

J. Ulrich und E. Hoffmann

HÖRAKUSTIK

LERNEN + WISSEN

Band 1: Theorie



Impressum

Autoren:	Jens Ulrich & Eckhard Hoffmann
Herausgeber & Vertrieb:	DOZ Verlag Heidelberg
Layout:	Queens Land Kommunikation, Heinheimerstraße 29-31, 64289 Darmstadt Judith Maria Achenbach, Heidelberger Landstraße 244, 64297 Darmstadt
Satz:	Jens Ulrich
Titelbild:	Tanya Klein
Druck:	E&B Engelhardt und Bauer Druck- und VerlagsgmbH, Karlsruhe
Auflage:	1. Auflage, März 2012,
ISBN:	978-3-942873-07-9
Copyright:	© 2012 by Jens Ulrich & Eckhart Hoffmann Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigungen des gesamten Werkes, auch in Auszügen, bedürfen der vorherigen Zustimmung des Herausgebers.
Hinweis:	<p>Einige Bilder und Grafiken des Buches wurden mit Corel-Draw erstellt. Geschützte Warennamen und -zeichen wurden nicht besonders kenntlich gemacht. 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 ermöglichten jedoch die Realisierung dieses Fachbuches. Um die freundliche Beachtung wird daher gebeten.</p>

BAND I**Theorie: Grundlagen der Hörakustik****Prolog I – Band I**

Vorwort	XVII
Danksagung	XVIII
Die Autoren	XX

Prolog II –Band I

Zum Umgang mit diesem Buch	XXI
Symbole, Querverweise & Multimedia-DVD	XXIV

Kapitel T-01 – Einleitung (Grundlagen der Hörakustik)

1.	Einleitung	1
1.1.	Der Mensch und seine Sinnesorgane	2
1.2.	Sprache: soziales Bindeglied der menschlichen Gemeinschaft	5
1.3.	Überblick über Tätigkeitsfeld und Aufgaben des Hörakustikers	5
1.4.	Drei „Säulen“ der Hörakustik	7

Kapitel T-02 – Anatomie, Physiologie & Pathologie des Hörorgans

2.	Anatomie, Physiologie und Pathologie des Hörorgans	9
2.1	Aufbau des Organismus	10
2.1.1	Zelle	12
2.1.2	Gewebe	16
2.1.2.1	Epithelgewebe	18
2.1.2.2	Drüsen	19
2.1.2.3	Binde- und Stützgewebe	19
2.1.2.4	Muskelgewebe	24
2.1.2.5	Nervengewebe	26
2.1.3	Organe	27

2.2.	Überblick über den Aufbau des Hörorgans	28
2.3	Äußeres Ohr (Auris externa)	30
2.3.1	Ohrmuschel (Auricula)	30
2.3.2	Äußerer Gehörgang (Meatus acusticus externus)	31
2.4	Mittelohr (Auris media)	33
2.4.1	Trommelfell (Membrana tympani)	33
2.4.2	Paukenraum (Cavitas tympani)	35
2.4.3	Gehörknöchelchenkette (Ossicla auditus)	36
2.4.4	Binnenohrmuskeln	40
2.4.5	Ohrtrompete = Eustachische Röhre (Tuba auditiva)	42
2.5	Innenohr (Auris interna)	43
2.5.1	Gleichgewichtsorgan (Ducti vestibulares)	45
2.5.2	Hörschnecke (Cochlea)	46
2.5.2.1	Vorhof- und Paukentreppe	48
2.5.2.2	Häutiger Schneckengang (Ductus cochlearis)	49
2.5.2.3	Mechanische Schwingungseigenschaften von Basilarmembran und knöchernem Spiralblatt	50
2.5.3	Hörorgan (Corti-Organ, Organum spirale)	52
2.5.3.1	Innere und äußere Haarzellen des Corti-Organ	52
2.5.3.2	Wanderwellentheorie	53
2.5.3.3	Innere Haarsinneszellen und die elektrischen Vorgänge in der Cochlea.	57
2.5.4	Codierung des Schallpegels	59
2.6	Hörbahn	60
2.6.1	Verlauf der afferenten Hörbahn	63
2.6.2	Zentral-auditive Verarbeitung	70
2.6.2.1	Modelle der Zentral-auditiven Verarbeitung (ZAV)	71
2.6.2.2	Teilfunktionen der Zentral-auditiven Verarbeitung	74
2.7	Erkrankungen des Hörorgans	77
2.7.1	Erkrankungen des äußeren Ohres	78
2.7.1.1	Missbildungen des äußeren Ohres	78
2.7.1.2	Nicht entzündliche Erkrankungen des äußeren Ohres	79
2.7.1.3	Entzündungen des äußeren Ohres	81
2.7.1.4	Tumoren des äußeren Ohres	83
2.7.2	Erkrankungen des Mittelohrs	83

2.7.2.1	Anomalien des Mittelohrs	83
2.7.2.2	Verletzungen des Trommelfells und des Mittelohrs	84
2.7.2.3	Trommelfellentzündungen (Myringitis)	86
2.7.2.4	Tubenfunktionsstörung	86
2.7.2.5	Entzündungen von Trommelfell und Mittelohr	87
2.7.2.6	Otosklerose	89
2.7.2.7	Tumoren des Mittelohrs	89
2.7.3	Erkrankungen des Innenohrs	90
2.7.3.1	Verletzungen des Innenohrs	90
2.7.3.2	Entzündungen des Innenohrs	90
2.7.3.3	Meniere Krankheiten	91
2.7.3.4	Benigner paroxysmaler Lagerungsschwindel	92
2.7.3.5	Tinnitus	92
2.7.3.6	Hörsturz	95
2.7.3.7	Akustische Traumen	95
2.7.3.8	Altersschwerhörigkeit	97
2.7.3.9	Tumor des Innenohrs	98
2.7.4	Hörstörungen	99
2.7.4.1	Schallleitungsschwerhörigkeit	100
2.7.4.1.1	Dämpfungstyp	100
2.7.4.1.2	Versteifungstyp	100
2.7.4.1.3	Summationstyp	102
2.7.4.2	Schallempfindungsschwerhörigkeit	103
2.7.4.2.1	Endocochleäre Schwerhörigkeit	103
2.7.4.2.2	Retrocochleäre Schwerhörigkeit	105
2.7.4.3	Kombinierte Schwerhörigkeit	105
2.7.4.4	Tote Zone (Dead Regions)	107
2.7.4.5	Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen	108
2.7.4.6	Hörstörungen im Kindesalter	109
2.7.4.6.1	Schallleitungsschwerhörigkeit	109
2.7.4.6.2	Schallempfindungsschwerhörigkeit	109
2.7.4.6.3	Zentral-auditive Verarbeitungsstörungen im Kindesalter	110
2.7.4.6.4	Psychogene Hörstörungen	113
2.8	Nervenzellen und Nervensysteme	114
2.8.1	Aufbau und Funktion der Nervenzelle	115
2.8.1.1	Physiologie der Signalübertragung	119
2.8.1.2	Saltatorische Erregungsleitung	124
2.8.2	Gliederung des Nervensystems	124
2.8.2.1	Zentrales und peripheres Nervensystem	124

2.8.2.2	Senso-motorisches Nervensystem	124
2.8.2.3	Autonomes (vegetatives) Nervensystem	125
2.8.2.4	Gedächtnisformen	126
2.8.2.5	Hirnnerven	127
2.8.3	Das menschliche Gehirn	128
2.8.3.1	Lateralisierung des Gehirns	132
2.8.3.2	Bildgebende Untersuchungsmethoden des Gehirns	133
2.8.3.3	Ereignis-korrelierte Potentiale (EKP)	133
2.8.3.4	„Einhundert Schritte“	134
2.8.4	Lernen und Vergessen	136
2.8.4.1	Lernen durch Verknüpfen mit Ereignissen	139
2.8.4.2	Einfluss von Wiederholungen auf den Lernvorgang	137
2.8.4.3	Lehrbuch unter dem Kopfkissen?	140
2.8.4.4	Gedächtnis im Alter	140
2.8.4.5	Konsequenzen für die Hörsystemanpassung	141
2.8.5	Hörvorgang	143
2.8.5.1	Eine einfache Mustererkennung	144
2.8.5.2	Gestalttheorie	147
2.8.6	Sprachverstehen	148
2.8.6.1	Sprache und Spracherwerb	148
2.8.6.2	Neuronale Netze als Basis des Sprachverstehens	150
2.8.6.3	Hören und Verstehen	152
2.8.7	Musik	154

Kapitel T-03 – Akustik

3.	Akustik	155
3.1	Grundbegriffe der Physik	156
3.1.1	Physikalische Größen	156
3.1.2	Modellvorstellungen in der Physik	158
3.1.3	Grundgrößen der Mechanik (Körper, Masse, Kraft)	159
3.1.4	Bewegungslehre (Kinematik)	164
3.2	Mechanische Schwingungen (Oszillator)	167
3.2.1	Freie Schwingungen	169
3.2.2	Harmonische Schwingungen	169
3.2.3	Erzwungene Schwingungen	170
3.2.4	Gekoppelte Schwingungen	171

3.3	Wellen	171
3.3.1	Wellenarten	173
3.3.2	Grundlegende Eigenschaften der Wellen	174
3.3.3	Harmonische Analyse (Fouriertransformation)	179
3.3.4	Modulation einer Welle	182
3.3.4.1	Amplitudenmodulation	183
3.3.4.2	Frequenzmodulation	183
3.4	Schall (Akustik)	184
3.4.1	Schallarten	186
3.4.1.1	Luftschall	186
3.4.1.2	Flüssigkeitsschall	187
3.4.1.3	Körperschall	188
3.4.2	Signale der Akustik	190
3.4.3	Das Schallfeld und seine Größen	192
3.4.4	Akustische Systeme	210
3.5	Reflexion, Brechung, Dämpfung	213
3.5.1	Echo und Hall	214
3.5.2	Beugungserscheinungen	215
3.5.3	Schalldämmung	216
3.5.4	Schalldämpfung	218
3.6	Schallquellen	223
3.6.1	Schwingende Luftsäulen	224
3.6.2	Schwingende Saiten	226
3.6.3	Platten und Membrane	226
3.6.4	Elektrische Schallquellen	227
3.6.5	Biologische Schallquellen, die Sprache	227
3.6.6	Bewegte Schallquellen, Doppler Effekt	229
3.7	Überlagerung von Schallwellen	231

Kapitel T-04 – Psychoakustik

4.	Psychoakustik	233
4.1	Grundlagen und Grundgesetze der Psychoakustik	236
4.2	Hörschwelle und Lautstärkepegel	239

4.3	Lautheit	243
4.4	Verdeckung (Maskierung)	245
4.5	Tonhöhe (Tonheit)	249
4.5.1	Verhältnistonhöhe	250
4.5.2	Barkskala (Tonheit)	251
4.6	Richtungshören	254
4.7	Cocktailparty-Effekt	262
4.8	Gesetz der ersten Wellenfront	262
4.9	Akustische Täuschungen	263

Kapitel T-05 – Audiometrie

5.	Audiometrie	265
5.1	Otoskopie	269
5.2	Stimmgabelversuche	271
5.2.1	Weber Versuch	272
5.2.2	Rinne Versuch	273
5.3	Sprachabstandstests (Hörweitenmessung)	274
5.4	Subjektive Audiometrieverfahren	276
5.4.1	Tonaudiometrie (TA)	278
5.4.1.1	Bestimmung der (Ruhe) Hörschwelle	286
5.4.1.2	Bestimmung der Unbehaglichkeitsschwelle (US)	289
5.4.1.3	Pegel angenehmer Lautheit (MCL)	290
5.4.1.4	TEN -Test	291
5.4.1.5	Beschreibungsschema der Tonaudiometrie	294
5.4.2	Sprachaudiometrie (SA)	296
5.4.2.1	Freiburger Sprachtest	299
5.4.2.1.1	Hörverlust für Zahlen	300
5.4.2.1.2	Unbehaglichkeitsschwelle für Sprache (USL)	301
5.4.2.1.3	Einsilberverstehen	304

5.4.2.2	Satztests	307
5.4.3	Zusammenhang zwischen Ton- und Sprachaudiometrie	310
5.4.4	Vertäuben in Ton- und Sprachaudiometrie	315
5.4.4.1	Überhören	315
5.4.4.2	Überhören und Vertäuben in der Tonaudiometrie	317
5.4.4.3	Überhören und Vertäuben in der Sprachaudiometrie	326
5.4.5	Rekrutmenttests	327
5.4.5.1	Fowler-Test	330
5.4.5.2	Der SISI-Test	333
5.4.5.3	Lüscher-Test	335
5.4.5.4	Geräuschaudiometrie nach Langenbeck	336
5.4.5.5	Carhart Schwellenschwundtest	339
5.4.6	Hörfeldskalierung	340
5.4.7	Tests zur Aufdeckung nichtorganischer Hörstörungen	342
5.4.8	Bekesy-Audiometrie	345
5.5	Objektive Audiometrie	348
5.5.1	Messungen zur Untersuchung des Mittelohrs	348
5.5.1.1	Tympanometrie	348
5.5.1.2	Stapediusreflexmessung	355
5.5.2	Messungen zur Untersuchung des Innenohrs	359
5.5.2.1	Otoakustische Emissionen (OAE)	359
5.5.2.2	Elektrocochleographie (ECoG)	363
5.5.3	Untersuchungen der Nervenbahnen	366
5.5.3.1	Elektrische Reaktionsaudiometrie (ERA)	366
5.5.3.1.1	Hirnstammaudiometrie (BERA)	371
5.5.3.1.2	CERA	376
5.6	Zusammenfassung von Befunden der Audiometrie	376
5.7	Kinderaudiometrie	383
5.7.1	Aussonderungsuntersuchungen (Screening)	384
5.7.2	Reflexaudiometrie	385
5.7.3	Verhaltens- oder Beobachtungsaudiometrie	387

Kapitel T-06 – Elektrotechnik

6.	Elektrotechnik	391
6.1	Grundbegriffe	393

6.1.1	Eigenschaften elektrische Ladungen	393
6.1.2	Spannung, Strom, Leistung	396
6.1.3	Spannungs- und Stromarten	400
6.1.4	Strom- und Spannungsquellen	403
6.1.5	Messung elektrischer Größen	410
6.1.6	Leiterwerkstoffe	411
6.1.7	Halbleiter	412
6.1.8	Nichtleiter (Isolatoren)	413
6.2	Ohmsches Gesetz, Kirchhoffsche Regeln, der Stromkreis	414
6.2.1	Ohmsches Gesetz	415
6.2.2	Kirchhoffsche Regeln	416
6.2.3	Aufbau eines Stromkreises	423
6.3	Passive Bauelemente R,L,C	423
6.3.1	Ohmscher Widerstand, Parallel- und Reihenschaltung	423
6.3.1.1	Reihenschaltung von Widerständen	426
6.3.1.2	Parallelschaltung von Widerständen	427
6.3.2	Spannungsteiler	428
6.3.3	Verstärkung und Dämpfung	432
6.3.4	Spule (Induktivität)	435
6.3.5	Kondensator (Kapazität)	442
6.3.6	Schaltungen mit passiven Bauelementen	446
6.3.6.1	Passive Filterschaltung 1. Ordnung	447
6.3.6.2	Schwingkreise	451
6.4	Aktive Bauelemente (Halbleiter)	451
6.4.1	Halbleiterphysik (P und N Material)	452
6.4.2	PN-Übergang, die Halbleiterdiode	454
6.4.3	Bipolare Transistoren	457
6.4.4	Feldeffekttransistoren	459
6.5	Transistor-Grundsaltungen für bipolare Transistoren	459
6.5.1	Emittergrundsaltung	460
6.5.2	Kollektorgrundsaltung	461
6.5.3	Basisgrundsaltungen	462
6.5.4	Integrierte Schaltungen	463
6.6	Grundlagen der Digitaltechnik	464

Kapitel T-07 – Chemie und Werkstoffkunde

7.	Chemie und Werkstoffkunde	473
7.1	Atommodelle, Periodensystem der Elemente	476
7.2	Chemische Bindungen	481
7.2.1	Primäre Bindungen = starke Bindungen	483
7.2.1.1	Atombindungen (kovalente Bindungen)	484
7.2.1.2	Metallbindungen	485
7.2.1.3	Ionenbindungen	486
7.2.2	Sekundäre Bindungen = schwache Bindungen	488
7.2.2.1	Wasserstoffbrückenbindung	488
7.2.2.2	Dipol-Dipol-Bindung	489
7.2.2.3	Van-der-Waals-Bindung	490
7.2.3	Wertigkeit, Valenzelektronen, Oxidationszahl	490
7.2.4	Relative Atom- bzw. Molekülmasse	491
7.2.5	Thermodynamik chemischer Reaktionen	493
7.3	Oxidation und Reduktion (Redoxreaktionen)	495
7.3.1	Säuren, Basen und der pH-Wert	497
7.3.2	Elektrolyse	499
7.3.3	Galvanische Elemente	500
7.4	Organische Chemie, Kohlenstoff	502
7.4.1	Kunststoffe	506
7.4.2	Grundzüge der Polymerchemie.	509
7.4.2.1	Polykondensation	511
7.4.2.2	Polyaddition	511
7.5	Werkstoffe, Hilfsstoffe und Werkzeuge	513
7.6	Werk- und Hilfsstoffe sowie Werkzeuge für die Hörakustik	514
7.6.1	Werkstoffe für die Ohrabformtechnik	520
7.6.1.1	Kondensationsvernetzendes Silikon	522
7.6.1.2	Additionsvernetzendes Silikon	522
7.6.2	Werkstoffe für die Negativherstellung	524
7.6.3	Kunststoffe für die Rohlings-Herstellung	526
7.6.4	Klebstoffe	530

Kapitel T-08 – Grundlagen der Psychologie

8.	Psychologie	531
8.1	Umgang mit dem Kunden	533
8.1.1	Stellenwert des Hörens für den Menschen	533
8.1.2	Der erste Eindruck	535
8.1.3	Regeln im Gespräch mit hörgeschädigten Kunden	537
8.1.3.1	Sprache und Körpersprache	541
8.1.3.2	Fragetechniken	545
8.1.3.2.1	Offene Fragen	546
8.1.3.2.2	Geschlossene Fragen	547
8.1.3.2.3	Vierohrmodell nach Friedemann Schulz von Thun	549
8.1.4	Distanzzonen	551
8.2	Auswirkungen einer Schwerhörigkeit im fortgeschrittenen Lebensalter	553
8.2.1	Alterspyramide	554
8.2.2	Der sogenannte Altersstarrsinn	554
8.2.3	Gesundheitliche Entwicklungen und Veränderungen im Alter ...	558
8.2.3.1	Lernfähigkeit im Alter	563
8.2.3.1.1	Defizitmodell der geistigen Entwicklung	565
8.2.3.1.2	Aktivitäts- und Disengagementtheorie	568
8.2.3.2	Spezifische Problemfelder älterer Hörgeschädigter	570
8.2.4	Plötzlich eintretende Schwerhörigkeit oder Taubheit	572
8.3	Schwerhörigkeit in der Jugend	573
8.3.1	Vermutungen, Ängste, Diagnose - was ist wenn...?	574
8.3.2	Pädaudiologische Beratungsstellen	575
8.3.3	Schulzeit	576
8.3.3.1	Manualsysteme und Gebärden	577
8.4	Rehabilitation, Rechte, Verbände, Selbsthilfegruppen	580
8.5	Psychologische Situation des Hörakustikers	581

Kapitel T-09 – Fachkalkulation

9.	Fachkalkulation	583
9.1	Kostenrechnung	585

9.1.1	Gliederung der KLR	587
9.1.2	Einzel- und Gemeinkosten	587
9.1.3	Kostenarten, Kostenstellen	588
9.1.4	Fixe und variable Kosten	589
9.1.5	Betriebsvergleich und BWA	589
9.2	Kalkulation	591
9.2.1	Kosten aus GuV ermitteln	593
9.2.2	Kalkulatorische Kosten	595
9.2.3	Verrechnung von Gemeinkosten	595
9.2.3.1	Zuschlagskalkulation	596
9.2.3.2	Einfaches Schema einer Zuschlagskalkulation	596
9.2.4	Kalkulationsansätze im Handwerk	600
9.2.4.1	Allgemeines Schema der Zuschlagskalkulation	601
9.2.4.2	Kalkulationsbeispiele	604
9.2.4.3	Deckungsbeitragskalkulation	605
9.2.5	Produktions- und Kalkulationsverfahren	608
9.3	Gewinnschwellenanalyse (break-even-point)	609

Kapitel T-10 – Qualitätsmanagement

10.	Qualitätsmanagement	611
10.1	Was ist ein Qualitätsmanagementsystem (QMS)?	617
10.1.1	Kano-Modell der Kundenzufriedenheit	617
10.1.2	Wichtige Begriffe des Qualitätsmanagements	619
10.1.3	PDCA-Zyklus	620
10.2	Dokumente eines Qualitätsmanagements	622
10.2.1	Qualitätsmanagement Handbuch	624
10.2.2	Verfahrensanweisungen	626
10.2.3	Checklisten	629
10.2.4	Interne Dokumente	629
10.2.5	Externe Dokumente	631
10.2.6	Audit und Managementreview	632
10.3	Einige Vorschriften des Gesundheitswesens	634
10.3.1	Medizinproduktegesetz (MPG)	634
10.3.1.1	Klassifizierung der Medizinprodukte nach 93/42 EWG	636
10.3.1.2	Produktkategorie der Hörakustik	638

10.3.1.3	CE Kennzeichnung	639
10.3.1.4	Grundlegende Anforderungen	641
10.3.1.5	Sicherheitsbeauftragte für Medizinprodukte	642
10.3.1.6	Risikomanagement	642
10.3.2	Medizinprodukte-Betreiberverordnung MPBetreibV	643
10.3.2.1	Anwendungsbereich und allgemeine Anforderungen	643
10.3.3	Unfallverhütungsvorschriften	644
10.4	DIN EN ISO 9001	644
10.4.1	Phase 1: Planen	646
10.4.2	Phase 2: Durchführung	647
10.4.3	Phase 3: Überprüfen	650
10.4.4	Phase 4: Handeln	652
10.5	DIN EN ISO 13495	653
10.5.1	Zusätzliche Dokumentationsanforderungen	654
10.5.2	Verantwortung der obersten Leitung	654
10.5.3	Zusätzliche Forderungen zum Management von Ressourcen	654
10.5.4	Design, Entwicklung und Beschaffung von Produkten	655
10.5.5	Installation und Instandhaltung	655
10.5.6	Rückverfolgbarkeit	655
10.6	Praktische Einführung eines QMS	656

Kapitel T-11 – Signalverarbeitung

11.	Signalverarbeitung	657
11.1	Benötigt der Hörakustiker Kenntnisse über Signalverarbeitung?	658
11.2	Signale	660
11.2.1	Grundbaustein: Sinus, dargestellt im Frequenz- und Zeitbereich	661
11.2.2	Periodische Signale	664
11.2.3	Diracstoß, Delta-Distribution (Diracimpuls)	665
11.2.4	Fourier-Transformation	667
11.2.5	Nicht periodische Signale	667
11.2.6	Fensterfunktionen (Windowing)	675
11.2.6	Fast periodische Signale	677
11.3	Symmetrieprinzip	680

11.4	Systemanalyse	681
11.5	Systeme	682
11.5.1	Linearität	683
11.5.2	Zeitvarianz	684

Kapitel T-12 – Gut zu wissen: Theorie

12.	Gut zu wissen: Theorie	685
12.1	Einleitung	686
12.2	Anatomie Physiologie und Pathologie des Hörorgans	686
12.2.1	Aufbau des Organismus.	687
12.2.2	Überblick über den Aufbau des Hörorgans	687
12.2.3	Äußeres Ohr (Auris externa)	688
12.2.4	Mittelohr (Auris media)	688
12.2.5	Innenohr (Auris interna)	689
12.2.6	Hörbahn	692
12.2.7	Erkrankungen (Pathologie)	694
12.2.8	Nervenzellen und Nervensysteme	698
12.3	Akustik	701
12.3.1	Grundbegriffe	701
12.3.2	Mechanische Schwingungen	702
12.3.3	Wellen	702
12.3.4	Schall (Akustik)	704
12.3.5	Reflexion, Dämmung, Dämpfung	706
12.3.6	Schallquellen	706
12.4	Psychoakustik	708
12.5	Audiometrie	710
12.5.1	Otoskopie	711
12.5.2	Stimmgabelversuche	712
12.5.3	Sprachabstandstests	712
12.5.4	Subjektive Audiometrieverfahren	712
12.5.5	Objektive Audiometrie	720
12.6	Elektrotechnik	722

12.6.1	Grundlagen der Elektrotechnik	722
12.6.2	Ohmsches Gesetz, Kirchhoffsche Regeln, der Stromkreis	724
12.6.3	Passive Bauteile R,L,C	725
12.6.4	Aktive Bauelemente (Halbleiter)	728
12.6.5	Transistor-Grundsaltungen	728
12.6.6	Grundlagen der Digitaltechnik	729
12.7	Chemie und Werkstoffkunde	730
12.7.1	Atommodelle, Periodensystem	730
12.7.2	Chemische Bindungen	731
12.7.3	Redoxreaktionen	732
12.7.4	Organische Chemie	733
12.7.5	Werkstoffe, Hilfsstoffe, Werkzeuge	734
12.7.6	Werkstoffe für die Hörakustik	735
12.8	Psychologie	737
12.9	Fachkalkulation	741
12.10	Qualitätsmanagement	743
12.11	Signalverarbeitung	748

Anhang - Band 1

Stichwortverzeichnis	751
--------------------------------	-----

VORWORT

Dieses Buch wurde speziell als **Lehrbuch** für den Hörakustiker entworfen und verwirklicht und verdankt seine Entstehung und Ausgestaltung zahlreichen Anregungen von Ausbildern, Schülern und Studenten.

Der Stoff beinhaltet die theoretischen Grundlagen und die praktischen Kenntnisse von der Ausbildung über die tägliche Praxis bis hin zur Vorbereitung auf die Meisterprüfung in drei Abschnitten, wobei die Hervorhebung und Zusammenfassung wichtiger Fakten und Daten besonders berücksichtigt wurde.

Der Hörakustiker benötigt für seinen Beruf unterschiedlichste Informationen aus zahlreichen Fachgebieten. So sind außer dem spezifischen Wissen auf dem Gebiet der Hörgerätekunde und -anpassung auch umfangreiche Kenntnisse auf den Gebieten Medizin, Physik, Chemie sowie Psychologie und Wirtschaftskunde erforderlich. Die entsprechenden Informationen wurden im Theorieabschnitt des Buches zusammengefasst.

Neben der reinen Theorie sind praktische Kenntnisse und Fertigkeiten für die Berufsausübung unerlässlich. Deshalb wurden diese neben einer ausführlichen Beschreibung in Wort und Bild teilweise in über 100 Filmen und Tonbeispielen erfasst und dem Buch beigelegt. Die Berufspraxis bildet den zweiten Abschnitt des Buches.

Schließlich wurden Übungsaufgaben mit Lösungsvorschlägen für alle Theorie- und Praxis-Kapitel in der exakt gleichen Kapitelreihenfolge erstellt und im Abschnitt drei angeführt.

Als begleitendes Lehrbuch und Ratgeber in einem, soll es dem Hörakustiker ein leichtes, praxisorientiertes Lernen und Arbeiten ermöglichen. Ich wünsche allen meinen Lesern viel Freude und Erfolg beim Arbeiten mit diesem Buch.

Jens Ulrich und Eckhard Hoffmann

DANKSAGUNG

Für ihre Hilfe und tatkräftige Unterstützung bei der Erstellung der drei Bände Hörakustik lernen + wissen möchten wir uns bei folgenden Firmen recht herzlich bedanken:

Firma Acousticon, Firma Amparex, Firma Bernafon, Firma Bachmaier, Firma Bruckhoff und Partner, Firma Cyfex, Firma Dreve, Firma DST Swiss AG, Firma Egger, Firma GN-Otometrics, Firma Hansaton, Firma Klangspektrum, Firma Maico, Firma Med-El, Firma Oticon, Firma Phonak, Firma Siemens Audiologische Technik, Firma Unitron und Firma Varta.

unser Dank gilt allen, die mir Informationen und Abbildungen zur Verfügung stellten und bei der Erstellung von Video-Clips mithalfen, so Werner Luczynski und Matthias Werner (Hanau), Herr Geist (Fa. Bernafon), Frau Resch (Fa. Bachmaier), Gabriele Ortmeier, Marc Schmidt und Stefan Birk (Fa. Egger), Bianca Hollstein (Fa. Dreve), Janet Giannone (Fa. Med-El), Ralf Coym, Herr Stab, Uwe Kraaz, Theresa Bonsel (Fa. Acousticon), Detlef Hertelt (Fa. Amparex), Daniela Feit, Marco Faltus, Kai Hesefort, Martin Lützel (Fa. Phonak), Andreas Kaltenbach (Fa. Unitron), Bianca Vich (Fa. Siemens), Dieter Barthel (Fa. Maico), Herr Elsässer (Fa. Hansaton), Engin Aksel (GN Otometrics), Judith Heberl und Rene Clemens und Eckart Hillenkamp.

Einen herzlichen Dank für die sorgfältige Endkorrektur an Beate Schön.

Unseren ganz besonderen Dank gilt Harald Bonsel und Herrn Matthias Parr, die unermüdlich Fragen beantwortet haben und uns beim Thema Messtechnik mit Messungen und Unterlagen unterstützt haben. Außerdem an Mike Gerl, der viele wertvolle Hinweise und Informationen zum Thema Otoplastik beigesteuert hat. Schließlich an Hans-Rainer Kurz und Martin Immenkämper für die große Unterstützung in Wort und Bild.

Herr Joschka Graetz steuerte viele Übungsaufgaben und Lösungen bei. Vielen Dank für diese große Hilfe.

Das Buchlayout wurde, wie schon bei früheren Projekten, in bewährter Qualität von Frau Birgit Aschenbrenner erstellt. Dafür möchte ich mich bei Ihr recht herzlich bedanken.

Beim DOZ-Verlag und der Druckerei E & B Engelhard und Bauer Druckerei möchten wir uns für die Realisierung des Buches herzlich bedanken.

Jens Ulrich und Eckhard Hoffmann



Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. Jens Ulrich

Geboren 1949 in Frankfurt am Main. Verheiratet, vier erwachsene Kinder und vier Enkelkinder.

Werdegang:

Studium der Elektrotechnik, Fachrichtung Technische Informatik, an der Technischen Universität in Darmstadt mit Abschluss als Diplom-Ingenieur. Danach Eintritt in die elterliche Firma, Lehre und Meisterprüfung im Augenoptiker-Handwerk. Meisterprüfung als Elektrotechnikermeister.

Meistergleichstellung als Hörgeräteakustiker. Studium der Physik an der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt mit Abschluss als Diplom-Physiker. Tätig im Handwerk und als Dozent.



Prof. Dr. med Eckhard Hoffmann

Geboren 1964 in Remscheid, aufgewachsen im Allgäu.

Studium der Humanmedizin in Gießen, Promotion zum Dr. med.: Hörfähigkeit und Hörschäden junger Erwachsener.

Klinische Tätigkeit in der Hals-Nasen-Ohrenklinik des Universitätsklinikums Gießen, Lärmforschung mit der Arbeitsgruppe Hörforschung an der Justus-Liebig-Universität Gießen. Lehrtätigkeit am Zentralinstitut für Biomedizinische Technik der Universität Ulm.

Seit 2002 Professor für Audiologie und Akustik an der Hochschule Aalen im Studiengang Augenoptik und Hörakustik.

ZUM UMGANG MIT DIESEM BUCH

DREI BÄNDE – DREI PRIORITÄTEN

Dieses Buch besteht aus drei in sich geschlossenen Abschnitten, die jeweils einen bestimmten inhaltlichen Schwerpunkt bilden. Durch diese Gliederung soll es dem Leser leichter werden, durch das Buch zu „navigieren“.

Band I – Theorie

Grundlagen der Hörakustik

Der erste Abschnitt ist den Grundlagen der Hörakustik, Medizin, Physik, Psychoakustik, Audiometrie und weiteren Themen gewidmet. Er umfasst zwölf Kapitel (T-01 bis T-12). Die wichtigsten Aspekte der behandelten Themen wurden jeweils unter dem Devise „Gut zu Wissen“ zusammengefasst.

Medizin und Audiometrie

Der Aufbau, die Physiologie und die Pathologie des Hörorgans bilden die Grundlage für die Ausübung des interessanten Hörakustiker-Handwerks. Mit der Audiometrie verfügt der Hörakustiker über eine Methode, das Hörorgan soweit zu untersuchen, wie es für ihn notwendig und sinnvoll erscheint..

Um für Fachgespräche das notwendige Wissen zu haben, werden auch Methoden aufgeführt, die dem HNO-Arzt und Kliniken vorbehalten sind.

Physik

Schall ist eine Materiewelle und wird in der Akustik als Teilgebiet der Physik beschrieben. Die Elektrotechnik liefert das notwendige Verständnis für Hörsysteme, die Produkte mit einer hochwertigen elektronischen Signalverarbeitung sind.

Dieses Gebiet ist jedoch sehr komplex, ein Verständnis für die internen Vorgänge und Abläufe der digitalen Signalverarbeitung ist für die Hörsystemanpassung heute kaum noch erforderlich. Deshalb beschränkt sich das Kapitel „T-06 Elektrotechnik“ auf die Darstellung der wichtigsten Grundlagen.

Psychologie

Überspitzt ausgedrückt könnte man die These aufstellen:

„Die Anpassung von Hörsystemen stellt eine psychologische Herausforderung dar.“

Diese These ist Ausdruck der Tatsache, dass eine Anpassung meist nur dann erfolgreich verläuft, wenn sich ein Vertrauensverhältnis zwischen Hörakustiker und seinem Kunden ausbildet. Der Prozess der Hörgewöhnung ist das Ergebnis einer Therapie, die nur gemeinsam bewältigt werden kann.

Chemie, Fachkalkulation und Qualitätsmanagement

Diese Themengebiete sind hilfreich, um das Hörakustiker-Handwerk auszuüben. Im Kapitel „T-10 Qualitätsmanagement“ werden unter anderem auch einige Vorschriften des Gesundheitswesens aufgegriffen.

Band II – Praxis

Praxisbezogene Ausführungen zur Hörakustik

Schwerpunkt des Buches bilden die Praxiskapitel P-01 bis P-16. Kapitel P-01 erklärt **Aufbau und Gliederung** der Hörsysteme mit ausführlichen Beschreibungen zu den Hörerätefunktionen. Kapitel P-02 befasst sich mit den **Regelsystemen**. Die **Messtechnik** wird detailliert im Kapitel P-03 dargestellt. Hier wird auch erklärt, wie sich viele Gerätefunktionen messtechnisch erfassen lassen.

Hörsystemanpassung

Im Fokus der Anpassung von Hörsystemen steht Kapitel P-05. Wichtige Anpassverfahren der Gegenwart und Vergangenheit werden in diesem Kapitel eingehend erörtert.

Otoplastik

Eigenschaften und Herstellung von Otoplastiken sind Thema des Kapitels P-06. Hier werden insbesondere Aspekte der Herstellungspraxis, wie sie in Prüfungen vorkommt, in Wort, Bild und Film dargestellt.

Praktische Hörsystemanpassung

Die Verbindung zwischen Theorie und Alltag versucht Kapitel P-09

zu beschreiben. Dabei werden Vorschläge unterbreitet, wie vom Vorgespräch bis zur Feinanpassung eine Anpassung durchgeführt werden könnte. Auch wenn jede Anpassung einzigartig ist, können doch Prinzipien hervorgehoben werden. Im Folgekapitel werden darauf basierend Anpassfälle aufgegriffen.

Stoffzusammenfassungen

Der Kasten „Gut zu wissen“ wurde auch im Praxisteil etabliert, zusammengefasst für die Praxis wiederum in einem eigenen Kapitel P-12.

Band III – Aktiv

Aktiv üben, lösen & informieren

Zu allen Themen der Kapitel T-01 bis T-11(Theorie) sowie P-01bis P14 (Praxis) wurden zur Festigung des Stoffes Aufgaben erstellt. Diese und Lösungsvorschläge finden Sie im Abschnitt III. Die Aufgaben wurden in der gleichen Reihenfolge wie die zugehörigen Kapitel gegliedert, sodass man leicht zwischen Aufgabe und zugehörigem Kapitel wechseln kann. Dieser Abschnitt dient zur Unterstützung bei einer Prüfungsvorbereitung.

Die Aufgaben lehnen sich teilweise an Beispiele an, die in früheren Prüfungen aufgegriffen wurden. Nicht alle Aufgaben haben jedoch das gleiche Gewicht und Bedeutung, nicht jede Antwort den optimalen Umfang. Dieser Fragenkatalog ist lediglich als Grundlage für weitere Ausarbeitungen und zur Kontrolle des eigenen Kenntnisstands gedacht.

MULTIMEDIAL ARBEITEN

Begleitende Multimedia-DVD

Videothek & Sound-Dateien

Zur Steigerung der Verständlichkeit und zur Verdeutlichung der Texte und Abbildungen wurden Film- und Tonbeispiele erstellt, die auf einer DVD dem Buch beigefügt wurden.



Ton-Beispiel Nr. 010

Das Lausprechersymbol steht für ein Tonbeispiel.

SYMBOLE, QUERVERWEISE UND MULTIMEDIA-DVD

DAS WICHTIGSTE IMMER IM BLICK

Sehen, merken und zuordnen

Die Quintessenz eines Themas

Ein Lernvorgang wird durch die Konzentration wichtiger Stoffinhalte gefördert. Das menschliche Gehirn arbeitet dann sehr effektiv, wenn Daten mit Ereignissen oder Bildern verknüpft werden können.

Gut zu
wissen



Quintessenz eines Themas

Das Wichtigste aus einem Text steht in einem Kasten und ist durch das „Gut-zu-wissen“-Symbol“ gekennzeichnet.

Randnotiz

Ganz schön interessant

Themen, die zwar wissenswert und interessant sind aber nicht zwingend zum Stoff gehören und die man sich deshalb nicht unbedingt merken muss, wurden im „Randnotiz-Kasten“ untergebracht.

Konsquent als Lehrbuch konzipiert, nahm der Aspekt des Merkens, der visuellen Informationsaufnahme und der Zuordnung einen breiten Raum bei der Buchgestaltung ein. Nicht alle Inhalte haben das gleiche Gewicht. Um wesentliche Fakten von weniger Wichtigem abzugrenzen, wurde der Kasten „Gut zu wissen“ eingeführt.

Was die Quintessenz innerhalb eines Themas bzw. eines Kapitels ausmacht, lässt sich leicht an dem „Gut-zu-wissen“-Symbol erkennen. Alles, was hier steht, lohnt sich zu merken.

„By the way“ – die Randnotiz

Nicht jeder Stoffinhalt ist „prüfungsrelevant“, jedoch zeigt die Erfahrung, dass auch scheinbare „Nebensächlichkeiten“ in Prü-

fungssituationen oder in der täglichen Praxis plötzlich große Bedeutung erhalten.

Um solche ergänzenden Informationen nicht zu „verschweigen“, aber ihre Relevanz deutlich zu kennzeichnen, gibt es den Kasten „Randnotiz“, der hin und wieder im Buch zu finden ist.

Querverweise auf andere Kapitel & -abschnitte

Oft wird ein Stoff, ein Gegenstand oder eine Methode unter verschiedenen Aspekten und in mehreren Kapiteln des Buchs behandelt.

Auf Themen innerhalb eines Textes bzw. Kapitels, zu denen es an anderen Stelle oder in anderen Kapiteln ergänzende Ausführungen gibt, erfolgt – wie nebenstehend – ein Querverweis. Die Farbe des Kastens richtet sich nach dem Ziel-Kapitel. Das „T“ bzw. „P“ kennzeichnet dabei, ob das Kapitel im Theorie- oder Praxisteil zu finden ist.



T-08

Regeln im Gespräch mit dem hörgeschädigten Kunden siehe auch:

- Band I
- Kapitel T-08
- ab Punkt 8.1.3

THEORIE



P-13

Hörsituationen unter Umgebungslärm siehe auch:

- Band II
- Kapitel P-13
- ab Punkt 13.

PRAXIS

Hinweise auf Video-Material

Viele Schüler möchten, dass bestimmte praktische Lehrinhalte wiederholt vorgeführt bzw. erklärt werden. Dieser Wunsch führte zu der Aufnahme von kurzen Videosequenzen, die z.B. die Herstellung von Otoplastiken in „Echtzeit“ wiedergeben. Man kann sich einzelne Teile beliebig oft ansehen und entdeckt dabei manchmal Dinge, die beim ersten Betrachten nicht aufgefallen sind.

Sound- & Film-/Video-Beispiele auf der Multimedia-DVD wurden durchnummeriert, so dass man sie leicht auffinden kann.



Film Nr. XXX

Abtragsfräsung bis zur oberen Begrenzungslinie

Aufgenommen im Otoplastik Schulungslabor der Firma Egger in Kempten

LESEPROBE

AUSGEWÄHLTE AUSZÜGE AUS DEM INHALT – BAND 1

KAPITEL 2.1.1 – ZELLE

2.1.1 Zelle

Alle Lebewesen sind aus einzelnen Zellen aufgebaut. Die Zelle (lateinisch: cellula = kleine Kammer) ist die **kleinste selbstständige Einheit** des Lebens und verfügt über deren Grundfunktionen. Jede Zelle stellt ein strukturell abgrenzbares, eigenständiges und sich selbst erhaltendes System dar. Es gibt Einzeller (Lebewesen, die nur aus einer einzigen Zelle bestehen) und Mehrzeller, bei denen eine Reihe von Zellen eine Einheit bildet. Während die einfachsten Tiere und Pflanzen aus einer einzigen Zelle bestehen, setzen sich die höheren Lebewesen aus vielen einzelnen Zellen zusammen. Auch jeder Mensch ist einmal aus einer einzelnen befruchteten Eizelle hervorgegangen. Beim menschlichen Körper haben sich Zellen auf bestimmte Aufgaben spezialisiert und sind einzeln meist nicht mehr lebensfähig. Der Körper des Menschen setzt sich aus Billionen von einzelnen Zellen zusammen.



HTP 2.0

Zelle siehe auch:

- Hörakustik 2.0
Theorie und Praxis
- Kapitel 1
- ab Punkt 1.2

MEDIZIN

Die Zellen sind die **Grundbausteine** für den Aufbau eines Organismus. Sie bilden das Gewebe, das Nervensystem, die Organe sowie die Knochen. Es gibt verschiedene Zellarten wie z.B. Nervenzellen, Blutzellen, Bindegewebszellen u.v.a. Sie sind mit vielfältigsten Funktionen und Aufgaben ausgestattet. Wichtige Substanzen aus der Nahrung werden von den Zellen aufgenommen. Sie produzieren daraus lebenswichtige Stoffe für den Körper. Jede einzelne Zelle bildet eine kleine chemische Fabrik, die aus den Rohprodukten neue, hochspezifische Gruppen produziert, die sie für das eigene Leben benötigt oder die anderswo im Organismus eine Verwendung finden.

Die **Zytologie** (Zellbiologie) befasst sich mit dem Aufbau und der Funktion von Zellen. Größe und Form der Zellen können sehr unterschiedlich ausfallen. Sie sind vor allen Dingen durch die Aufgabe der Zelle bestimmt. Sie ist grundsätzlich in der Lage, vielfältige Funktionen selbst zu erfüllen. Es sind allerdings Unterschiede zwischen den einzelnen Zellarten und ihren Funktionen vorhanden. Die kleinsten menschlichen Zellen sind etwa 4mm groß, die größten erreichen eine Ausdehnung von ca. 200mm. Die Lebensdauer einer Zelle ist abhängig von ihrer Struktur. Weiße Blutzellen leben nur wenige Tage, Nervenzellen so lange wie der Organismus.

Eine Zelle besteht im Wesentlichen aus der **Zellmembran**, dem **Zytoplasma** mit den darin eingebetteten **Zellorganellen** und dem Zellkern.

Der Raum zwischen einzelnen Zellen wird Extrazellulärraum genannt und kann entweder mit der extrazellulären Flüssigkeit gefüllt sein oder durch spezielle Bauelemente charakteristische mechanische Eigenschaften erhalten. Diese innere Flüssigkeit wird durch regulierende Organe des Menschen in ihrer Zusammensetzung betreut, damit sie sich für die Zellen nicht negativ verändern kann. Die in der Zelle vorhandenen Organellen sind hoch spezialisiert. Das genetische Material befindet sich im Zellkern.

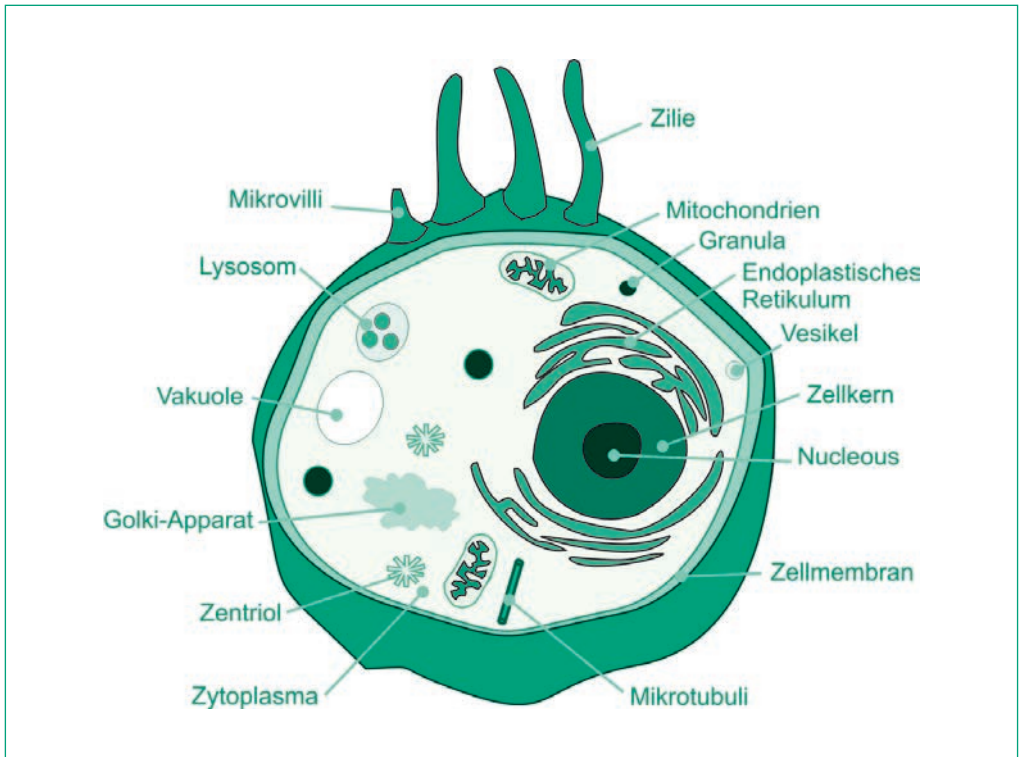


Abb. 7: Aufbau einer Zelle

Bestandteile einer tierischen Zelle:

- ▶ **Zytoplasma (Zelleib):** Das gesamte Volumen der Zelle mit Ausnahme des Zellkerns wird Zellplasma genannt. Es enthält Wasser, Proteine, Kohlehydrate und wird durch die **Zellmembran** begrenzt.
- ▶ **Zellmembran:** Sie ist für bestimmte Stoffe durchlässig und dient zum Stoffaustausch mit der Zellumgebung.
- ▶ **Nukleus (Zellkern):** Er enthält den größten Teil des genetischen Materials der Zelle.
- ▶ **Nukleolus:** Der Nukleolus ist ein kugelförmiges Gebilde innerhalb des Zellkerns. In ihm werden die rRNA-Moleküle erzeugt, sowie die Ribosomenuntereinheiten aus rRNA und ribosomalen Proteinen zusammengebaut.
- ▶ **Mitochondrien:** Mitochondrien sind die Kraftwerke der Zelle. Sie besitzen oft eine bohnenförmige Gestalt und haben im Inneren eine Doppelmembran.
- ▶ **Zentriolen (Zentralkörperchen):** Sie sind zylinderförmig und wichtig für die Zellteilung.
- ▶ **Fettropfen:** Energiespeicher
- ▶ **Vakuolen (Hohlräume):** Vakuolen speichern Eiweiß, Fett, Enzyme und dienen als Speicher- und Entgiftungsorgan
- ▶ **Golgi Apparat:** Modifikation von Proteinen, Herstellung von Membranen
- ▶ **Rauhes endoplastisches Retikulum (mit Ribosomen besetzt):** dient zur Proteinsynthese
- ▶ **Lysosome und Peroxisome:** Sie bilden die Verdauungsorganelle der Zelle

Tabelle 1:

Lebensäußerungen einer Zelle:

Kern- und Zellteilung
Bewegungserscheinungen
Plasmabewegung
Amiöboide Bewegung
Bewegung durch Geißeln oder Flimmerhaare
Stoffaufnahme und der Stofftransport
Wachstum
Zellalterung und Tod

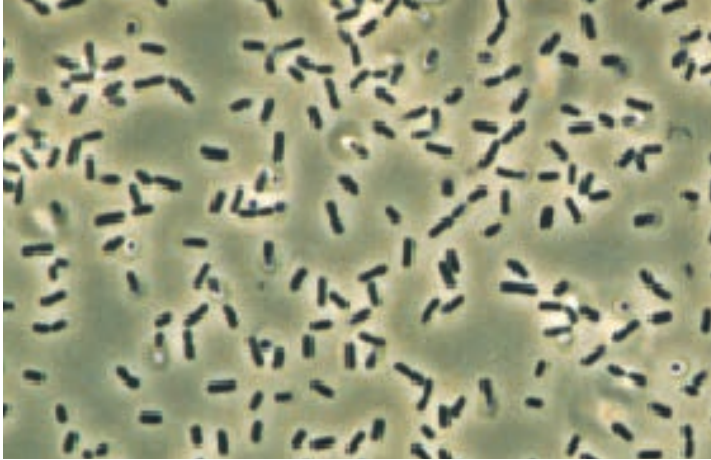


Abb. 8: Mikroskopaufnahme von „Bacillus subtilis“ aus Flüssigkultur aus Wikipedia.
Urheber: Kookaburra (Public Domain) :

Elektrische Vorgänge in Zellen

Durch den Transport von **Ionen** (elektrisch geladenen Teilchen) entstehen elektrische Spannungen. Beispielweise erzeugt das Diffundieren (lateinisch: diffundere = ausgießen, ausbreiten) von K^+ Ionen aus der Zelle eine Diffusionspotenzial, wobei das Zelläußere gegenüber dem Zellinneren positiv geladen wird. Elektrostatische Kräfte bewirken ein Gleichgewichtspotenzial bzw. eine Gleichgewichtskonzentration. Ein Potenzial, das durch eine Diffusion erzeugt wurde, kann auch andere Ionen, sowohl positiv als auch negativ geladene, beeinflussen. Ist die Zellmembran für solche Ionen permeabel (durchlässig), so werden diese bewegt. Elektrische Vorgänge spielen auch bei Nervenzellen eine große Rolle.

Gut zu wissen



Zellen

Alle Lebewesen sind aus Zellen aufgebaut, sie bilden die **kleinste selbstständige Einheit** des Lebens. Zellen bestehen aus:

- ▶ Zellmembran
- ▶ Zellkern
- ▶ Zytoplasma mit den Zellorganellen

**T-06**

Potenzial und Spannung

siehe auch:

- Band I
- Kapitel T-06
- ab Punkt 6.1.2

THEORIE

**T-07**

Ionenbindung siehe auch:

- Band I
- Kapitel T-07
- ab Punkt 7.2.1.3

THEORIE

**HTP 2.0**

Zellverbände siehe auch:

- Hörakustik 2.0
Theorie und Praxis
- Kapitel 1
- ab Punkt 1.3

MEDIZIN

Randnotiz**Ionen, Potenzial und Spannung**

Ionen sind elektrisch geladene Atome oder Moleküle. Sie spielen in der Natur eine wichtige Rolle. Kochsalz (NaCl) dissoziiert in Wasser in seine Bindungsbestandteile Na^+ und Cl^- .

Geladene Atomteile üben elektrostatische Kräfte aufeinander aus und können zum Ladungstransport eines elektrischen Stroms dienen.

Durch die Trennung elektrischer Ladungen entsteht eine **elektrische Spannung**. Sie kann immer nur zwischen zwei verschiedenen Punkten angegeben werden. Ordnet man jedem Punkt ein bestimmtes **elektrisches Potenzial** zu, so kann eine elektrische Spannung als Potenzialdifferenz der Punkte beschrieben werden.

2.1.2 Gewebe

Histologie ist die Wissenschaft, die sich mit dem Aufbau und der Funktion von Geweben befasst. Gleichartig differenzierte tierische oder menschliche Zellen können sich zu Geweben zusammenschließen.

Tabelle 2:

Grundgewebearten:

Epithelgewebe

Binde- und Stützgewebe

Muskelgewebe

Nervengewebe

LESEPROBE

AUSGEWÄHLTE AUSZÜGE AUS DEM INHALT – BAND 1

KAPITEL 2.4 – MITTELOHR

2.4 MITTELOHR (AURIS MEDIA)

Das Mittelohr liegt zwischen dem Außen- und dem Innenohr. Es **verstärkt** den einfallenden Schall und bewirkt eine **Impedanzanpassung** zwischen einfallendem Luftschall und dem Flüssigkeitsschall des Innenohres. Außerdem bieten die Mittelohrmuskeln einen Schutz vor zu lauten Schallen.

**HTP 2.0**

Mittelohr siehe auch:

- Hörakustik 2.0
Theorie und Praxis
- Kapitel 2
- ab Punkt 2.4

MEDIZIN

Randnotiz

Impedanz

Alle Widerstände, die der Ausbreitung der Schallwelle in einem bestimmten Umfeld behindern, werden als Impedanz zusammengefasst. Einflüsse haben z.B.:

- ▶ die Eigenschaften des Ausbreitungsmediums
- ▶ Hindernisse
- ▶ Grenzflächen zu anderen Ausbreitungsmedien

Weil Wasser und Luft unterschiedliche Schallwellenwiderstände (Impedanzen) besitzen, würde an der Grenzfläche beider Medien **mehr als 90%** der auftreffenden Schallwellen reflektiert. Soll beim Übergang von einem Ausbreitungsmedium zu einem anderen der Schallwelle möglichst wenig Energie entzogen werden, führt man eine Impedanzanpassung durch. Zur Vermeidung von Reflexionsverlusten im Mittelohr erfolgt eine Anpassung der Schallwellenwiderstände beider Medien. Der Druck am ovalen Fenster muss daher höher sein als der Druck am Trommelfell.

2.4.1 Trommelfell (Membrana tympani)

Das Trommelfell (TF) bildet den Abschluss des äußeren Gehörgangs. Es ist oval und

- ▶ ca. 10 – 11 mm hoch
- ▶ ca. 9 mm breit
- ▶ ca. 0,1 mm dick

und besteht aus einem großen festen und einem kleineren lockeren Teil. In der Mitte ist der Hammergriff mit dem Trommelfell (TF) ver-

**HTP 2.0**

Trommelfell und Paukenraum siehe auch:

- Hörakustik 2.0
Theorie und Praxis
- Kapitel 2
- ab Punkt 2.4.1

MEDIZIN

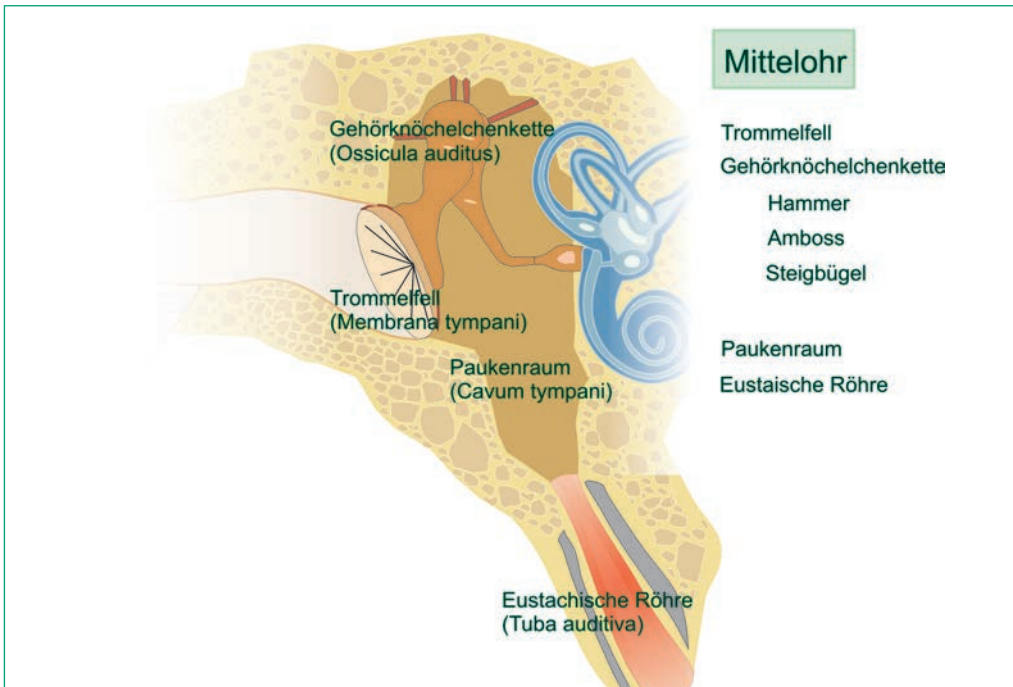


Abb. 24: Mittelohr (Auris media)

Gut zu
wissen



Mittelohr (Auris media)

besteht aus:

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| ▶ Membrana tympani | Trommelfell |
| ▶ Musculus tensor tympani | Trommelfellspannmuskel |
| ▶ Musculus stapedius | Stapediusreflexmuskel |
| ▶ Cavum tympani | Paukenhöhle |
| ▶ Ossicula auditus | Gehörknöchelchenkette |
| ▶ Tuba auditiva | Eustachische Röhre |

wachsen. An das Trommelfell ist die **Gehörknöchelchenkette** (GKK) (Ossicula auditus) angeschlossen. Der Rand des Trommelfells wird von einem **Faserknorpelring** (Annulus fibrocartilagineus) gebildet, der in einer **ringförmigen Kerbe** (Sulcus tympanicus) mit dem umgebenden Knochen verwachsen ist.

Das Trommelfell besteht aus drei Schichten. Vom Paukenraum aus betrachtet sind dies:

- ▶ **Einschichtiges Schleimhautepithel**
der Paukenhöhle (Stratum mucosum)
- ▶ **Zirkuläre Bindegewebsfaserschicht**
(Stratum fibrosum lamina propria)
- ▶ **Radiäre Bindegewebsfaserschicht;**
Auflage für das Plattenepithel des äußeren Gehörgangs (Stratum cutaneum)

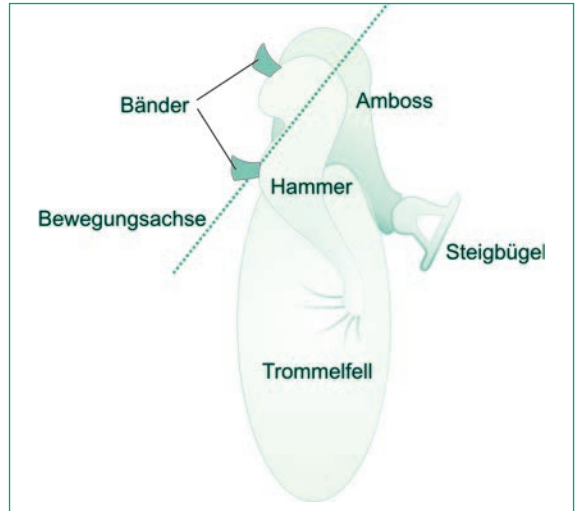


Abb. 25: Trommelfell und Gehörknöchelchenkette

Gut zu wissen



Strukturen des Trommelfells (Membrana tympani)

Aufbau des Trommelfells (von der Paukenhöhle zum äußeren Gehörgang):

- | | |
|-----------------------------------|--|
| ▶ Stratum mucosum | Einschichtiges Schleimhautepithel der Paukenhöhle |
| ▶ Stratum fibrosum lamina propria | Zirkuläre Bindegewebsfaserschicht |
| ▶ Stratum cutaneum | Radiäre Bindegewebsfaserschicht; Auflage für das Plattenepithel des äußeren Gehörgangs |
| ▶ Annulus fibrocartilagineus | Faserknorpelring der das Trommelfell umgibt |
| ▶ Sulcus tympanicus | Einkerbung des Knochens |
| ▶ Pars tensa membranae tympani | Straffer Teil des Trommelfells ca. 55 mm ² |
| ▶ Pars flaccida membranae tympani | Lockerer Teil des Trommelfells ca. 30 mm ²
(Schrapnellsche Membran) |

2.4.2 Paukenraum (Cavitas tympani)

Der Paukenraum ist ca. **14 mm** lang und **2,5 bis 7 mm** breit, das Volumen beträgt ca. **1cm³**. Der Paukenraum ist wie die Gehörknöchel-

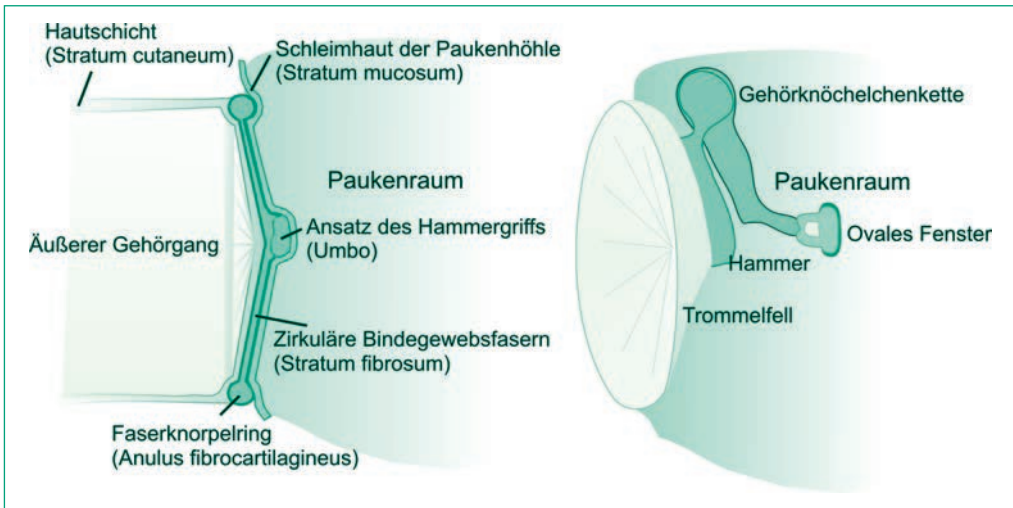


Abb. 26: Schichten des Trommelfells

**T-05**

Untersuchungen des
Mittelohrs siehe auch:

- Band I
- Kapitel T-05
- ab Punkt 5.5.1

THEORIE

chelchenkette mit einer **atmenden Schleimhaut** (einschichtigem Epithelgewebe) ausgekleidet. Unter der Schleimhaut befindet sich eine **Schleimknochenhaut** (Mukoperiost). Am unteren Ende der Paukenhöhle schließt sich die **Eustachische Röhre** an.

2.4.3 Gehörknöchelchenkette (Ossicula auditus)

Die Gehörknöchelchenkette befindet sich im Paukenraum. Sie hat eine **1,3-fache Hebelwirkung** und gliedert sich in drei kleine Knochen,

- ▶ Hammer (Malleus)
- ▶ Amboss (Incus)
- ▶ Steigbügel (Stapes)

die Bewegungen um eine gemeinsame Achse durchführen. Die Schwingung wird durch das Trommelfell ausgelöst und bewirkt eine Bewegung der Steigbügelfussplatte. Das Außenohr und die Paukenhöhle sind mit Luft gefüllt, während sich im Innenohr Flüssigkeiten befinden. Die Stapesfußplatte erzeugt eine Flüssigkeitsschallwelle im Innenohr.

Die Gehörknöchelchenkette ist mit mehreren Bändern an den Wänden der Paukenhöhle so befestigt, dass sie Schwingungen durchführen kann.

**HTP 2.0**

Gehörknöchelchenkette
siehe auch:

- Hörakustik 2.0
- Theorie und Praxis
- Kapitel 2
- ab Punkt 2.4.2

MEDIZIN

Wände	Bestandteile	Teil vom:
Paukendach = obere Wand = Paries superior tympani = Paries tegmentalis tympani	Tegmen tympani Recessus epitympanicus	Epitympanon = Paukenkuppel (Atticus)
vordere Wand = Paries anterior tympani = Paries caroticus tympani	Tubeneinmündung Einmündung des Halbkannals des Trommelfellspannmuskels	Mesotympanon = Paukenmittelraum
seitliche Wand = Paries lateralis tympani = Paries membranaceus tympani	Trommelfell	Paukenmittelraum
hintere Wand = Paries posterior tympani = Paries mastoideus tympani	Aditus ad antrum Eminentia pyramidalis	Paukenmittelraum
mittlere Wand = Paries medialis tympani = Paries labyrinthicus tympani	Promontorium rundes Fenster ovales Fenster	Promontorium
untere Wand = Paries inferior tympani = Paries jugularis tympani	Cellulae jugulares	Hypotympanon Paukenkeller

Gut zu wissen



Paukenraum (Cavus tympani)

besteht aus:

- | | |
|----------------|------------------|
| ▶ Epitympanon | Paukendach |
| ▶ Mesotympanon | Paukenmittelraum |
| ▶ Hypotympanon | Paukenkeller |

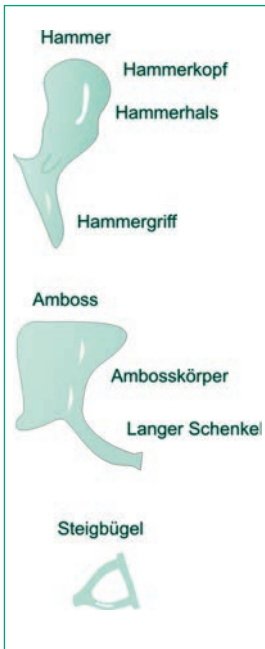


Abb. 27: Gehörknöchelchen

Der Komplex von Trommelfell und Gehörknöchelchen bewirkt eine Verstärkung. Das Flächenverhältnis vom straffen Teil des Trommelfells zur Fläche der Steigbügelfußplatte ist **17-fach**. Multipliziert mit dem Übersetzungsfaktor der Gehörknöchelchenkette von **1,3-fach** ergibt sich eine **Gesamtverstärkung** von **22,1-fach** bzw. **27 dB**.

Gleichzeitig wird erreicht, dass der Schallwellenwiderstand vom Übergang zwischen Luftschall und Flüssigkeitsschall optimiert wird. An Stelle einer Reflexion von **98%** werden nur **ca. 40%** der Schallwellen reflektiert. Dies wird als **Impedanzanpassung** bezeichnet.

Hammer (Malleus)

- ▶ Hammergriff Manubrium mallei
- ▶ Hammerhals Collum mallei
- ▶ Hammerkopf Capitulum mallei

Der Hammergriff ist mit dem Trommelfell verwachsen. Der Hammer ist ca. 8mm lang und 25 mg schwer. Er hängt an zwei Bändern (Ligamenta ossicularum auditus).

Amboss (Incus)

- ▶ Ambosskörper Corpus incudis
 - ▶ kurzer Ambossschenkel Crus breve
 - ▶ langer Ambossschenkel Crus longum (mit Processus lenticularis)
- Hängt ebenfalls an zwei Bändern (Ligamentum incudis superius) vom Ambosskörper zum Paukendach.

Steigbügel (Stapes)

- ▶ Steigbügelköpfchen Caput stapedis

Der Steigbügel ist ca. 3,5 mm lang und 3,5 mg schwer. Die Steigbügelfußplatte am ovalen Fenster ist 3mm lang 1,8 mm breit und hat eine Fläche von ca. 3,2 mm². Sie ist mit einem Ringfaserband (Anulus fibrosus) umschlossen und verwachsen.

Gut zu
wissen



Gehörknöchelchenkette (Ossicula auditus)

besteht aus:

- ▶ Malleus Hammer
- ▶ Incus Amboss
- ▶ Stapes Steigbügel

Die Verstärkung durch Trommelfell und Gehörknöchelchenkette beträgt 22,1-fach bzw. 27dB. Der Reflexionsfaktor sinkt von 98% auf 40% (Impedanzanpassung), d. h. es werden rund 60% der Schallenergie auf das Innenohr übertragen.

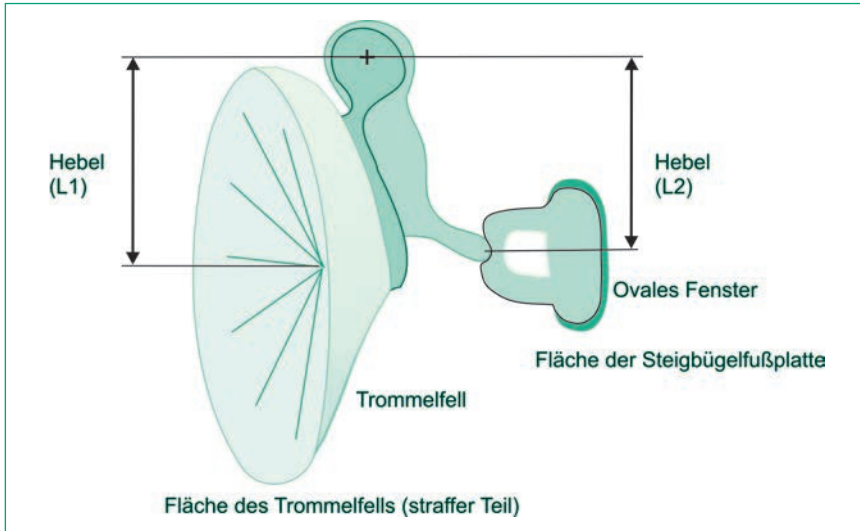
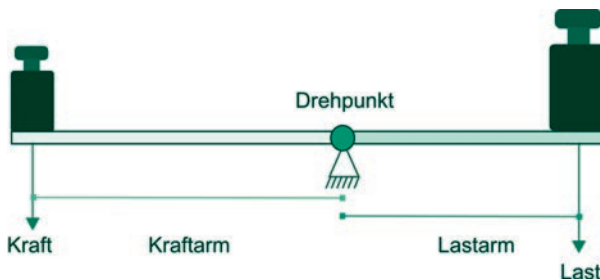


Abb. 28: Gehörknöchelchenkette

Randnotiz

Hebelgesetze

Hebel sind mechanische Kraftübertragungssysteme. Das Hebelgesetz lautet: Das Produkt von Kraft und Kraftarm ist gleich dem Produkt von Last und Lastarm. Ein Hebel gehört zu den wichtigsten Kraftwandlern. Anwendungen von Hebeln findet man bei Werkzeugen wie z.B. Zangen, beim Locher, beim Nussknacker und in Getrieben.



Durch einen Hebel kann man eine kleine Kraft dazu einsetzen, um eine große Kraft zu erzeugen. Die aufzuwendende Leistung, das Produkt aus Kraft und Weg, bleibt jedoch erhalten. Der Hebelweg vergrößert sich entsprechend.

2.4.4 Binnenohrmuskeln

Der Trommelfellspannmuskel und der Stapediusreflexmuskel beeinflussen das Verhalten der Gehörknöchelchenkette.

Trommelfellspannmuskel (Musculus tensor tympani)

Der Trommelfellspannmuskel beginnt oberhalb des knorpeligen Teils des Tubendachs. Er verläuft im Halbkanal des Trommelfellspannmuskels (Semicanalculus musculi tensoris tympani) oberhalb der Tube und mündet oberhalb der Tubeneinmündung in die Paukenhöhle. Dort knickt der Trommelfellspannmuskel fast im rechten Winkel ab und führt zum Hammer. Wird der Trommelfellspannmuskel innerviert, zieht er das Trommelfell in Richtung der Paukenhöhle und spannt es dadurch.

Der Trommelfellspannmuskel ist **quergestreift** und wird durch den Trigeminusnerv innerviert.



T-05

Impedanzmessung siehe auch:

- Band I
- Kapitel T-05
- ab Punkt 5.5.1

THEORIE

Stapediusreflexmuskel (Musculus stapedius)

Der Stapediusreflexmuskel entspringt im Hohlraum oberhalb der Eminentia pyramidalis. Seine Sehne zieht aus der Pyramidenspitze quer durch den Paukenraum zum Steigbügelköpfchen. Der Stapediusreflexmuskel ist ein **quergestreifter Muskel**, der durch den Nervus facialis innerviert wird.

Die Binnenohrmuskeln können die Schallübertragung des Mittelohres verändern.

Funktionen der Binnenohrmuskeln

Den Binnenohrmuskeln werden verschiedene Funktionen zugeschrieben, allerdings sind diese noch nicht endgültig geklärt.

- Dämpfung der Gehörknöchelchenkette
- Versteifung der Kette bei zu lautem Schall
- Verminderung des Klirrfaktors

Die Schalldruckwellen können die Membran des ovalen Fensters auch direkt in Schwingung versetzen, es ergibt sich jedoch ein **Hörverlust von ca. 20 dB** infolge der Reflexion beim Übergang von Luft auf das flüssige Medium

Bei hohen Schalldruckpegeln sind die Mittelohrreflexe in der Lage

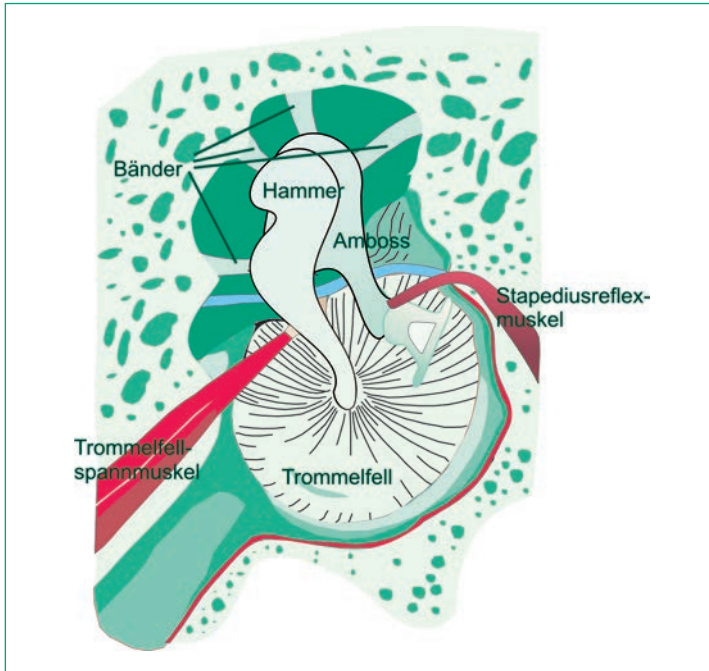


Abb. 29: Binnenoohrmuskeln (modifiziert nach dtv „Anatomie Atlas“)

auf das Innenohr eintreffende Eingangssignal bei tiefen Frequenzen abzuschwächen und relativ konstant zu halten.

Bei hohen Schalldruckpegeln können tieffrequente Schallsignale hochfrequente Signale maskieren. Eine Abschwächung der tiefen Frequenzen ist also gut, um das höherfrequente Signal zu verstehen.

Durch **Knochenleitung** (Schwingungen des Schädels) wird das Innenohr ebenfalls in Schwingungen versetzt. Man unterscheidet:

► Direkter Knochenschall

Schallereignis in der Cochlea, das dadurch entsteht, dass die Labyrinthkapsel vom Knochenschall in Schwingungen versetzt wird. Direkter Knochenschall erzeugt in gleicher Weise eine Wanderwelle wie der Luftschall.

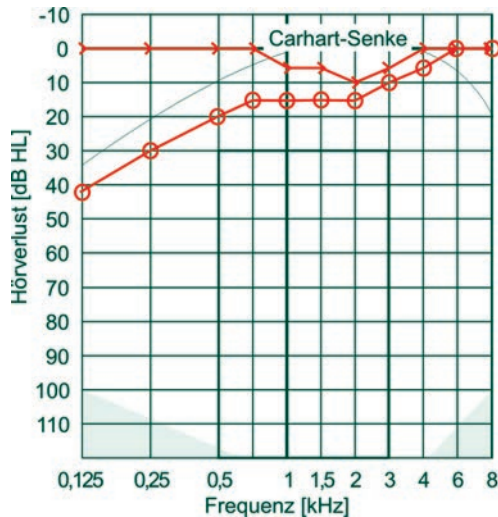
► Osteotympanaler Knochenschall

Kleiner Teil des Knochenschalls, der über den knöchernen Teil des äußeren Gehörgangs das Innenohr über das Mittelohr erreicht. Er unterstützt den direkten Knochenschall und ist frequenzabhängig.

Randnotiz

Osteotympanaler Knochenschall

Wird durch eine Otosklerose der Steigbügel fixiert, so kann der osteotympanale Knochenschall keinen Beitrag mehr zum Knochenleitungshören liefern. Im Ton-schwellenaudiogramm entsteht ein Knochenleitungsverlust, der bis zu 15 dB bei einer Frequenz von 2 kHz betragen kann. Dieser Verlust der Knochenleitung wird als **Carhart – Senke** bezeichnet.



Gut zu wissen

**Binnenohrmuskeln**

- ▶ Musculus tensor tympani Trommelfellspannmuskel
- ▶ Muskulus stapedius Stapediusreflexmuskel

Sie bewirken Schutzfunktionen, die aber noch nicht endgültig abgeklärt sind..

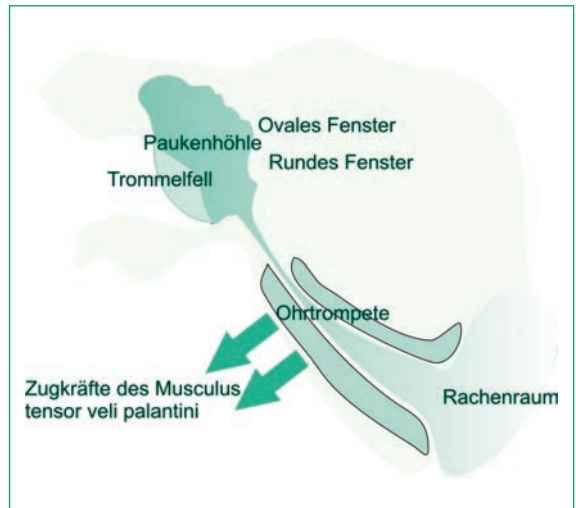
2.4.5 Ohrtrumpete Tube = Eustachische Röhre (Tuba auditiva)

Die Ohrtrumpete sorgt für die Ventilation und Drainage des Mittelohrraums und verläuft von der Paukenhöhle zum Rachenraum. Sie ist normalerweise geschlossen und bietet Schutz vor Infektionen. Außerdem bewirkt sie einen Druckausgleich. Es handelt sich um eine 35 mm lange Röhre, 1/3 davon ist knöchern (zum Paukenraum) und 2/3 knorpelig. Die Verengung wird Isthmus tubae auditivae genannt.

Die Öffnung der Röhre erfolgt nur beim **Schlucken, Gähnen** und beim Sprechen von **K Lauten**. Der Tubenverschlußknorpel (Cartilago tubae auditivae) bewegt sich durch das Kontrahieren von Musculus tensor veli palatini und Musculus levator veli palatini. Dadurch verformt sich der Tubenverschlußknorpel und die Tube öffnet sich.

Die Tube ist zur **Infektabwehr** mit **Epithel der Paukenhöhle** ausgekleidet.

Abb. 30: Ohrtrompete



Gut zu wissen



Ohrtrompete (Tuba auditiva)

Die Ohrtrompete stellt eine Verbindung von der luftgefüllten Paukenhöhle zum Rachenraum dar.

Sie ist normalerweise geschlossen und öffnet sich beim Schlucken, Gähnen und beim Sprechen von K-Lauten. Bei der Öffnung der Tube erfolgt ein Druckausgleich zur Paukenhöhle.

2.5 INNENOHHR (AURIS INTERNA)

Das Innenohr schließt sich an das Mittelohr an. Es gliedert sich in das **Gleichgewichtsorgan** (Ducti vestibulares) und die **Schnecke** (Cochlea). In der Schnecke wird der Schall in Nervensignale transformiert. Das Innenohr wird wegen seines Kanalsystems auch als Labyrinth bezeichnet. Es ist vollständig von Knochen des Felsenbeins umschlossen. Der extrem harte Knochen bildet einen Hohlraum, der mit Flüssigkeiten gefüllt ist. Über dieses für beide Organe gemeinsame Flüssigkeitssystem werden die auf das Innenohr einwirkenden Reize zu den jeweiligen Sinneszellen geleitet. Das Flüssigkeitssystem besteht aus von Epithelzellen gebildeten hauchdünnen Schläuchen, die prall mit Flüssigkeit gefüllt sind. Der an **Natriumionen reiche**



HTP 2.0

Innenohr siehe auch:

- Hörakustik 2.0 Theorie und Praxis
- Kapitel 2
- ab Punkt 2.5

MEDIZIN

LESEPROBE

AUSGEWÄHLTE AUSZÜGE AUS DEM INHALT – BAND 1

KAPITEL 3.4.3 – DAS SCHALLFELD UND SEINE GRÖSSEN

Gut zu
wissen



Ton, Klang, Geräusch

Physikalisch gesehen ist ein Ton eine harmonische Welle. Ein Klang besteht aus einer Grundwelle und Oberwellen. Sind die Schwingungsvorgänge in Amplitude und Frequenz total unregelmäßig, so heißt die Schallerscheinung Geräusch.

3.4.3 Das Schallfeld und seine Größen

Ein **physikalisches Feld** ist ein Teilgebiet des Raumes, in dem jedem Punkt eine eindeutig bestimmte (skalare oder vektorielle) physikalische Größe („Feldgröße“) zugeordnet wird. Das Ausbreitungsgebiet von Schallwellen in einem elastischen Medium wird als **Schallfeld** bezeichnet. Jedem Punkt des Raumes kann ein Schalldruck und eine Schallschnelle zugeordnet werden.



HTP 2.0

Schallfeldgrößen siehe auch:

- Hörakustik 2.0
Theorie und Praxis
- Kapitel 16
- ab Punkt 16.3

**NATURWISSEN-
SCHAFTLICHE
GRUNDLAGEN**

Schallfeld

Ein Schallfeld ist ein Bereich in einem elastischen Medium, in dem sich eine Schallwelle ausbreitet. Es ist unter anderem gekennzeichnet durch **zeitliche Dichteschwankungen** ρ (rho) des Mediums, des **Schallwechseldrucks** p innerhalb des Mediums und der **Wechselgeschwindigkeit** v (**Schallschnelle**) der schwingfähigen Teilchens des Mediums. In Luft und Wasser breiten sich jeweils longitudinale Wellen aus. In Festkörpern können zusätzlich Transversalwellen vorkommen. Zur physikalischen Beschreibung verwendet man:

- ▶ **Schallfeldgrößen**
- ▶ **Schallenergiegrößen**

Schallfeldgrößen

Schallfeldgrößen beschreiben den Zustand eines akustischen Feldes. Es handelt sich um physikalische Wechselgrößen.

▶ Schalldruck p

Der Schalldruck p beschreibt die Druckschwankungen, die bei der Schallausbreitung entstehen. Diese relativ kleinen Schwankungen sind dem statischen (Luft)druck überlagert.

Formel Schalldruck

$$p = \frac{F}{A}$$

Druck p , Kraft F , Fläche A

$$p_{\text{ges}} = p_0 + p$$

Luftdruck p_0 , Schallwechseldruck p

$$p(t) = \hat{p} * \sin(\omega t)$$

zeitlicher Verlauf des Schallwechseldrucks

$$p_{\text{eff}} = \frac{\hat{p}}{\sqrt{2}}$$

Effektivwert des Schallwechseldrucks

► **Schallschnelle v**

Die Schallschnelle v bezeichnet die Wechselgeschwindigkeit des schwingenden Teilchens, mit der es sich um die Ruhelage herum bewegt. Die **Schallschnelle v** darf nicht mit der **Ausbreitungsgeschwindigkeit v_c** (bzw. c) der Welle verwechselt werden.

► **Schallauslenkung ξ**

Die Schallauslenkung ξ ist die momentane Auslenkung eines Materieteilchens in der sich die Welle ausbreitet von seiner Ruhelage.

► **Schallbeschleunigung a**

Die Schallbeschleunigung a ist die momentane Beschleunigung eines Materieteilchens in der sich die Welle ausbreitet von seiner Ruhelage.

Am häufigsten werden in der Praxis Schalldruck und Schallschnelle verwendet.

Energiegrößen

Das Schallfeld bzw. die Schallquelle kann auch durch Energiegrößen physikalisch beschrieben werden. Benutzt werden hauptsächlich:

- **Schallenergie W** : die im Schallfeld vorhandene Energie. Sie ist damit **entfernungsunabhängig** (Einheit: Nm = Js = J).

Formel Schallenergie

$$W = \frac{p^2 * V}{\rho * v_c^2} = V * v^2 * \rho$$

Schalldruck p
 Schallschnelle v
 Schallgeschwindigkeit v_c
 Dichte ρ
 Volumen V

► **Schallenergiedichte E:** beschreibt die Energie, die an einem bestimmten Ort des Schallfelds vorhanden ist, z.B. bezogen auf eine Länge, eine Fläche oder ein Volumen.

► **Schallleistung P, P_{ak} :** ist die Schallenergie, die pro Zeiteinheit von einer Schallquelle abgestrahlt wird (Einheit W).

Formel Schallleistung

$$P_{ak} = J \cdot A \quad \text{Schallintensität } J \quad \text{Fläche } A$$

► **Schallintensität I, J:** Schallleistung, die je Flächeneinheit durch eine durchschallte Fläche tritt (Energie pro Fläche, Einheit W/m^2).

Formel Schallintensität

$$J = \frac{P}{A} = \frac{p^2}{Z_0} = p \cdot v$$

Schallleistung P
Fläche A
Schalldruck p
Schallschnelle v
Schallkennimpedanz Z_0

Gut zu wissen



Schallfeldgrößen

Das Schallfeld kann durch Schallfeldgrößen wie **Schalldruck** und **Schallschnelle** beschrieben werden. Daneben existieren Energiegrößen, die die Schallquelle bzw. das Schallfeld beschreiben. Die Energiegrößen sind proportional zum **Quadrat** der Feldgrößen, beide Größen müssen deshalb jeweils gesondert betrachtet werden.

Beispiel

Schalldruck

$$p_{eff} = \frac{\hat{p}}{\sqrt{2}}$$

$$\hat{p} = p_{eff} \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 10^{-0,3} \text{ Pa} \cdot 1,41 = 2,28 \cdot 10^{-0,3} \text{ Pa}$$

$$p(t) = \hat{p} \cdot \sin(\omega t) = 2,28 \cdot 10^{-0,3} \cdot \sin(628,3 \text{ Hz} \cdot t) \text{ Pa}$$

Berechnung des Spitzenwerts des Schalldrucks aus dem Effektivwert und Bestimmung der Bewegungsgleichung für $p_{eff} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$ und $f = 100 \text{ Hz}$:

Beispiel**Schallintensität**

Umrechnung der Schallintensität von einem Abstand von 1m auf 5m bei kugelförmiger Schallausbreitung. Die Formel für die Schallintensität lautet: $J = P/A$

$$A_{\text{Kugel}} = 4\pi r^2 \quad \text{Fläche A der Kugel}$$

$$A_{\text{Kugel}} = 4\pi r^2 = 4\pi = 12,57m^2 \quad \text{Kugelfläche für 1m Radius}$$

$$A_{\text{Kugel}} = 4\pi r^2 = 4\pi 25m^2 = 314,16m^2 \quad \text{Kugelfläche für 5m Radius}$$

$$J_1 = \frac{P}{A_1} \quad \text{Schallintensität mit Index 1}$$

$$J_2 = \frac{P}{A_2} \quad \text{Schallintensität mit Index 2}$$

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{P/A_1}{P/A_2} = \frac{A_2}{A_1} \quad \text{Verhältnis der Schallintensitäten}$$

$$J_1 * \frac{A_1}{A_2} = J_2 = \frac{12,57m^2}{314,25m^2} * J_1 \quad \text{Flächen einsetzen}$$

$$J_2 = 0,04 * J_1 \quad \text{Nach } J_2 \text{ auflösen}$$

Einfacher alternativer Rechenweg:

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{4\pi r_2^2}{4\pi r_1^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad \text{Durch Einsetzen der Formel für die Kugeloberflächen ergibt sich ein vereinfachter Lösungsweg}$$

Formel**Schallintensität bei kugelförmiger Schallabstrahlung**

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

Schallleistung P
Fläche A
Radius r

Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit in Luft ist von der Temperatur, jedoch kaum von der Luftfeuchtigkeit abhängig. Sie ist **unabhängig** vom **Luftdruck**. Daher sind die Schallgeschwindigkeiten auf einem Berg und am Meer bei gleicher Lufttemperatur identisch.

Nah- und Fernfeld, freies und diffuses Schallfeld

Im **Nahfeld** hat die Schallwelle noch eine merkliche Krümmung. Im **Fernfeld** verlaufen die Wellenfronten nahezu parallel. Im **freien Schallfeld** sind keine reflektierenden Hindernisse vorhanden, z.B. schneebedeckte Ebene, im **Diffusfeld** werden die Schallwellen mehrfach reflektiert.

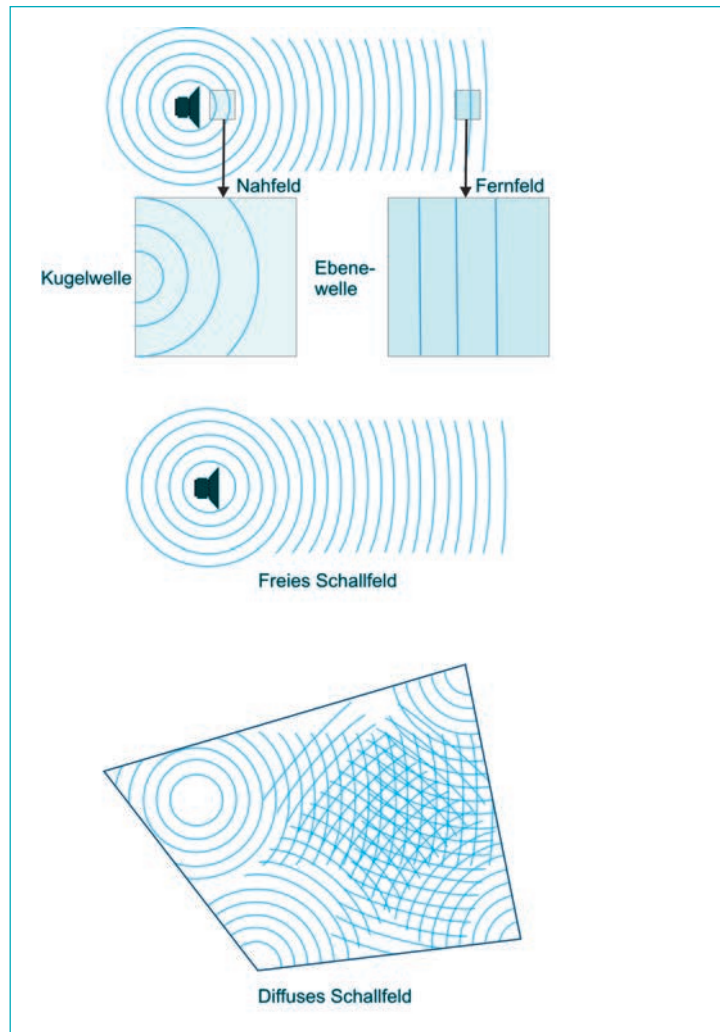


Abb. 136: Freies und diffuses Schallfeld, Fern- und Nahfeld



HTP 2.0

Wellenformen und Schallfelder siehe auch:

- Hörakustik 2.0 Theorie und Praxis
- Kapitel 16
- ab Punkt 16.2

**NATURWISSEN-
SCHAFTLICHE
GRUNDLAGEN**

Gut zu
wissen



Schallquelle und Ausbreitungsraum

Um eine punktförmige Schallquelle breitet sich eine Kugelwelle aus:

Beim **Nahfeld** sind die Schallwellenfronten noch merklich gekrümmt. Schalldruck und Schallschnelle besitzen eine deutliche Phasendifferenz.

Beim **Fernfeld** kann die Krümmung der Wellenfront vernachlässigt werden. Es besteht praktisch keine Phasendifferenz zwischen Schalldruck und Schallschnelle. Nah- und Fernfeld beschreiben die Schallquelle. Beim **freien Schallfeld** kann sich die Schallwelle völlig ungehindert ausbreiten. Hingegen bildet sich in Räumen mit reflektierenden Wänden durch vielfache Überlagerung ein **diffuses Schallfeld** aus. Freifeld und diffuses Schallfeld beschreiben den Raum, in dem sich eine Schallwelle ausbreitet.

Schallpegel

Der vom Menschen wahrnehmbare Schalldruck umfasst eine Spanne von $20 \mu\text{Pa}$ an der Hörschwelle bis rund 20 Pa bei ca. 120 dB an der Unbehaglichkeitsgrenze. Dieser Pegel ist eine Million Mal höher als der Schalldruckpegel an der Hörschwelle. Das gesunde Gehör weist damit einen **enorm großen Dynamikbereich** auf.

Das Ohr ist ein außerordentlich empfindliches Organ. An der Hörschwelle wird ein Wechseldruck wahrgenommen, der um ca. 7 Zehnerpotenzen geringer ist als der statische Luftdruck von $1013,25 \text{ Pa}$. Würde man den Schalldruck auf einer linearen Skala auftragen, wäre die Achse bei einer Skalierung von ca. $2 \text{ mm je } 1 \mu\text{Pa}$ ca. 40 km lang. Das übertrifft die Strecke von Frankfurt nach Darmstadt.

Eine lineare Skalenteilung des Schalldrucks ist deshalb nicht praktikabel. Es wird eine logarithmische Teilung eingesetzt.

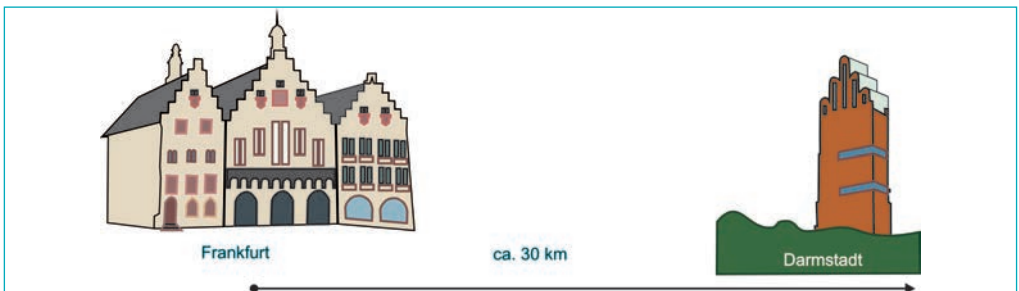


Abb. 137: Eine lineare Skala für den Schalldruck wäre unpraktikabel, da extrem lang.

Randnotiz

Logarithmus

Drei Größen einer logarithmischen Darstellung:

- ▶ **Logarithmus x**
- ▶ **Basis des Logarithmus b**
- ▶ **Numerus a**

Der **Logarithmus** ist die Zahl, mit der die **Basis** potenziert werden muss, um den **Numerus** zu erhalten.

Liegen beispielsweise zwei positive reelle Zahlen a und b mit $b \neq 1$ vor und soll a in der Form $a=b^x$ ausgedrückt werden, dann ist x der Logarithmus von a zur Basis b und man schreibt:
 $x = \log_b a$

Logarithmen eignen sich gut zur Darstellung von Größen, deren Wertebereich viele Größenordnungen umfasst. Wird bei \log keine explizite Basis angegeben, so ist in der Technik der dekadische Logarithmus (Basis 10) (\lg) gemeint.

Beispiel Logarithmus zur Basis 10 (dekadischer Logarithmus)

Wertetabelle:

x	1	2	4	8	10	100	1000	10 000
lg (x)	0	0,30	0,60	0,90	1	2	3	4

Die logarithmische Darstellung macht man sich in der Audiometrie zunutze, um einen großen Wertebereich sinnvoll darstellen zu können.

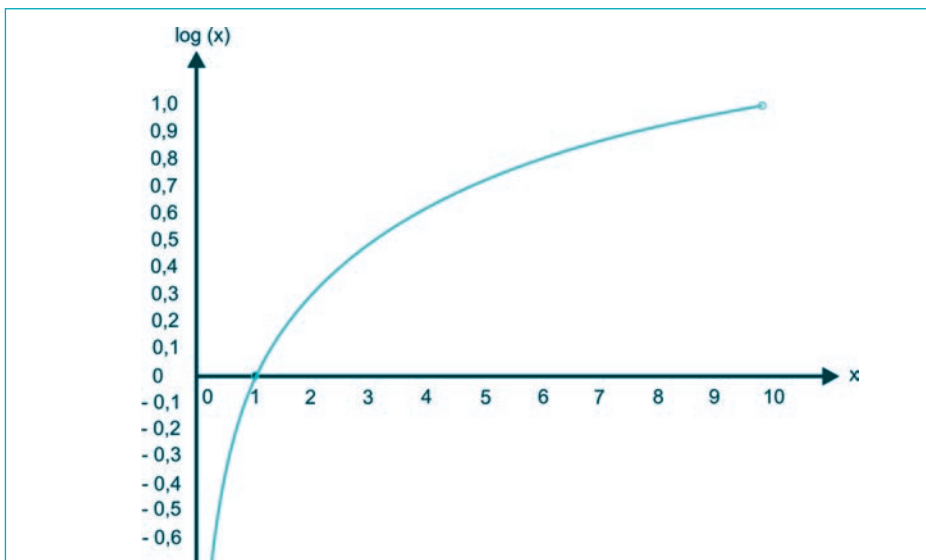


Abb. 138: Logarithmusfunktion

Pegel

Eine Feldgröße dient zur Beschreibung eines physikalischen Feldes, während die Energiegröße seine Energie beschreibt. **Pegel** sind **logarithmische Verhältnissgrößen**, bei denen eine vorhandene Feld- oder Energiegröße mit einer zweiten Größe (Bezugsgröße) in Beziehung gebracht wird.

Die **Energie** ist immer proportional zum **Quadrat** der **Feldgrößen**. Den Schallpegel kann man sowohl für Feld- als auch für Energiegrößen berechnen. Als Bezugsgröße gilt die **Hörschwelle**. Da der Pegel eine Verhältnissgröße, ist kürzen sich die Einheiten und es entsteht ein **dimensionsloser Zahlenwert**. Zur Kennzeichnung des Pegels wird die **Pseudoeinheit dB** (Dezibel) verwendet.

► Pegel für Energiegrößen:

$$L = 10 \cdot \lg (\text{Größe} / \text{Bezugsgröße})$$

► Pegel für Feldgrößen:

$$L = 10 \cdot \lg (\text{Größe}^2 / \text{Bezugsgröße}^2) = 10 \lg (\text{Größe} / \text{Bezugsgröße})^2$$

$$L = 10 \cdot 2 (\lg (\text{Größe} / \text{Bezugsgröße}))$$

$$L = 20 \cdot \lg (\text{Größe} / \text{Bezugsgröße})$$

Gut zu wissen



Pegel

Für den Schalldruck ist wegen des großen Wertebereichs eine lineare Darstellung ungeeignet. Deshalb wird eine logarithmische Darstellung gewählt. Die gewählte Einheit dB (Dezibel) ist streng genommen keine Einheit im physikalischen Sinn. Sie wird deshalb als „Pseudoeinheit“ bezeichnet. Durch den Einsatz des Logarithmus „verschieben“ sich die Rechenregeln. Eine **Multiplikation** (z.B. eine Verstärkung) wird zur **Addition**, eine **Potenzierung** zur **Multiplikation**. Eine Verdoppelung der Schallenergie entspricht deshalb einer Addition von rund 3 dB. Vom messbaren Schalldruck kann jedoch nicht direkt auf die vom Menschen wahrgenommene Lautstärke geschlossen werden.

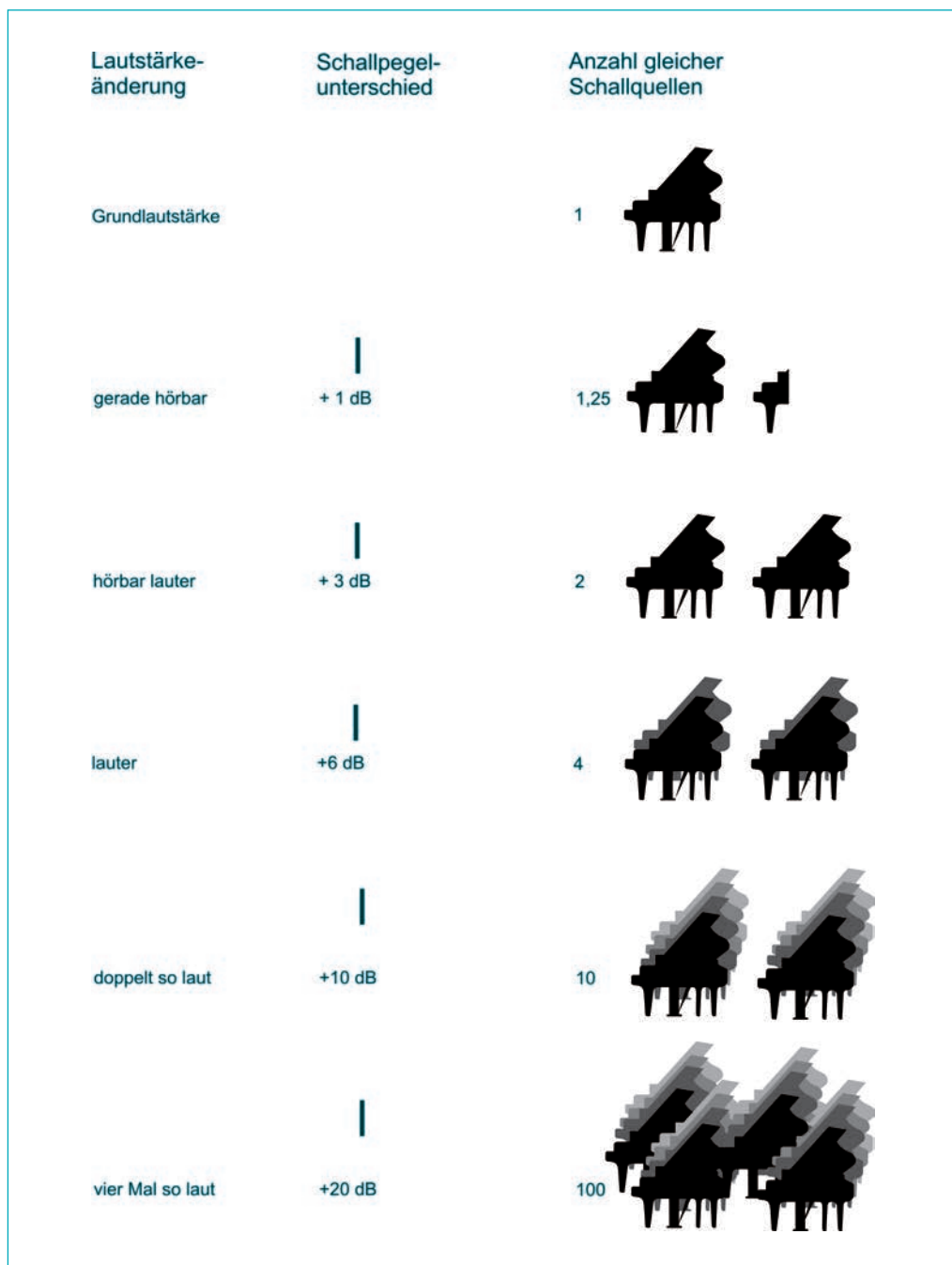


Abb. 139: Pegel in der Akustik. Bei einer Verdoppelung der Schallenergie vergrößert sich der Pegel um ca. 3 dB. Damit die Lautstärke etwa doppelt so laut empfunden wird, müssen 10 gleiche Schallquellen vorhanden sein.

Gut zu
wissen



Schallwelle

Größen einer Schallwelle

Frequenz

f

Hz

Schallgeschwindigkeit

v_c (c)

m/s

Schallauslenkung

ξ

m

Schallbeschleunigung

a

m/s²

Schalldruck

p

Schallfeldgröße

Pa

Schallschnelle

v

Schallfeldgröße

m/s

Schallfluss

q

Schallfeldgröße

m³/s

Schallenergie

W

Schallenergiegröße

J

Schallintensität

J

Schallenergiegröße

W/m²

Schallleistung

P_{ak}

Schallenergiegröße

W

Schallenergiedichte

E

Schallenergiegröße

Ws/m³

Schallimpedanz

Z

Impedanz

Ns/m³

Schalldruckpegel

L_p

dB

Die abgestrahlte Schallleistung (Schallintensität) ist die **Ursache**, der **Schalldruck** ist die Wirkung einer Schallquelle.

Formel Schalldruckpegel

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

$$p = 10^{\frac{L_p}{20}} * p_0$$

$$p_0 = 2 * 10^{-5} \text{ Pa}$$

Abstandsgesetz:

Der Schalldruck p nimmt mit $1/r$ mit der Entfernung zur Schallquelle ab.

Der Schalldruckpegel nimmt um 6dB bei Abstandsverdopplung ab.

Formel Schallschnellepegel

$$L_v = 20 \lg \frac{v}{v_0}$$

$$v = 10^{\frac{L_v}{20}} * v_0$$

$$v_0 = 5 * 10^{-8} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Abstandsgesetz:

Die Schallschnelle v nimmt mit $1/r$ mit der Entfernung zur Schallquelle ab.

Der Schallschnellepegel nimmt um 6dB bei Abstandsverdopplung ab.

Formel Schallenergiepegel

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0}$$

$$W = 10^{\frac{L_W}{10}} * W_0$$

$$W_0 = 10^{-12} \text{ J}$$

Abstandsgesetz:
Der Schallenergiepegel ist **entfernungsunabhängig!**

Formel Schallleistungspegel

$$L_{Pa} = 10 \lg \frac{P_a}{P_{a0}}$$

$$P_a = 10^{\frac{L_{Pa}}{10}} * P_{a0}$$

$$P_{a0} = 10^{-12} \text{ W}$$

Abstandsgesetz:
Der Schallleistungspegel ist **entfernungsunabhängig!**

Formel Schallintensitätspegel

$$L_J = 10 \lg \frac{J}{J_0}$$

$$J = 10^{\frac{L_J}{10}} * J_0$$

$$J_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Abstandsgesetz:
Die Schallintensität nimmt mit $1/r^2$ mit der Entfernung von der Schallquelle ab. Der Schallintensitätspegel nimmt um 6dB bei Abstandsverdopplung ab.

Beispiel Schalldruck und Schallschnelle

Der Schalldruck p von 80 dB berechnet sich zu:

$$p = 10^{\frac{L_p}{20}} * p_0 = 10^{\frac{80}{20}} * 2 * 10^{-5} \text{ Pa} = 2 * 10^{-1} \text{ Pa} = 0,2 \text{ Pa}$$

Die Schallschnelle v von 80 dB berechnet sich zu:

$$v = 10^{\frac{L_v}{20}} * v_0 = 10^{\frac{80}{20}} * 5 * 10^{-8} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 5 * 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Beispiel Schallenergie und Schallintensität

Die Schallenergie W von 60 dB berechnet sich zu:

$$W = 10^{\frac{L_W}{10}} * W_0 = 10^{\frac{60}{10}} * 10^{-12} \text{ J} = 10^{-6} \text{ J}$$

Die Schallintensität J von 60 dB berechnet sich zu:

$$J = 10^{\frac{L_J}{10}} * J_0 = 10^{\frac{60}{10}} * 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Beispiel**Schalldruckpegel**

Der Schalldruckpegel L_p von $p = 20 \text{ Pa}$ berechnet sich zu:

$$L_p = 20 \lg\left(\frac{p}{p_0}\right) = 20 \lg\left(\frac{20}{2 \cdot 10^{-5}}\right) = 120 \text{ dB}$$

Summenschallpegel

Der Summenschallpegel mehrerer (inkohärenter) Schallquellen errechnet sich aus der energetischen Addition der betreffenden Quellen. Liegen die Schalldrücke vor, so muss durch Quadrieren eine zur Energie proportionale Größe geschaffen werden, eine logarithmischen Addition der Quadrate der einzelnen Schalldrücke. Werden zwei Schallquellen addiert so kann maximal ein Pegelzuwachs von 3dB (genauer $10 \cdot \lg(2) = 3,01 \text{ dB}$) erreicht werden.

Formel**Pegeladdition ungleicher Schallquellen**

$$L_{J_{\text{ges}}} = 10 \lg\left(\frac{J_1 + J_2 + J_3 + \dots + J_n}{J_0}\right)$$

$$L_{p_{\text{ges}}} = 10 \lg\left(\frac{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + \dots + p_n^2}{p_0^2}\right)$$

$$L_{\text{ges}} = 10 \lg\left(10^{\frac{I_1}{10}} + 10^{\frac{I_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_n}{10}}\right)$$

Formel**Pegeladdition n gleicher Schallquellen**

$$L_{\text{ges}} = L_1 + 10 \lg(n)$$

Pegel jeder einzelnen Schallquelle L_1

$$\Delta L = 10 \lg n$$

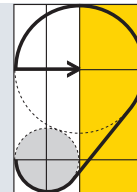
Pegeländerung ΔL

$$\Delta L = 10 \lg\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$$

Pegeländerung ΔL bei Änderung der Quellenzahl von n_1 auf n_2 Quellen

$$n = 10^{\frac{\Delta L}{10}}$$

Anzahl n der (gleichen) Quellen für eine gegebene Pegeländerung ΔL



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:

Lieferanschrift (falls abweichend):
Firma:
z. H.:
..... Straße/Nr.:
..... PLZ/Ort:
(Datum / Unterschrift Besteller/in)

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.