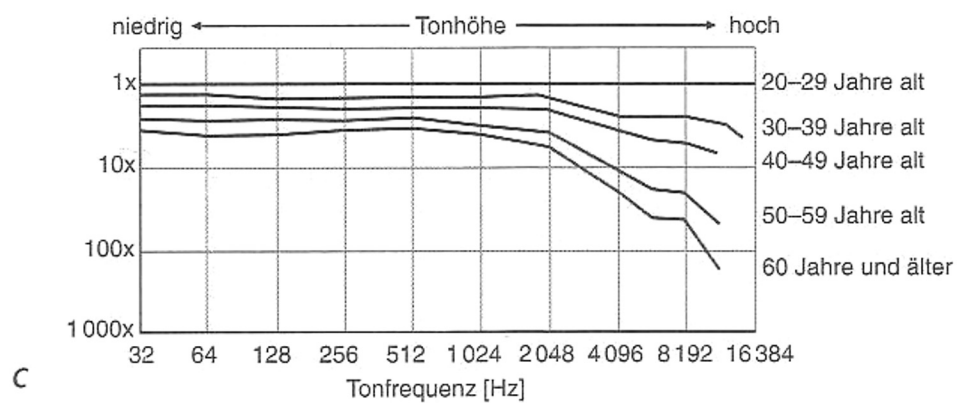
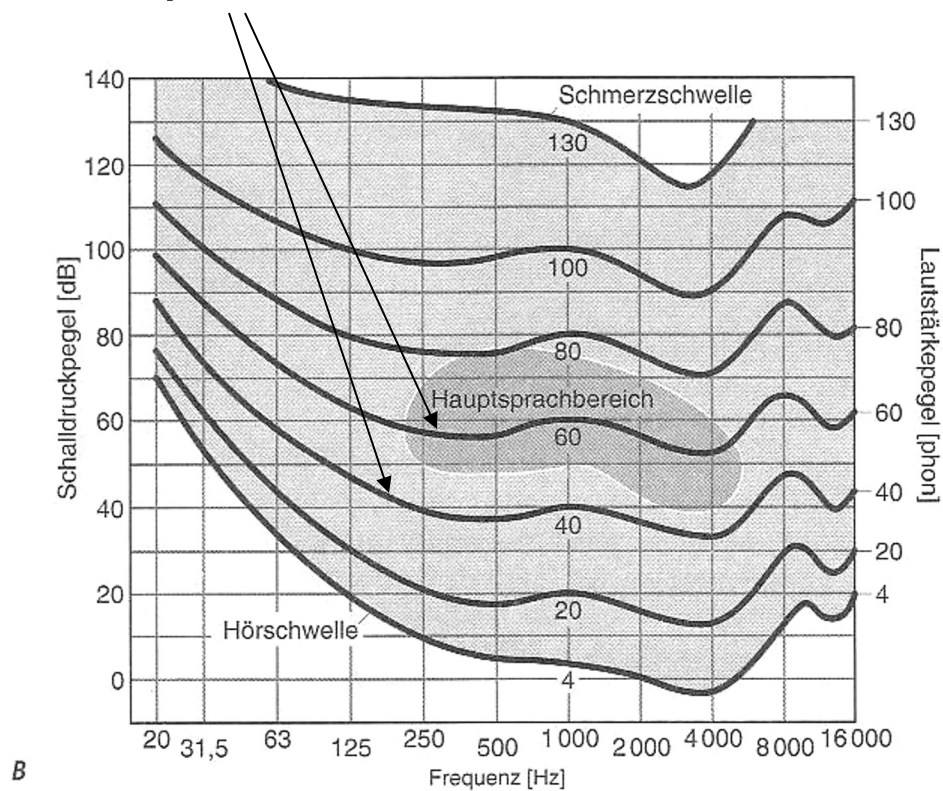
FIGURE 1 | A short excerpt (heute ist ‘today is’) of speech from a male speaker illustrating typical acoustic parameters measured to assess voice similarity. (a) Sound pressure wave. (b) Excerpt of oscillogram showing six periods of voicing. Different jitter measures characterize local differences in the duration of the periods (blue curved arrows). Shimmer measures characterize local differences in period amplitude (vertical red arrows). (c) Formant frequencies (here F1-F6) can be estimated from the time–frequency–intensity display (spectrogram). (d) The individual peaks in the spectral slice represent the individual harmonics (whole integer multiples of f_0). The difference between the strength of the first and second harmonics (H1-H2) is an important indication of breathiness in the voice source.

Source: Schweinberger, S.R., Kawahara, H., Simpson, A.P., Skuk, V.G., & Zäske, R. (2014). Speaker Perception. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 5, 15-25.

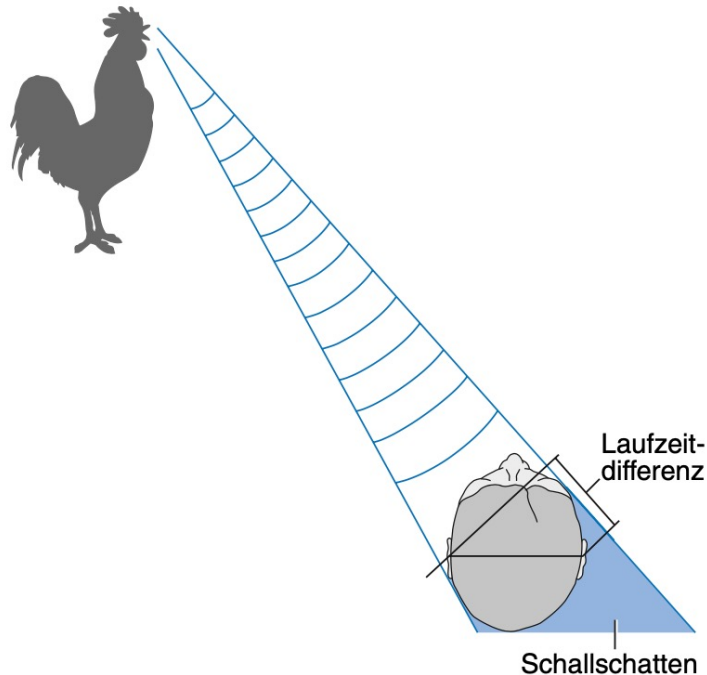
Begriffe: Lautstärke, Tonhöhe, Klangfarbe, Hörschwelle, Schmerzschwelle, Hörfläche

- Schalldruck wird frequenzabhängig als *Lautstärke* empfunden.
- Frequenz wird als *Tonhöhe* empfunden.
- Die *Klangfarbe* eines Geräusches wird bestimmt durch die Zusammensetzung des Signals aus verschiedenen Frequenzen.
- Der minimale Schalldruckpegel, der für die Erzeugung einer Wahrnehmung nötig ist, heisst *Hörschwelle*. Die Hörschwelle ist ebenfalls frequenzabhängig.
- Der Schalldruck, ab dem ein Schall als schmerzhaft erlebt wird, wird als *Schmerzschwelle* bezeichnet.
- Der Bereich zwischen Hörschwelle und Schmerzschwelle wird als *Hörfläche* bezeichnet.
- Der Bereich hörbarer Frequenzen beim Menschen reicht von ca. 20 bis 20000 Hz (Schwingungen pro Sekunde).
- Schalldruck wird in Dezibel (dB SPL) gemessen.
- Logarithmische Skala, auf der eine Verdoppelung des Schalldrucks etwa 6 dB entspricht.

„Isophonlinien“



Lokalisation von Schallquellen



■ **Abb. 4.11 Schallquellenlokalisierung.** Sie erfolgt vornehmlich über die Ermittlung der Laufzeitdifferenz eines Tones zwischen beiden Ohren. Kommt der Ton von links vorn, erreicht er das linke Ohr früher als das rechte. Dieses Lokalisationsmerkmal ist besonders wirksam bei niedrigen Frequenzen. Bei hohen Frequenzen ist die unterschiedliche Schallintensität von Bedeutung. Sie ist infolge des Schallschattens am abgewandten Ohr niedriger

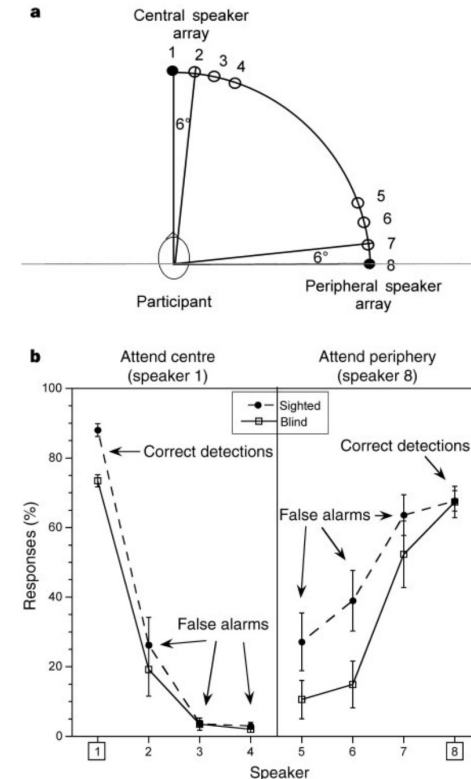


Figure 1 Speaker layout and response gradients. **a**, Central and peripheral speaker arrays. Participants had to detect rare deviants at speaker 1 (attend centre) or speaker 8 (attend periphery). **b**, Gradients of the percentage of detection responses (mean ± standard error) to deviants at the central speakers 1–4 and peripheral speakers 8–5 when the participant's task was to press a button to deviants at speaker 1 (attend centre) and speaker 8 (attend periphery), respectively. Responses to deviants at locations 1 and 8 were classified as correct responses, whereas responses to the remaining locations were considered false alarms. Response rates to deviants in the unattended speaker array were negligible and are not shown. Sighted and blind participants did not differ in their gradients of detection performance in the 'attend centre' condition, but blind participants showed a more sharply tuned gradient of attention than sighted subjects in the 'attend periphery' condition.

Source: Röder et al. (1999). Improved auditory spatial tuning in blind humans. *Nature*, 400, 162-166.

Aufbau und Funktion des Ohres

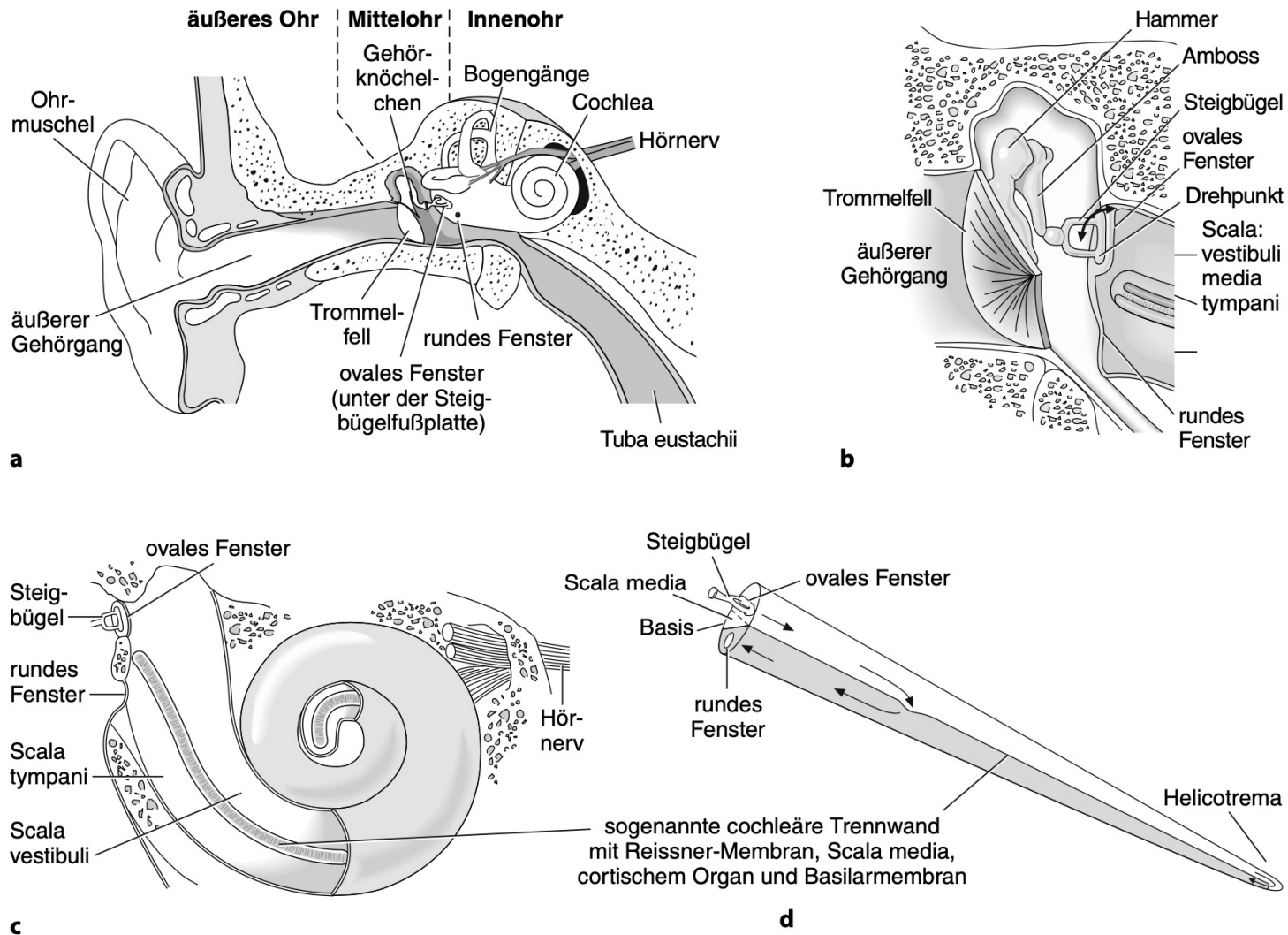


Abb. 4.4 Aufbau des Ohres und Verlauf der Schallaufnahme. **a** Das von einer Schallquelle (zum Beispiel Stimmgabel) ausgehende Schallfeld erreicht über den äußeren Gehörgang das Trommelfell, **b** Schnitt durch das Mittelohr und Anschnitt der menschlichen Hörschnecke (Cochlea), **c** und **d** Weg des Schalldrucks durch die Cochlea; schematisierte Darstellung mit ausgerollter Schnecke. (Goldstein 1997, S. 322, Abb. 8.10, © Adrienne Lehmann)

Die Cochlea im Schnittbild

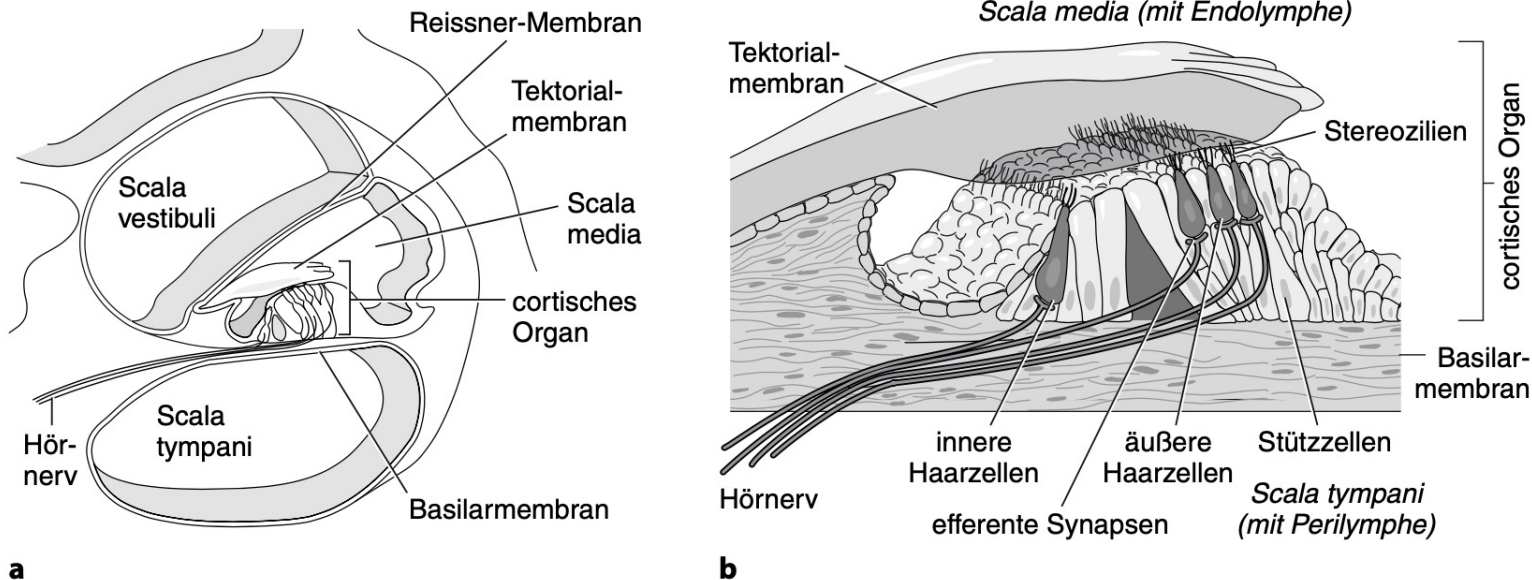


Abb. 4.5 Querschnitt durch das cortische Organ. **a** Schnitt durch eine Windung der Cochlea. Sie besteht aus drei Etagen: der oberen, der Scala vestibuli, die dem Gleichgewichts- oder Vestibularorgan am nächsten liegt; der unteren, der Scala tympani, die an der Spitze der Schnecke, dem Helicotrema, offen ineinanderübergeht; und der mittleren, der Scala media, in der die Hörsinneszellen auf der Basilarmembran liegen, darüber die sie abdeckende Tektorialmembran, **b** Die äußeren Haarzellen haben mit ihren Stereozilien Kontakt zur Tektorialmembran, deren Schwingung sie übernehmen. Die inneren Haarzellen endigen innerhalb der Endolymphe, von denen sie entsprechend mitbewegt werden. Über efferente Synapsen wird die Information auf die afferenten Hörnerven übertragen

Schallübertragung im Innenohr

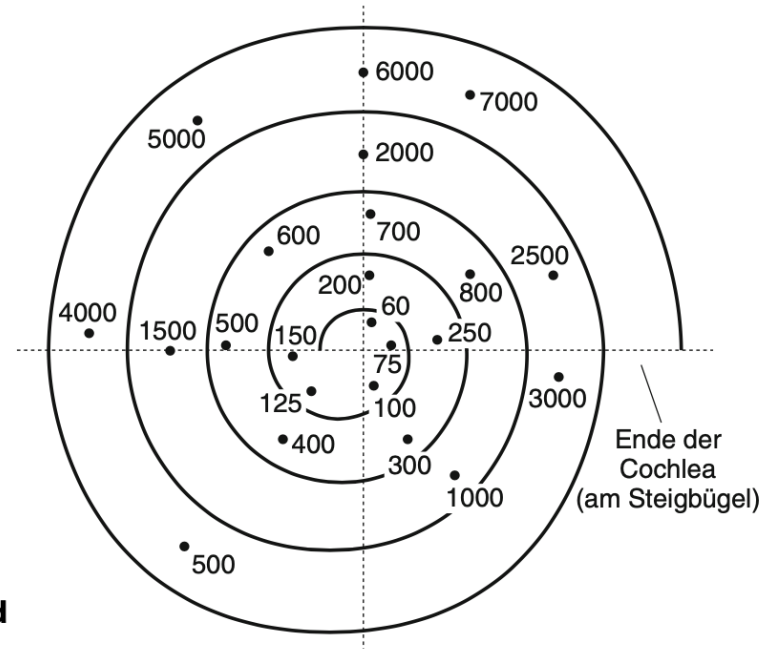
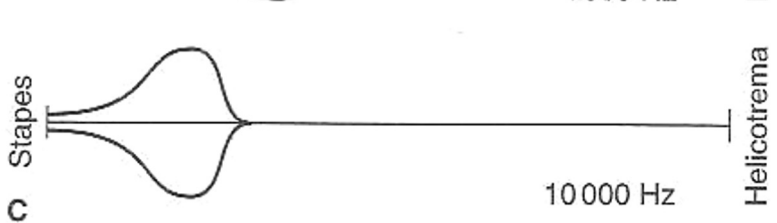
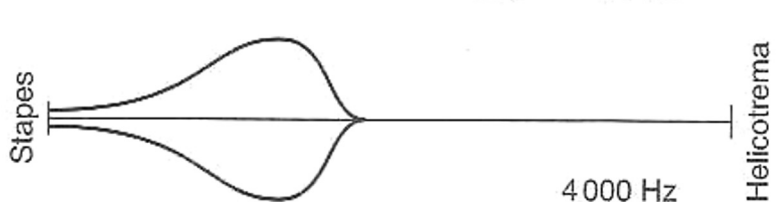
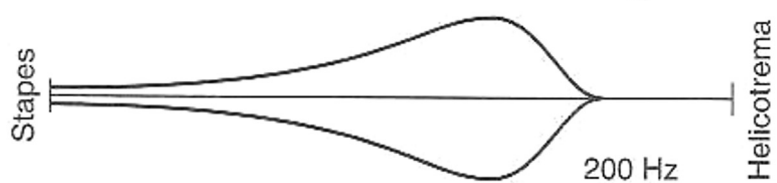
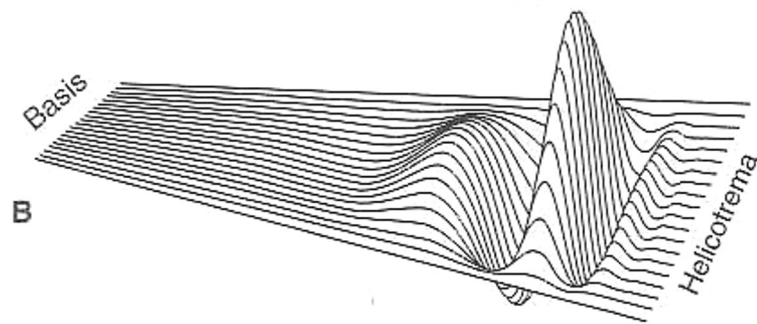
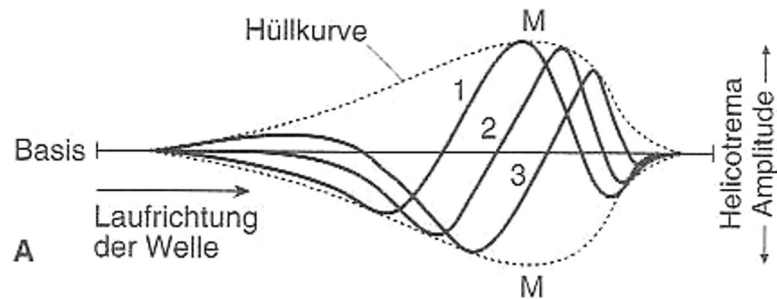
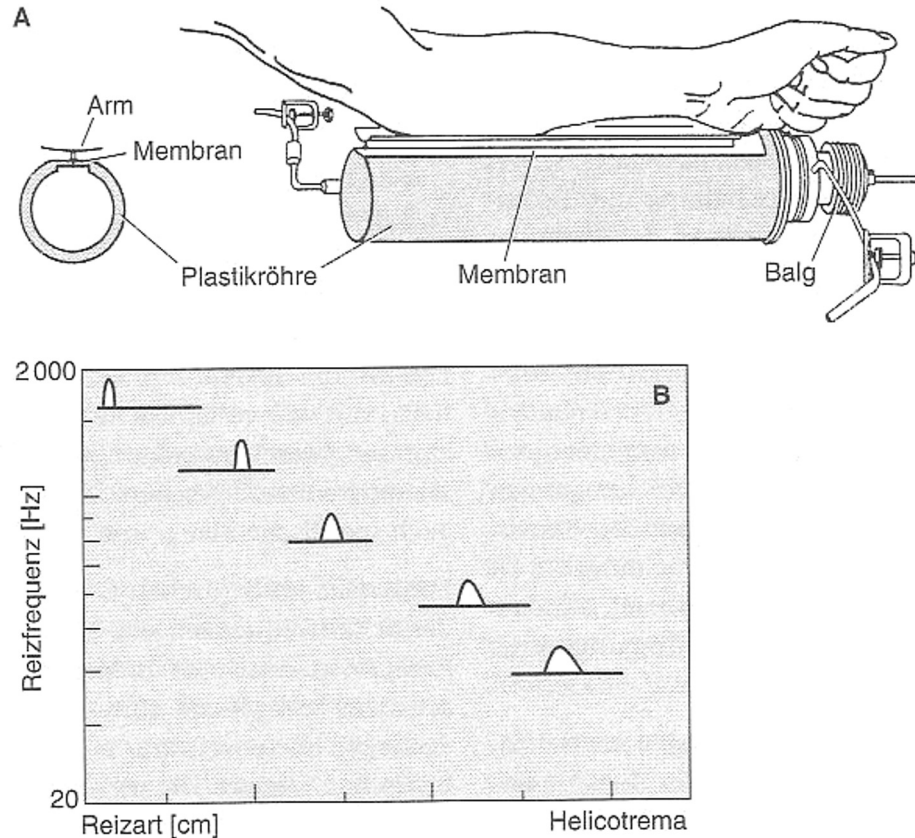


Abb. 4.6 Schallübertragung im Innenohr an der Basilarmembran.
a Schwingungszustände der Basilarmembran zu verschiedenen Zeitpunkten mit deren Hüllkurve (*gestrichelt*) und dem variierenden Schwingungsmaximum (*M*), **b** Perspektivische Darstellung der Wanderwelle in den cochleären Membranen. Ausgehend von dem ovalen Fenster verläuft die Welle entlang der Basilarmembran zur Schneckenspitze. Je nach Frequenz des Schallsignals bildet sich das Amplitudenmaximum an einem bestimmten und jeweils eng begrenzten Ort aus, wo die Haarzellen entsprechend maximal stimuliert werden, **c** Auslenkungsmaxima der schwingenden Basilarmembran. Bei Tönen zunehmend hoher Frequenzen bilden sich die Schwingungsmaxima zunehmend näher am ovalen Fenster des Steigbügels, **d** Tonotopie Karte der Cochlea. Die Zahlen bezeichnen die Frequenz und den Ort ihrer maximalen elektrophysiologischen Antwort. Auch hier rufen hohe Frequenzen die stärkste Reaktion an der Basis, am ovalen Fenster, hervor

„Hören“ mit der Haut (Békésy, 1971)



■ **Abb. 4.7** a Békésy's Modell der Cochlea, b lokalisierte Vibrationsempfindungen bei unterschiedlicher Vibrationsfrequenz (s. Text). (a nach Békésy 1956; b Békésy 1955)

Ereigniskorrelierte Potentiale

Ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs) sind Veränderungen in der elektrischen Aktivität des Gehirns, welche zeitsynchronisiert auftreten, und zwar entweder

- in Reaktion auf physikalische Stimuli (auch: „evozierte Potentiale“)
- in Verbindung mit mentaler Aktivität, oder
- in der Vorbereitung von Handlungen.

(Picton, 1980)

Elektrophysiologische Untersuchungen des Hörens

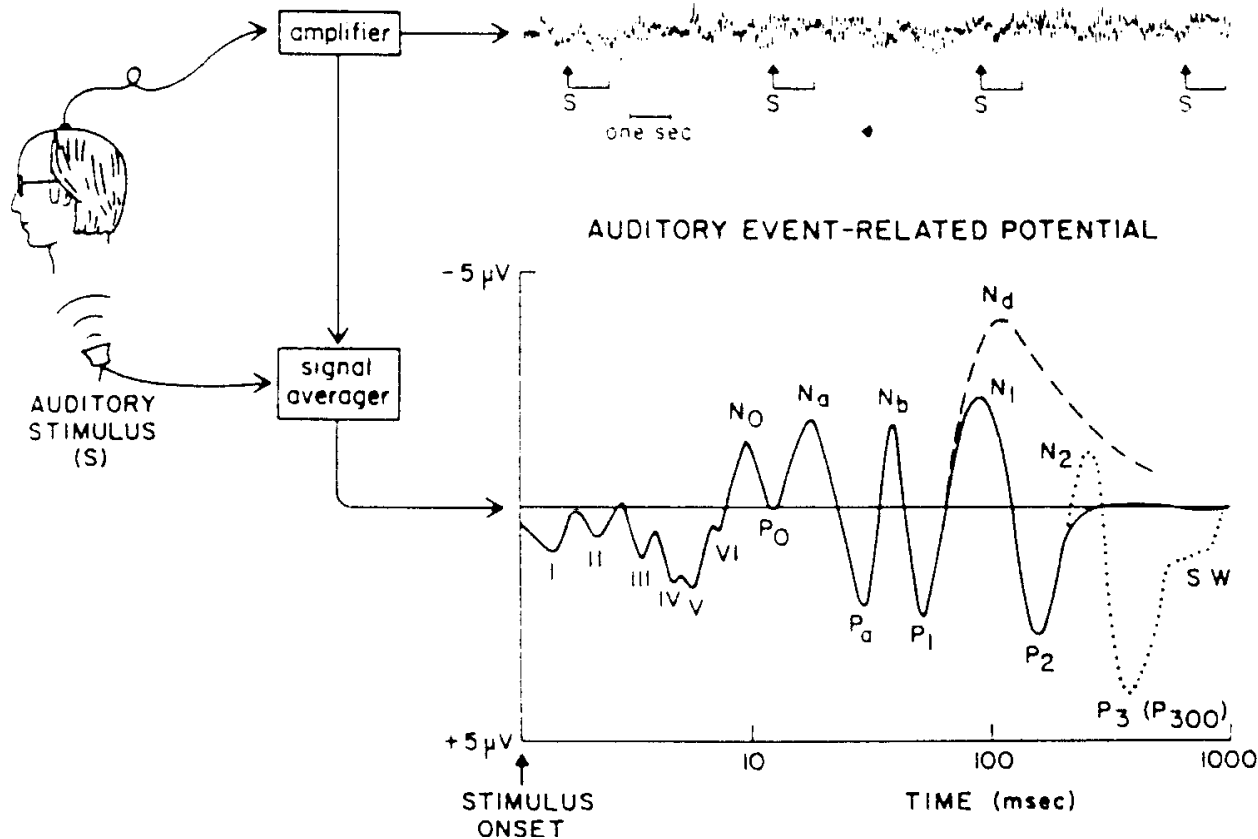
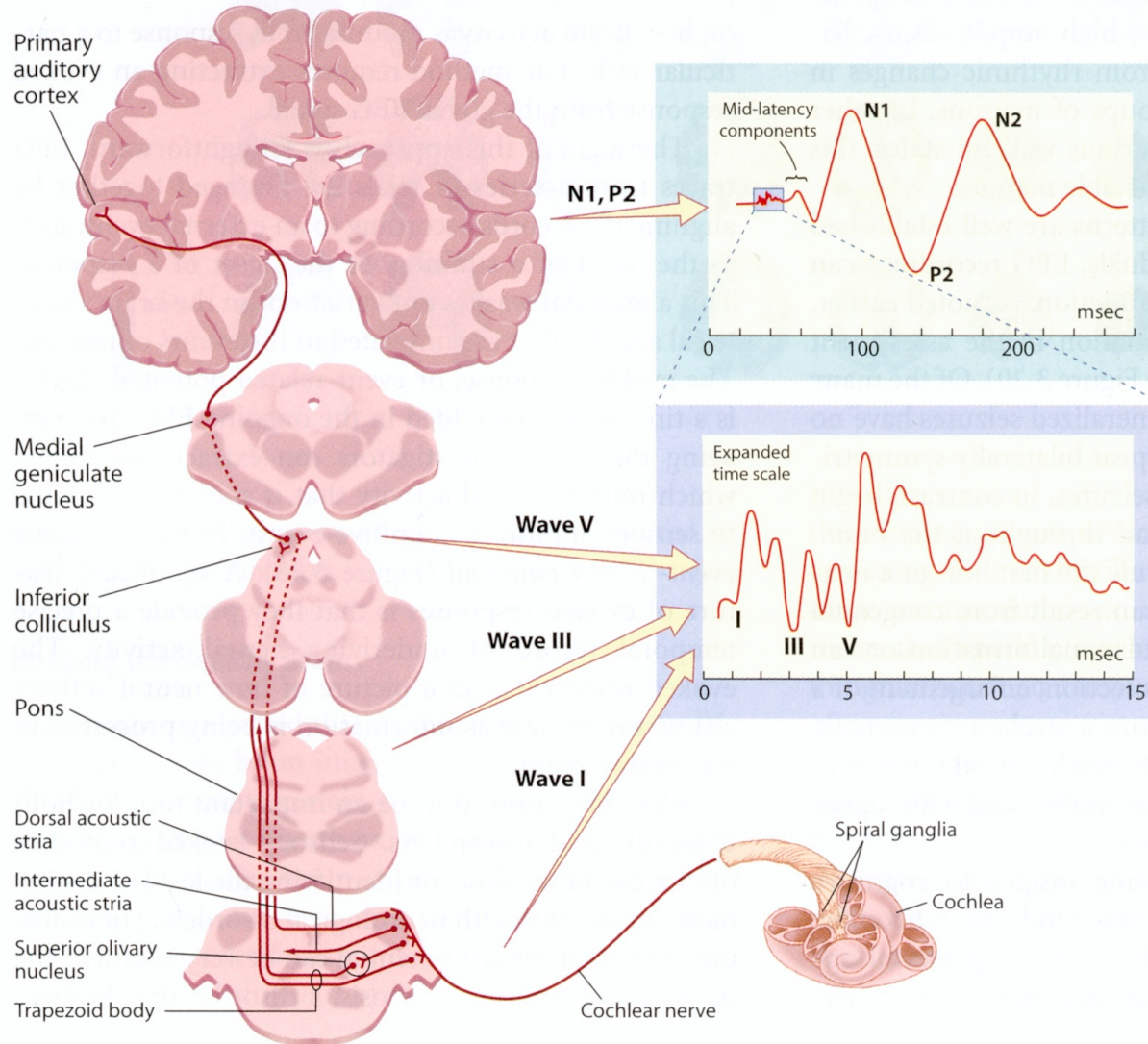


FIG. 1. Idealized waveform of auditory event-related potential (ERP) recorded from the scalp to a brief stimulus such as a click. *Upper tracing*, amplified electroencephalogram (EEG). The ERP is not recognizable in the raw EEG and emerges gradually over many presentations of the auditory stimulus (S). *Lower tracing*, auditory ERP obtained by averaging many 1-s epochs of EEG. Logarithmic time base allows visualization of early brain stem waves (I-VI), midlatency components (NO, PO, Na, Pa, Nb), vertex potentials (P1, N1, P2), and task-related endogenous components (Nd, N2, P300, and slow wave (SW)).

Auditorisches System und akustisch evozierte Hirnstammpotentiale



“Objektive Audiometrie” mit BAEPs bei Babies

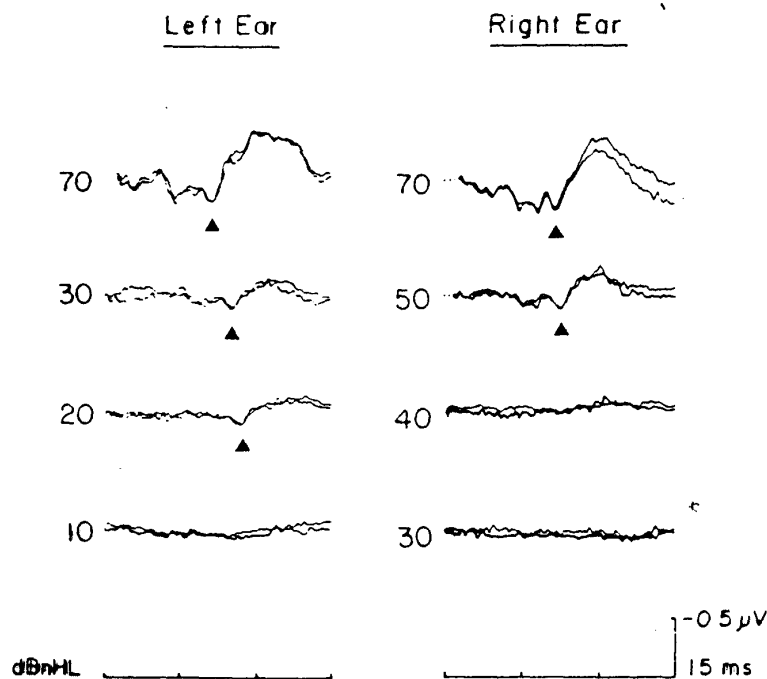


FIG. 10. Evaluation of hearing impairment in 3-mo-old infant with brain stem auditory evoked potentials. Evoked potentials were recorded in response to monaural clicks presented at a rate of 61/s at various intensities above normal adult threshold (nHL). Each tracing represents the average of 4,000 individual responses recorded between vertex and mastoid, with negativity at the vertex upward. Triangles, wave V in the brain stem responses. Responses to left ear stimulation are recognizable to 20-dB nHL, whereas responses to right ear stimulation can be recognized only to 50-dB nHL. These results indicate mild to moderate hearing impairment in the right ear.

Diagnose von Akustikusneurinomen mit BAEPs

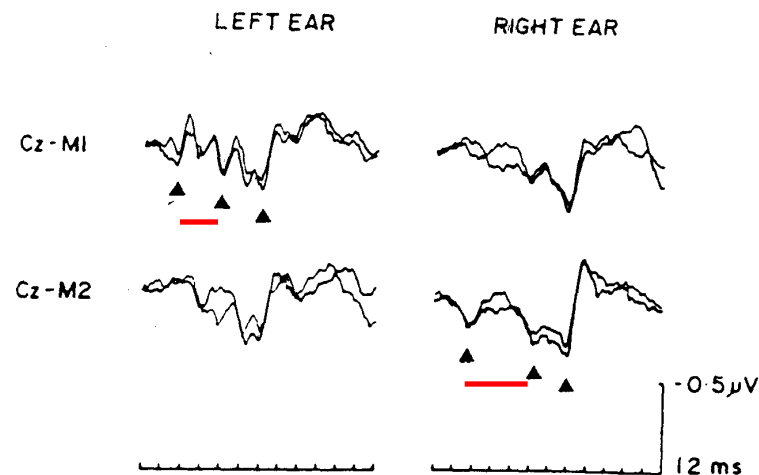


FIG. 11. Use of evoked potentials in localization of lesions of sensory pathways. Auditory evoked potentials were recorded from a patient presenting with right-sided sensorineural hearing loss. Brain stem auditory evoked potentials were recorded between vertex (Cz) and either left (M1) or right (M2) mastoid in response to clicks at 80 dB above normal adult threshold presented at a rate of 11/s. Triangles, three components (waves I, III, and V) in vertex-to-ipsilateral mastoid recordings. Response to right ear stimulation shows delay between wave I and wave III that exceeds normal limit of 2.6 ms. This indicates some dysfunction between cochlea and pons. On further examination, patient was found to have right-sided acoustic neuroma.

Entwicklung akustisch (AEP) und visuell (VEP) evozierter Potentiale

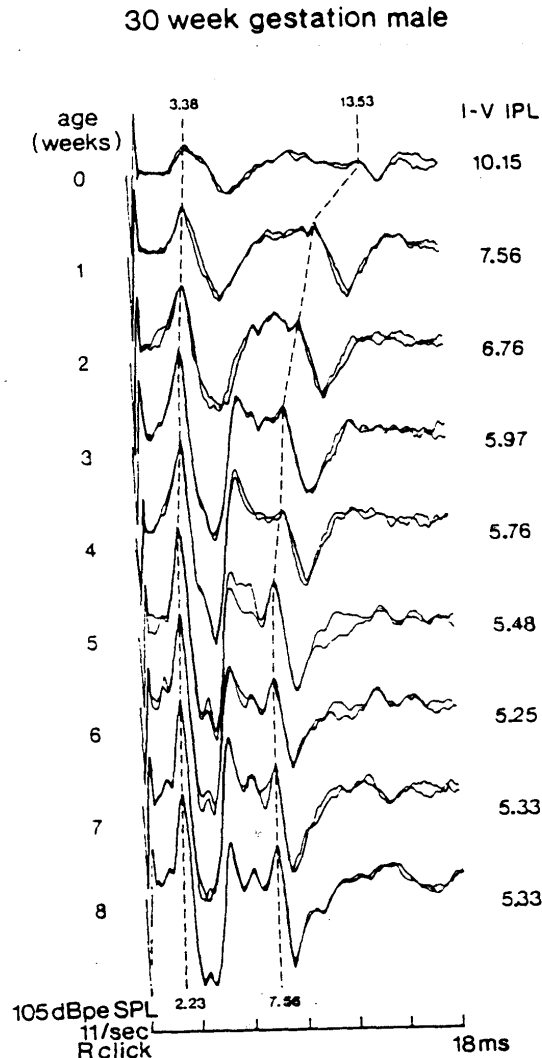


Figure 2.61

Maturation of the Auditory Brainstem Response

The traces are serially recorded rarefaction click ABRs in a 30-week-gestation premature control infant showing the maturation of I-V interpeak latency (numbers). Note the flattening of the maturation curve after 33 weeks of conceptual age. (From Stockard JE, Stockard JJ, Coen RW: Auditory brain stem response variability in infants. *Ear & Hearing* 1983;4:11-23.)

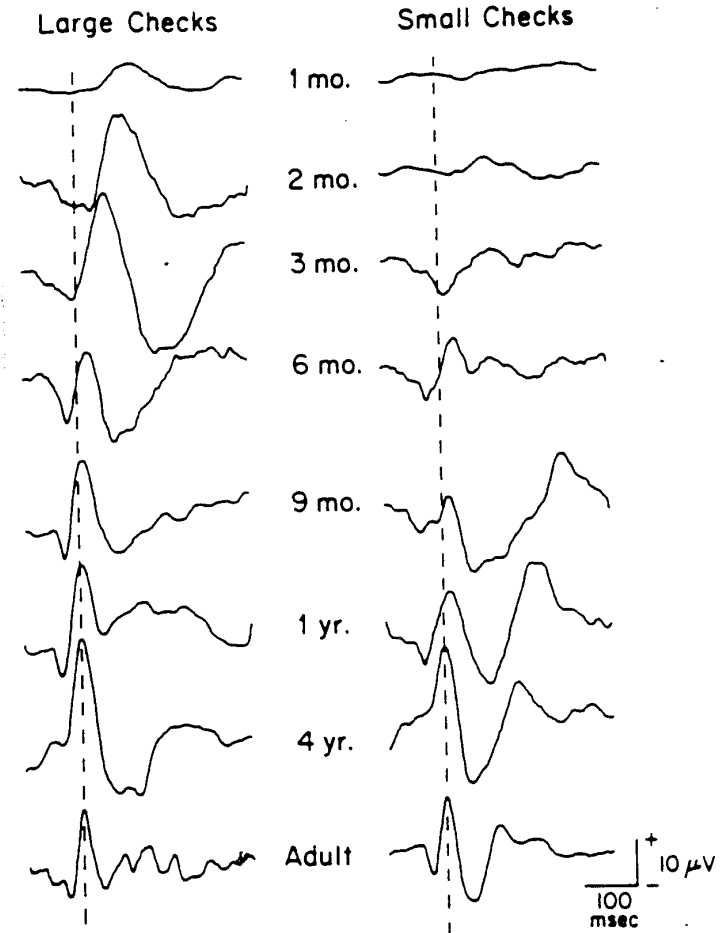


Figure 2.218

Development of the Reversal VEP to Large and Small Check Stimuli

Electrodes were located 1 cm above the inion and on one ear, the other ear being grounded. Field size was $15^\circ \times 18^\circ$. Large checks were 60 min arc side, and small checks were 15 min arc side. Reversal rate was 1.9 Hz. (From Moskowitz A, Sokol S: Developmental changes in the human visual system as reflected by the latency of the pattern reversal VEP. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1983;56:1-15.)

Tonotope Organization (auditorischer Cortex, nach Pantev et al., 1995)

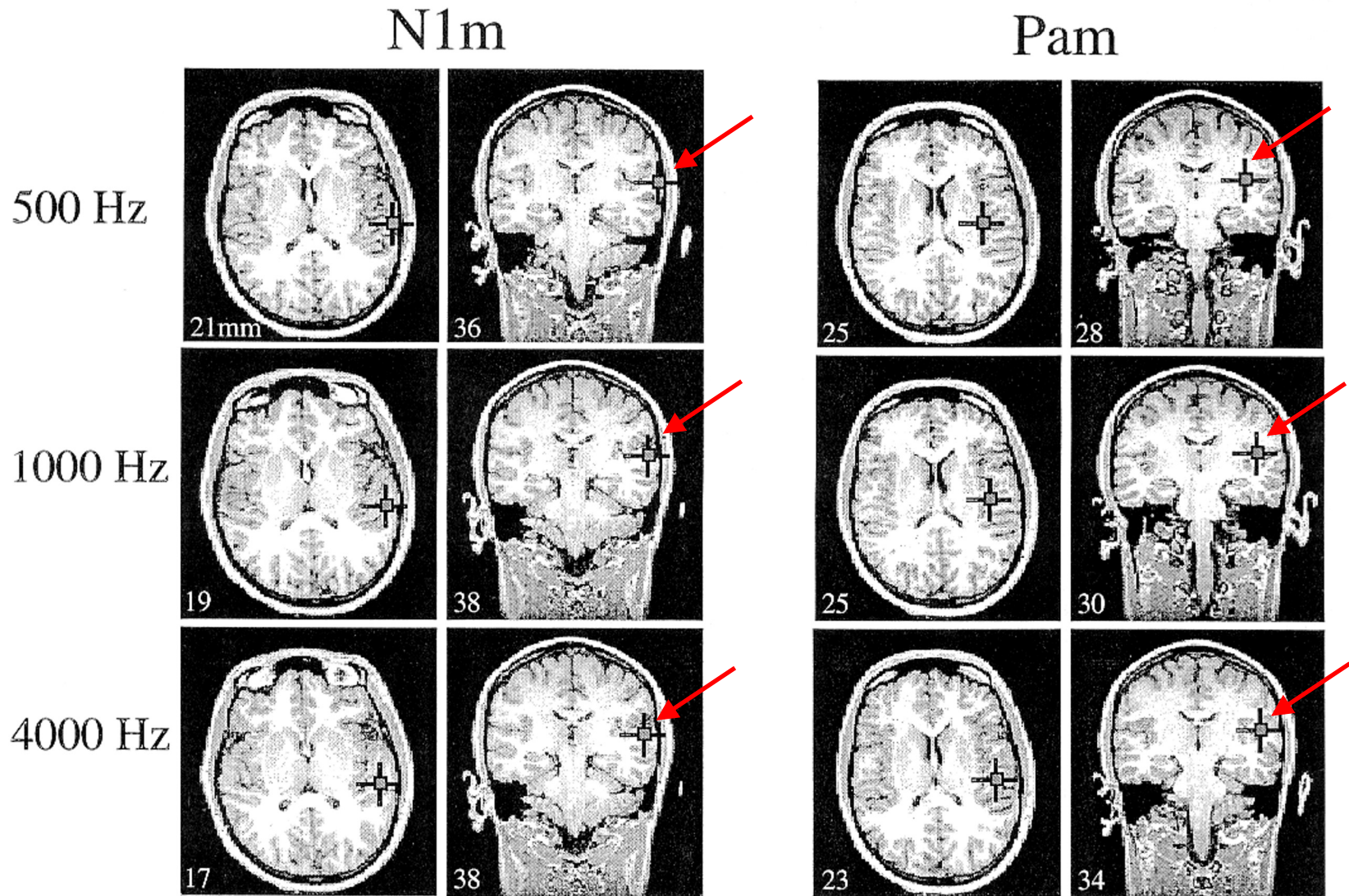
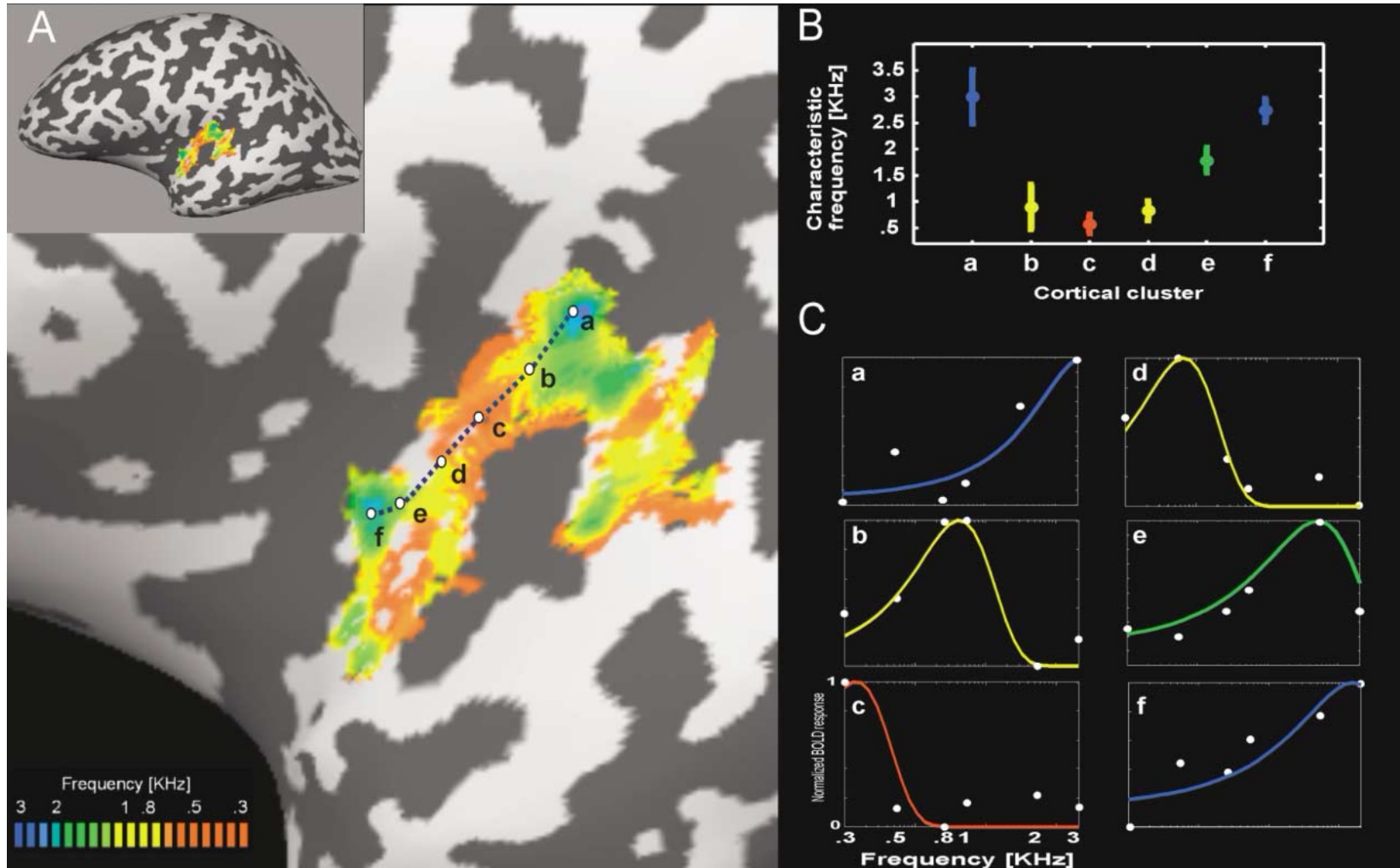


Fig. 7. Superimposition of the estimated Pam and N1m source locations of subject h04 (filled squares) onto the individual axial and coronal MRI slices. The numbers, inserted on the left of each slice, mean the distance from the center of the measuring coil. In the axial slices these values have a negative sign, the axis orientation is from cranial to caudal (positive to caudal). In coronal slices the sign is positive, the axis orientation is from ventral to dorsal (positive to dorsal).

Spiegelsymmetrische tonotope Repräsentation in der primären Hörrinde



Quelle: Formisano et al. (2003). Mirror-Symmetric Tonotopic Maps in Human Primary Auditory Cortex. *Neuron*, 40, 859–869,.

Kortikale Anatomie des Hörens

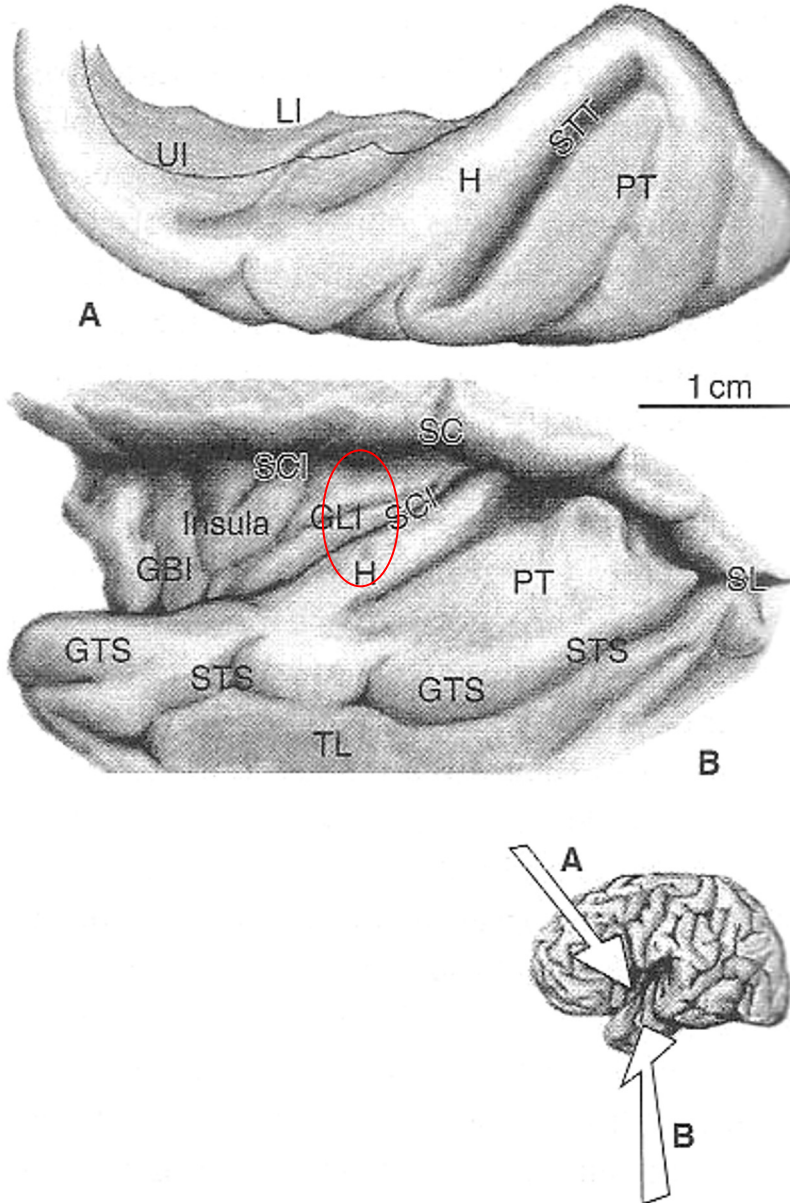
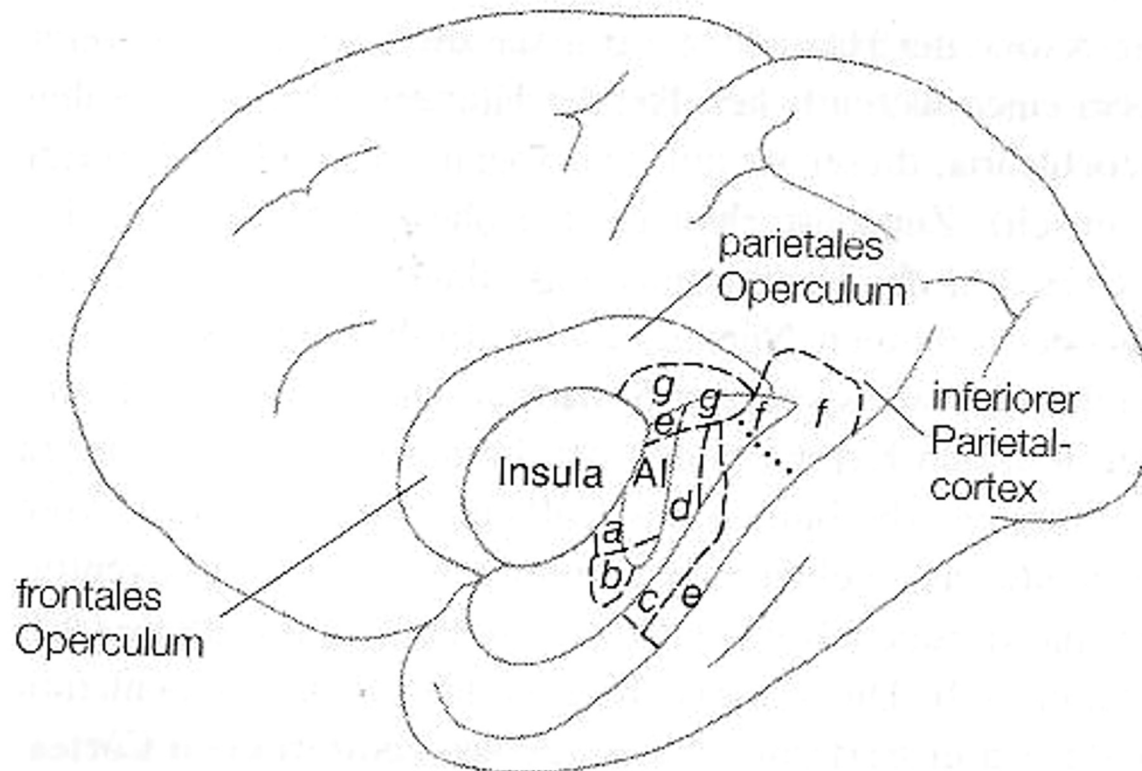


Abb. 1b–7: Die Makroanatomie des Temporallappens und Lage des auditiven Cortex beim Menschen. A) Sicht von oben auf die im Sulcus lateralis liegende Oberfläche. B) Seitliche Ansicht bei geöffnetem Sulcus lateralis. GBI Gyri breves insulae; GLI Gyrus longus insulae; GTS G. temporalis superior; GTT G. temporalis transversus (primärer auditiver Cortex); STT Sulcus temporalis transversus; LI Limen insulae; PT Planum temporale; SC S. centralis; SCI S. circularis insulae; SL S. lateralis; STS S. temporalis superior; TL Temporallappen; UI Umriss der insula (mit Genehmigung von Marc Schönwiesner).

Quelle: Müsseler/Prinz (2002).
Allgemeine Psychologie. Heidelberg:
Spektrum, p. 84.

Primärer auditorischer Cortex (A1) und auditorischer Assoziationscortex (a-g).

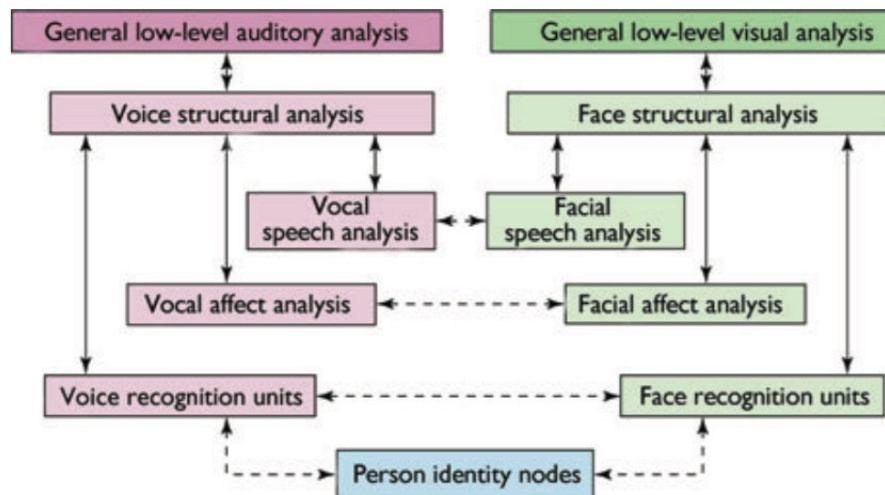


6.10 Auditorische Felder beim Menschen. Die gestrichelten Linien bezeichnen Grenzen zwischen den Arealen, die durchgezogenen Linien sind Sulci. Die Fissura lateralis ist geöffnet dargestellt, um den in der Tiefe liegenden Cortex sichtbar zu machen. Die sekundären Areale sind mit a bis g bezeichnet. (Nach Galaburda und Sanides 1980.)

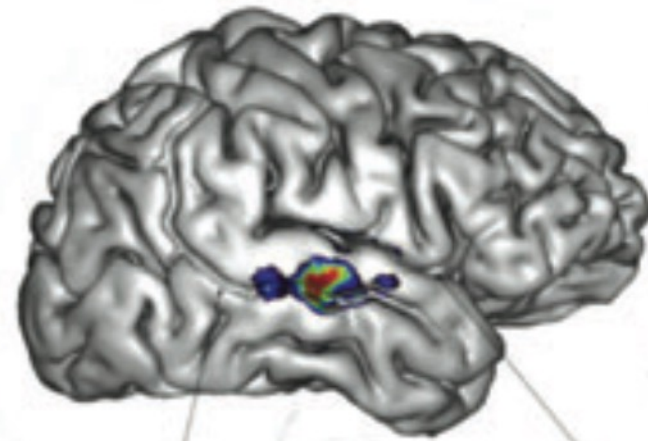
Dissoziierbare Störungen der auditorischen Wahrnehmung

- Auditorische Agnosie für Umgebungsgeräusche
- Störungen der auditorischen Lokalisation von Geräuschen
- Amusien (Störungen des Erkennens von Melodien)
- Reine Worttaubheit (Selektive Störungen des Verstehens gesprochener Sprache)
- Agnosie für Stimmen („Phonagnosie“)

Models of Voice Perception



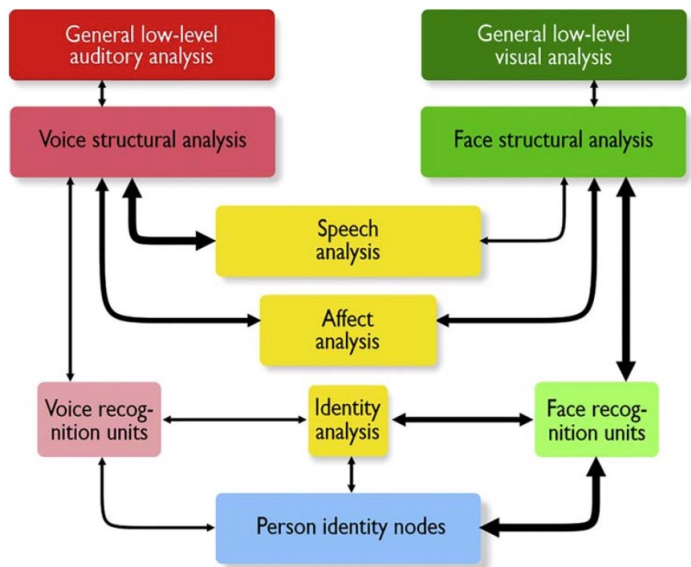
Temporal Voice Areas



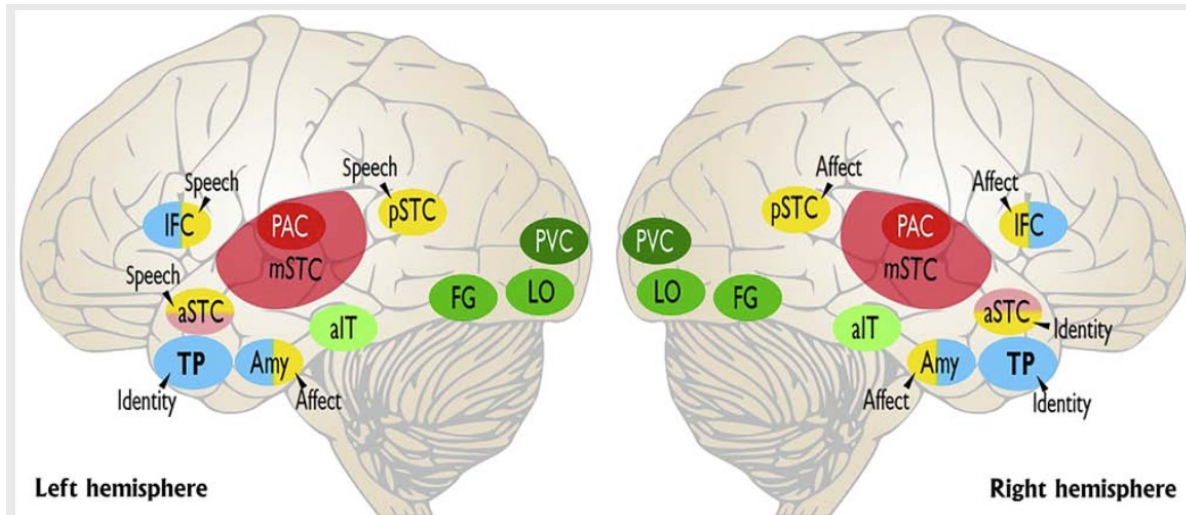
Superior temporal sulcus (STS)

Sylvian fissure

Models of Voice and Person Perception



Trends In Cognitive Sciences



Trends In Cognitive Sciences

Figure I. Brain Regions Responsive to Faces, Voices, or Both. Abbreviations: a/m/pSTC, anterior/mid/posterior superior temporal cortex; alT, anterior inferior temporal lobe; Amy, amygdala; FG, fusiform gyrus; IFC, inferior frontal cortex; LO, lateral occipital cortex; MFC, medial frontal cortex; PAC, primary auditory cortex; PVC, primary visual cortex; TP, temporal pole.

Quelle: Young, A.W., Fröhholz, S., & Schweinberger, S.R. (2020). Face and Voice Perception: Understanding Commonalities and Differences. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(4), 398-410.

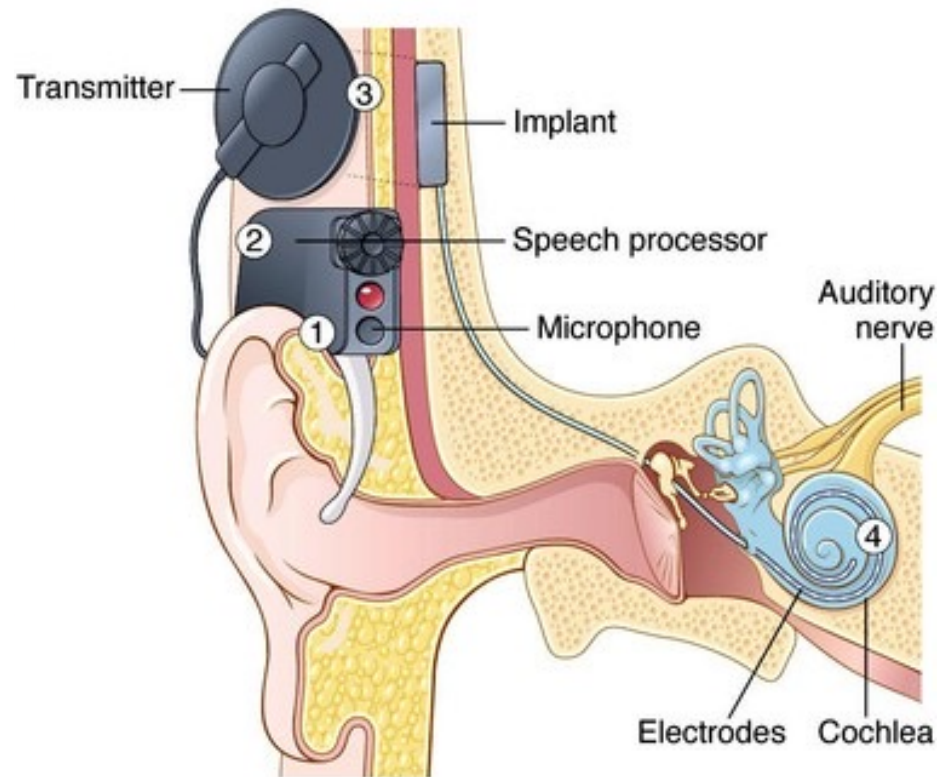
Hörverlust und Cochlea-Implantate (CIs)

The most successful existing neural prosthesis

A cochlear implant is a neuroprosthetic device to treat hearing loss.

Why treat hearing loss?

- improve communication
- enhance quality of life
- prevent depression (e.g., Kim et al., 2017, *PloS one*)
- prevent cognitive decline (e.g., Ray et al., 2018, *JAMA otolaryngology - Head & Neck surgery*)
- limit annual global costs of hearing loss (est'd at 980 billion dollars; WHO, 2021)

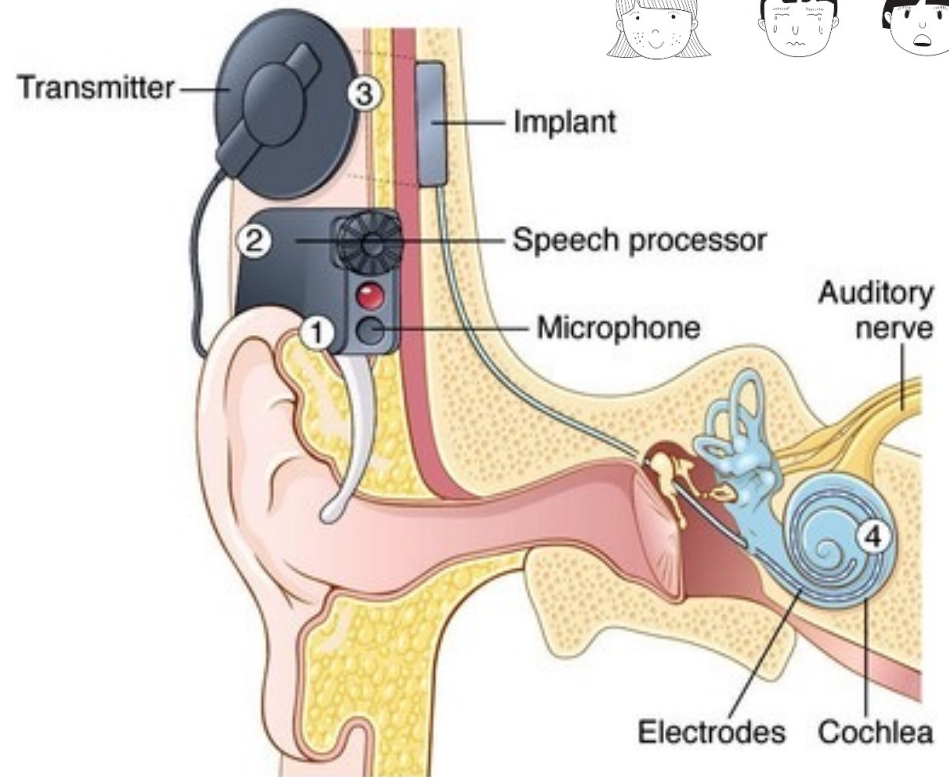


Cochlea-Implantate (CIs) - Emotionswahrnehmung -

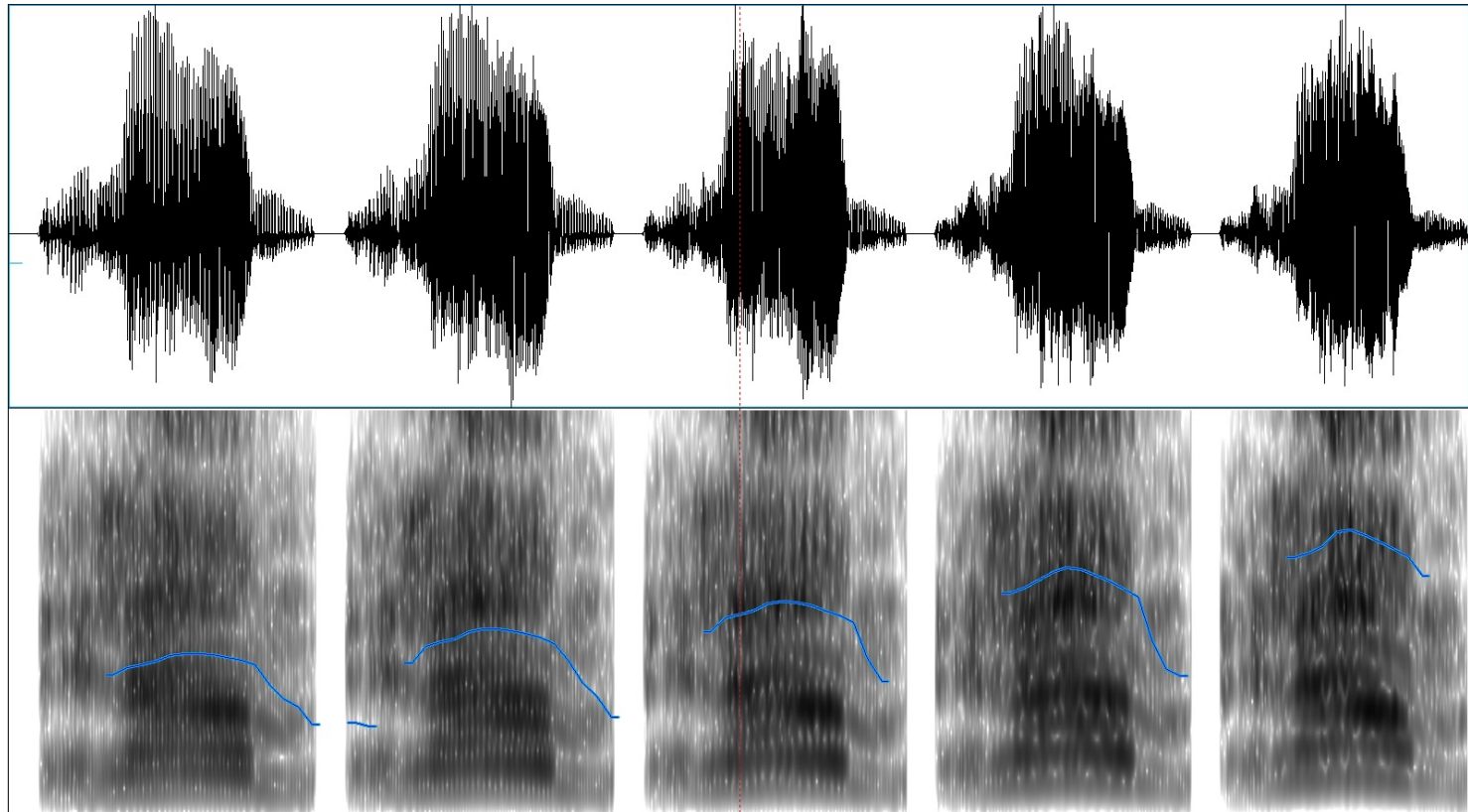


Why is research on emotion perception in CI users crucial?

- Previous research has (over-)focused on speech comprehension.
- Perception of vocal emotions correlates with perceived quality of life (Luo et al., 2018, *JASA*; Schorr et al., 2009, *JSLHR*).
- “The role of voice emotion perception and production in communication cannot be overstated” (Jiam et al., 2017, *Hearing Research*, p. 37)



Karikaturen und Anti-karikaturen: Reize für adaptives Testen und perzeptuelles Training



80%

90%

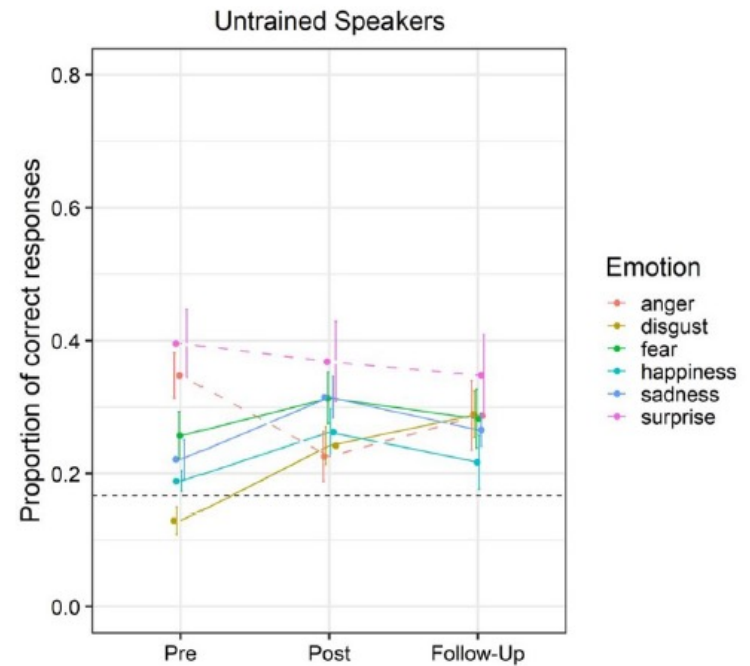
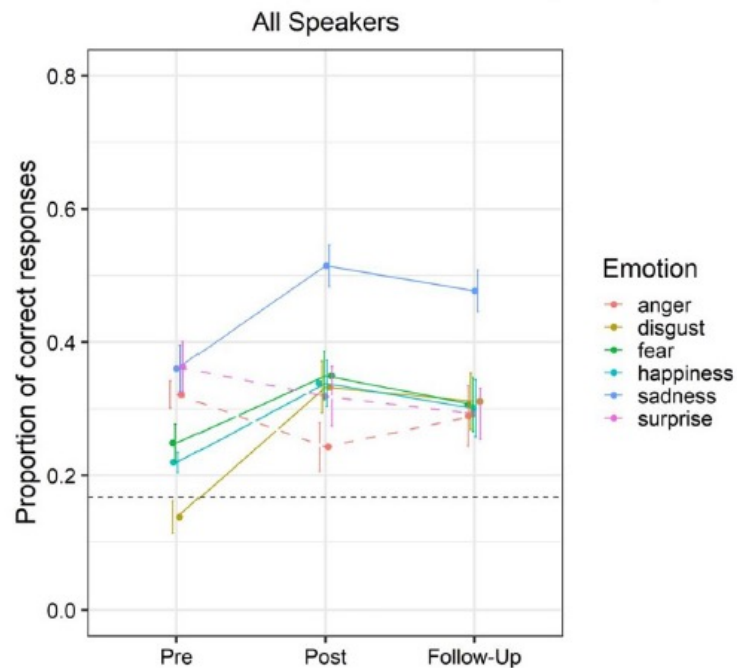
100%

110%

120%

Training der stimmlichen Emotionserkennung mit CI

Vocal Emotion Perception in CI Users (N = 15)



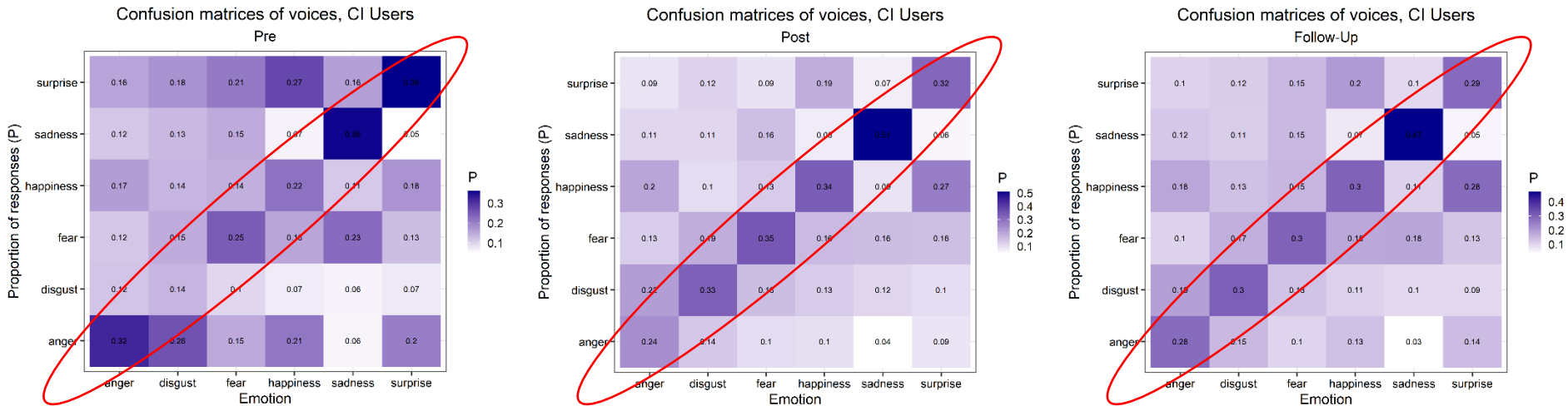
Source: Schweinberger, S. R. & von Eiff, C. I. (2022). Enhancing socio-emotional communication and quality of life in young cochlear implant recipients: Perspectives from parameter-specific morphing and caricaturing. *Frontiers in Neuroscience*.

Training der stimmlichen Emotionserkennung mit CI

Pre-Training

Post-Training

Follow-Up



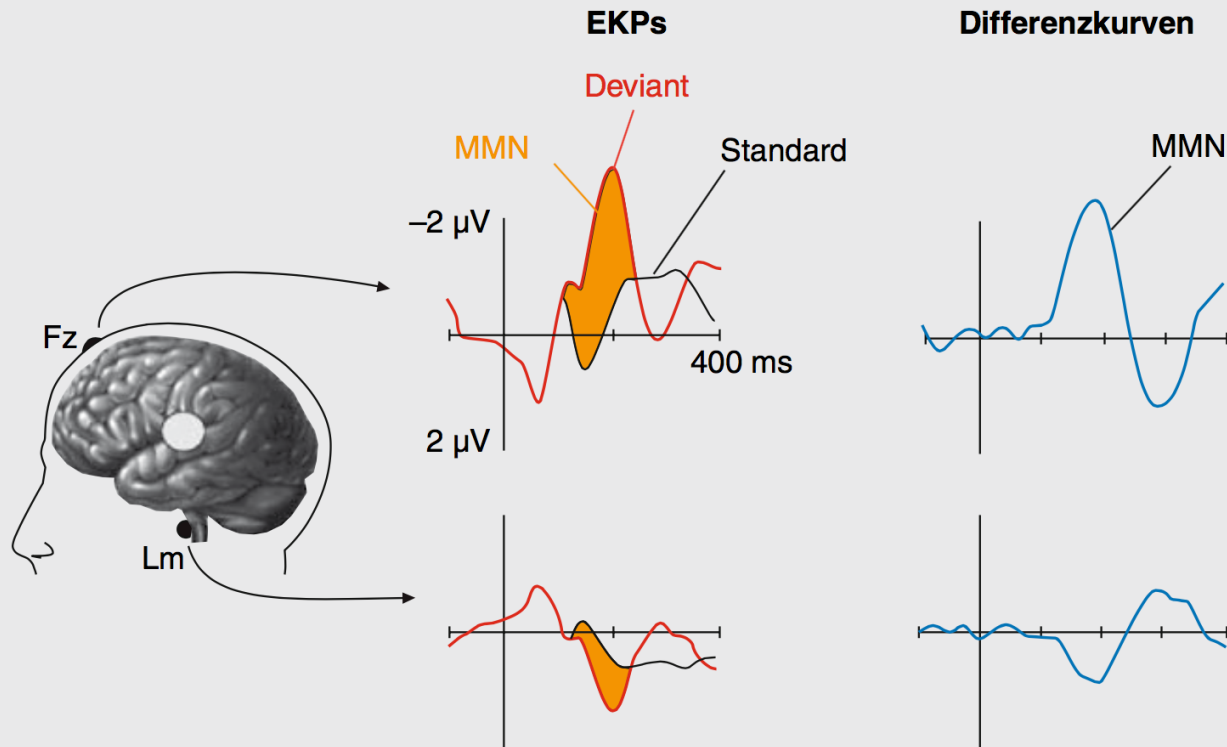
Source: Schweinberger, S. R. & von Eiff, C. I. (2022). Enhancing socio-emotional communication and quality of life in young cochlear implant recipients: Perspectives from parameter-specific morphing and caricaturing. *Frontiers in Neuroscience*.

Kontrollfragen

1. Was wird in einem Spektrogramm menschlicher Sprache dargestellt?
2. Erklären Sie den Unterschied zwischen der Intensität und der Lautstärke eines Schalls..
3. Was versteht man unter der sogenannten Hörschwelle, was unter der sogenannten Hörfläche?
4. Schalldruck wird frequenzabhängig als Lautstärke empfunden. Erklären Sie vor diesem Hintergrund den Begriff „isophon“ und geben Sie ein Beispiel.
5. Welche Lokalisationsmerkmale für die Schallquellenlokalisierung kennen Sie?
6. Beschreiben Sie kurz die Transmission der Schallsignale über ein mechanisches System im Ohr.
7. Erklären Sie das Prinzip der tonotopischen Kodierung in der menschlichen Cochlea.
8. Welches Verfahren würden Sie zur Prüfung der Hörfunktion bei einem 3 Monate alten Baby anwenden? Warum?
9. Welche auditorischen Agnosien (jeweils mit kurzer Beschreibung) kennen Sie?

Die Mismatch-Negativity (MMN)

(nach Bendixen & Schröger, 2017)



■ **Abb. 3.6** Die Mismatch-Negativity- (MMN-)Komponente des ereigniskorrelierten Potentials (EKP). Die Detektion eines abweichenden Tones (Deviants) in einer Sequenz sonst gleichförmiger Töne (Standards) löst die MMN-Komponente aus, die bei Nasenreferenz an frontozentralen Elektroden als Negativierung und an den Mastoidelektroden als Positivierung zu beobachten ist. Der Verarbeitungsunterschied zwischen Standards und Deviants lässt sich am besten in der Differenzkurve (Deviant minus Standard; *rechts*) darstellen. Fz = frontozentrale Elektrode, Lm = linker Mastoid. (Modifiziert nach einer Abbildung, die von Teija Kujala, Universität Helsinki, zur Verfügung gestellt wurde)