

J. Ulrich und E. Hoffmann

# HÖRAKUSTIK

---

LERNEN + WISSEN

Band 2: Praxis



## Impressum

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Autoren:</b>              | Jens Ulrich und Eckhard Hoffmann                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Herausgeber/Vertrieb:</b> | DOZ Verlag Heidelberg                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Layout:</b>               | Queens Land Kommunikation, Heinheimerstraße 29-31, 64289 Darmstadt<br>Judith Maria Achenbach, Heidelberger Landstraße 244, 64297 Darmstadt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Satz:</b>                 | Jens Ulrich                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Titelbild:</b>            | Tanya Klein                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Druck:</b>                | E&B Engelhardt und Bauer Druck- und VerlagsgmbH, Karlsruhe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Auflage:</b>              | 1. Auflage, Mai 2012                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>ISBN:</b>                 | 978-3-942873-08-6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Copyright:</b>            | © 2012 by Jens Ulrich & Eckhard Hoffmann<br>Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigungen des gesamten Werkes, auch in Auszügen, bedürfen der vorherigen Zustimmung des Herausgebers.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Hinweis:</b>              | <p>Einige Bilder und Grafiken des Buches wurden mit Corel-Draw erstellt.<br/>Geschützte Warennamen und -zeichen wurden nicht besonders kenntlich gemacht.<br/>Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um freie Warennamen bzw. -zeichen handelt.</p> <p>Alle Angaben, Normen und Erklärungen können sich ohne besondere Vorankündigung infolge des technischen Fortschritts ändern.</p> <p>Die Fachinhalte dieses Werkes sind unabhängig von den Anzeigen. Die Anzeigen ermöglichen jedoch die Realisierung dieses Fachbuches. Um die freundliche Beachtung wird daher gebeten.</p> |

**BAND II*****Praxis // Praxisbezogene Ausführungen zur Hörakustik mit begleitenden Kurzfilmen (Multimedia-DVD)*****Kapitel P-01 – Aufbau & Gliederung der Hörsysteme**

|           |                                                            |    |
|-----------|------------------------------------------------------------|----|
| 1.        | Aufbau und Gliederung der Hörsysteme . . . . .             | 1  |
| 1.1       | Aufgaben der Hörsysteme und deren Anpassung . . . . .      | 2  |
| 1.2       | Einteilung der Hörsysteme nach diversen Aspekten . . . . . | 3  |
| 1.2.1     | Aktive und passive Hörsysteme . . . . .                    | 3  |
| 1.2.2     | Signalverarbeitung (SV) . . . . .                          | 3  |
| 1.2.2.1   | Analoge Signalverarbeitung . . . . .                       | 5  |
| 1.2.2.2   | Digitale Signalverarbeitung . . . . .                      | 9  |
| 1.2.2.3   | Neuronale Netze (CNN) . . . . .                            | 11 |
| 1.2.2.4   | Zeit- und Frequenzbereich . . . . .                        | 12 |
| 1.2.2.5   | Einfaches Blockschaltbild analoger Hörsysteme . . . . .    | 13 |
| 1.2.2.6   | Einfaches Blockschaltbild digitaler Hörsysteme . . . . .   | 14 |
| 1.2.3     | Bauformen von Hörsystemen . . . . .                        | 16 |
| 1.2.3.1   | Hinter dem Ohr Gerät (HdO, BTE) . . . . .                  | 16 |
| 1.2.3.2   | Im-Ohr-Gerät (IdO) . . . . .                               | 20 |
| 1.2.3.3   | Hörbrille . . . . .                                        | 24 |
| 1.2.3.4   | Taschen-Geräte . . . . .                                   | 26 |
| 1.2.3.5   | Dauertragegeräte . . . . .                                 | 26 |
| 1.2.4     | Akustische Kenndaten . . . . .                             | 27 |
| 1.2.4.1   | Akustische Verstärkung . . . . .                           | 27 |
| 1.2.4.2   | Maximaler Ausgangspegel (L <sub>Amax</sub> ) . . . . .     | 27 |
| 1.2.4.3   | Frequenzbereich . . . . .                                  | 27 |
| 1.2.5     | Mon- und binaurale Hörsysteme (wireless) . . . . .         | 28 |
| 1.2.6     | Leistungs- und Preisklassen . . . . .                      | 29 |
| 1.3       | Geräteaufbau und technische Funktionen . . . . .           | 29 |
| 1.3.1     | Schallwandler . . . . .                                    | 30 |
| 1.3.1.1   | Mikrofone . . . . .                                        | 31 |
| 1.3.1.2   | Hörer . . . . .                                            | 41 |
| 1.3.1.2.1 | Class-A-Hörer . . . . .                                    | 42 |
| 1.3.1.2.2 | Class-B-Hörer (Push-Pull) . . . . .                        | 44 |
| 1.3.1.2.3 | Class-D-Hörer . . . . .                                    | 44 |
| 1.3.2     | Endstufen . . . . .                                        | 45 |
| 1.3.2.1   | Class-A-Endstufe . . . . .                                 | 45 |

|             |                                                     |    |
|-------------|-----------------------------------------------------|----|
| 1.3.2.2     | Class-B-Endstufe (Gegentaktendstufe) . . . . .      | 46 |
| 1.3.2.3     | Class-D-Endstufe (Pulsweitenmodulation). . . . .    | 46 |
| 1.3.3       | Steller und Potis . . . . .                         | 47 |
| 1.3.4       | Filter . . . . .                                    | 51 |
| 1.3.4.1     | Filterparameter . . . . .                           | 51 |
| 1.3.4.1.1   | Frequenzverhalten . . . . .                         | 52 |
| 1.3.4.1.2   | Filterordnung . . . . .                             | 53 |
| 1.3.4.2     | Filtertechnologie . . . . .                         | 55 |
| 1.3.4.2.1   | Analogfilter . . . . .                              | 55 |
| 1.3.4.2.2   | Digitalfilter . . . . .                             | 55 |
| 1.3.4.3     | Lineare, nichtlineare und adaptive Filter . . . . . | 56 |
| 1.3.5       | Beispiele für Filter in der Hörakustik . . . . .    | 57 |
| 1.3.5.1     | Tieftonblenden (NH-Steller) . . . . .               | 58 |
| 1.3.5.2     | Hochtonblenden (NL-Steller) . . . . .               | 58 |
| 1.3.5.3     | Klangwaagen . . . . .                               | 58 |
| 1.3.5.4     | Filterbänke . . . . .                               | 58 |
| 1.3.6       | Prozessoren (DSP) . . . . .                         | 59 |
| 1.3.6.1     | Leistungsmerkmale und Vergleiche . . . . .          | 60 |
| 1.3.7       | Energiequellen . . . . .                            | 61 |
| 1.3.7.1     | Galvanisches Element . . . . .                      | 62 |
| 1.3.7.2     | Batterien . . . . .                                 | 63 |
| 1.3.7.3     | Zink-Luft-Batterie . . . . .                        | 68 |
| 1.3.7.4     | Akkus . . . . .                                     | 70 |
| 1.3.8       | Mechanische Komponenten. . . . .                    | 72 |
| 1.3.8.1     | Gehäuse . . . . .                                   | 72 |
| 1.3.8.1.1   | HdO-Gehäuse . . . . .                               | 72 |
| 1.3.8.1.1.1 | Tragehaken (Hörwinkel) . . . . .                    | 77 |
| 1.3.8.1.2   | IdO-Gehäuse . . . . .                               | 78 |
| 1.3.8.1.2.1 | Cerumenschutzsysteme . . . . .                      | 79 |
| 1.3.8.1.2.2 | Venting . . . . .                                   | 79 |
| 1.4         | Geräte-Software und Funktionen . . . . .            | 79 |
| 1.4.1       | Rückkopplungsmanager . . . . .                      | 80 |
| 1.4.1.1     | Kanalabsenkung . . . . .                            | 82 |
| 1.4.1.2     | Notch-Filter . . . . .                              | 82 |
| 1.4.1.3     | Phasenumkehr („Stempelverfahren“) . . . . .         | 82 |
| 1.4.1.4     | (Transiente) Frequenzverschiebung . . . . .         | 82 |
| 1.4.1.5     | Umsetzung . . . . .                                 | 83 |
| 1.4.2       | Sprach- und Situationserkennung . . . . .           | 85 |
| 1.4.2.1     | Automatische Programmwahl . . . . .                 | 86 |

|          |                                                          |     |
|----------|----------------------------------------------------------|-----|
| 1.4.2.2  | Änderung der Programmparameter                           | 86  |
| 1.4.2.3  | Umsetzung                                                | 87  |
| 1.4.3    | Störgeräuschabschwächung                                 | 91  |
| 1.4.3.1  | Mikrofonsysteme                                          | 93  |
| 1.4.3.2  | Verstärkungsabsenkung                                    | 97  |
| 1.4.3.3  | Wiener Filter                                            | 99  |
| 1.4.4    | Impulsschallunterdrückung                                | 100 |
| 1.4.4.1  | Umsetzung                                                | 100 |
| 1.4.5    | Windgeräuschreduzierung                                  | 101 |
| 1.4.5.1  | Umsetzung                                                | 102 |
| 1.4.6    | Hallreduzierung                                          | 103 |
| 1.4.7    | Klangoptimierung                                         | 104 |
| 1.4.8    | „Pinna-Effekt“                                           | 104 |
| 1.4.9    | Frequenzbereichsveränderung                              | 105 |
| 1.4.9.1  | Frequenzbereichskompression                              | 106 |
| 1.4.9.2  | Frequenzbereichsverschiebung                             | 107 |
| 1.4.9.3  | Umsetzung                                                | 107 |
| 1.4.10   | Bassanhebung (Bass-Boost, Power Bass)                    | 108 |
| 1.4.10.1 | Adaptive Bassanhebung                                    | 108 |
| 1.4.10.2 | Virtueller Bass                                          | 109 |
| 1.4.11   | Bedien- und Tragekomfort                                 | 110 |
| 1.4.11.1 | Data-Logging                                             | 111 |
| 1.4.11.2 | Klangoptimierung durch einen Lernvorgang (Data Learning) | 112 |
| 1.4.11.3 | Signaltöne, Bedienungs-Informationen                     | 113 |
| 1.4.11.4 | Einschalt-Verzögerung                                    | 113 |
| 1.4.12   | Binaurales Hören                                         | 114 |
| 1.4.13   | Akklimatisierungsmanager                                 | 114 |
| 1.5      | Signalverarbeitungsstrategien der Hörsysteme             | 115 |
| 1.5.1    | Signalverarbeitung im Zeitbereich                        | 116 |
| 1.5.2    | Signalverarbeitung im Frequenzbereich                    | 116 |
| 1.5.3    | Geräte mit steuerbarem Transversalfilter                 | 117 |
| 1.6      | Funktionen der Fitting-Module                            | 119 |
| 1.6.1    | Eingabe/Änderung von Kundendaten                         | 120 |
| 1.6.2    | Gerätewahl                                               | 122 |
| 1.6.3    | Eingabe von Otoplastikdaten                              | 124 |
| 1.6.4    | Wahl des Anpassverfahrens                                | 125 |
| 1.6.5    | Anforderungsprofil des Benutzers                         | 126 |
| 1.6.6    | Wahl bzw. Aktivierung von Zubehör                        | 126 |

|          |                                                           |     |
|----------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 1.6.7    | Gerätevoreinstellung (First Fit) . . . . .                | 127 |
| 1.6.8    | Einstellung (adaptiver) Parameter . . . . .               | 127 |
| 1.6.8.1  | Bedienelemente . . . . .                                  | 127 |
| 1.6.8.2  | Mikrofonsystem . . . . .                                  | 127 |
| 1.6.8.3  | Störschallreduzierung . . . . .                           | 128 |
| 1.6.8.4  | Geschwindigkeit der Programmumschaltung . . . . .         | 128 |
| 1.6.9    | Gerätefeineinstellung . . . . .                           | 129 |
| 1.6.9.1  | Verstärkung . . . . .                                     | 129 |
| 1.6.9.2  | Kompression und MPO . . . . .                             | 129 |
| 1.6.9.3  | Anpassassistent (Anpasshilfen) . . . . .                  | 130 |
| 1.6.9.4  | Hörgeräte stumm schalten . . . . .                        | 130 |
| 1.6.9.5  | Einstellkopplung rechts/links . . . . .                   | 131 |
| 1.6.9.6  | Rückkopplungsmanager . . . . .                            | 131 |
| 1.6.10   | Aktivierung und Verwaltung weiterer Programme . . . . .   | 132 |
| 1.6.11   | Data-Logging -Learning . . . . .                          | 133 |
| 1.6.12   | Der „Test-Button“ . . . . .                               | 133 |
| 1.6.13   | Audiovisuelle Informationen und Präsentationen . . . . .  | 134 |
| 1.6.14   | Dokumentation und Speichern . . . . .                     | 134 |
| 1.6.14.1 | Speichern bzw. Auslesen des Hörsystems . . . . .          | 135 |
| 1.7      | Datensatz eines Hörsystems (einfaches Beispiel) . . . . . | 135 |
| 1.7.1    | Allgemeine Beschreibung . . . . .                         | 135 |
| 1.7.2    | Leistungsmerkmale . . . . .                               | 136 |
| 1.7.3    | Akustische Kenndaten . . . . .                            | 136 |
| 1.7.4    | Lieferbares Zubehör . . . . .                             | 136 |

## Kapitel P-02 – Regel- & Begrenzungssysteme

|         |                                                                     |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.      | Regel- und Begrenzungssysteme . . . . .                             | 137 |
| 2.1     | Aufgaben der Regelsysteme . . . . .                                 | 140 |
| 2.2     | Kenngößen der Regelsysteme . . . . .                                | 140 |
| 2.3     | Eingangspiegelgesteuerte Regelsysteme (AGC <sub>f</sub> ) . . . . . | 150 |
| 2.3.1   | Silbenkompression . . . . .                                         | 150 |
| 2.3.2   | Duale Kompression . . . . .                                         | 150 |
| 2.3.3   | Wide-Dynamic-Range-Compression (WDRC) . . . . .                     | 151 |
| 2.3.3.1 | Einstellen einer WDRC . . . . .                                     | 152 |
| 2.3.4   | Automatische Verstärkungsregelung (AVC) . . . . .                   | 155 |

|       |                                                                |     |
|-------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 2.3.5 | High-Level-Compressor (HLC) . . . . .                          | 156 |
| 2.3.6 | Bass increases at low level (Tiefenabsenkung, Bill) . . . . .  | 156 |
| 2.3.7 | Treble increases at low level (Höhenabsenkung, Till) . . . . . | 159 |
| 2.4   | Ausgangspiegelgesteuerte Systeme (Limiter) . . . . .           | 160 |
| 2.4.1 | Zeitlose Limiter . . . . .                                     | 160 |
| 2.4.2 | Zeitbehaftete Limiter . . . . .                                | 161 |
| 2.5   | Adaptive Kompression . . . . .                                 | 162 |
| 2.6   | Dynamikkennlinie . . . . .                                     | 163 |
| 2.6.1 | Dynamisches Kompressionsverhältnis . . . . .                   | 163 |
| 2.6.2 | Expansion (TK-Steller) . . . . .                               | 165 |
| 2.6.3 | Linearer Bereich . . . . .                                     | 165 |
| 2.6.4 | Kompressionsbereich . . . . .                                  | 166 |
| 2.6.5 | Lage der Regelschwelle . . . . .                               | 167 |
| 2.6.6 | Sättigung und Begrenzung . . . . .                             | 167 |
| 2.6.7 | Speech Guard . . . . .                                         | 168 |
| 2.7   | Zusammenhang zwischen Zeitverhalten und Klang . . . . .        | 169 |

### Kapitel P-03 – Messtechnik

|         |                                                                      |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.      | Messtechnik . . . . .                                                | 171 |
| 3.1.    | Messvorgang . . . . .                                                | 172 |
| 3.1.1.  | Messgeräte . . . . .                                                 | 172 |
| 3.2     | Warum und wozu benötigt der Hörakustiker eine Messtechnik? . . . . . | 177 |
| 3.2.1   | Messbox . . . . .                                                    | 177 |
| 3.2.2   | Insitu-Messung . . . . .                                             | 178 |
| 3.2.3   | RECD-Messung . . . . .                                               | 179 |
| 3.2.4   | Messen digitaler Hörsysteme . . . . .                                | 180 |
| 3.2.5   | Aufgabenstellung für den Hörakustiker . . . . .                      | 182 |
| 3.3     | Aufbau und Funktion einer Messbox . . . . .                          | 183 |
| 3.3.1   | Messraum einer Messbox . . . . .                                     | 184 |
| 3.3.2   | Verfahren für Messboxen . . . . .                                    | 186 |
| 3.3.2.1 | Substitutionsverfahren . . . . .                                     | 186 |
| 3.3.2.2 | Kompensationsverfahren . . . . .                                     | 187 |

|         |                                                                   |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.2.3 | Vergleich von Substitutions- und Kompensationsverfahren . . . . . | 189 |
| 3.3.2.4 | Moderne Messboxen . . . . .                                       | 190 |
| 3.4     | Messsignale der Hörakustik . . . . .                              | 191 |
| 3.4.1   | Sinus . . . . .                                                   | 191 |
| 3.4.2   | Burst . . . . .                                                   | 193 |
| 3.4.3   | Wobbelton . . . . .                                               | 194 |
| 3.4.4   | Chirp . . . . .                                                   | 194 |
| 3.4.5   | Rauschsignale . . . . .                                           | 195 |
| 3.4.6   | Sprache . . . . .                                                 | 198 |
| 3.4.6.1 | Sprachspekten . . . . .                                           | 199 |
| 3.4.6.2 | ISTS-Signal . . . . .                                             | 200 |
| 3.4.7   | Musik . . . . .                                                   | 200 |
| 3.4.8   | Signaldynamik . . . . .                                           | 201 |
| 3.5     | Kuppler . . . . .                                                 | 203 |
| 3.5.1   | 2 ccm-Kuppler . . . . .                                           | 203 |
| 3.5.2   | Freiburger-konischer-Kuppler . . . . .                            | 206 |
| 3.5.3   | Freiburger-konischer-Kinder-Kuppler . . . . .                     | 206 |
| 3.5.4   | Zwislocky-Kuppler . . . . .                                       | 206 |
| 3.5.5   | Ohrsimulator . . . . .                                            | 206 |
| 3.6     | Auswerteverfahren der Messtechnik . . . . .                       | 207 |
| 3.6.1   | RMS-Verfahren . . . . .                                           | 208 |
| 3.6.1.1 | Messdauer . . . . .                                               | 208 |
| 3.6.1.2 | Kurvenglättung . . . . .                                          | 208 |
| 3.6.1.3 | Anzahl der Messungen . . . . .                                    | 209 |
| 3.6.2   | FFT-Verfahren . . . . .                                           | 209 |
| 3.6.3   | Sonogramm . . . . .                                               | 210 |
| 3.6.4   | Zeitverlaufsdiagramm . . . . .                                    | 210 |
| 3.6.5   | Statistische Auswertungen . . . . .                               | 211 |
| 3.6.6   | Percentilverfahren . . . . .                                      | 211 |
| 3.6.6.1 | Von der Pegelstatistik zur Percentilanalyse . . . . .             | 214 |
| 3.6.6.2 | Begrenzung der Messdynamik . . . . .                              | 215 |
| 3.7     | Entwicklung der Hörsystem-Messtechnik . . . . .                   | 215 |
| 3.7.1   | Messung analoger linearer Systeme . . . . .                       | 216 |
| 3.7.2   | Beispiel . . . . .                                                | 217 |
| 3.7.3   | Nichtlineare analoge Systeme . . . . .                            | 219 |
| 3.7.4   | Neue Herausforderung: Digitaltechnik . . . . .                    | 220 |

|           |                                                            |     |
|-----------|------------------------------------------------------------|-----|
| 3.7.5     | Messbox oder Insitu? - das ist heute die Frage! . . . . .  | 221 |
| 3.7.6     | Was ist bei der Insitumessung zu beachten? . . . . .       | 221 |
| 3.8       | Kombination von Messsignal und Auswerteverfahren . . . . . | 228 |
| 3.8.1     | „Klangbezogene“ Messungen . . . . .                        | 228 |
| 3.8.1.1   | Resonanzen . . . . .                                       | 228 |
| 3.8.1.2   | Signalverzerrungen, Klirrfaktor . . . . .                  | 228 |
| 3.8.1.3   | Intermodulationen . . . . .                                | 230 |
| 3.8.1.4   | Eigenrauschen . . . . .                                    | 231 |
| 3.8.1.5   | Klangverhalten bei einem Pegelsprung . . . . .             | 232 |
| 3.8.2     | Gerätefunktions bezogene Messungen . . . . .               | 233 |
| 3.8.2.1   | Rückkopplungsmanager . . . . .                             | 233 |
| 3.8.2.2   | Spracherkennung . . . . .                                  | 233 |
| 3.8.2.3   | Direktionalität . . . . .                                  | 234 |
| 3.8.2.4   | Störschallabschwächung . . . . .                           | 235 |
| 3.8.2.5   | Wiener Filter . . . . .                                    | 236 |
| 3.8.2.6   | Impulsschallreduzierung . . . . .                          | 236 |
| 3.8.2.7   | Frequenzbereichskompression . . . . .                      | 237 |
| 3.8.2.8   | Bassanhebung . . . . .                                     | 237 |
| 3.8.2.9   | Nachhallzeit . . . . .                                     | 238 |
| 3.8.2.10  | Windgeräuschabschwächung . . . . .                         | 238 |
| 3.8.2.11  | Normierte Darstellung nach Reimer Rohweder . . . . .       | 239 |
| 3.8.3     | Auf einen Regelvorgang bezogene Messungen . . . . .        | 241 |
| 3.8.3.1   | Mehrkanaligkeit . . . . .                                  | 241 |
| 3.8.3.2   | Statische Kompression . . . . .                            | 242 |
| 3.8.3.2.1 | Kompressionsverhältnis (CV) . . . . .                      | 243 |
| 3.8.3.2.2 | Regelschwelle (LRS <sub>i</sub> ) . . . . .                | 243 |
| 3.8.3.3   | Dynamische Kompression . . . . .                           | 243 |
| 3.8.4     | Eigenschaften der Signalverarbeitung . . . . .             | 251 |
| 3.8.4.1   | Durchlaufzeiten (Delay) . . . . .                          | 251 |
| 3.9       | Anpassmessungen . . . . .                                  | 253 |
| 3.9.1     | Klassische Verfahren . . . . .                             | 253 |
| 3.9.1.1   | Frequenzgang . . . . .                                     | 253 |
| 3.9.1.2   | LE-LA-Diagramm . . . . .                                   | 254 |
| 3.9.1.3   | RECD-Messung . . . . .                                     | 255 |
| 3.9.2     | „Moderne“ Anpassmessungen . . . . .                        | 258 |
| 3.10      | Normmessungen . . . . .                                    | 259 |
| 3.10.1    | Normen . . . . .                                           | 259 |

|        |                                                               |     |
|--------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 3.10.2 | Normmessung nach DIN EN 60118-7: 2005 .....                   | 261 |
| 3.10.3 | Praktische Durchführung der Messungen nach DIN EN 60118-7 ... | 267 |
| 3.11   | Praktische Messungen .....                                    | 273 |
| 3.11.1 | Fehler .....                                                  | 273 |
| 3.11.2 | Trimmer (Steller) .....                                       | 273 |
| 3.11.3 | Digitale Hörsysteme .....                                     | 275 |
| 3.11.4 | Probleme bei der Messung früher digitaler Hörsysteme .....    | 277 |
| 3.11.5 | Batteriemessungen .....                                       | 279 |
| 3.11.6 | Diagrammparameter .....                                       | 279 |

## Kapitel P-04 – Vorgespräch, Otoskope & Audiometer

|       |                                                      |     |
|-------|------------------------------------------------------|-----|
| 4.    | Vorgespräch, Otoskope & Audiometer .....             | 285 |
| 4.1   | Audiologisches Vorgespräch. ....                     | 287 |
| 4.1.1 | Datenschutz und Datensicherheit .....                | 287 |
| 4.1.2 | Persönliche Daten .....                              | 288 |
| 4.1.3 | Allgemeine Fragen zur Schwerhörigkeit .....          | 289 |
| 4.1.4 | Fragen zum medizinisch-anatomischen Bereich .....    | 290 |
| 4.1.5 | Fragen zum individuellen Hörbedarf .....             | 291 |
| 4.1.6 | Fragen zum sozialen Umfeld .....                     | 292 |
| 4.1.7 | Datenimport -export unter NOAH3 .....                | 292 |
| 4.1.8 | Frageninventare .....                                | 292 |
| 4.2.  | Otoskope .....                                       | 297 |
| 4.2.1 | Hand-Otoskope .....                                  | 297 |
| 4.2.2 | Video-Otoskope .....                                 | 298 |
| 4.2.3 | Otoskoptrichter. ....                                | 298 |
| 4.2.4 | Mikroskopsysteme .....                               | 300 |
| 4.3   | Audiometer .....                                     | 301 |
| 4.3.1 | Geräteaufbau und Ausstattung .....                   | 302 |
| 4.3.2 | Tonaudiometer .....                                  | 308 |
| 4.3.3 | Sprachaudiometer .....                               | 310 |
| 4.3.4 | Überschwellige Tests .....                           | 312 |
| 4.4   | Einige Audiometerausführungen für Hörakustiker. .... | 313 |
| 4.4.1 | Aural (GN-Otometrics) .....                          | 313 |
| 4.4.2 | ACAM 5 (Acousticon) .....                            | 314 |

|       |                                                           |     |
|-------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.3 | Affinity II (Maico) . . . . .                             | 316 |
| 4.4.4 | Unity 2 (Siemens Audiologische Technik) . . . . .         | 317 |
| 4.5   | Normen, Gesetze und Vorschriften für Audiometer . . . . . | 319 |

## Kapitel P-05 – Die Anpassung von Hörsystemen (Anpassverfahren)

|         |                                                                      |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.      | Die Anpassung von Hörsystemen . . . . .                              | 321 |
| 5.1     | Gerätevorauswahl . . . . .                                           | 326 |
| 5.1.1   | Anpassbereich . . . . .                                              | 327 |
| 5.1.2   | Aus dem Sprachaudiogramm abgeleiteter Verstärkungsbedarf . . .       | 328 |
| 5.1.3   | Zu starke Hörsysteme? . . . . .                                      | 330 |
| 5.1.4   | Geräteausstattung . . . . .                                          | 334 |
| 5.2     | Voreinstellung von Hörsystemen . . . . .                             | 335 |
| 5.2.1   | Ziele der Voreinstellung . . . . .                                   | 335 |
| 5.2.2   | Grundlagen der Voreinstellung . . . . .                              | 337 |
| 5.2.2.1 | Schallleitungsschwerhörigkeit . . . . .                              | 337 |
| 5.2.2.2 | Innenohrschwerhörigkeit . . . . .                                    | 337 |
| 5.2.2.3 | Dead-Regions . . . . .                                               | 338 |
| 5.2.2.4 | Neurale Schwerhörigkeit . . . . .                                    | 338 |
| 5.2.2.5 | Sprachverstehen . . . . .                                            | 339 |
| 5.2.2.6 | Verdeckung . . . . .                                                 | 341 |
| 5.2.2.7 | Pegel angenehmer Lautheit (Loudness Equalization) . . . . .          | 341 |
| 5.2.2.8 | Lautheitsnormalisierung (Loudness Normalization) . . . . .           | 342 |
| 5.2.3   | Schwellenbasierte oder lautheitsbasierte Anpassverfahren? . . . . .  | 342 |
| 5.2.4   | Umsetzung der Anpassregeln . . . . .                                 | 343 |
| 5.2.4.1 | Benötigte Genauigkeit . . . . .                                      | 346 |
| 5.2.4.2 | Art der Zielkonstruktionen . . . . .                                 | 346 |
| 5.3     | Anpassverfahren . . . . .                                            | 350 |
| 5.3.1   | Hörschwellenorientierte Frequenzanpassung . . . . .                  | 350 |
| 5.3.1.1 | HV/2 (Lybarger) . . . . .                                            | 351 |
| 5.3.1.2 | POGO (Prescription of Gain and Output) . . . . .                     | 352 |
| 5.3.1.3 | Berger . . . . .                                                     | 353 |
| 5.3.1.4 | NAL (National Acoustics Laboratories of Australia) -R; -RP . . . . . | 353 |
| 5.3.1.5 | Libby . . . . .                                                      | 354 |

|           |                                                                                                    |     |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3.1.6   | DSL 3.1 (Desired Sensation Level for linear aids) . . . . .                                        | 356 |
| 5.3.2     | Dynamikorientierte Frequenzanpassung . . . . .                                                     | 357 |
| 5.3.2.1   | Isophonen Differenzmaß (IDM Prof. Keller 1986) . . . . .                                           | 360 |
| 5.3.2.2   | Rauschimpuls-Audiometrie (RIA) . . . . .                                                           | 361 |
| 5.3.2.3   | Insitu-Audiometrie (ISA) (Prof. Kießling 1987) . . . . .                                           | 362 |
| 5.3.3     | Nichtlineare Verf. der dynamikorientierten Frequenzanpassung . . . . .                             | 363 |
| 5.3.3.1   | NAL – NL1 (NL-2) . . . . .                                                                         | 363 |
| 5.3.3.2   | DSL [I/O] Desired Sensation Level (Cornelisse et al. 1995) . . . . .                               | 368 |
| 5.3.3.3   | FIG6 (Killion und Fikret-Pasa 1993) . . . . .                                                      | 369 |
| 5.3.4     | Auf Lautheitsskalierung bezogenen Verfahren der<br>dynamikorientierten Frequenzanpassung . . . . . | 369 |
| 5.3.4.1   | LGOB (Loudness growths in 1/2-octave bands) . . . . .                                              | 371 |
| 5.3.4.2   | IHAFF (Independent-Hearing-Aid-Fitting-Forum) . . . . .                                            | 371 |
| 5.3.4.3   | Madsen Aurical Methode . . . . .                                                                   | 371 |
| 5.3.4.4   | Würzburger Hörfeld . . . . .                                                                       | 372 |
| 5.3.4.5   | ScalAdapt . . . . .                                                                                | 372 |
| 5.3.4.6   | Präskriptivverfahren nach Kießling . . . . .                                                       | 372 |
| 5.3.5     | Auf Zielhörfelder bezogenen Anpassverfahren . . . . .                                              | 373 |
| 5.3.5.1   | Percentilaanpassung (nach Harald Bonsel) . . . . .                                                 | 373 |
| 5.3.5.1.1 | Praktische Vorgehensweise . . . . .                                                                | 376 |
| 5.3.5.1.2 | Akklimatisierung . . . . .                                                                         | 377 |
| 5.3.5.1.3 | Vergleiche . . . . .                                                                               | 377 |
| 5.3.5.2   | AHA-Fit . . . . .                                                                                  | 377 |
| 5.4       | Durchführung der Voreinstellung . . . . .                                                          | 380 |
| 5.4.1     | „First-Fit“ . . . . .                                                                              | 382 |
| 5.4.2     | Einstellung der Begrenzung (LA max) . . . . .                                                      | 383 |
| 5.4.3     | Frequenzanpassung . . . . .                                                                        | 384 |
| 5.4.4     | Dynamikanpassung . . . . .                                                                         | 384 |
| 5.4.5     | Auswirkungen von (Mess)toleranzen auf die Voreinstellung . . . . .                                 | 385 |
| 5.4.6     | Verhalten von Fitting Modulen bei “fehlenden” Daten . . . . .                                      | 386 |
| 5.4.7     | Hörsystemeinstellungen mit der Percentilanalyse . . . . .                                          | 387 |
| 5.4.8     | Einstellung weiterer Hörsystem-Parameter . . . . .                                                 | 388 |
| 5.5       | Vergleichende Anpassung und Feinanpassung . . . . .                                                | 389 |
| 5.5.1     | Welchen Nutzen bietet die vergleichende Anpassung? . . . . .                                       | 389 |
| 5.5.2     | Methoden der Feinanpassung . . . . .                                                               | 391 |
| 5.5.2.1   | Freifeldmessung, die Qualitätssicherung . . . . .                                                  | 392 |
| 5.5.2.2   | Insitu-Messung . . . . .                                                                           | 392 |
| 5.5.2.3   | Hörfeldskalierung . . . . .                                                                        | 393 |
| 5.5.2.4   | Die MCL-Messung zur Kontrolle der Hörentwöhnung . . . . .                                          | 393 |

|           |                                                                |     |
|-----------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 5.5.2.5   | Audiovisuelle Klangbeispiele .....                             | 393 |
| 5.5.2.6   | Der ANL-Test .....                                             | 394 |
| 5.6       | Hörtraining (von Traute Pfeifer) .....                         | 395 |
| 5.6.1     | Wann ist ein Hörtraining hilfreich? .....                      | 397 |
| 5.6.2     | Unverzichtbare Eigenschaften des Hörtrainers .....             | 399 |
| 5.6.3     | Der erste Schritt des Hörtrainings .....                       | 402 |
| 5.6.3.1   | Persönliche Dinge erfragen und schriftlich dokumentieren ..... | 403 |
| 5.6.3.2   | Aktives Zuhören .....                                          | 404 |
| 5.6.3.3   | Das drastifizierende Zuhören hat folgende Funktionen .....     | 406 |
| 5.6.4     | Hörphysiologie und Recruitment .....                           | 407 |
| 5.6.4.1   | Hörphysiologie .....                                           | 411 |
| 5.6.4.2   | Recruitment .....                                              | 412 |
| 5.6.5     | Erklärung des mangelnden Sprachverstehens im Störlärm .....    | 412 |
| 5.6.5.1   | Bedingungen des Hörtrainings .....                             | 412 |
| 5.6.5.1.1 | Bedingungen, die das Hörtraining beeinflussen .....            | 412 |
| 5.6.5.2   | Der Verstehstatus und Gründe zu seiner Erhebung .....          | 414 |
| 5.6.6     | Abschluss des Hörtrainings .....                               | 422 |
| 5.6.7     | Fallbeispiele .....                                            | 422 |
| 5.6.8     | Die Wichtigkeit der Nachsorge .....                            | 430 |

## Kapitel P-06 – Otoplastik

|         |                                                                               |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.      | Otoplastik .....                                                              | 433 |
| 6.1.    | Funktionen der Otoplastik .....                                               | 434 |
| 6.1.1   | Akustische Funktionen und Eigenschaften .....                                 | 439 |
| 6.1.1.1 | Zusatzbohrung (ZuBo, Belüftungsbohrung, Vent) .....                           | 439 |
| 6.1.1.2 | Restvolumen .....                                                             | 444 |
| 6.1.1.3 | Schallschlauch .....                                                          | 445 |
| 6.1.1.4 | Akustische Filter .....                                                       | 446 |
| 6.1.2   | Mechanische Funktionen .....                                                  | 447 |
| 6.1.2.1 | Die Ohrmuschel .....                                                          | 447 |
| 6.1.2.2 | Die Eigenschaften des äußeren Gehörgangs .....                                | 450 |
| 6.1.2.3 | Halte- und Auszugskräfte .....                                                | 450 |
| 6.1.2.4 | Offene Versorgung war gestern- okklusionsfreie<br>Versorgung ist heute! ..... | 457 |
| 6.1.2.5 | Abdichtzone .....                                                             | 458 |
| 6.1.2.6 | Dichtheit .....                                                               | 458 |
| 6.1.3   | Kosmetische Aspekte .....                                                     | 459 |

|          |                                                             |     |
|----------|-------------------------------------------------------------|-----|
| 6.2      | Handling: Ein- und Aussetzen                                | 459 |
| 6.2.1    | Das Ein- und Aussetzen einer Otoplastik                     | 459 |
| 6.2.2    | Pflege und Pflegemittel                                     | 460 |
| 6.2.3    | Haltbarkeit und Verschleiß                                  | 460 |
| 6.3      | Otoplastikformen                                            | 463 |
| 6.3.1    | Otoplastiken mit herkömmlichem Schallschlauch               | 463 |
| 6.3.1.1  | SE-Mulde (Ohrmulde)                                         | 463 |
| 6.3.1.2  | SE-Schale                                                   | 464 |
| 6.3.1.3  | SE-Stöpsel (Gehörgangsplastik)                              | 464 |
| 6.3.1.4  | SE-Ring (Reifenform)                                        | 465 |
| 6.3.1.5  | SE-Spange                                                   | 465 |
| 6.3.1.5  | SE-Kralle                                                   | 466 |
| 6.3.1.6  | Folienotoplastik                                            | 467 |
| 6.3.1.7  | SE-Schlauchhalterung                                        | 467 |
| 6.3.1.8  | Gerätehalterung (CROS)                                      | 467 |
| 6.3.1.9  | SE-E-Halterung (Concha-Line-Otoplastik)                     | 467 |
| 6.3.1.10 | Cymba-Line Otoplastik                                       | 468 |
| 6.3.1.11 | 01-Otoplastik (Mondotoplastik)                              | 468 |
| 6.3.1.12 | Hohlkanal-Otoplastik                                        | 468 |
| 6.3.1.13 | Tandem-Otoplastik                                           | 469 |
| 6.3.1.14 | IROS Otoplastik (Step Vent Otoplastik)                      | 469 |
| 6.3.1.15 | Komfortissimo Otoplastik (Nugget Otoplastik nach Mike Gerl) | 469 |
| 6.3.2    | Dünnschlauchplastiken                                       | 472 |
| 6.3.3    | RIC Otoplastiken                                            | 472 |
| 6.4      | Bearbeitung der Ohrabformung                                | 474 |
| 6.4.1    | Wer soll die Bearbeitung der Ohrabformung durchführen?      | 474 |
| 6.4.2    | Einsetzbarkeit der Otoplastik                               | 476 |
| 6.4.3    | Die Zapfenlänge                                             | 476 |
| 6.4.4    | Warum eine Abformung bis zur zweiten Gehörgangskrümmung?    | 476 |
| 6.5      | Werkstoffe                                                  | 479 |
| 6.5.1    | Acryl                                                       | 479 |
| 6.5.1.1  | Acryl Kaltpolymerisat                                       | 480 |
| 6.5.1.2  | Acryl Heisspolymerisat                                      | 481 |
| 6.5.1.3  | Lichtpolymerisat                                            | 482 |
| 6.5.2    | Polyurethan                                                 | 485 |
| 6.5.2.1  | THERMOtec                                                   | 485 |
| 6.5.2.2  | VarioTherm                                                  | 488 |

|           |                                                        |     |
|-----------|--------------------------------------------------------|-----|
| 6.5.3     | Silikon                                                | 492 |
| 6.5.4     | Metalle                                                | 493 |
| 6.5.4.1   | Titan                                                  | 493 |
| 6.5.4.2   | Edelmetalle                                            | 494 |
| 6.5.4.3   | Chrom-Molybdän „Chirurgenstahl“                        | 495 |
| 6.5.5     | Schallschlauchmaterial                                 | 496 |
| 6.6       | Farben und Oberflächen                                 | 498 |
| 6.6.1     | Verglast                                               | 498 |
| 6.6.2     | Mattiert                                               | 498 |
| 6.6.3     | Vergoldet, rhodiniert                                  | 498 |
| 6.6.4     | Farben                                                 | 498 |
| 6.7       | Herstellungsverfahren                                  | 499 |
| 6.7.1     | Rohlingsherstellung nach dem klassischen PNP-Verfahren | 502 |
| 6.7.1.1   | Vorbereiten der Ohrabformung                           | 504 |
| 6.7.1.2   | Herstellung einer Negativform                          | 509 |
| 6.7.1.3   | Anmischen und Einfüllen des Polymers                   | 515 |
| 6.7.1.4   | Druckpolymerisation                                    | 518 |
| 6.7.1.5   | Rohling der Form entnehmen                             | 519 |
| 6.7.2     | Verfahrensvarianten                                    | 520 |
| 6.7.2.1   | Membran-Nachdruckverfahren                             | 521 |
| 6.7.2.2   | Lichtpolymerisation                                    | 523 |
| 6.7.2.3   | Silikon-Material (Bipor-Prozess)                       | 523 |
| 6.7.2.4   | Direkte Ohrabformung                                   | 524 |
| 6.7.3     | Herstellung einer IdO-Schale aus Lichtpolymerisat      | 525 |
| 6.7.3.1   | Vorbereitung der Ohrabformung                          | 526 |
| 6.7.3.2   | Negativform herstellen                                 | 527 |
| 6.7.3.3   | Polymerisat einfüllen und polymerisieren               | 528 |
| 6.8       | Bearbeitungen mit der Technikanlage                    | 531 |
| 6.8.1     | Technikanlage und Fräser                               | 531 |
| 6.8.2     | Herstellung eines SE-Rings                             | 533 |
| 6.8.2.1   | Verfahren nach Thomas Wichmann                         | 533 |
| 6.8.2.1.1 | Rohling vorbereiten                                    | 535 |
| 6.8.2.1.2 | Fräsen der „Pyramide“                                  | 537 |
| 6.8.2.1.3 | Mulde herstellen                                       | 538 |
| 6.8.2.1.4 | Mulde verbreitern                                      | 540 |
| 6.8.2.1.5 | Bereich der Cymba plan fräsen                          | 540 |
| 6.8.2.1.6 | Tragusbereich bearbeiten                               | 541 |

|            |                                                                       |     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.8.2.1.7  | Ring Innenkontur erstellen . . . . .                                  | 542 |
| 6.8.2.1.8  | Anschlussflächen herstellen . . . . .                                 | 546 |
| 6.8.2.1.9  | Ringprofil fertigstellen . . . . .                                    | 547 |
| 6.8.2.1.10 | Cymba und Cerumenmulde gestalten . . . . .                            | 547 |
| 6.8.2.2    | Andere Verfahren . . . . .                                            | 551 |
| 6.8.2.2.1  | Anzeichnen . . . . .                                                  | 551 |
| 6.8.2.2.2  | Fräser und Bohrer . . . . .                                           | 552 |
| 6.8.2.2.3  | Abtragsfräsung bis zur oberen Begrenzungslinie . . . . .              | 553 |
| 6.8.2.2.4  | Ringinnenform herstellen . . . . .                                    | 554 |
| 6.8.2.2.5  | Ring in Stärke und Breite anpassen . . . . .                          | 555 |
| 6.8.2.2.6  | Anlegen der Cerumenmulde und Bohrung für den Schallschl. . . . .      | 557 |
| 6.8.2.2.7  | Zusatzbohrung und Ansatz für Puster herstellen . . . . .              | 560 |
| 6.8.2.2.8  | Otoplastik schmiegeln . . . . .                                       | 560 |
| 6.8.2.2.9  | Zapfenmodifikation „Shark-bite“ . . . . .                             | 561 |
| 6.8.2.2.10 | Zapfenmodifikation „Steped Vent“ . . . . .                            | 563 |
| 6.8.3      | Herstellung einer traditionellen Otoplastik aus LP-Material . . . . . | 564 |
| 6.8.4      | Bearbeitung einer IdO-Hohlschale . . . . .                            | 567 |
| 6.8.4.1    | Schalenhöhe mit der Planscheibe anpassen . . . . .                    | 567 |
| 6.8.4.2    | Vent erstellen . . . . .                                              | 568 |
| 6.8.4.3    | Faceplate ankleben . . . . .                                          | 570 |
| 6.8.4.4    | Rand des Faceplates an die IdO-Schale anpassen . . . . .              | 571 |
| 6.8.4.5    | Schale schmiegeln . . . . .                                           | 572 |
| 6.8.4.6    | Einbau der Hörgeräteelektronik in die IO-Schale . . . . .             | 574 |
| 6.8.4.7    | Montage des Cerumenschutzsystems . . . . .                            | 576 |
| 6.9        | Rapid-Prototyping . . . . .                                           | 577 |
| 6.9.1      | Scannen der Ohrabformung . . . . .                                    | 578 |
| 6.9.2      | Bearbeitung am Bildschirm . . . . .                                   | 582 |
| 6.9.3      | Fertigungsmethoden . . . . .                                          | 587 |
| 6.9.3.1    | Selektives Lasersintern (SLS-Verfahren) . . . . .                     | 587 |
| 6.9.3.2    | Stereolithografie (SLA-Verfahren) . . . . .                           | 588 |
| 6.9.3.3    | Digital-Light-Prozessing (DLP-Verfahren) . . . . .                    | 590 |
| 6.9.3.4    | 3D-Druck . . . . .                                                    | 592 |
| 6.9.3.5    | Scan-Led-Verfahren . . . . .                                          | 593 |
| 6.10       | Oberflächengestaltungen . . . . .                                     | 594 |
| 6.10.1     | Lackierprozess . . . . .                                              | 594 |
| 6.10.2     | Beschriftung der Otoplastik . . . . .                                 | 595 |
| 6.11       | Laborausstattung . . . . .                                            | 596 |

**Kapitel P-07 – Der Umgang mit dem Kunden**

|         |                                                           |     |
|---------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 7.      | Der Umgang mit dem Kunden . . . . .                       | 597 |
| 7.1     | Grundregeln der Kommunikation . . . . .                   | 598 |
| 7.2     | Einweisungen in Messungen, Handling und Pflege . . . . .  | 599 |
| 7.2.1   | Struktur der Einweisungsgespräche . . . . .               | 600 |
| 7.2.2   | Erklären der Messergebnisse . . . . .                     | 602 |
| 7.3     | Erklären und Demonstrieren . . . . .                      | 604 |
| 7.3.1   | Audiovisuelle Systeme . . . . .                           | 605 |
| 7.3.1.1 | SurroundRouter . . . . .                                  | 605 |
| 7.3.1.2 | Oticon eCaps . . . . .                                    | 607 |
| 7.3.1.3 | Hörverlustsimulator . . . . .                             | 607 |
| 7.3.1.4 | Hörgerätesimulator . . . . .                              | 607 |
| 7.3.2   | „Kunstköpfe“ . . . . .                                    | 607 |
| 7.4     | Beratungsgespräch . . . . .                               | 609 |
| 7.4.1   | Bedeutung des Beratungsgesprächs . . . . .                | 609 |
| 7.4.2   | Durchführung . . . . .                                    | 609 |
| 7.4.3   | Spezielle Gegebenheiten in einer Meisterprüfung . . . . . | 610 |
| 7.5     | Kundenwünsche und deren Umsetzung . . . . .               | 610 |
| 7.5.1   | Der Therapieansatz . . . . .                              | 610 |
| 7.5.2   | Information und Beratung stehen im Vordergrund . . . . .  | 611 |
| 7.5.3   | Eine „Weichspülanpassung“ bringt wenig Erfolg“ . . . . .  | 611 |
| 7.5.4   | Gleitende Anpassung. . . . .                              | 612 |
| 7.5.5   | „Trage-Vorlauf“ vor der Anpassung . . . . .               | 612 |
| 7.5.6   | Lautstärkeschock . . . . .                                | 612 |

**Kapitel P-08 – Hörsituationen & Hörprogramme**

|         |                                                 |     |
|---------|-------------------------------------------------|-----|
| 8.      | Hörsituationen & Hörprogramme . . . . .         | 613 |
| 8.1     | Hörsituationen . . . . .                        | 614 |
| 8.1.1   | Hören in Ruhe . . . . .                         | 615 |
| 8.1.2   | Hören im Störlärm . . . . .                     | 615 |
| 8.1.2.1 | Hören in Gesellschaft (Cocktailparty) . . . . . | 615 |
| 8.1.2.2 | Hören im Verkehrslärm . . . . .                 | 616 |
| 8.1.3   | Hören von Musik . . . . .                       | 616 |

|         |                                          |     |
|---------|------------------------------------------|-----|
| 8.1.3.1 | Live-Musik .....                         | 616 |
| 8.1.3.2 | Fernsehen und Stereo-Anlage .....        | 617 |
| 8.1.4   | Telefonieren .....                       | 618 |
| 8.1.5   | Hallige Umgebung .....                   | 618 |
| 8.2     | Hörprogramme .....                       | 619 |
| 8.2.1   | Hören in Ruhe (Basisprogramm) .....      | 619 |
| 8.2.2   | Hören im Störgeräusch .....              | 620 |
| 8.2.3   | Hören von Musik .....                    | 621 |
| 8.2.4   | Telefonieren .....                       | 622 |
| 8.2.5   | Hallige Umgebung .....                   | 623 |
| 8.3     | Programmwahl .....                       | 624 |
| 8.3.1   | Manuelle Wahl .....                      | 624 |
| 8.3.2   | Automatische Programmwahl .....          | 624 |
| 8.3.3   | Otimierung der adaptiven Parameter ..... | 625 |

## Kapitel P-09 – Praktische Durchführung einer Hörsystemanpassung

|       |                                                        |     |
|-------|--------------------------------------------------------|-----|
| 9.    | Praktische Durchführung einer Hörsystemanpassung. .... | 627 |
| 9.1   | Die Durchführung des Audiologischen Vorgesprächs ..... | 628 |
| 9.1.1 | Persönliche Daten .....                                | 631 |
| 9.1.2 | Fragen zur Schwerhörigkeit .....                       | 634 |
| 9.1.3 | Fragen zum medizinischen Bereich .....                 | 637 |
| 9.1.4 | Fragen zum individuellen Hörbedarf .....               | 639 |
| 9.1.5 | Fragen zum sozialen Umfeld .....                       | 641 |
| 9.2   | Otoskopie .....                                        | 642 |
| 9.2.1 | Befunde der Otoskopie .....                            | 644 |
| 9.3   | Durchführung der Tonaudiometrie .....                  | 648 |
| 9.3.1 | Luftleitung .....                                      | 650 |
| 9.3.2 | Knochenleitung .....                                   | 654 |
| 9.3.3 | Unbehaglichkeitsschwelle .....                         | 659 |
| 9.3.4 | Soll ein MCL gemessen werden? .....                    | 662 |
| 9.3.5 | Reproduzierbarkeit der Messwerte .....                 | 663 |
| 9.4   | Durchführung der Sprachaudiometrie .....               | 664 |
| 9.4.1 | Notwendigkeit der Durchführung .....                   | 664 |

|           |                                                          |     |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----|
| 9.4.2     | Freiburger Sprachtest                                    | 665 |
| 9.4.2.1   | Hörverlust für Zahlen                                    | 666 |
| 9.4.2.2   | Unbehaglichkeitsschwelle für Zahlen                      | 667 |
| 9.4.2.3   | Einsilberverstehen                                       | 668 |
| 9.4.2.4   | Verwechslungen von Einsilbern                            | 669 |
| 9.4.2.4.1 | Ursachen der Wortverwechslungen                          | 669 |
| 9.4.2.4.2 | Verwechslung von hohen Konsonanten                       | 670 |
| 9.4.2.4.3 | Verwechslungen in den Gruppen                            | 672 |
| 9.4.2.5   | Wann ist die Bestimmung des CSL sinnvoll?                | 677 |
| 9.4.2.6   | Reproduzierbarkeit der Messungen                         | 678 |
| 9.5       | Erklärung der Messergebnisse                             | 681 |
| 9.5.1     | Erklärungen zur Otoskopie                                | 681 |
| 9.5.2     | Ergebnisse der Tonaudiometrie                            | 681 |
| 9.5.3     | Ergebnisse der Sprachaudiometrie                         | 684 |
| 9.6       | Kundenberatung                                           | 686 |
| 9.6.1     | Mon- oder binaurale Anpassung?                           | 686 |
| 9.6.2     | Erörterung der Bauform                                   | 687 |
| 9.6.3     | Gehäuse, Farben, Formen                                  | 687 |
| 9.6.4     | Wahl der Hörerätefunktionen                              | 688 |
| 9.6.5     | Geeignetes und empfohlenes Zubehör                       | 692 |
| 9.6.6     | Maximaler Ausgangsschallpegel und akustische Verstärkung | 692 |
| 9.7       | Ohrabformung                                             | 695 |
| 9.7.1     | Hygienische Voraussetzungen                              | 696 |
| 9.7.2     | Otoskopie zur Abklärung anatomischer Daten               | 697 |
| 9.7.3     | Auswahl und Herstellung der Tamponade                    | 698 |
| 9.7.4     | Tamponade und Ohrabformung nach Mike Gerl                | 700 |
| 9.7.5     | Abdruck entnehmen                                        | 708 |
| 9.7.6     | Kontroll Otoskopie                                       | 710 |
| 9.7.7     | Abdruck kontrollieren und reinigen.                      | 710 |
| 9.7.8     | Ohrabformung beschneiden und Otoplastikform wählen       | 715 |
| 9.8       | Verwaltungssoftware                                      | 718 |
| 9.8.1     | Funktionen einer Verwaltungssoftware                     | 718 |
| 9.8.1.1   | Verwaltung der Kundendaten                               | 719 |
| 9.8.1.2   | Auftragsbearbeitung                                      | 720 |
| 9.8.1.3   | Kaufmännische Abwicklung                                 | 722 |

|        |                                                               |     |
|--------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 9.9    | Wahl, Beschaffung und Voreinstellung des Hörsystems . . . . . | 723 |
| 9.9.1  | Hörsystem auswählen . . . . .                                 | 723 |
| 9.9.2  | Hörsysteme voreinstellen . . . . .                            | 723 |
| 9.10   | Feinanpassung . . . . .                                       | 724 |
| 9.10.1 | Die zweite Anpasssitzung . . . . .                            | 725 |
| 9.11.2 | Folgesitzungen . . . . .                                      | 733 |
| 9.11.3 | Geräteabgabe . . . . .                                        | 737 |
| 9.11   | Dokumentation und Qualitätssicherung . . . . .                | 738 |

### Kapitel P-10 – Anpassfälle

|        |                                                            |     |
|--------|------------------------------------------------------------|-----|
| 10.    | Anpassfälle . . . . .                                      | 742 |
| 10.1.  | Innenohrschwerhörigkeiten . . . . .                        | 742 |
| 10.1.1 | Mittelschwere Alters- bzw Lärmschwerhörigkeit . . . . .    | 734 |
| 10.1.2 | Lärmschwerhörigkeit mit Pegel > 60 dB . . . . .            | 747 |
| 10.1.3 | Asymmetrischer Innenohrverlust - Vertäubungsfall . . . . . | 748 |
| 10.2   | Schallleitungsschwerhörigkeiten . . . . .                  | 751 |
| 10.2.1 | Kunde mit asymmetrischem Schallleitungsverlust . . . . .   | 752 |
| 10.3   | Kombinierte Schwerhörigkeit . . . . .                      | 757 |
| 10.3.1 | Der Einfluss eines Schallleitungsanteils . . . . .         | 757 |
| 10.4   | Einseitig tauber Kunde . . . . .                           | 760 |

### Kapitel P-11 – Sonderversorgungen

|          |                                                          |     |
|----------|----------------------------------------------------------|-----|
| 11.      | Sonderversorgungen . . . . .                             | 765 |
| 11.1     | Contralateral Routing of Signals (CROS) . . . . .        | 766 |
| 11.1.1   | Gliederung der CROS-Arten nach dem Aufbau . . . . .      | 767 |
| 11.1.1.1 | „Normaler“ CROS . . . . .                                | 768 |
| 11.1.1.2 | BI-CROS . . . . .                                        | 769 |
| 11.1.1.3 | Vorteile einer CROS / Bi-CROS Versorgung . . . . .       | 771 |
| 11.1.1.4 | Kreuz-CROS . . . . .                                     | 771 |
| 11.1.1.5 | Weitere CROS-Arten . . . . .                             | 771 |
| 11.1.2   | Gliederung der CROS-Arten nach der Technologie . . . . . | 773 |

|          |                                        |     |
|----------|----------------------------------------|-----|
| 11.1.2.1 | Schaukel-CROS .....                    | 774 |
| 11.1.2.2 | Funk-CROS .....                        | 774 |
| 11.1.2.3 | CROS über Binauralkopplung .....       | 774 |
| 11.1.2.4 | Brillen-CROS .....                     | 775 |
| 11.2     | Knochenleitungsversorgungen .....      | 775 |
| 11.2.1   | Knochenleitungsbrille .....            | 776 |
| 11.2.2   | Stirnband .....                        | 779 |
| 11.2.3   | Bone anchored hearing aid (BAHA) ..... | 780 |
| 11.3     | Cochlea-Implantat .....                | 781 |
| 11.4     | Implantierbare Systeme .....           | 785 |

## Kapitel P-12 – Gut zu wissen: Praxis

|         |                                                               |     |
|---------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 12.     | Gut zu wissen: Praxis .....                                   | 788 |
| 12.1    | Aufbau & Gliederung der Hörsysteme .....                      | 788 |
| 12.1.1  | Aufgaben der Hörsysteme und deren Anpassung .....             | 788 |
| 12.1.2  | Einteilung der Hörsysteme nach diversen Aspekten .....        | 789 |
| 12.1.3  | Geräteaufbau und technische Funktionen .....                  | 791 |
| 12.1.4  | Gerätesoftware und Funktionen .....                           | 797 |
| 12.1.5  | Signalverarbeitungsstrategien .....                           | 801 |
| 12.1.6  | Funktionen der Fitting-Module .....                           | 801 |
| 12.1.7  | Datensatz eines Hörsystems .....                              | 804 |
| 12.2    | Regel- und Begrenzungssysteme .....                           | 804 |
| 12.3    | Messtechnik .....                                             | 808 |
| 12.3.1  | Messvorgang .....                                             | 808 |
| 12.3.2  | Warum und wozu benötigt der Hörakustiker eine Messtechnik? .. | 809 |
| 12.3.3  | Aufbau und Funktion einer Messbox .....                       | 811 |
| 12.3.4  | Messsignale in der Hörakustik .....                           | 811 |
| 12.3.5  | Kuppler .....                                                 | 812 |
| 12.3.6  | Auswerteverfahren .....                                       | 812 |
| 12.3.7  | Entwicklung der Hörgerätemesstechnik .....                    | 813 |
| 12.3.8  | Kombination von Messsignal und Auswerteverfahren .....        | 814 |
| 12.3.9  | Anpassmessungen .....                                         | 815 |
| 12.3.10 | Normmessungen .....                                           | 815 |

|         |                                                               |     |
|---------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 12.3.11 | Praktische Messungen . . . . .                                | 816 |
| 12.4    | Vorgespräch, Otoskopie & Audiometer . . . . .                 | 817 |
| 12.4.1  | Audiologisches Vorgespräch . . . . .                          | 817 |
| 12.4.2  | Otoskope . . . . .                                            | 819 |
| 12.4.3  | Audiometer . . . . .                                          | 819 |
| 12.5    | Anpassung von Hörsystemen . . . . .                           | 820 |
| 12.5.1  | Gerätevorauswahl . . . . .                                    | 821 |
| 12.5.2  | Voreinstellung von Hörsystemen . . . . .                      | 822 |
| 12.5.3  | Anpassverfahren . . . . .                                     | 823 |
| 12.5.4  | Durchführung der Anpassung . . . . .                          | 825 |
| 12.5.5  | Vergleichende Anpassung . . . . .                             | 826 |
| 12.5.6  | Hörtraining . . . . .                                         | 826 |
| 12.6    | Otoplastik . . . . .                                          | 827 |
| 12.6.1  | Funktionen der Otoplastik . . . . .                           | 827 |
| 12.6.2  | Handling und Pflege . . . . .                                 | 830 |
| 12.6.3  | Otoplastikformen . . . . .                                    | 831 |
| 12.6.4  | Bearbeitung der Ohrabformung . . . . .                        | 832 |
| 12.6.5  | Werkstoffe . . . . .                                          | 832 |
| 12.6.6  | Farben und Oberflächen . . . . .                              | 834 |
| 12.6.7  | Herstellungsverfahren . . . . .                               | 834 |
| 12.6.8  | Bearbeiten mit der Technikanlage . . . . .                    | 837 |
| 12.6.9  | Rapid Prototyping . . . . .                                   | 843 |
| 12.7    | Der Umgang mit dem Kunden . . . . .                           | 846 |
| 12.8    | Hörsituationen & Hörprogramme . . . . .                       | 848 |
| 12.9    | Praktische Durchführung einer Hörsystemanpassung . . . . .    | 850 |
| 12.9.1  | Durchführung des audiologischen Vorgesprächs . . . . .        | 850 |
| 12.9.2  | Otoskopie . . . . .                                           | 852 |
| 12.9.3  | Tonaudiometrie . . . . .                                      | 852 |
| 12.9.4  | Sprachaudiometrie . . . . .                                   | 855 |
| 12.9.5  | Erklärung der Messergebnisse . . . . .                        | 856 |
| 12.9.6  | Kundenberatung . . . . .                                      | 856 |
| 12.9.7  | Ohrabformung . . . . .                                        | 857 |
| 12.9.8  | Verwaltungssoftware . . . . .                                 | 859 |
| 12.9.9  | Wahl, Beschaffung und Voreinstellung des Hörsystems . . . . . | 860 |

|         |                             |     |
|---------|-----------------------------|-----|
| 12.9.10 | Feinanpassung .....         | 860 |
| 12.9.11 | Dokumentation .....         | 861 |
| 12.10   | Anpassfälle .....           | 862 |
| 12.11   | Sonderversorgungen .....    | 864 |
| 12.12   | Schallschutz .....          | 867 |
| 12.13   | Zubehör .....               | 868 |
| 12.14   | Reparaturen .....           | 871 |
| 12.15   | Recherche im Internet ..... | 871 |

### Kapitel P-13 – Schallschutz

|          |                                                        |     |
|----------|--------------------------------------------------------|-----|
| 13.      | Schallschutz .....                                     | 873 |
| 13.1     | Industrieller Schallschutz .....                       | 874 |
| 13.1.1   | Hörstöpsel (Ohrstöpsel) .....                          | 876 |
| 13.1.1.1 | Formen der Ohrstöpsel .....                            | 877 |
| 13.1.1.2 | Ohrstöpsel aus verschiedenen Materialien .....         | 878 |
| 13.1.1.3 | Dämmwerte verschiedener Hörstöpsel .....               | 878 |
| 13.1.1.4 | Ohrstöpsel für bestimmte Personengruppen .....         | 880 |
| 13.1.2   | Kapselgehörschutz .....                                | 883 |
| 13.1.3   | In Ear Monitoring .....                                | 884 |
| 13.1.4   | Aktiver Gehörschutz, Headsets, Gehörschutz Radio ..... | 886 |
| 13.1.4.1 | Statischer Gehörschutz .....                           | 886 |
| 13.1.4.2 | Dynamischer Gehörschutz .....                          | 886 |
| 13.1.4.3 | Radio-Kapselgehörschutz .....                          | 887 |
| 13.2     | Individuell angepasster Schallschutz .....             | 887 |
| 13.2.1   | Gehörschutz mit eingebautem Filter .....               | 888 |
| 13.2.2   | Schwimmschutz .....                                    | 889 |
| 13.2.3   | Schlafschutz .....                                     | 890 |
| 13.3     | Dämmwertprüfung .....                                  | 890 |

**Kapitel P-14 – Zubehör**

|          |                                                             |     |
|----------|-------------------------------------------------------------|-----|
| 14.      | Zubehör . . . . .                                           | 893 |
| 14.1     | Fernbedienungen . . . . .                                   | 895 |
| 14.1.1   | Drahtlose Schnittstellen für Hörsysteme . . . . .           | 897 |
| 14.1.2   | Fernbedienungen und drahtlose Gerätekommunikation . . . . . | 899 |
| 14.1.3   | Bluetooth . . . . .                                         | 900 |
| 14.2     | FM-Anlagen . . . . .                                        | 903 |
| 14.2.1   | Aufbau von FM-Anlagen . . . . .                             | 903 |
| 14.2.1.1 | Der FM-Vorteil . . . . .                                    | 904 |
| 14.2.1.2 | Der SNR-Vorteil . . . . .                                   | 905 |
| 14.2.1.3 | Dynamik FM . . . . .                                        | 905 |
| 14.2.1.4 | Anschließbare Geräte . . . . .                              | 906 |
| 14.2.1.5 | Überprüfung der Funktionalität der FM-Anlage . . . . .      | 906 |
| 14.2.1.6 | SoundCheck . . . . .                                        | 907 |
| 14.2.1.7 | Programmierung . . . . .                                    | 907 |
| 14.2.2   | FM-Anlagen in Schulen . . . . .                             | 908 |
| 14.2.3   | FM-Anlagen mit Bluetooth Schnittstelle . . . . .            | 909 |
| 14.3     | Hörverstärker . . . . .                                     | 910 |
| 14.4     | IR-Anlagen . . . . .                                        | 911 |
| 14.5     | Lichtsignalanlagen . . . . .                                | 912 |
| 14.6     | Blitzwecker . . . . .                                       | 913 |
| 14.7     | Telefone . . . . .                                          | 914 |
| 14.8     | Pflegesysteme . . . . .                                     | 914 |
| 14.9     | Programmierschnittstellen . . . . .                         | 916 |
| 14.9.1   | HI-PRO Interface . . . . .                                  | 916 |
| 14.9.2   | noahLINK Interface . . . . .                                | 917 |
| 14.9.3   | Programmierkabel und Adapter . . . . .                      | 918 |
| 14.9.4   | Drahtlose Schnittstellen . . . . .                          | 919 |
| 14.9.5   | Schnittstellenwahl im Fittingmodul . . . . .                | 919 |

**Kapitel P-15 – Reparaturen und Ausstattungen eines Hörakustikerbetriebs**

|        |                                                                    |     |
|--------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 15.    | Reparaturen und Ausstattungen eines Hörakustikerbetriebs . . . . . | 921 |
| 15.1   | Reparaturen . . . . .                                              | 922 |
| 15.1.1 | Reparaturen an Hörsystemen . . . . .                               | 922 |
| 15.1.2 | Austausch von Gehäuseteilen . . . . .                              | 924 |
| 15.1.3 | Arbeiten an der Otoplastik . . . . .                               | 924 |
| 15.2   | Ausrüstung eines Hörakustikerbetriebs . . . . .                    | 925 |
| 15.2.1 | Räume . . . . .                                                    | 925 |
| 15.2.2 | Computer und Audiometer . . . . .                                  | 926 |
| 15.2.3 | Otoskope, Werkzeuge für die Ohrabformung . . . . .                 | 927 |
| 15.2.4 | Werkzeuge für Otoplastik und Werkstatt . . . . .                   | 928 |

**Kapitel P-16 – Recherche im Internet**

|        |                                              |     |
|--------|----------------------------------------------|-----|
| 16.    | Recherche im Internet . . . . .              | 931 |
| 16.1   | Google-Suche . . . . .                       | 932 |
| 16.2   | Wikipedia . . . . .                          | 933 |
| 16.3   | Medizinische Fragestellungen . . . . .       | 933 |
| 16.3.1 | Medizinische Behandlungsleitlinien . . . . . | 933 |
| 16.3.2 | Pubmed . . . . .                             | 933 |
| 16.4   | Beispiel einer Websuche . . . . .            | 934 |

**Anhang – Band II**

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| Stichwortverzeichnis . . . . . | 937 |
|--------------------------------|-----|



# **LESEPROBE**

## **AUSGEWÄHLTE AUSZÜGE AUS DEM INHALT - BAND 2**

### **KAPITEL 1.4.3 - STÖRGERÄUSCH- ABSCHWÄCHUNG**



Abb. 138: Sprache im Störlärm (Bohrmaschine). Die Modulation der Sprache wird deutlich weniger sichtbar.

Gut zu wissen



### Situationserkennung

Durch die Analyse des akustischen Signals wird es möglich, dass Hörsysteme ihre Eigenschaften automatisch der jeweiligen Hörsituation anpassen können. Dies kann durch Umschalten auf entsprechende Programme und/oder durch Optimierung einzelner adaptiver Parameter erfolgen.

Wichtige Teile der Situationserkennung bilden die Modulation- und die Sprachanalyse.

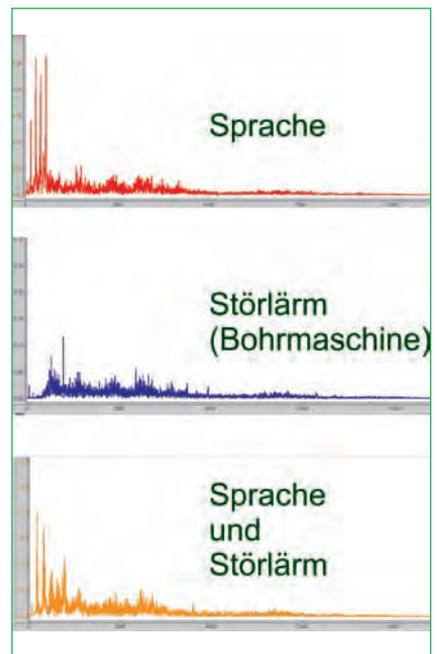


Abb. 139: Sprache im Störlärm (Bohrmaschine), dargestellt im Frequenzbereich. Die Vokalformanten (Linien im Tieffrequenzbereich jeweils im Diagramm ganz links) bleiben deutlich sichtbar.

## 1.4.3 Störgeräuschabschwächung

Aufbauend auf der Signalanalyse gehört die Störgeräuschabschwächung zu den besonders **wichtigen** Features moderner Hörsysteme. Sehr viele Kunden können in **Ruhe** noch **relativ gut** hören, haben aber im **Störschall erhebliche Probleme**, Gesprächen zu folgen. Deshalb ist es fast in allen Fällen ihr **wichtigstes Anliegen**, in dieser schwierigen Hörsituation mit Hörsystemen wieder **besser zu verstehen**.

### ► Funktion

Reduzierung des Störschalls möglichst unter Erhaltung der Verstärkung für gutes Sprachverstehen, wenn Nutz- und Störschall



## P-03

Störgeräuschabschwächung siehe auch:

- Band I
- Kapitel P-03
- ab Punkt 3.8.2.4

PRAXIS

gleichzeitig vorhanden sind. Dies bedeutet, dass mit der Störgeräuschabschwächung der SNR verbessert werden soll.

### ► Eigenschaften

#### • Vorteil

Der Kunde kann mit Hörsystem wieder in schwierigen akustischen Situationen bestehen und gewinnt so erheblich an Lebensqualität.

#### • Nachteil

Akustische Muster müssen nach einer Hörentwöhnung wieder neu erlernt werden. Dabei sollten sich die jeweiligen Muster möglichst nicht verändern. Durch Artefakte der Signalverarbeitung wird das Erkennen eventuell erschwert und der Lernvorgang womöglich behindert.



## T-04

Cocktailparty-Effekt siehe auch:

- Band I
- Kapitel T-04
- ab Punkt 4.7

THEORIE

### ► Einsatzbeispiel

Störgeräuschunterdrückung ist oft bei Tätigkeiten im Lärm während der Berufsausübung oder in der Freizeit wichtig. Typisches Einsatzbeispiel ist die Verbesserung der Situation bei einer Cocktailparty.

### ► Erklärungsbeispiel für das Beratungsgespräch

*„Besonders wichtig war Ihnen, in geräuschvoller Umgebung wieder besser zu verstehen. Dazu bieten Ihnen Hörsysteme mehrere unterschiedliche Lösungen an:*

*Mit einem guten **Mikrofonsystem** können Stör- und Nutzschall effektiv voneinander getrennt werden. Sie verstehen besser in geräuschvoller Umgebung und können sich effektiver auf einen Gesprächspartner konzentrieren.*

*Durch eine **Sprachanhebung** werden Störgeräusche zwischen Sprachsilben reduziert und das gesprochene Wort wird trotz Lärm für Sie klarer und verständlicher.*

*Störgeräusche, wie das Brummen eines Staubsaugers, sind oft tieffrequent. Bei der **Störgeräuschreduzierung** wird die Verstärkung in den Frequenzbereichen verringert, in denen Nebengeräusche dominant sind. Wo Sprache vorherrscht, bleibt die notwendige Verstärkung jedoch unangetastet.“*

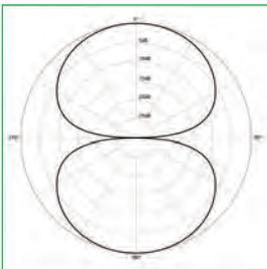


Abb. 140: Polardiagramm „Acht“. Quelle: Galak76 unter CC-BY-SA 3.0

### 1.4.3.1 Mikrofonsysteme

Die Richtwirkung von Mikrofonen wird in Hörsystemen heute kaum noch mechanisch durch ein Richtmikrofon verwirklicht. Eine hohe Flexibilität bieten **automatische adaptive mehrkanalige Richtmikrofonsysteme**, deren Aufbau aus zwei oder mehreren Mikrofonen bestehen, deren Daten über Programme flexibel ausgewertet werden können.

Die **Multimikrofon-Technologie** wurde mit dem Aufkommen digitaler Hörsysteme kontinuierlich weiterentwickelt und ist heute Standard in fast jedem Hörsystem.

Während einer Unterhaltung blickt man in der Regel seinen Gesprächspartner an. Daher kommen wichtige Sprachsignale häufig von vorne, während Störgeräusche oft seitlich platziert sind. Deshalb wird bei Richtmikrofonen die Mikrofonempfindlichkeit meist so eingestellt, dass sie frontal maximal ausgebildet ist, während seitliche Schallquellen abgedämpft werden. Dies wird möglich durch eine individuelle Anpassung der Mikrofon-Richtwirkung.

Welchen Mikrofon-Modus ein Hörsystem einstellt hängt davon ab, ob ein Vorteil in Bezug auf den Signal-Rauschabstand entsteht. Jede Verbesserung bringt dem Träger großen Nutzen, schon ein Dezibel Verbesserung erbringt ca. 10 bis 15% mehr Sprachverständlichkeit. Bei sich bewegenden Störgeräuschquellen können adaptive Mikrofonsysteme das Signal „verfolgen“ und abschwächen, wenn es nicht aus der gleichen Richtung wie das Nutzsignal kommt.

Sind unterschiedliche Geräusche in verschiedenen Frequenzbereichen gleichzeitig vorhanden, können in den einzelnen Bändern unterschiedliche Direktionalitäten eingestellt und so mehrere Störgeräusche gleichzeitig „ausgeblendet“ werden.

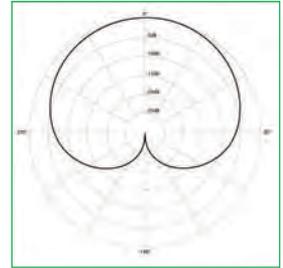


Abb. 141: Polardiagramm Niere. Quelle: Galak76 unter CC-BY-SA 3.0



**P-03**

Direktionalität siehe auch:

- Band I
- Kapitel P-03
- ab Punkt 3.8.2.3

PRAXIS



**HTP 2.0**

Mikrofonsysteme siehe auch:

- Hörakustik 2.0 Theorie und Praxis
- Kapitel 42
- ab Punkt 42.2

**TECHNOLOGIE DER HÖRSYSTEME**



Film Nr. 205

Demonstration der Richtwirkung bei unterschiedlichen Hörsystemen an einem Kunstkopf

Herr Martin Immenkämper von der Firma Klangspektrum führt drei unterschiedliche Hörsysteme der Firma Oticon im Störschall vor.

**Physikalische Grenzen**

Mikrofon-Systeme mit zwei Mikrofonen können Richtcharakteristiken ausbilden, die **stets nach vorne** gerichtet sind. Neben dieser Festlegung auf nur eine Hauptrichtung der Empfindlichkeit liegt

auch noch eine Eigenschaft darin, dass die „Ausformung“ der Empfindlichkeit sich über einen relativ **breiten** Bereich erstreckt. Dadurch werden immer zusätzlich zum Nutzsignal auch seitlich der Hauptrichtung befindliche Schallergebnisse mit erfasst und übertragen. Das ist aber bei einigen Hörsituationen keinesfalls erwünscht.

Die Breite der Richtcharakteristik kann prinzipiell durch einen größeren Mikrofonabstand verringert werden.

Die Richtcharakteristik ist stets auch frequenzabhängig, tiefe Frequenzen werden mit **6dB/Oktave** bedämpft. Während dadurch tieffrequenter Störschall „entfernt“ wird, verschlechtert sich gleichzeitig das Klangverhalten. Des-

halb wird oft eine Korrektur durch Erhöhung der Verstärkung im Tieftonbereich durchgeführt, wobei aber leider auch das interne Rauschen erfasst und vergrößert wird.

Bei kleinen Eingangspegeln kann dieser Effekt nachteilig sein. Ein Ausweg kann darin bestehen, tiefe Frequenzen stets omnidirektional zu erfassen. Diese Maßnahme wird bei Dual-Mikrofonsystemen in der Hörakustik beim Split-Focus ergriffen.

**Je größer** die **Mikrofonzahl** in einem „Mikrofon-Array“ ist, **desto stärker** wird der Tieftonbereich abgesenkt und das **Eigenrauschen** wird beim Verstärkungsausgleich **problematisch**.

**Richtmikrofone am Kopf des Kunden**

Durch den Kopfschatten beim Tragen von Hörsystemen werden die für das freie Schallfeld ermittelten Richtwirkungen verändert. Bei einem HdO-System kann der Schall nur von der gleichen Seite her direkt in die Mikrofone einfallen. Kontralaterale Signale werden durch den Kopf abgeschwächt (**Kopfschatteneffekt**). Er ist für tiefe Frequenzen nicht sehr groß, weil der Kopf im Vergleich zur

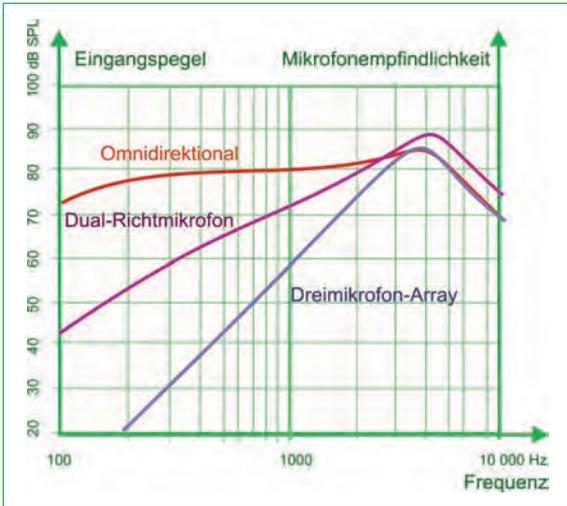


Abb. 142: Mikrofonempfindlichkeit von drei verschiedenen Mikrofonen in Abhängigkeit von der Frequenz (modifiziert nach Phonak Insight StereoZoom)

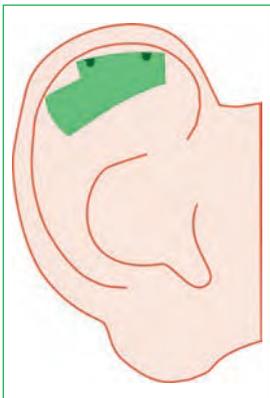


Abb.: Auch die Position der Mikrofone am Kopf hat Einfluss auf die Richtwirkung. (z.B.:Phonak Audeo)

Wellenlänge des Signals relativ klein ist. Durch Beugung gelangt das Signal zum Ohr. Mit steigender Frequenz werden die Auswirkungen des Kopfschattens jedoch zunehmend größer.

### Binaurale Richtmikrofone

Werden bei einem Dualmikrofon-System die beiden Mikrofone neben- und nicht hintereinander angeordnet, kann der „Strahl“ (Beam) nach rechts oder links ausgerichtet werden. Bei binauralen Systemen mit einer „wireless“ Datenverbindung mit großer Datenübertragungsrate kann diese Mikrofonanordnung prinzipiell erreicht werden. Bei der Datenübertragung von Audio-daten in Echtzeit wird aber bislang noch sehr viel Energie benötigt, der Strom steigt um das ca. 3-fache des üblichen Wertes auf rund 3 mA an.

### Mikrofonarrays

Komplexe Mikrofon- und Lautsprecheranordnungen, die mehrere Wandler verwenden, werden in unterschiedlichsten Anwendungen wie z.B. dem Radar eingesetzt. Dabei kann nahezu jede bewegte Lärmquelle erfasst und verfolgt werden. Solche Systeme kommen bislang in Hörgeräten nicht zum Einsatz.

Die Grundidee besteht darin, zusätzliche Mikrofone für die Formung der Richtcharakteristik einzusetzen, indem die Mikrofone beider Hörsysteme verknüpft werden. Die zusätzliche Information gestattet, einen „Strahl“ zu erzeugen, der „schärfer“ ausfällt.

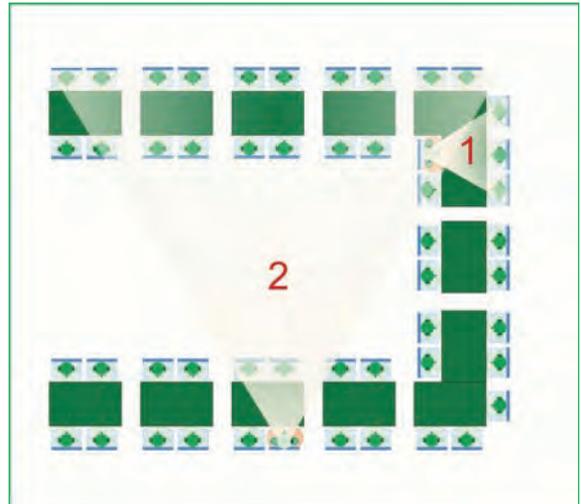


Abb. 143: Bei einer Feier werden häufig die Tische in U-Form angeordnet. Setzt sich ein Hörgeräteträger an die Position 1, so kann er sich mit den drei gegenüberstehenden Personen gut verständigen. Wählt er hingegen den Platz 2, werden die Sprachsignale von sehr vielen Personen vom Mikrofonsystem erfasst. Eine befriedigende Verständigung ist kaum zu erwarten.

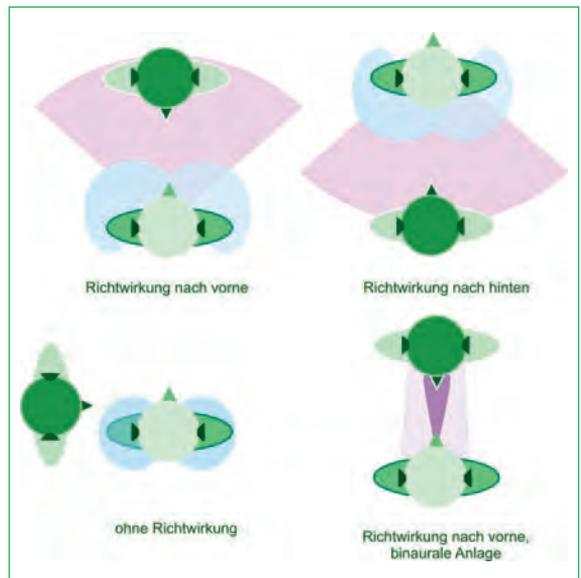


Abb. 144: Unterschiedliche Ausrichtung von Mikrofonsystemen

Es ist zu erwarten, dass zukünftig die Mikrofone beider Hörsysteme zunehmend genutzt werden, um das Störschallproblem besser zu lösen.

### **Mikrofontypen**

#### ▶ **Automatisch fix**

Automatische Umschaltung von omnidirektional auf einen Richtmikrofonmodus mit fester Richtcharakteristik.

#### ▶ **Automatisch adaptiv**

Es werden adaptiv die Richtmikrofon-Modi gewählt. Die Richtcharakteristik wird so eingestellt, dass der Störschall mit dem höchsten Pegel bestmöglich abgesenkt wird, wobei auch bewegte Schallquellen erfasst werden.

#### ▶ **Automatisch mehrkanalig adaptiv**

Mehrere bewegte Störschallquellen können erfasst, verfolgt und gedämpft werden, wenn die Lärmquellen jeweils Spektren in unterschiedlichen Frequenzbereichen haben.

### **Mikrofonmodi**

Die Direktionalität kann für jeden Mikrofontyp in verschiedenen Modi arbeiten.

#### ▶ **Surround**

Omnidirektional ist in ruhigen oder mäßig geräuschvollen Situationen mit gutem SNR, bei starkem Wind oder wenn nur Lärm vorhanden ist sinnvoll.

#### ▶ **Split-Fokus**

Erhöhtes Eigenrauschen, erhöhte Windgeräusch-Empfindlichkeit, geringere Tieftonübertragung und Leistungsverlust werden vermieden, wenn im Frequenzbereich bis 1 kHz das Signal omnidirektional erfasst wird. Für mittlere und hohe Frequenzen wird eine (adaptive) Richtmikrofontechnologie verwendet.

#### ▶ **Voll-Fokus**

Der Modus „Voll-Fokus“ steht für eine (adaptive) Direktionalität über den ganzen Frequenzbereich.

### **Sprachorientierte Richtwirkung**

Spricht ein Autofahrer mit einer hinter ihm sitzenden Person, sind die nach vorne ausgerichteten Richtcharakteristiken ungeeignet. Sprachbasierte Richtmikrofonsysteme analysieren die Hörumgebung fortlaufend nach typischen Sprachmustern und wählen die

zum Verstehen günstigste Richtwirkung:

- ▶ direktional,
- ▶ omnidirektional
- ▶ umgekehrt direktional (nach hinten gerichtet)

### 1.4.3.2 Verstärkungsabsenkung

Die Verstärkungsabsenkung wird durch die Sprach- und Situationserkennung gesteuert. Um spezifisch reagieren zu können, erfolgt diese Analyse für jeden der einzelnen Kanäle. Bei einer dominanten Sprachaktivität in einem Kanal wird die audiologisch notwendige Verstärkung beibehalten. Überwiegt jedoch ein Störgeräusch, erfolgt eine Verstärkungsreduzierung. Die Verstärkungsabsenkung wird durch die Störgeräuschreduktion deshalb nur in den Kanälen verringert, in denen Störgeräusche überwiegen, was in der Regel im Tieftonbereich der Fall ist. Da diese Vorgehensweise die Verstärkung von Sprache und Geräusch absenkt, kann sie nicht zu einer Verbesserung des Signal-Rauschabstandes (SNR) führen. Die Reduzierung der Lautstärke bei Störsignalen wird vom Benutzer als willkommene Erleichterung empfunden. Auch wenn kein verbessertes Störschall-Nuttschall-Verhältnis in einzelnen Kanälen erreicht wird, verringern sich die lästigen, tieffrequenten Störgeräusche, der subjektiv empfundene Hörkomfort wird verbessert. Die Störschallunterdrückung ist ein Feature, das viele Hörergeräte für nützlich halten.

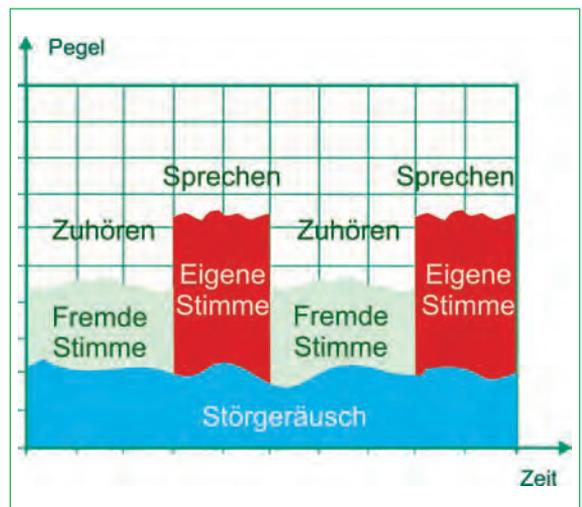


Abb. 145: Gespräch im Störlärm

#### Pump-Effekt

Wenn der Hörgeschädigte bei konstantem Störgeräusch einem Gesprächspartner zuhört, erkennt die Situationsanalyse „Sprache im Lärm“, da der SNR aufgrund der Entfernung zu den Hörergerätemikrofonen relativ groß ist. Die Hörsysteme reduzieren den Störlärm um das Sprachverstehen und den Hörkomfort zu verbessern.

Beantwortet der Hörsystemträger nun aber z.B. eine Frage, gelangt

seine eigene Stimme mit einem relativ guten SNR in das Mikrofonsystem seines Hörgeräts, da der Mund nur etwa 20 cm von diesem entfernt ist.

Das Lärm-Management erkennt den besseren SNR und reagiert mit einer Verringerung der Störgeräuschreduzierung, daher wird für den Hörsystem-Nutzer der Lärm lauter.

Bei häufigem Wechsel zwischen Sprechen und Zuhören können hörbare Pump-Effekte entstehen.

### Vermeidung des Pump-Effekts

Störgeräusche werden von der Modulationsanalyse erkannt. Für die Unterscheidung zwischen der eigenen und fremden Stimme kann man sich die physikalische Tatsache zunutze machen, dass der Schalldruckpegel bei einer Verdopplung der Entfernung um 6 dB absinkt.

Spricht der Hörsystem-Träger, ist seine Stimme nur etwa 20 cm von den Hörgerätemikrofonen entfernt und zwischen dem vorderen und hinteren Hörgerätemikrofon ergibt sich ein **Pegelunterschied** von ca. 0.5 dB. Der Eingangspegel an den vorderen Mikrofonen bei der Hörsysteme ist gleich groß, wie mit der „wireless-Technik“ festgestellt werden kann. Kommt das Schallsignal vom Gesprächspartner, ändert sich der Schallpegel zwischen dem vorderen und dem hinterem Mikrofon eines Hörsystems kaum noch. Die **fremde** Stimme kann von der **eigenen** Stimme unterschieden werden. Diese Situation kann als „**Unterhaltung im Lärm**“ klassifiziert werden.

#### → T-03

Abstandsgesetze siehe auch:

- Band II
- Kapitel T-03
- ab Punkt 3.4.3

THEORIE

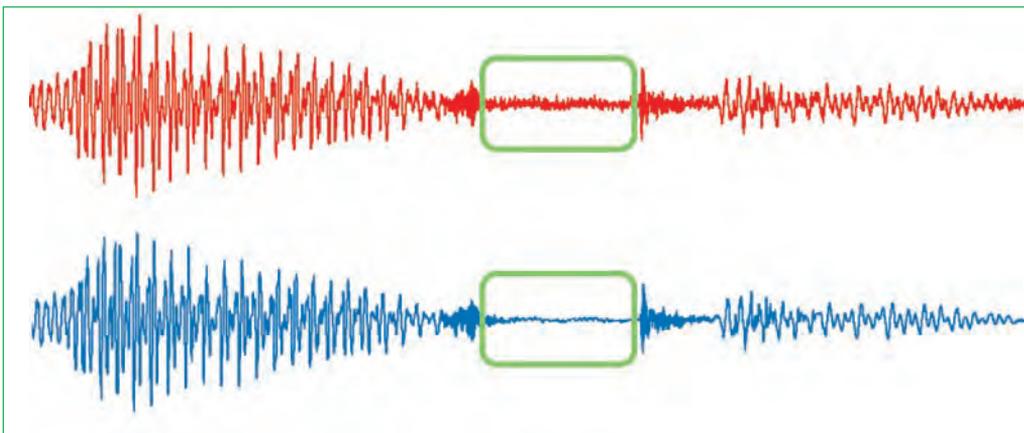


Abb. 146: Sprache im Störlärm (rot) und ohne Störlärm (blau). In den Sprachpausen (grüner Kasten) kann der Störlärm erfasst und herausgefiltert werden.

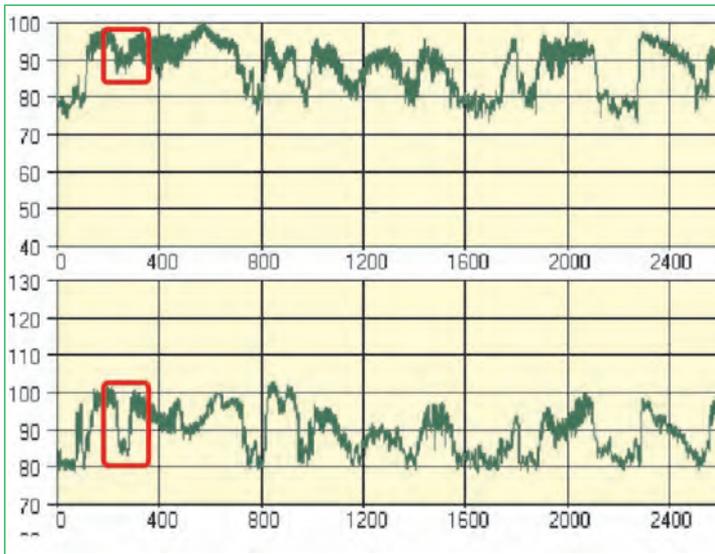


Abb. 147: Sprache im Störlärm (oben) am Eingang eines Hörsystems und unten am Ausgang des Geräts. Es hat eine Geräuschreduktion stattgefunden.

Die Kanalabsenkungen erfolgen zeitlich konstant.

### 1.4.3.3 Wiener Filter

Der Wiener Filter (Sprachanhebung) „bereinigt“ Sprache in den Sprechpausen um störende Hintergrundgeräusche durch den Einsatz eines adaptiven Filters. Er wurde den 1940er Jahren von Norbert Wiener und Andrei Nikolajewitsch Kolmogorow gleichzeitig unabhängig von einander entwickelt. Der Filter führt eine optimale **Rauschunterdrückung** durch. Bei der Sprachsignalverarbeitung liegen oft Nutz- und Störsignal im gleichen Frequenzbereich. Deshalb kann das Störsignal nicht ohne Weiteres durch Filtern beseitigt werden. Um dennoch eine Reduzierung des Störsignals zu erreichen, müssen dem Gesamtsignal



**P-03**

Wiener Filter siehe auch:

- Band II
- Kapitel P-03
- ab Punkt 3.8.2.5

PRAXIS

Gut zu wissen



### Störschallreduzierung

Hören im Störschall ist für Hörgeschädigte besonders schwer und deshalb ist das gute Verstehen in lärmbelasteten Situationen für Hörgeräteträger von höchster Priorität. Die Auswirkungen können reduziert werden durch:

- ▶ ein Mikrofonsystem
- ▶ eine Verstärkungsreduzierung in den Kanälen
- ▶ den Einsatz eines Wiener Filters

Mikrofonsysteme haben sich als besonders effektiv erwiesen, Verstärkungsabsenkungen erhöhen dagegen eher den Hörkomfort.

Wiener Filter erlauben eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit.

Die Parameter dieser features werden von der Geräusch- und Spracherkennung beeinflusst, die verschiedene Hörsituationen erfassen und klassifizieren kann.

**P-03****Impulsschallreduzierung**

siehe auch:

- Band II
- Kapitel P-03
- ab Punkt 3.8.2.6

PRAXIS

**HTP 2.0****Impulsschallreduzierung**  
siehe auch:

- Hörakustik 2.0  
Theorie und Praxis
- Kapitel 42
- ab Punkt 42.5.1

**TECHNOLOGIE DER  
HÖRSYSTEME**

Stör- und Sprachanteile zugeordnet werden. Die Trennung von Sprache und Geräusch in den Sprachpausen führte zu den Optimalfiltern, die statistische Signaleigenschaften berücksichtigen. Um der Sprechgeschwindigkeit zu folgen wird ein „schneller“ Algorithmus eingesetzt.

**1.4.4 Impulsschallreduzierung**

Kurze plötzliche Schallereignisse werden als Impulsschall bezeichnet und sind für Hörgeräteträger besonders lästig. Die Impulsschallreduzierung erfasst diese Impulse und reduziert deren Auswirkungen, der Impuls bleibt jedoch hörbar. Typische Impulsschalle entstehen beim **Geschirrkloppern** oder dem **Zuschlagen einer Tür**.

**Eigenschaften der Impulsschallreduzierung**▶ **Funktion**

Kurzzeitige laute Schallereignisse wie Geschirrkloppern werden erfasst und ihre Spitzen reduziert, das Geräusch wird weniger lästig.

▶ **Eigenschaften**• **Vorteil**

Der Klang wird angenehmer.

▶ **Einsatzbeispiel**

Bei Programmen für Tätigkeiten, bei denen es häufig zum Auftreten von Impulsschall kommen kann, z.B. in Küchen und Restaurants.

▶ **Erklärungsbeispiel für das Beratungsgespräch**

*„Durch eine Impulsschallreduzierung werden lästige Schalle wie das Klappern mit Geschirr oder Papierrascheln abgemildert und erhöhen dadurch den Tragekomfort.“*

**1.4.4.1 Umsetzung**

Die Impulsschallreduzierung reagiert auf Signale, deren Amplitude extrem schnell ansteigt und wieder abfällt. Dabei sollen diese transienten (impulshaften) Störgeräusche gedämpft werden. Wichtig ist es festzustellen, ob Sprache vorhanden ist, denn auch bei speziellen Lauten, wie z.B. den Plosivlauten, können ähnliche Signalverläufe beobachtet werden. Inner-



Abb. 148: Impulsschall



# **LESEPROBE**

## **AUSGEWÄHLTE AUSZÜGE AUS DEM INHALT - BAND 2**

### **KAPITEL 3.7.4 - NEUE HERAUS- FORDERUNG: DIGITALTECHNIK**

Gut zu  
wissen



### Alte Anpassmessungen für analoge Geräte

Die Anpassmessungen für diese Gerätegeneration gliedern sich in drei Teile:

- ▶ Einstellen des Begrenzungssystems
- ▶ Frequenzanpassung
- ▶ Dynamikanpassung

Die Messungen werden so heute äußerst selten durchgeführt, sind aber für den Anfänger zu Übungszwecken in der Messbox gut geeignet. Sie tragen zur Sicherheit im Umgang mit Messsystemen bei.

diese die Regelzeiten der AGC; nicht erfasst und somit keine Aussage über die Kompression eines Sprachsignals erlaubt.

### 3.7.4 Neue Herausforderung: Digitaltechnik

Bis heute trauern nicht ohne Grund „altgediente“ Hörakustiker den damaligen Anpassverfahren nach, weil sie einen klar strukturierten Ablauf des Anpassprozesses vorgaben.

Leider kam es mit der Einführung digitaler Hörsysteme zu einem Wandel der praxisbewährten Vorgehensweise.

#### Zitat aus einem Artikel von Harald Bonsel

Harald Bonsel schreibt dazu im Artikel „Hörgeräte-Anpassung gestern heute und morgen“ im Sonderdruck Percentilspecial Hörakustik 5/2011 erschienen im Median-Verlag:

*„Dann brach das Zeitalter der digitalen Signalverarbeitung an. Mit dieser Innovation gingen eine Reihe von Veränderungen einher bei Regelsystemen, Richtmikrofonen, Störschall-Algorithmen und Rückkopplungs-Unterdrückungen, um nur einige zu nennen. Diese neuen sensitiven Verarbeitungsstrategien machten das Arbeiten in gewohnter Weise aber unmöglich. Plötzlich funktionierte die Frequenz und Dynamikanpassung nicht mehr. Hörgeräte konnten nicht mehr mit den bekannten Signalen und Verfahren gemessen werden. Oft erschienen nur undefinierbare Zickzacklinien, die für die weitere Anpassung wertlos waren. Die Hörgeräteakustiker mussten sich irgendwie behelfen. Das bewährte Verfahren wurde durch die sogenannte interaktive Anpassung abgelöst.“*

### 3.7.5 Messbox oder Insitu - das ist heute die Frage!

Schon immer waren **Kundenbefragungen** und **Kundenwünsche** ein **wichtiger Baustein** der Hörsystemanpassung und das wird wohl auch für absehbare Zeit so bleiben. Allerdings ist es ein **äußerst gefährlicher Irrglaube**, alleine auf diese Aussagen einen Einstellprozess aufzubauen.

Das zeigt auch ein Blick auf artverwandte Berufe. Bei der Medizin kommen zur Patientenbefragung Messdaten wie Blutdruck, Körpertemperatur, Laboruntersuchungen, Röntgenbilder u.s.w. Erst durch Auswerten dieser Daten kann eine Therapie entwickelt werden.

Eine gute Hörsystemanpassung stützt sich auf die audiologischen Messungen (TA, SA, Hörfeldskalierung), die interaktive Kundenbefragung, Insitumessungen, Ergebnisse von Sprachtests mit getragenen Hörsystem und der Hörfeldskalierung mit getragenen Hörgerät.

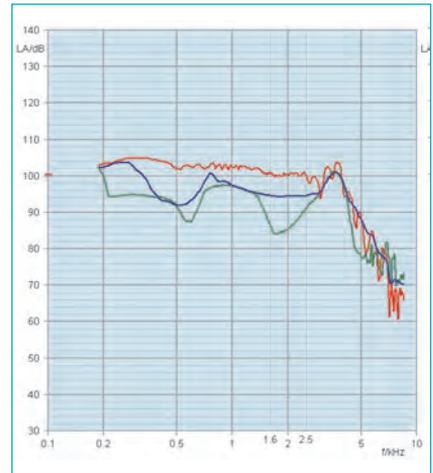


Abb. 309: Dilemma: Frühe digitale Hörsysteme lieferten unbrauchbare Messkurven

#### Offene Anpassung

Der überwiegende Teil aller Hörgeräteanpassungen erfolgt heute „offen“, wobei eine „okklusionsfreie“ Anpassung besser geeignet erscheint und angestrebt werden soll.

Bei dieser Art der Anpassung sind Kupplermessungen leider nicht mehr geeignet. Die Anpassung muss zwangsläufig Insitu erfolgen, soweit dem nicht gravierende Gründe entgegenstehen.

Insitumessungen bergen die Gefahr, dass sich Berufsneulinge unsicher fühlen und sich Kunden nicht blamieren wollen. Ihnen sei empfohlen, zunächst die Messverfahren mit einer Messbox zu üben. Zur fachgerechten Durchführung einer Insitumessung sollten einige Randbedingungen beachtet werden.

### 3.7.6 Was ist bei der Insitu-Messung zu beachten?

#### Aufbau

Die Insitumesssonde besteht aus einem **Gehäuse**, das **zwei Messmikrofone** trägt. Wie bei der Messbox wird ein Mikrofon zur Mes-

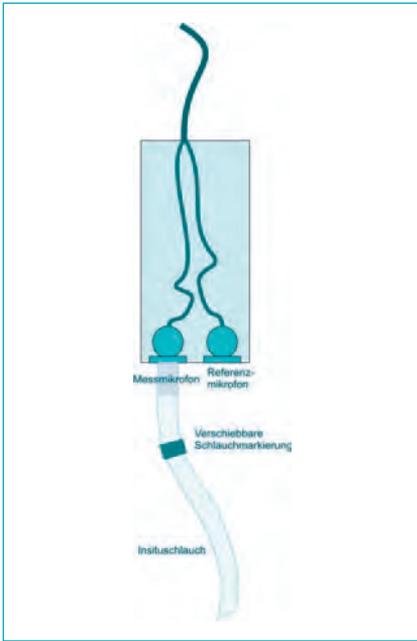


Abb. 309: Aufbau einer Insitusonde (schematisch)

sung, das andere als Referenzmikrofon eingesetzt. Da bislang das Messmikrofon nicht an den gewünschten Messort, im äußeren Gehörgang **zwischen Trommelfell und Otoplastik**, gebracht werden konnte, wird das Messmikrofon über einen dünnen Silikon-schlauch, dem **Insituschlauch** „verlängert“.

### Sondenschlauch

Der Insituschlauch ist, wie der dünne Schallschlauch, ein **Tiefpassfilter 1.Ordnung**. Der Verlust im Hochtonbereich (Grenzfrequenz 1 kHz, Dämpfung ca. 10 dB/Oktave) muss durch eine entsprechende Verstärkungsanhebung ausgeglichen werden. Dadurch wird auch das Mikrofoneigenrauschen mit verstärkt. Mit zunehmender Frequenz wird der Dynamikbereich, in dem Messungen erfolgen können, immer kleiner.

### Messmikrofone im äußeren Gehörgang

Heute sind auch schon sehr kleine Messmikrofone erhältlich. Sie könnten in viele Gehörgänge platziert werden. Es muss jedoch das Problem der hygienischen Aufbereitung noch zufriedenstellend gelöst werden. (Technischer Stand April 2012).

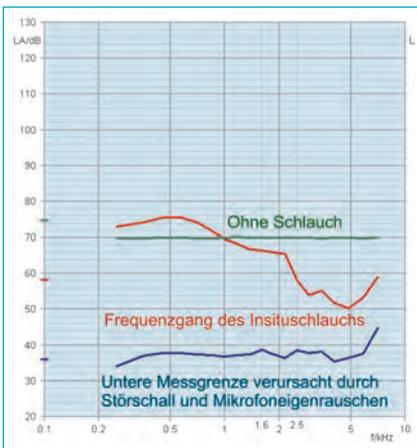


Abb. 310: Frequenzgang eines Insitu-Schlauchs gemessen mit Rauschen 75 dB. Grüne Kurve ohne rote Kurve mit Insituschlauch. Die blaue Kurve wurde ohne Schlauch und Messsignal aufgenommen und zeigt den Störschallpegel.

### Durchführung der Insitu-Messung

Wird ein Sondenschlauch an verschiedenen Stellen des äußeren Gehörgangs positioniert und anschließend Messungen durchgeführt, so unterscheiden sich die aufgenommenen Kurven nicht gravierend voneinander. (Genauere Betrachtung siehe Randnotiz) Trotzdem sollte bei der Messung die Schlauchposition möglichst an einer bestimmten Stelle verbleiben, Abweichungen sind jedoch für die tägliche Praxis eher unkritisch. Als Hilfsmittel steht die verschiebbare Sondenmarkierung ein farbiger Ring auf dem Schlauch zur Verfügung.

Die Spitze des Sondenschlauchs am besten schräg anschneiden, dadurch dringt Cerumen nicht so leicht in den Schlauch ein. Das Schlauchende wird dadurch auch etwas flexibler. Sollte der Schlauch aus Versehen

## Randnotiz

### Akustische Verhältnisse des äußeren Gehörgangs

Bei einer Insitu-Messung hat die **Platzierung der Sonde** eine besondere Bedeutung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die individuellen anatomischen Verhältnisse besonders starken Schwankungen unterworfen sind. Diese Tatsache ist jedem Akustiker durch die Unterschiede der Ohrabformungen geläufig. Der äußere Gehörgang bildet eine akustische Leitung, Schallausbreitungsverluste durch die Gehörgangswand, Talg bzw. Cerumen machen sich nur geringfügig im höheren Frequenzbereich bemerkbar, solange das Cerumen nur in gerigem Maß auftritt.

### Moden (Resonanzen)

Grundsätzlich können sich in einem akustischen Raum sowohl in Längs- als auch in Querrichtung stehende Wellen ausbilden. Die in Längsrichtung (Gehörgangssachse) auftretende Resonanz ist als open-ear-gain (OEG) allgemein bekannt und ergibt sich aus den akustischen Eigenschaften eines einseitig geschlossenen Rohrs ( $\lambda/4$  Resonator). Querverlaufende Moden sind  $\lambda/2$  Resonatoren, bei einem durchschnittlichen Durchmesser des Gehörgangs von 8 mm ( $\lambda = 0,016\text{m}$ ) ergibt sich mit  $v_c = 340\text{m/s}$  eine Resonanzfrequenz  $f$  von:  $f = v_c / \lambda = 340 / 0,016\text{s} = 21250\text{Hz}$ . Diese Frequenz liegt außerhalb des Hörbereichs, Längsmoden spielen deshalb bei den weiteren Betrachtungen keine Rolle.

### Eingangsfläche E

Die eindimensionale Schallausbreitung im äußeren Gehörgang findet erst ab einer bestimmten Position statt. Sie bedeutet außerdem, dass der äußere Gehörgang nicht zum Richtungshören beitragen kann. Die Eingangsfläche kann als Fläche vor der ersten Gehörgangskrümmung angenommen werden. Fallen auf diese Fläche Schallwellen von räumlich verteilten Quellen ein, kann eine Richtungsabhängigkeit für den Schalleinfall eine Richtungsabhängigkeit festgestellt werden.

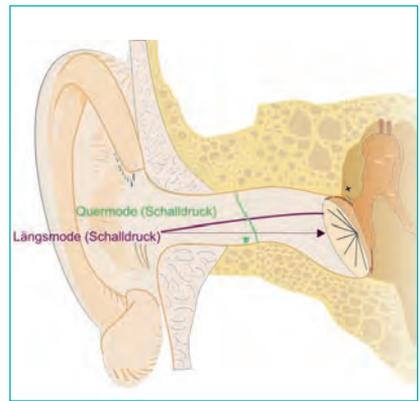


Abb. 311: Längs- und Quersmoden im äußeren Gehörgang



Abb. 312: Eingangsfläche E des Gehörgangs. Der Schall wird ab dieser Position „eindimensional“ fortgeleitet.

### Schwingungsverhalten des Trommelfells

Das Trommelfell hat ein frequenzabhängiges Schwingungsverhalten. Auch bei niedrigen Frequenzen kann sich das Trommelfell nicht wie ein Kolbenschwinger bewegen, weil es am Rand eingespannt ist. Bei höheren Frequenzen treten komplizierte Schwingungsformen auf.

Bei tiefen Frequenzen treten durch den Hammergriff geteilte Schwingungsformen auf. Die größten Auslenkungen treten jeweils in der Mitte der freien Trommelfellflächen auf.

Bei höheren Frequenzen (ab ca. 5 kHz) werden die Schwingungsmuster zunehmend komplexer. Diese komplizierten Schwingungsformen überlagern sich mit den Schwingungen des äußeren Gehörgangs.

### Deshalb sind Messungen im unmittelbaren Bereich des Trommelfells nicht empfehlenswert!

Die Bewegungen des Trommelfells sind meist äußerst klein und liegen zum Teil unter der Wellenlänge von Licht. Deshalb können diese nicht mit Mikroskopen beobachtet werden. Wird das Trommelfell z.B. an der Hörschwelle mit einem 1 kHz Ton angeregt, so ergeben sich Schwingungen, deren Amplitude kleiner als der Durchmesser eines Wasserstoffatoms sind!

Mathematische Modelle zur Simulation der Trommelfellbewegung erfolgen über die Methode der Finiten Elemente.

### Referenzebene R

Eine sinnvolle Messung mit eindimensionaler Schallausbreitung ergibt sich erst in einem **gewissen Abstand zum Trommelfell**. Diese Ebene kann als **Referenzebene** bezeichnet werden.

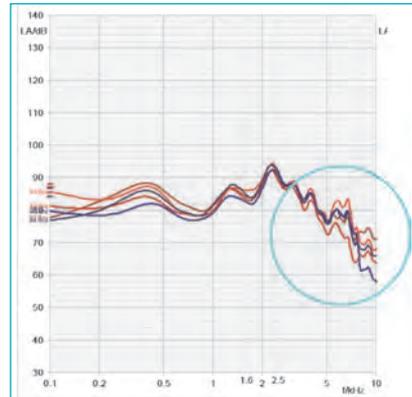


Abb. 312: In-situ-Messungen an verschiedenen Positionen unmittelbar am Trommelfell. Im Bereich oberhalb von 5 kHz wird der Streubereich zunehmend größer.

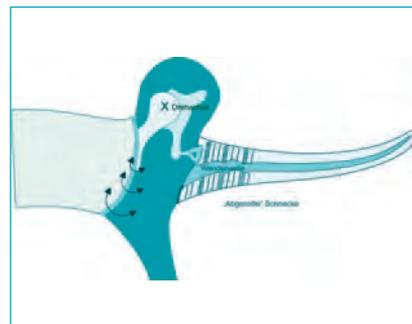
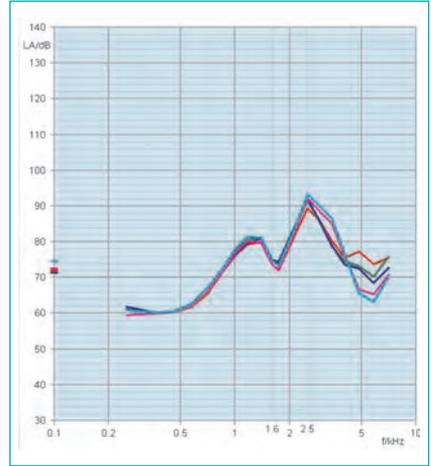


Abb. 313: Die Schwingungen am Trommelfell erfolgt bei niedrigen Frequenzen durch den Hammergriff in zwei Teile geteilte Schwingungsform. Bei höheren Frequenzen oberhalb von 5 kHz wird die Schwingungsform zunehmend komplexer. Eine In-situ-Messung sollte deshalb stets in einem Abstand vom Trommelfell erfolgen. (siehe auch Abb. 312)

am Trommelfell anstoßen, ist das Gefühl weniger unangenehm.

Messungen mit einem durch Cerumen verstopften Schlauch können nicht gelingen. Der Sondensitz wird mit einer Otoskopie überprüft. Der Sondenschlauch muss aus hygienischen Gründen bei jedem Kunden für beide Ohren gewechselt werden. Dadurch ist jeweils ein Kalibriervorgang durchzuführen. Bei Frauen sollte die Schlauchlänge ca. 2,7cm, bei Männern 3,2cm gemessen ab der Incisura intertragica betragen. Bei der Entnahme der Sondenschläuche kontrollieren, ob die beiden Markierungsringe noch vorhanden sind oder im Gehörgang verloren wurden!



### Die neue Insitusonde der ACAM 5

Für die ACAM 5 gibt es nun eine, gegenüber ihren Vorgängern wesentlich verbesserte Insitusonde.

Abb. 314: Insitu-Messungen an einem Kunstohr bei verschiedenen Sondenlagen. Die Position des Insituschlauchs verändert in diesem Fall die Kurven recht geringfügig.

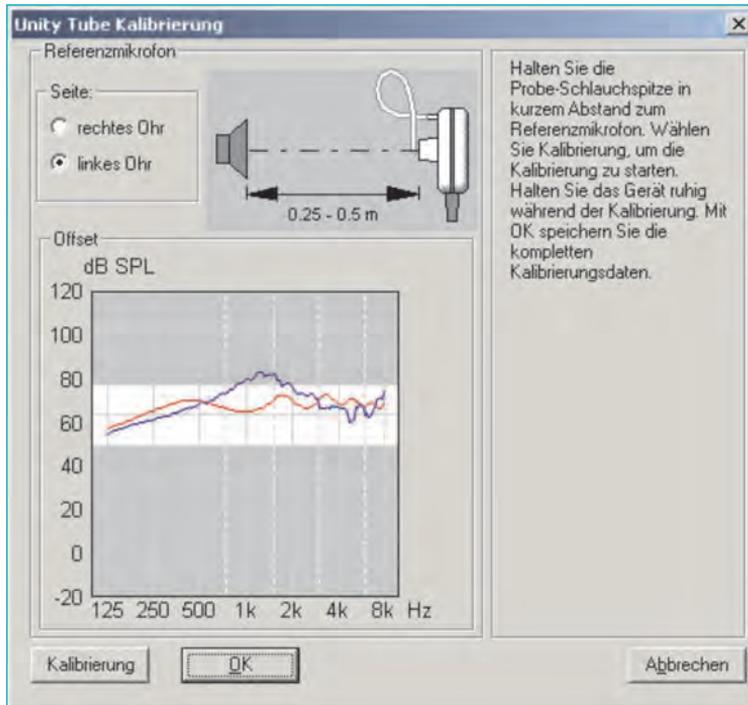


Abb. 315: Insitu-Sondenkalibrierung mit der Unity 2 und der typischen Messkurve für das rechte Ohr (rot) und fehlerhaft ohne Insitu Schlauch (blau).



Abb. 316: Neue, verbesserte Insitu-Sonde der ACAM 5



Abb. 317: Neue, verbesserte Insitu-Sonde der ACAM 5 am Kundenohr

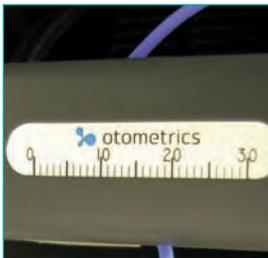


Abb. 318: Praktisch: Ein Maßstab zum Einstellen der Schlauchlänge ist an der Sonde angebracht

Durch vordefinierte Schallschlauchlängen kann der lästige Kalibrierungsvorgang entfallen. Außerdem ist die Sondenschlauchplatzierung deutlich einfacher. Auf eine Kontrollotoskopie kann verzichtet werden. Eine Sonde mit Messmikrofon im Gehörgang ist in Entwicklung.

### Platzierung des Kunden

Der Kunde muss im Anpassraum richtig gegenüber dem Lautsprecher positioniert werden. Der Kunde sollte möglichst mittig zwischen Lautsprecher und Wand sitzen. Damit keine Schallreflexionen oder stehende Wellen entstehen ist es günstig, wenn an der Wand schallabsorbierendes Material, z.B. ein Vorhang, angebracht wurde. Der Kunde sollte aus den gleichen Gründen nicht in einer Raumecke sitzen.

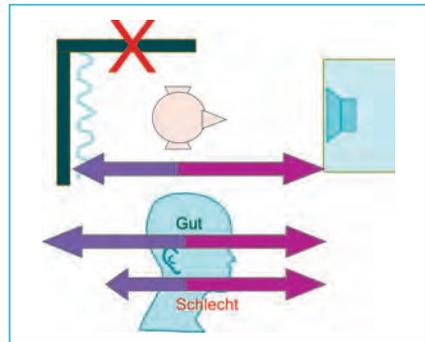


Abb. 319: Der Kunde sollte „akustisch günstig“ zur Messanlage sitzen.

### Messung der OEG

Der äußere Gehörgang ist ein einseitig geschlossenes Rohr und dadurch ein  $\lambda/4$  Resonator. Die Resonanzfrequenz beträgt ca. **4 kHz** mit einem Pegel von **ca. 20 dB**.

Zur Messung der OEG (open ear gain, real ear unaided gain) am besten Rauschsignale einsetzen, da so das Entstehen von stehende Wellen vermieden wird.



**Film Nr. 208**  
**Insitu-Messung**

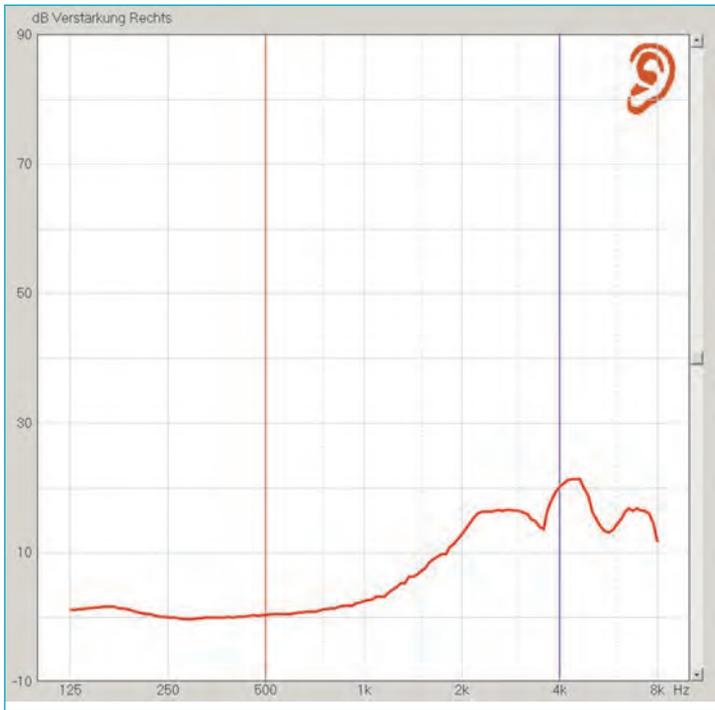


Abb. 320: OEG gemessen mit der Unity 2

Gut zu wissen



### Insitu-Messungen

Nach dem Aufkommen digitaler Geräte mussten auch dafür passende Messverfahren entwickelt werden. Bedingt durch die offene Anpassung sind auf dem Markt befindliche und für den Akustiker bezahlbare Kuppler nicht vorhanden. Deshalb muss die Anpassung Insitu erfolgen.

Dabei ist zu beachten:

- ▶ die richtige Platzierung des Kunden mittig zwischen Lautsprecher und Wand
- ▶ die Sondenplatzierung, die relativ unkritisch ist (nicht direkt am Trommelfell)
- ▶ die Schlauchkalibrierung, möglichst mit Rauschsignalen und Pegeln von ca. 70 dB
- ▶ der Störschallpegel und das Mikrofoneigenrauschen, das den Messbereich einschränkt



# **LESEPROBE**

## **AUSGEWÄHLTE AUSZÜGE AUS DEM INHALT - BAND 2**

### **KAPITEL 5.3.5.1 - PERCENTILAN- PASSUNG (NACH HARALD BONSEL)**

Gut zu wissen



### Hörfeldskalierung

Die unterschiedlichen Verfahren zur Hörfeldskalierung bieten eine Vielfalt von Untersuchungsmöglichkeiten zur Hörsystemanpassung. Die Verfahren sind entgegen einer oft geäußerten Meinung schnell umsetzbar und können auch mit getragenen Hörgerät durchgeführt werden, insbesondere wenn adaptive Parameter des Hörsystems ausgeschaltet wurden. Dann geben sie wertvolle Hinweise zur Feinanpassung. Treten im Hochtonbereich Verstärkungsdefizite auf, kann der Kunde leichter von der Notwendigkeit überzeugt werden, die Verstärkung in diesem Bereich zu erhöhen.

quenzbänder zu berücksichtigen, wird bei dieser Skalierung eine abschließende Breitbandskalierung durchgeführt.

## 5.3.5 Auf Zielhörfelder bezogene Anpassverfahren (Percentilanpassung)

Die Percentilanpassung baut auf die **Percentilanalyse** auf und wurde von Harald Bonsel zunächst hauptsächlich für **Innenohrschwerhörigkeiten** entwickelt. Als Datengrundlage dienen die **Hörschwelle**, die **Unbehaglichkeitsschwelle** und der **Pegel angenehmer Lautheit (MCL)**. Als weiteres Verfahren dieser Gruppe wurde an der Akademie für Hörgeräteakustik in Lübeck AHA-Fit entwickelt. Grundlagen dazu wurden unter anderem von Torsten Saile erarbeitet.

### 5.3.5.1 Percentilanpassung (nach Harald Bonsel)

Dieses Verfahren berücksichtigt gemessene oder ergänzte Daten der Dynamik des Hörgeschädigten. Die **Hörschwelle** wird bevorzugt dem Tonaudiogramm entnommen, da hier die **größte Genauigkeit** unterstellt wird. Die Werte für **Unbehaglichkeitsschwelle** und **MCL** der Hörfeldskalierung, sofern diese durchgeführt wurde. Fehlende Daten werden ergänzt.

Die **Knochenleitungswerte**, bzw. der **Schalleitungsanteil** sowie binaurale Aspekte der Signalverarbeitung sollen erst bei einer Weiterentwicklung berücksichtigt werden.

Das Verfahren hat eine **Lautheitsnormalisierung** als Zielsetzung,



### HTP 2.0

Percentilanpassung  
siehe auch:

- Hörakustik 2.0  
Theorie und Praxis
- Kapitel 50
- ab Punkt 50.6.1

**HÖRSYSTEM-  
ANPASSUNG**

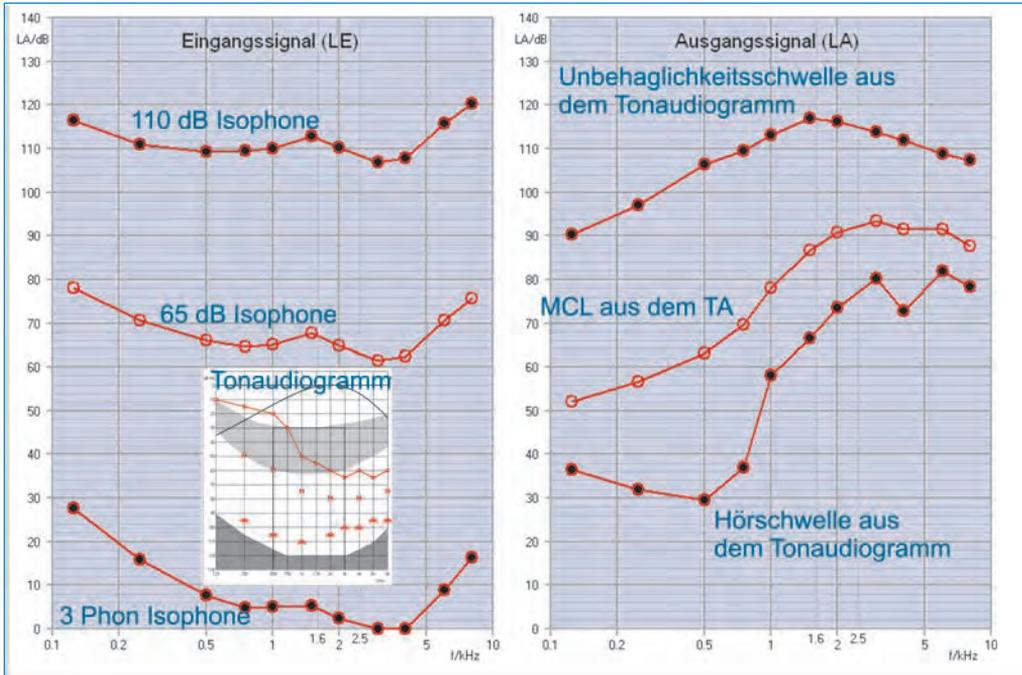


Abb. 471: Tonaudiogramm und Percentilbildschirm. Links ist der „Normalhörende“ dargestellt, rechts der Hörgeschädigte. Im vorliegenden Diagramm wurden alle Werte aus dem Tonaudiogramm abgeleitet. Man beachte, dass die Darstellung in  $\text{dB}_{\text{SPL}}$  und nicht in  $\text{dB}_{\text{HL}}$  vorliegt!

deshalb ist eine **Hörfeldskalierung** als **Fein Anpassmethode** gut geeignet. Es sind fast alle Prüfsignale zur Verfahrensdurchführung geeignet, **bevorzugt werden jedoch Sprachsignale**. Das **Langzeitspektrum** des Prüfsignals wird ausgehend von der Hörschwelle des Hörgeschädigten in seinen **Dynamikbereich** abgebildet.

### Diagramme

Links wird der **Normalhörende**, rechts die **Schwerhörigkeit** dargestellt. Die **3 Phon Isophone** steht für die **Hörschwelle**, die **65 Phon Isophone** für den **MCL** und die **120 dB Isophone** für die **Unbehaglichkeitsschwelle** des Normalhörenden.

Die Werte für die rechte Seite ergeben sich aus dem Audiogramm nach **Umrechnung auf SPL-Werte** bzw. der MCL wird aus dem Verhältnis  $1/3$  bzw.  $2/3$  nach Prof. Keller (gilt nur für Innenohrschwerhörigkeiten) ermittelt, wenn nur die Unbehaglichkeitsschwelle im Tonaudiogramm vorhanden ist.

## Langzeitspektrum

Für eine Messung kann das Spektrum gemittelt über die Messzeit in das Diagramm links eingeblendet werden. Rechts kann es relativ zur Hörschwelle und dem MCL errechnet und eingetragen werden.

## Dynamikkonforme Abbildung

Werden alternativ zur Ermittlung der Abbildung des Langzeitspek-

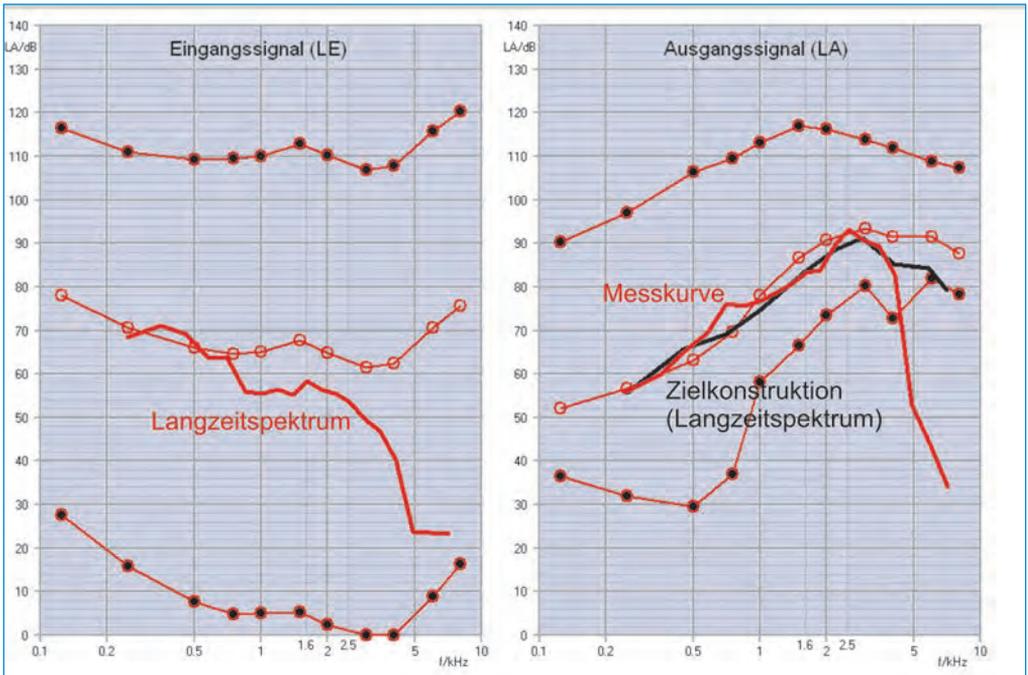


Abb. 472: Tonaudiogramm und Percentilbildschirm. Links ist der „Normalhörende“ dargestellt, rechts der Hörgeschädigte. Im vorliegenden Diagramm wurden alle Werte aus dem Tonaudiogramm abgeleitet. Man beachte, dass die Darstellung in  $\text{dB}_{\text{SPL}}$  und nicht in  $\text{dB}_{\text{HL}}$  vorliegt!

trums die Hörschwelle und die Unbehaglichkeitsschwelle benutzt, entsteht eine dynamkkonforme Abbildung.

Damit die Signaldynamik und ihre Lage zu den Schwellen des Hörgeschädigten abgeschätzt werden kann, können in das Diagramm zusätzlich die Percentile ausgegeben werden.

### 5.3.5.1.1 Praktische Vorgehensweise

Je nach den Möglichkeiten, die das Fitting-Modul bietet, können zwei Varianten eingesetzt werden:

**Variante A Parameter der AGC<sub>i</sub> sind direkt einstellbar.**

Zunächst werden alle AGC<sub>i</sub> Regelschaltungen des Hörsystems **inaktiviert**, sodass sich eine **lineare Signalverarbeitung** einstellt. Es wird dann das Hörsystem auf die **50 dB Zielkonstruktion** eingestellt.

Danach wird allein durch **Modifikation der AGC<sub>i</sub> Werte** wie **Regelschwelle** und **Kompressionsverhältnis** die Zielkonstruktion für einen Eingangspegel von **80 dB** eingestellt. Zur Überprüfung wird eine Messung mit 65 dB Eingangspegel durchgeführt. Sie sollte zur 65 dB Zielkonstruktion automatisch passen.

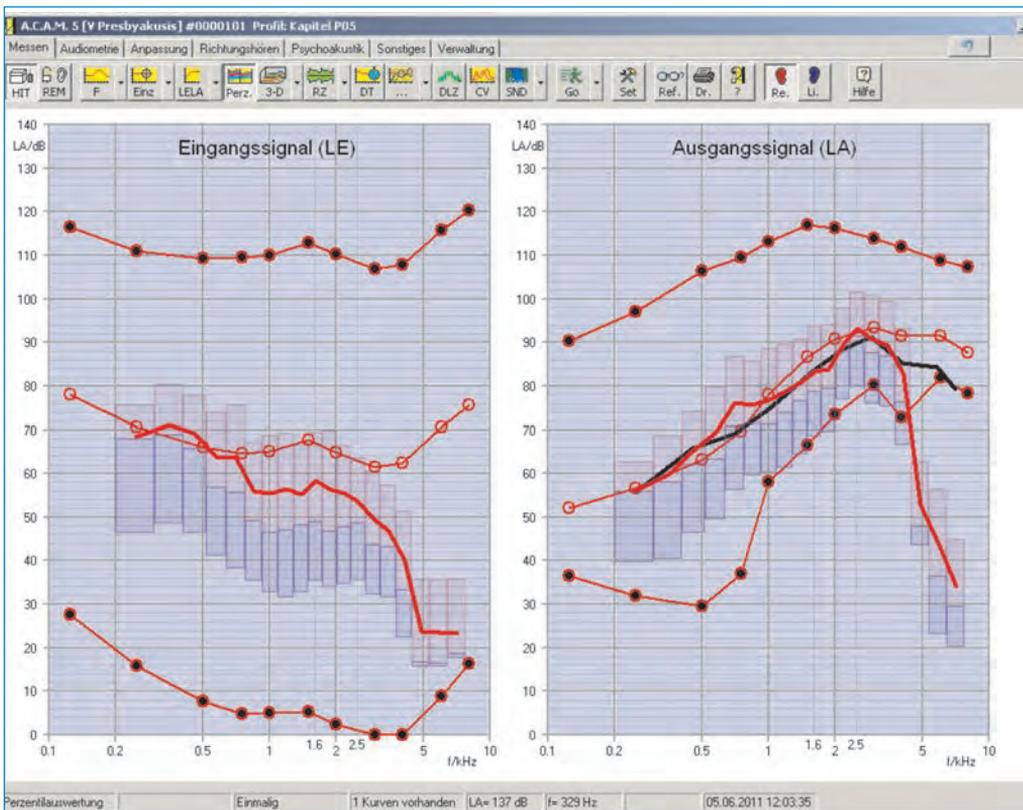


Abb. 473: 65 dB Sprachsignal zur Einstellung eines Hörsystems nach der Perzentilanpassung.

### Variante B Einstellmöglichkeiten für leise mittlere und laute Töne

Können die Verstärkungen für normale, leise und laute Töne eingestellt werden, ist es besser, zunächst die Zielkonstruktion für 65 dB einzustellen. Danach die Zielwerte für leise (50dB) und laute Töne (80 dB). Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die Einstellungen miteinander verkoppelt sind.

#### 5.3.5.1.2 Akklimatisierung

Diese Methode führt zu relativ **großen Verstärkungen**, die entsprechend **leistungsfähige Hörsysteme** vorausgesetzt. Für hörentwöhnte Personen ist die Verstärkung zunächst viel zu groß. Deshalb soll in diesem Fall die Verstärkung des Geräts für **kleine Eingangspegel** reduziert werden, die Zielkonstruktion für große Pegel (LE80) erhalten bleiben. Dies führt zu Einstellungen mit einem **geringerem** Kompressionsverhältnis.

#### 5.3.5.1.3 Vergleiche

Erstaunlich ist, dass auf vollständigen Ausgleich eingestellte Hörsysteme bei einem Eingangspegel von 65 dB fast genau der Zielkonstruktion von POGO entsprechen.

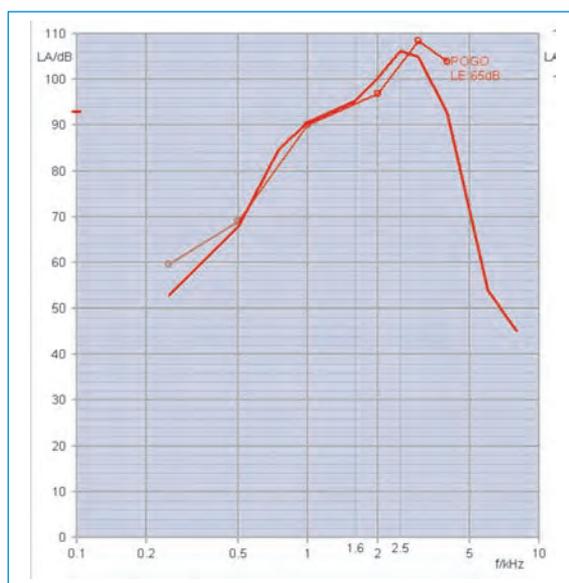


Abb. 474: Mit Percentilanpassung eingestelltes Hörsystem gemessen mit einem Chirp-Signal von 65 dB im Vergleich zur Zielkonstruktion POGO

#### 5.3.5.2 AHA-Fit

Dieses Verfahren verknüpft das **Zielhörfeld** mit den **Daten der Lautheitsskalierung**. Sprache oder sprachähnliche Signale haben eine Dynamik von ca. 30 dB. Legt man die Lautheitsfunktion der Hörfeldskalierung zugrunde, lassen sich für die verschiedenen Frequenzen jeweils bestimmte Bereiche der Lautheitskategorien zuordnen. Es wird mit dem Zielhörfeld versucht, beim Hörgeschädigten

die Verstärkung so zu gestalten, dass sich die gleiche Zuordnung der Lautheitskategorien ergibt.

Beim AHA-Fit werden die 30% Percentile entsprechend CU 15, die 50% Percentile (CU25) und die 70% Percentile (CU35) verwendet. Als Signal wird das genormte ISTS eingesetzt.

**Signal- und Ausgangsdynamik**

Bei einem Sprach- bzw. ISTS-Signal beträgt die Signaldynamik ca. 30 dB. Da bei einem Innenohrgeschädigten die Lautheitsfunktion steiler als beim Normalhörenden verläuft, ist die Ausgangsdynamik geringer.

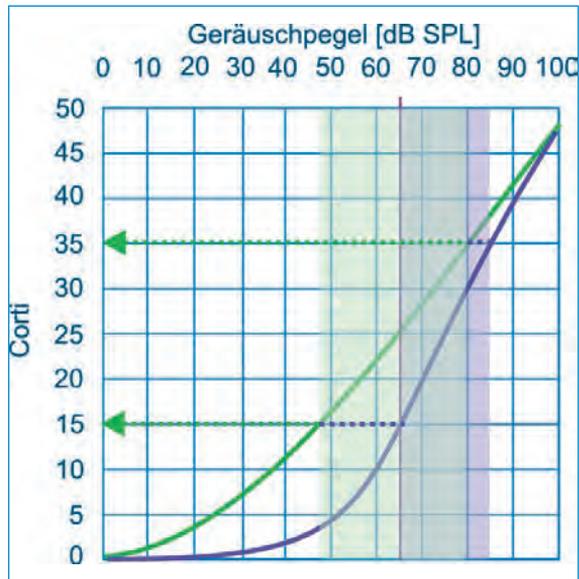
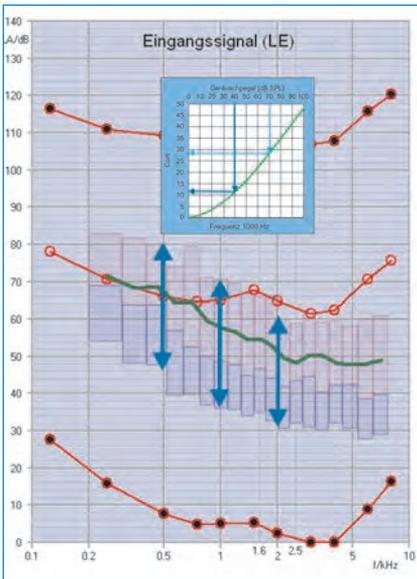


Abb. 475: Die Abbildung zeigt die Percentilen eines 65 dB ISTS-Signals für den Normalhörenden. Bei 1 kHz ergibt sich für diese Messung eine Signaldynamik bei 1 kHz zu 38 bis 71 dB also rund 30 dB. 38 dB entsprechen bei dieser Frequenz rund 12 Corti und 71 dB rund 28 Corti.

Abb. 476: Die Signaldynamik des benötigten Ausgangssignals wird geringer (violett), die Pegel jedoch höher. Dies gilt nur für eine reine Innenohrschwerhörigkeit.

**Anpassung**

Für ein ISTS-Signal mit einem Pegel von 65 dB soll die 65% Percentile auf der CU 25, die 30% Percentile auf

CU 15 und die 99% Percentile auf CU 35 gelegt werden. Die 30% Percentile kann mit der Verstärkung für leise, die 65% Percentile für die Verstärkung für mittlere und die 99% Percentile mit der Verstärkung für laute Töne gefittet werden. Zur Einstellung der MPO soll bei einem ISTS-Signal mit 80 dB die 99% Percentile die Unbehaglichkeitsschwelle nicht übersteigen.

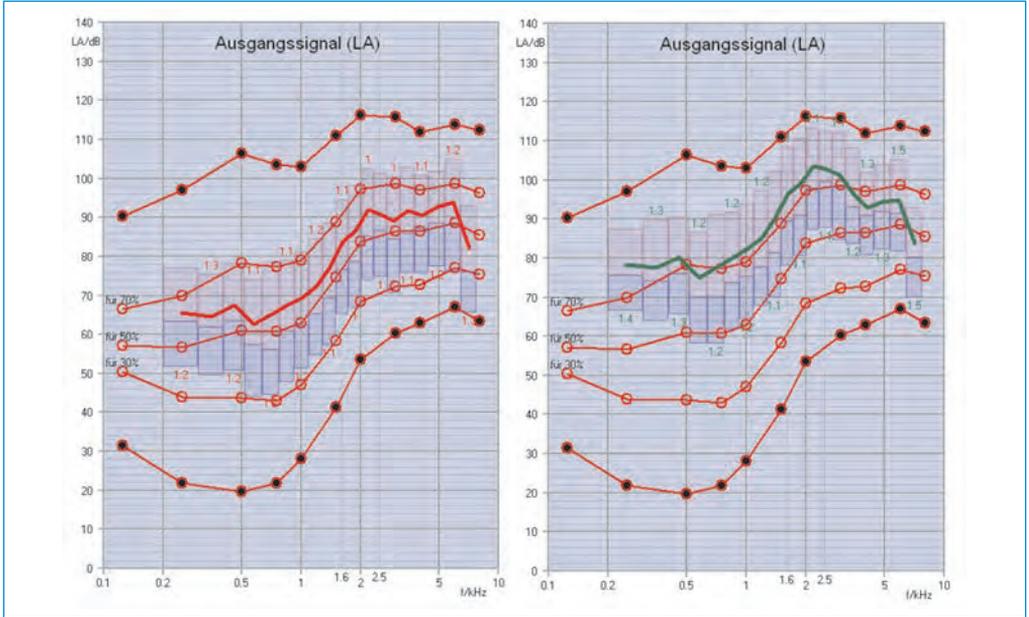


Abb. 476: Anpassung nach dem AHA-Verfahren. Mit einem 65 dB ISTS (links) liegen die einzelnen Perzentilen recht gut im Zielfeld, mit einem 80 dB Signal überschreitet die 99% Perzentile die U-Schwelle nicht.

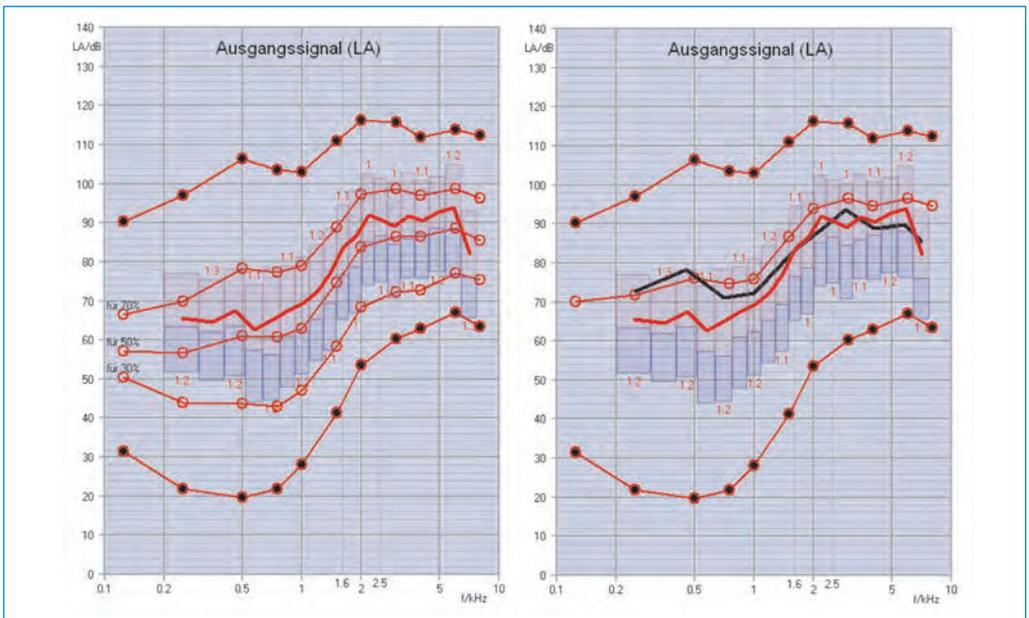


Abb. 477: Vergleich AHA-Verfahren (links) und Bonsel-Verfahren (rechts). Ein merklicher Unterschied ergibt sich nur im Tieffrequenzbereich, hier müsste die Verstärkung für das Bonsel-Verfahren angehoben werden.

Gut zu wissen



### Percentil-Anpassverfahren

Die Percentil-Verfahren berücksichtigen die gemessenen Daten der Hör- und Unbehaglichkeitsschwelle. Zwei Verfahren sind derzeit bekannt:

- ▶ Verfahren nach Harald Bonsel in zwei Varianten
  - ▶ AHA-Verfahren, das an der Akademie für Hörgeräteakustik in Lübeck entwickelt wurde
- Im Vergleich ergeben sich nur geringfügige Unterschiede zwischen beiden Methoden. Sie lassen sich (bislang) nur auf reine Innenohrschwerhörigkeiten anwenden.

## 5.4 DURCHFÜHRUNG DER VOREINSTELLUNG

Die meisten Hörsysteme werden heute über den **Computer** eingestellt, Geräte mit Trimmern sind nur noch in geringer Zahl am Markt erhältlich. Als Interface dienen die **HIPRO-Box**, **NOAHLink** und andere meist firmenspezifische oft drahtlose Schnittstellen. Jeder Hörgerätehersteller bietet eine Software zur Einstellung seiner Geräte an, die als **Fitting-Modul** bezeichnet wird.

Tabelle 12

|                                                                  |
|------------------------------------------------------------------|
| Funktionen von Fitting-Modulen:                                  |
| Hörgeräteauswahl                                                 |
| Hörgeräteerkennung, Ein- und Auslesen der Programmierung         |
| Hörgerätesimulation                                              |
| Hörgerätevoreinstellung (First Fit)                              |
| Hörgerätefeineinstellung                                         |
| Einstellungsassistent                                            |
| Soundbeispiele mit oder ohne visuelle Unterstützung              |
| Aktivierung und Einstellung von Zubehör wie z.B. Fernbedienungen |
| Dokumentationserstellung                                         |

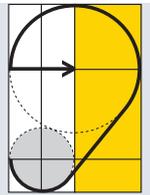


Funktionen der Fitting-Module siehe auch:

- Band I
- Kapitel T-01
- ab Punkt 1.6

THEORIE

In regelmäßigen Abständen werden die Programme durch den Hersteller aktualisiert. Sie haben einen großen Funktionsumfang, der nur selten von einer einzelnen Person in vollem Umfang bekannt ist und genutzt werden kann.



**Fax-Bestellung an:**  
**+49(0) 6162 / 93 24-49**

**Acousticon GmbH**  
 Tel.: +49 (0) 61 62 / 93 24-0  
 info@acousticon.de

Hirschbachstraße 48  
 D-64354 Reinheim  
 www.acousticon.de

## Ihre Fachbuch-Bestellung bei Acousticon

### Besteller/in:

|                                     |                                            |
|-------------------------------------|--------------------------------------------|
| Vorname: .....                      | Rechnungsanschrift:                        |
| Name: .....                         | Firma: .....                               |
| Position: .....                     | z. H.: .....                               |
| Telefon: .....                      | Straße/Nr.: .....                          |
| E-Mail: .....                       | PLZ/Ort: .....                             |
|                                     | <b>Lieferanschrift (falls abweichend):</b> |
|                                     | Firma: .....                               |
|                                     | z. H.: .....                               |
| .....                               | Straße/Nr.: .....                          |
| (Datum / Unterschrift Besteller/in) | PLZ/Ort: .....                             |

### Hiermit bestelle ich folgende/s Fachbuch/Fachbücher bei Acousticon:

- ..... Stück: **HÖRAKUSTIK – LERNEN + WISSEN, Band 1 »Theorie«**  
 (2012) von Jens Ulrich und Eckhard Hoffmann  
 770 Seiten, farbig bebildert, Hardcover, gebunden,  
 ISBN 978-3-942873-07-9  
**€ 89,00 (inkl. 7 % MwSt.) zzgl. Versandkosten**
  
- ..... Stück: **HÖRAKUSTIK – LERNEN + WISSEN, Band 2 »Praxis«**  
 (2012) von Jens Ulrich und Eckhard Hoffmann  
 948 Seiten, farbig bebildert, inkl. multimedia DVD, Hardcover,  
 gebunden, ISBN 978-3-942873-08-6  
**€ 129,00 (inkl. 7 % MwSt.) zzgl. Versandkosten**
  
- ..... Stück: **HÖRAKUSTIK – LERNEN + WISSEN, Band 3 »Aufgaben und  
 Lösungen«**  
 (2012) von Jens Ulrich und Eckhard Hoffmann  
 635 Seiten, farbig bebildert, Hardcover, gebunden  
 ISBN 978-3-942873-09-3  
**€ 89,00 (inkl. 7 % MwSt.) zzgl. Versandkosten.**