



KOMPENDIUM DER FLUGMEDIZIN

ZENTRUM FÜR LUFT-UND RAUMFAHRTMEDIZIN
DER LUFTWAFFE



Das Kompendium der Flugmedizin

ist seit mehr als einem Jahrzehnt DAS Basis- und Nachschlagewerk für den fliegerärztlichen Dienst der Bundeswehr und alle Interessierten, sowohl im Rahmen der Ausbildung, als auch im aktiven Dienst.

Darüber hinaus ist das Kompendium auch eine fundierte Informationsquelle für das Sanitätspersonal im besonderen Aufgabenbereich AirMedEvac (Patientenlufttransport), für die Höhenfallschirmspringer der Bundeswehr und für alle Luftfahrzeugbesatzungen.

Während sich die Physiologie des Menschen seit Jahrtausenden wenig verändert hat, schreiten die technologischen Entwicklungen immer schneller voran, so schnell, dass der Mensch mittlerweile in vielen Bereichen der schwächere Teil des Mensch-Maschine-Systems geworden ist. Das Kompendium stellt das „System Mensch“ im dreidimensionalen Raum in den Mittelpunkt. Es beschreibt die Leistungsfähigkeit dieses Systems, aber auch die Grenzen.

Das Kompendium der Flugmedizin ist ein interdisziplinärer Ansatz, die flugmedizinischen, flugphysiologischen und flugpsychologischen Aspekte zusammenzuführen, die sowohl für die Personalauswahl, Gesundheitsfürsorge und –versorgung von fliegendem Personal, die Betreuung von Patienten im Patientenlufttransport, als auch für die Schaffung und den Erhalt von Flugsicherheit von größter Bedeutung sind.

Hierzu gehören auch die Integration von Crew Resource Management (CRM) / Human Factors (HF) und Human Performance Enhancement (HPM).

Flugmedizin ist auf der einen Seite ein sehr komplexes Fachgebiet und auf eine hochspezialisierte Klientel hin ausgerichtet. Andererseits benötigt sie aber den allgemein- und rettungsmedizinisch kompetenten Arzt, um alle relevanten Aspekte integrativ miteinander zu verbinden. Nur in der Gesamtschau ist eine korrekte flugmedizinische Bewertung klinischer und physiologischer Befunde und Diagnosen unter Berücksichtigung operativer Rahmenbedingungen möglich, sowohl im Grundbetrieb, als auch im Einsatz.

Dieses Werk soll all denen, die sich den großen Herausforderungen fliegerärztlicher Tätigkeit stellen, Lehr- und Leitfaden, Nachschlagewerk und Gedächtnisstütze und Anregung für ihre tägliche Arbeit sein.

AUTOREN DES KOMPENDIUMS DER FLUGMEDIZIN

Kapitel / Titel	Autor der Urversion	Fachlich zuständige Stelle im ZentrLuRMedLw
1. Physik der Atmosphäre	H a.D. H. Köhler, RD a.D. Dr. H. Vitz, LRD a.D. Ungewitter	Fachgruppe I 1, FlugPhys Trainingszentrum
2. Atmung und Blutkreislauf	OTA a.D. Dr. R. Amendt, OFA G. Dörfler	Fachdezernat II 3 b, Innere Medizin
3. Sauerstoffmangel (Hypoxie)	OSA J. Kacirek, OFA Dörfler, OSA Dr. Ring, RD Dr. Vitz	Fachdezernat II 3 b, Innere Medizin
4. Sauerstoffsysteme und Druckkabinen	OTL a.D. R. Althoff, OTA Prof.Dr. H. Pongratz, H Meyer, MatALw	Fachgruppe I 1, FlugPhys Trainingszentrum
5. Auswirkungen von Luftdruck-Änderungen	H a.D. H. Köhler, OFA Dörfler, OFA Dr. Brix, OFA Hannig, RD Dr. Vitz, OTA Prof. Dr. H. Pongratz	Fachgruppe I 1, FlugPhys Trainingszentrum
6. Beschleunigungen und ihre Wirkungen	OFA d.R. Dr. W. Wurster, OFA Dörfler, RD Dr. Vitz, L Thymian, OTA Dr. Welsch	Fachgruppe I 1, FlugPhys Trainingszentrum
7. Rettungssysteme	OTL K.-J. Innecken	Fachdezernat III 1 c, Wehrpharmazie / MatEinsB / AIRMEDEVAC
8. Orthopädie	OFA Dipl.-Med. T. Pippig	Fachdezernat II 3 e, Orthopädie / Anthropometrie
9. Ophthalmologie	OTA a.D. Dr. R. Amendt, OSA Dr. Knebel, SA Dr. W. Wolff	Fachdezernat II 3 c, Augenheilkunde
10. Räumliche Orientierung / Desorientierung	OTL R. Althoff, H R. Heinrich	Fachgruppe I 1, FlugPhys Trainingszentrum
11. HNO – Lärm	OFA Dr. P. Frank, OTA Dr. W. Neye, OTA Hanschke , OSA Dr. C. Drost	Fachdezernat II 3 d, Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde

Kapitel / Titel	Autor der Urversion	Fachlich zuständige Stelle im ZentrLuRMedLw
12. Luftkrankheit	OFA Dr. P. Frank, OFA Dr. B. Brix	Fachdezernat II 3 d, Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde Fachdezernat II 3 f, Neurologie / Psychiatrie / Klinische Psychologie
13. Vibration	OFA Dr. P. Frank, OTA Dr. W. Neye, BOR G. Kroh, Ang H. Vaic	Fachdezernat II 3 d, Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde
14. Physiologie des Wärmehaushalts und die Auswirkungen extremer Temperaturen	OSA Dr. H. Osterberg, OTA Prof. Dr. H. Pongratz, OSA PD Dr. C. Ledderhos	Fachgruppe I 1, FlugPhys Trainingszentrum
15. Chronobiologie – Physiologische Rhythmen	ORR Dr. A. Rieck, OTA Prof. Dr. H. Pongratz OSA PD Dr. C. Ledderhos	Fachgruppe I 1, FlugPhys Trainingszentrum
16. Gesundheitliche Risikofaktoren und deren Vermeidung	OFA M. Hannig, OFA Dr. Hartmann	Fachdezernat II 3 b, Innere Medizin
17. Tropenmedizin	OFA Dr. M. Albrecht	Fachdezernat II 3 b, Innere Medizin
18. Belastung, Beanspruchung, Stress, Stressoren	ORR Dipl.-Psych. H.-P. Görres LRD Dr. D. Hansen, ORR Willkomm	Fachgruppe II 2, Flugpsychologische Begutachtung
19. Kurzer Abriss der Flugpsychologie	LRD a.D. Dr. K. Gerbert, LRD Dr. D. Hansen, ORR Willkomm	Fachgruppe II 2, Flugpsychologische Begutachtung
20. Neurologische und Psychiatrische Aspekte der Flugmedizin	OFA Dr. F. Weber, SA Dr. J. Metrikat	Fachdezernat II 3 f, Neurologie / Psychiatrie / Klinische Psychologie
21. Aeromedical Evacuation	GA Dr. E. Rödig, OFA M. Hannig	Fachdezernat III 2 b, Int FIMed Training
22. Wissenswertes aus der (Militär) – Fliegerei	H R. Heinrich, OFA Dr. B. Brix	Fachdezernat III 2 b, Int FIMed Training
23. Die wichtigsten Flugzeugmuster der Bundeswehr	OTL K.-J. Innecken, OSA Dr. John, OTL N. Feck, OF Bodenstern	Fachdezernat III 2 b, Int FIMed Training

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I - 1
Autoren des Kompendiums / Fachlich zuständige Stelle im Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe	II - 1 - 2
Kapitelübersicht	III - 1 – 18

Inhalt

Kapitel 1	PHYSIK DER ATMOSPHERE	1 - 1
1.1	Die Atmosphäre	1 - 1
1.1.1	Die Zusammensetzung der Atmosphäre	1 - 1
1.1.2	Die Struktur der Atmosphäre	1 - 2
1.1.2.1	Die Troposphäre	1 - 3
1.1.2.2	Die Stratosphäre	1 - 4
1.1.2.3	Die Mesosphäre	1 - 4
1.1.2.4	Die Thermosphäre	1 - 4
1.1.2.5	Die Exosphäre	1 - 4
1.1.2.6	Die Magnetosphäre	1 - 5
1.2	Der Luftdruck (Barometrischer Druck)	1 - 6
1.3	Das allgemeine Gasgesetz	1 - 9
1.3.1	Gesetz von BOYLE-MARIOTTE	1 - 9
1.3.2	Gesetz von CHARLES	1 - 11
1.3.3	Gesetz von DALTON	1 - 11
1.3.4	Gesetz von HENRY	1 - 12
1.4	Höhenmessung	1 - 13
1.4.1	Die Druckhöhe (Pressure Altitude)	1 - 13
1.4.2	Die Höhe über Grund (Absolute Altitude oder Altitude Above Ground Level, AGL)	1 - 13
1.4.3	Die wahre (tatsächliche) Höhe über dem Meeresspiegel (True Altitude MSL)	1 - 13

1.5	Die solare Einstrahlung	1 - 16
1.5.1	Sonnenstrahlung	1 - 16
1.5.2	Ultraviolette (UV-) Strahlung	1 - 16
1.6	Medizinische Aspekte für den Aufenthalt des Menschen in erdnahen und erdfernen Raum	1 – 17
1.7	Verwendete und weiterführende Literatur	1 – 18
Kapitel 2	ATMUNG UND BLUTKREISLAUF	2 - 1
2.1	Einführung	2 - 1
2.2	Atmungsorgane und Atemwege	2 - 1
2.2.1	Atemmechanik	2 - 2
2.2.1.1	Die Inspiration (aktive Atemphase)	2 - 2
2.2.1.2	Die Expiration (passive Atemphase)	2 - 2
2.2.2	Regelung der Atmung	2 - 3
2.2.3	Gaswechselgrößen	2 - 5
2.2.4	Die Zusammensetzung der Atemluft	2 - 5
2.2.5	Funktionskette Atmung und Kreislauf, Gasaustausch und Diffusionsgefälle	2 - 6
2.2.6	Hyperventilation	2 - 9
2.3	Der Blutkreislauf	2 - 11
2.3.1	Aufgaben des Blutkreislaufs	2 - 11
2.3.2	Das Blut	2 - 11
2.3.3	Das Hämoglobin	2 - 11
2.3.4	Herz und Gefäßsystem	2 - 13
2.4	Verwendete und weiterführende Literatur	2 - 16

Kapitel 3	SAUERSTOFFMANGEL (Hypoxie)	3 - 1
3.1	Hypobare und normobare Hypoxie	3 - 1
3.1.1	Die Stadien der hypoxischen Hypoxie	3 - 1
3.1.2	Sauerstoffpartialdrücke	3 - 3
3.1.3	Diffusionsgefälle und Höhe	3 - 5
3.2	Hypämische Hypoxie	3 - 6
3.3	Stagnierende Hypoxie	3 - 6
3.4	Histotoxische Hypoxie	3 - 7
3.5	Sauerstoffmangel -tabellarische Zusammenfassung	3 - 7
3.6	Symptomatik der Sauerstoffmangelsituation	3 - 8
3.7	Selbstrettungszeit	3 - 10
3.8	Sauerstoffatmung	3 - 11
3.9	Sauerstofftoxizität	3 - 13
3.10	Verwendete und weiterführende Literatur	3 - 14
Kapitel 4	SAUERSTOFFSYSTEME UND DRUCKKABINEN	4 - 1
4.1	Sauerstoffversorgungssysteme	4 - 1
4.1.1	Allgemeines	4 - 1
4.1.2	Typischer Aufbau eines Sauerstoffsystems	4 - 1
4.1.3	Arbeitsweise der O ₂ -Anlage	4 - 3
4.1.4	Die Atemmasken MBU-5/P und MPU-20/P	4 - 5
4.2	Kabinendrucksysteme	4 - 7
4.2.1	Druckkabinen	4 - 7
4.2.2	Besonderheiten von Druckkabinen	4 - 8
4.2.3	Rapide Dekompression	4 - 10
4.3	Verwendete und weiterführende Literatur	4 - 12

Kapitel 5	AUSWIRKUNGEN VON LUFTDRUCK-ÄNDERUNGEN	5 - 1
5.1	Auswirkungen nach dem Gasgesetz von BOYLE-MARIOTTE	5 - 2
5.1.1	Mittelohr	5 - 2
5.1.2	Nasennebenhöhlen	5 - 4
5.1.3	Die Zähne	5 - 4
5.1.4	Magen- Darm- Trakt	5 - 5
5.1.5	Lunge	5 - 6
5.2	Auswirkungen nach dem Gasgesetz von HENRY	5 - 7
5.2.1	Die Druckfallkrankheit	5 - 7
5.2.1.1	Symptome der Druckfallkrankheit	5 - 9
5.3	Druckkammern mit gesicherter 24-Stunden-Bereitschaft	5 - 13
5.3.1	Notfallzentren mit 24-Stunden-Bereitschaft und gesicherter intensivmedizinischer Aufnahmemöglichkeit	5 - 13
5.3.2	Druckkammern mit 24-Stunden-Bereitschaft und intensivmedizinischen Möglichkeiten	5 - 14
5.3.3	Druckkammern mit 24-Stunden-Bereitschaft ohne intensivmedizinische Möglichkeiten	5 - 15
5.4	Verwendete und weiterführende Literatur	5 - 16
Kapitel 6	BESCHLEUNIGUNG UND IHRE WIRKUNGEN	6 - 1
6.1	Definition der Beschleunigung	6 - 1
6.2	Arten der Beschleunigung	6 - 3
6.2.1	Die lineare (geradlinige) Beschleunigung	6 - 3
6.2.2	Die radiale Beschleunigung	6 - 3
6.2.3	Die rotatorische Beschleunigung	6 - 4
6.2.4	Die angulare Beschleunigung	6 - 4

6.3	Wirkrichtungen und Wirkachsen	6 - 4
6.3.1	Senkrechte Beschleunigungen	6 - 5
6.3.2	Sagittale oder Transverse Beschleunigungen	6 - 6
6.3.3	Laterale Beschleunigungen	6 - 6
6.4	Weitere Wirkfaktoren	6 - 7
6.4.1	Die Dauer der Einwirkung (Wirkzeit)	6 - 7
6.4.2	Die Geschwindigkeit, mit der die Beschleunigung zunimmt (Beschleunigungszuwachsrate)	6 - 7
6.4.3	Die Dauer des Maximums oder der Maxima der Fliehkraft-Einwirkung	6 - 8
6.4.4	Die exponierte Fläche des beschleunigten Körpers	6 - 9
6.5	Wirkungen von Beschleunigungen auf den menschlichen Organismus	6 - 10
6.5.1	Wirkungen positiver Beschleunigungen (+ G_z)	6 - 10
6.5.2	Wirkung negativer Beschleunigungen (- G_z)	6 - 16
6.5.3	Wirkung transversaler Beschleunigungen (+ G_x / - G_x)	6 - 17
6.6	Maßnahmen zur Erhöhung der positiven G_z-Toleranz	6 - 18
6.6.1	Technische Maßnahmen zur Erhöhung der positiven G_z -Toleranz	6 - 18
6.6.2	Persönliche Maßnahmen zur Erhöhung der positiven G_z -Toleranz	6 - 20
6.7	Grundlagen der Bewegungslehre	6 - 22
6.8	Verwendete und weiterführende Literatur	6 - 25
Kapitel 7	RETTUNGSSYSTEME	7 - 1
7.1	Geschichtlicher Überblick	7 - 1
7.2	Grundsätzliche Aufgaben eines Schleudersitz-Rettungssystems	7 - 3
7.3	Das Schleudersitzsystem	7 - 4
7.3.1	Systemkomponenten	7 - 4
7.3.2	Funktionsprinzip	7 - 7

7.3.3	Leistungsgrenzen	7 - 9
7.3.4	Rettungsausrüstung des Piloten	7 - 11
7.4	Verwendete und weiterführende Literatur	7 – 12
Kapitel 8	ORTHOPÄDIE	8 - 1
8.1	Einleitung	8 - 1
8.2	Orthopädisches Screening vor Aufnahme des fliegerischen Dienste (WFV I)	8 - 2
8.3	Orthopädische Nachuntersuchungen auf WFV am ZentrLuRMedLw	8 - 4
8.4	Strahlflugzeuge mit Schleudersitzen (Jet)	8 - 5
8.4.1	Rettungsausschuss mit dem Schleudersitz	8 - 5
8.4.2	G-Belastungen im Flugdienst	8 - 9
8.4.3	Helmgewicht /-masse und G-Belastung	8 - 9
8.4.4	Sitzhaltung im Jet	8 - 10
8.5	Wirbelsäulenbelastungen in Hubschraubern	8 - 10
8.5.1	Ganzkörpervibrationsbelastungen im Sitzen	8 - 11
8.5.2	Sitzhaltung im Hubschrauber	8 - 12
8.5.3	Helmgewicht /-masse und Kopfhaltung im Flugdienst	8 - 13
8.6	Belastungen beim Fliegen eines Transportflugzeuges der Bundeswehr	8 - 14
8.7	Zusammenfassung	8 - 14
8.8	Verwendete Literatur	8 - 15
Kapitel 9	OPHTHALMOLOGIE	9 - 1
9.1	Einführung	9 - 1
9.2	Anatomie	9 - 2
9.3	Flugmedizinische Besonderheiten	9 - 4
9.3.1	Tagsehtechnik – Scanning-Technik	9 - 4
9.3.2	Nachtsehtechnik – Exzentrische Fixation	9 - 5
9.3.3	Die Hell-Dunkel-Anpassung	9 - 5
9.3.4	Blendung	9 - 5

9.3.5	Sauerstoffmangel	9 - 6
9.3.6	Räumliches Sehen	9 - 7
9.3.6.1	Die scheinbare Objektgröße	9 - 7
9.3.6.2	Relative Bewegung	9 - 8
9.3.6.3	Höhenlage	9 - 8
9.3.6.4	Bekannte Objekte im Gesichtsfeld	9 - 8
9.3.6.5	Licht und Schatten	9 - 8
9.3.6.6	Verdeckung	9 - 8
9.3.6.7	Dunst und Nebel	9 - 8
9.3.7	Optische Täuschungen	9 - 8
9.3.7.1	Scheinhorizonte	9 - 9
9.3.7.2	Nicht abgrenzbarer Horizont	9 - 9
9.3.7.3	Reflexionen	9 - 9
9.3.7.4	Autokinese	9 - 9
9.3.7.5	Der Einfluss von Lichtintensität und Farbe	9 - 9
9.3.8	Schätzfehler beim Landeanflug	9 - 10
9.3.9	Crater Illusion	9 - 11
9.3.10	Latenzzeiten beim Sehvorgang	9 - 11
9.3.11	Fliegen mit Bildverstärker- (BiV-) Brille	9 - 12
9.3.12	Neue visuelle Systeme	9 - 14
9.4	Optische Abbildung und Fehlsichtigkeit	9 - 15
9.4.1	Korrekturmöglichkeiten	9 - 16
9.4.1.1	Brille	9 - 17
9.4.1.2	Kontaktlinsen	9 - 17
9.4.1.3	Operative Verfahren	9 - 18
9.4.2	Sehleistung, Sehschärfe, Grenzwerte	9 - 19

9.5	Farbsehen, Farbsinnstörungen	9 - 20
9.5.1	Erbliche Farbsinnstörungen	9 - 20
9.5.2	Erworbene Farbsinnstörungen	9 - 21
9.5.3	Farbsehen Glas-Cockpit	9 - 22
9.6	Begutachtungswesen	9 - 23
9.7	Laserschutz	9 - 24
9.8	Sondergenehmigungen	9 - 24
9.9	Ausblick	9 - 25
9.10	Verwendete und weiterführende Literatur	9 - 26
Kapitel 10	RÄUMLICHE ORIENTIERUNG / DESORIENTIERUNG	10 - 1
10.1	Einführung	10 - 1
10.2	Anatomie und Physiologie des Gleichgewichtsorgans	10 - 3
10.2.1	Die Bogengänge und ihre Funktion	10 - 3
10.2.2	Der Otolithenapparat und seine Funktion	10 - 5
10.3	Der Muskel-, Druck- und Tastsinn	10 - 6
10.4	Räumliche Desorientierung	10 - 7
10.4.1	Vestibulare Täuschungen	10 - 7
10.4.2	Weitere Erscheinungsformen der Räumlichen Desorientierung	10 - 12
10.5	Beitragende Faktoren	10 - 13
10.6	Hilfen zum Umgang mit räumlicher Desorientierung	10 - 19
10.7	Verwendete und weiterführende Literatur	10 - 20
Kapitel 11	HNO- Lärm	11 - 1
11.1	Klinische Untersuchung des äußeren Ohres, des Gehörganges und des Trommelfells, Hörprüfmethoden, auditive Wahrnehmung	11 - 1
11.1.1	Prüfung der luftvermittelten Schallübertragung- Schalltransfer - Physiologie:	11 - 3

11.1.1.1	Cochlea	11 - 3
11.1.1.2	Wanderwelle	11 - 4
11.1.1.3	Prüfung des Hörvermögens	11 - 4
11.2	Physikalische Messung und physiologische Beurteilung der auralen und extrauralen Wirkung von Schallwellen auf den menschlichen Körper	11 - 6
11.2.1	Definition	11 - 6
11.2.2	Schallwahrnehmung	11 - 9
11.2.3	Schallwirkung auf den Menschen	11 - 10
11.2.4	Lärmbelastung im Flugbetrieb	11 - 13
11.2.5	Gehörschutz/ Schallschutz	11 - 16
11.3	Verwendete und weiterführende Literatur	11 – 19
Kapitel 12	LUFTKRANKHEIT	12 - 1
12.1	Einführung	12 - 1
12.2	Definition	12 - 1
12.3	Symptome	12 - 1
12.4	Physiologische und physikalische Grundlagen	12 - 1
12.5	Entstehungstheorie/ Pathogenese	12 - 3
12.5.1	Vestibulär- vestibulärer Konflikt	12 - 4
12.5.1.1	Bogengang-Bogengang Konflikt	12 - 4
12.5.1.2	Otolithen-Bogengang Konflikt	12 - 5
12.5.1.3	Bogengang-Otolithen Konflikt	12 - 5
12.5.1.4	Otolithen-Otolithen Konflikt	12 - 5
12.5.2	Visuell-vestibulärer Konflikt	12 - 6
12.5.3	Vestibulär-visueller Konflikt	12 - 7
12.6	Vorbeugung und Therapie	12 - 8
12.7	Verwendete und weiterführende Literatur	12 – 10

Kapitel 13	VIBRATION	13 - 1
13.1	Physikalische Grundlagen	13 - 1
13.1.1	Schwingungsmechanik	13 - 1
13.2	Schwingungsübertragung	13 - 5
13.3	Einfluss der Vibrationen auf den menschlichen Körper	13 - 5
13.4	Expositionsgrenzwerte und Auslösewerte	13 - 6
13.5	Auswirkungen der Schwingungen auf den menschlichen Körper	13 - 6
13.6	Bewertung	13 - 7
13.7	Verwendete und weiterführende Literatur	13 - 8
Kapitel 14	PHYSIOLOGIE DES WÄRMEHAUSHALTS UND DIE AUSWIRKUNGEN EXTREMER TEMPERATUREN	14 - 1
14.1	Physikalische Grundlagen	14 - 1
14.2	Physiologische Grundlagen	14 - 2
14.3	Wärmeabgabe und Temperaturregulation	14 - 7
14.3.1	Strahlung	14 - 7
14.3.2	Konvektion	14 - 8
14.3.3	Konduktion	14 - 8
14.3.4	Verdunstung	14 - 8
14.4	Regelgrenzen und Fieber, Akklimatisation	14 - 9
14.4.1	Einwirkung von Kälte	14 - 9
14.4.1.1	Reaktion auf Kälte, Kälteadaptation	14 - 9
14.4.1.2	Pathophysiologie und Symptomatik von Kälteschäden	14 - 10
14.4.1.3	Unterkühlungen (Hypothermie)	14 - 10
14.4.1.4	Notfallmaßnahmen bei Hypothermie	14 - 11
14.4.1.5	Erste-Hilfe-Maßnahmen bei allen Patienten	14 - 11
14.4.1.6	Weitergehende ärztliche Maßnahmen bei Kälteschäden	14 - 13
14.4.1.7	Lokale Erfrierungen (frost bites)	14 - 13

14.4.1.8	Erste-Hilfe- Maßnahmen bei lokalen Erfrierungen	14 - 14
14.4.2	Vorbeugende Maßnahmen zur Verhütung von Hypothermie / Kälteschäden	14 - 14
14.5	Einwirkung von Hitze	14 - 15
14.5.1	Reaktion auf Hitze, Hitzeadaptation	14 - 15
14.5.2	Pathophysiologie und Symptomatik von Hitzeschäden	14 - 15
14.5.2.1	Hitzeerschöpfung	14 - 15
14.5.2.2	Hitzschlag	14 - 16
14.5.2.3	Sonnenstich	14 - 16
14.5.3	Die Behandlung von Hitzeschäden	14 - 16
14.5.3.1	Erste Hilfe bei Hitzeerschöpfung	14 - 16
14.5.3.2	Erste- Hilfe- Maßnahmen bei Hitzschlag	14 - 16
14.5.3.3	Erste- Hilfe- Maßnahmen bei Sonnenstich	14 - 17
14.5.3.4	Weitergehende ärztliche Hilfe bei Hitzeschäden	14 - 17
14.5.4	Vorbeugende Maßnahmen zur Verhütung von Hitzeschäden	14 - 17
14.6	Verwendete und weiterführende Literatur	14 – 19
Kapitel 15	CHRONOBIOLOGIE – PHYSIOLOGISCHE RHYTHMEN	15 - 1
15.1	Definitionen	15 - 1
15.2	Die „Innere Uhr“, ein biorhythmisches Phänomen	15 - 3
15.2.1	Periodische Grundphänomene	15 - 3
15.2.2	Beeinflussbarkeit der Rhythmen	15 - 4
15.2.3	Erschöpfung und Ermüdung - besondere biorhythmische Größe	15 - 7
15.2.3.1	Ermüdung als flugmedizinisches Problem	15 - 9
15.2.3.2	Ursachen der Ermüdung	15 - 9
15.2.3.3	Symptome der Ermüdung	15 - 11
15.2.3.4	Vermeidung von Müdigkeit	15 - 12
15.2.4	Nacht- und Schichtarbeit	15 - 12

15.3	Zeitverschiebung und Desynchronisation	15 - 14
15.3.1	Transmeridiane Flüge- Jet Lag	15 - 14
15.3.2	Transmeridiane Flüge und Dauermedikation	15 - 15
15.3.3	Leistungsflüge und Raumflüge	15 - 16
15.4	Verwendete und weiterführende Literatur	15 - 18
Kapitel 16	GESUNDHEITLICHE RISIKOFAKTOREN UND DEREN VERMEIDUNG	16 - 1
16.1	Gesundheit und Fliegen	16 - 1
16.2	Die Bedeutung richtiger Ernährung	16 - 2
16.3	Die Rolle eines ausreichenden körperlichen Trainings	16 - 3
16.4	Medikamente und Fliegen	16 - 4
16.5	Andere Noxen	16 - 5
16.6	Entspannungstechniken	16 - 6
16.7	Verwendete und weiterführende Literatur	16 - 7
Kapitel 17	TROPENMEDIZIN	17 - 1
17.1	Definition und historische Entwicklung	17 - 1
17.2	Ausgewählte Beispiele einsatzrelevanter Tropenerkrankungen	17 - 3
17.2.1	Malaria: (mala aria (ital.)= schlechte Luft)	17 - 3
17.2.2	Tropische Arbovirosen	17 - 4
17.2.3	Protozoonosen	17 - 5
17.2.4	Geschlechtskrankheiten (STD)	17 - 6
17.2.5	Durchfallerkrankungen	17 - 6
17.3	Präventionsmaßnahmen	17 - 7
17.4	Schlussfolgerungen	17 - 8
17.5	Verwendete und weiterführende Literatur	17 - 9
17.6	Relevante Vorschriften der Bundeswehr	17 - 10
17.7	Einige relevante Internetportale	17 - 10
17.8	Wichtige Adressen	17 - 10

Kapitel 18	BELASTUNG, BEANSPRUCHUNG, STRESS, STRESSOREN	18 - 1
18.1	Belastung und Beanspruchung	18 - 1
18.2	Stress, Stressreaktion	18 - 2
18.3	Allgemeines Anpassungssyndrom	18 - 2
18.4	Stressoren	18 - 3
18.5	Individuelle Unterschiede bei der Reaktion auf Stress	18 - 4
18.6	Stressbewältigung: das „Coping-Konzept“	18 - 4
18.7	Critical Incident Stress Management (CISM/nach Mitchell) Maßnahmen zur akuten Krisenintervention und zur Prävention posttraumatischer Belastungsstörung	18 - 5
18.7.1	Maßnahmen zur Krisenintervention	18 - 7
18.8	Verwendete und weiterführende Literatur	18 - 9
Kapitel 19	KURZER ABRISS DER FLUGPSYCHOLOGIE	19 - 1
19.1	Die Gegenstandsgebiete der Flugpsychologie, abgeleitet aus den Anforderungen der fliegerischen Tätigkeit	19 - 1
19.2	Die psychologische Auswahl des fliegenden Personals	19 - 4
19.3	Klinische Flugpsychologie	19 - 8
19.4	Flugpsychologie und Flugsicherheit	19 - 10
19.5	Verwendete und weiterführende Literatur	19 - 15
Kapitel 20	NEUROLOGISCHE UND PSYCHIATRISCHE ASPEKTE DER FLUGMEDIZIN	20 - 1
20.1	Allgemeines	20 - 1
20.1.1	Was muss im Einzelfall beurteilt werden?	20 - 2
20.1.2	Folgen der Gesundheitsstörung	20 - 2
20.1.3	Allgemeines Vorgehen bei Sondergenehmigungen	20 - 3

20.2	Neurologie	20 - 4
20.2.1	Untersuchungsverfahren	20 - 4
20.2.1.1	Fragebogen	20 - 4
20.2.1.2	Lebenslauf	20 - 5
20.2.1.3	Anamnese	20 - 5
20.2.1.4	Körperliche Untersuchung	20 - 5
20.2.1.5	EEG	20 - 6
20.2.1.6	Multimodal evozierte Potentiale	20 - 7
20.2.1.7	EMG / NLG	20 - 7
20.2.1.8	Ultraschall	20 - 7
20.2.1.9	Neuro-MRT	20 - 8
20.2.1.10	Labor	20 - 8
20.2.1.11	Neuropsychologie	20 - 9
20.2.1.12	Untersuchungsumfang	20 - 9
20.2.2	Krankheitsbilder	20 - 10
20.2.2.1	Schädelhirntraumen	20 - 10
20.2.2.2	Posttraumatische Epilepsie	20 - 11
20.2.2.3	Cerebrovaskuläre Erkrankungen	20 - 11
20.2.2.4	Neoplasien	20 - 11
20.2.2.5	Arachnoidalzysten	20 - 12
20.2.5.6	Neuromuskuläre Erkrankungen	20 - 12
20.2.5.7	„Degenerative“ Erkrankungen	20 - 13
20.2.5.8	Demyelinisierende Erkrankungen (MS)	20 - 13
20.2.5.9	Degenerative Wirbelsäulenerkrankungen	20 - 14
20.2.2.10	„Episodische“ Probleme / Migräne	20 - 14
20.2.2.11	Anfälle	20 - 15

20.3	Psychiatrie	20 - 16
20.3.1	Allgemeine Beurteilungsrichtlinien in der psychiatrischen Flugmedizin	20 - 17
20.3.2	Krankheitsbilder	20 - 17
20.3.2.1	Psychosen	20 - 17
20.3.2.2	Sucht und Abhängigkeit	20 - 19
20.3.2.2.1	CDT	20 - 21
20.3.2.3	Für die fliegerärztliche Praxis	20 - 22
20.3.2.4	Neurosen	20 - 24
20.3.2.5	Persönlichkeitsstörungen	20 - 24
20.4	Verwendete und weiterführende Literatur	20 – 25
Kapitel 21	AEROMEDICAL EVACUATION	21 - 1
21.1	Geschichte	21 - 1
21.2	Vorgaben aus der Politik	21 - 2
21.3	Aeromedical Evacuation in der Bundeswehr	21 - 2
21.4	Patienten- Transport- Einheit (PTE) und medizinische Ausrüstung	21 - 3
21.5	Die verschiedenen Bereiche der AirMedEvac und ihre Luftfahrzeuge	21 - 4
21.5.1	Forward Aeromedical Evacuation (FwdAirMedEvac)	21 - 4
21.5.2	Tactical Aeromedical Evacuation (TacAirMedEvac)	21 - 6
21.5.3	Strategical Aeromedical Evacuation (StratAirMedEvac)	21 - 7
21.6	Flugmedizinische Aspekte / Nine Stresses of Flight	21 - 9
21.6.1	Abnahme des Luftdrucks	21 - 9
21.6.2	Abnahme des Sauerstoff-Partialdrucks	21 - 9
21.6.3	Temperaturänderungen	21 - 10
21.6.4	Luftfeuchtigkeit	21 - 10
21.6.5	Lärm	21 - 10
21.6.6	Vibrationen	21 - 10

21.6.7	Müdigkeit	21 - 10
21.6.8	Beschleunigungen	21 - 11
21.6.9	„Third Spacing“	21 - 11
21.7	Grundlegendokumente / Quellen	21 - 12
Kapitel 22	WISSENSWERTES AUS DER (MILITÄR-) FLIEGEREI	22 - 1
22.1	Einführung	22 - 1
22.2	Der Flugplatz	22 - 1
22.2.1	Ein Flugplatz und seine Einrichtungen	22 - 1
22.2.2	Der Flugplatz- Kontrollturm (aerodrome control tower – TWR)	22 - 3
22.2.3	Die (Flugplatz-) Anflugkontrolle (GCA- Ground Controlled Approach)	22 - 3
22.2.4	Der Gefechtsstand	22 - 4
22.2.5	Die Flugabfertigung (Base Operations) (abgekürzt: Base Ops)	22 - 4
22.2.6	Die Geophysikalische Beratungsstelle (Wetterberatung)	22 - 5
22.2.7	Die Einsatzsteuerung	22 - 5
22.2.8	Das Cross-Servicing	22 - 5
22.2.9	Das „R + S“- Lager	22 - 5
22.2.10	Die Flugplatzfeuerwehr	22 - 6
22.2.11	Der Fliegerarzt	22 - 6
22.3	Der Ablauf eines Fluges (IFR)	22 - 7
22.3.1	Der Flugauftrag	22 - 7
22.3.2	Die Flugvorbereitung	22 - 7
22.3.3	Die Inbetriebnahme des Lfz	22 - 8
22.3.4	Start und Abflugverfahren	22 - 8
22.3.5	Streckenflug	22 - 10
22.3.6	Das Anflugverfahren	22 - 11
22.3.7	Die Beendigung des Flugauftrages	22 - 12

22.4	Flugregeln	22 - 13
22.4.1	Die Luftverkehrsordnung	22 - 13
22.4.2	Die allgemeinen Flugregeln	22 - 13
22.4.3	Sichtflugregeln	22 - 14
22.4.4	Instrumentenflugregeln	22 - 14
22.5	Der Hubschrauber	22 - 15
22.5.1	Konstruktions- und Antriebsmerkmale	22 - 15
22.5.2	Die Bauteile eines Hubschraubers	22 - 15
22.5.3	Die Aerodynamik des Hubschraubers	22 - 16
22.5.4	Die Steuerung eines Hubschraubers	22 - 16
22.5.5	Die Autorotation	22 - 17
22.6	Kleine Instrumentenkunde	22 - 18
22.6.1	Flug(überwachungs-)instrumente	22 - 18
22.6.2	Navigationsinstrumente	22 - 20
22.6.3	Triebwerküberwachungsinstrumente	22 - 21
22.6.4	Sonstige Instrumente	22 - 21
22.6.5	Anordnungen der Instrumente und Ausblick auf künftige Cockpitlayouts	22 - 22
22.7	Der militärische Such- und Rettungsdienst (SAR – Search and Rescue)	22 - 23
22.7.1	Rechtliche Grundlagen	22 - 23
22.7.2	Die Aufgaben	22 - 24
22.7.2.1	Einsatzarten zur Unterstützung des zivilen Rettungswesens	22 - 24
22.7.3	Die Ausrüstung	22 - 26
22.7.4	Die Bereitschaftszeiten	22 - 27
22.7.5	Die Alarmstufen	22 - 27
22.7.6	Der fliegerische Einsatz	22 - 28
22.7.7	Standorte SAR Kommandos	22 - 30
22.8	Begriffe und Abkürzungen in der Fliegersprache	22 – 31

Kapitel 23	DIE WICHTIGSTEN FLUGZEUGMUSTER DER BUNDESWEHR	23 - 1
23.1	Kampfflugzeuge	23 - 1
23.1.1	Panavia 200 „Tornado“	23 - 1
23.1.2	Eurofighter EF2000 „Typhoon“	23 - 2
23.2	Transport- und Verbindungsflugzeuge	23 - 3
23.2.1	Aérospatiale/ DASA: C-160D „Transall“	23 - 3
23.2.2	Airbus Industrie A310-304	23 - 4
23.2.3	Airbus A319 CJ (Corporate Jetliner)	23 - 5
23.2.4	Bombardier Global 5000	23 - 6
23.2.5	Airbus A340-300	23 - 7
23.2.6	P-3C „Orion“	23 - 8
23.2.7	Boeing E- 3A (Sentry) (AWACS- Airborne Warning and Control System)	23 - 9
23.2.8	Dornier Do 228	23 - 10
23.2.9	Airbus A 400M	23 - 11
23.3	Hubschrauber	23 - 12
23.3.1	Airbus Helicopters Bo-105 M (VBH-1) / Bo-105P (PAH-1)	23 - 12
23.3.2	Bell UH-1D „Iroquois“	23 - 13
23.3.3	Sikorsky CH-53G „Stallion“	23 - 14
23.3.4	GKN-WHL Sea King Mk.41	23 - 15
23.3.5	Westland Sea Lynx Mk. 88	23 - 16
23.3.6	Airbus Helicopters PAH 2 UH „Tiger“	23 - 17
23.3.7	Airbus Helicopters NH- 90	23 - 18
23.3.8	VIP Hubschrauber AS532 U2 Cougar	23 - 19
23.3.9	Eurocopter EC 135	23 - 20
23.3.10	EC 645 T2 LUH	23 - 21
23.4	Unbemannte Luftfahrzeuge	23 - 22
23.4.1	Heron 1	23 - 22
23.5	Weiterführende Literatur	23 - 23

11 HNO - LÄRM

Die HNO - fliegerärztliche Untersuchung gehört mit zu den anfänglichen Flugtauglichkeitsuntersuchungen. Die ersten Piloten berichteten über Ohrendruck und Schmerzen, deren Ursache der Einfluss der sich ändernden atmosphärischen Bedingungen war. Die militärischen Einsätze führten zu einer Häufung von Erkrankungen wie der chronischen Sinusitis und der Otitis media mit Abszessbildung, so dass von einer berufsbedingten Häufung dieser Erkrankungen gesprochen werden kann. Die Folge waren operationsbedingte Neuralgien des Nervus Trigeminus nach Nasennebenhöhlenrevisionen, chronische Otitiden und die Notwendigkeit zur Mastoidrevision mit der Komplikation wie Schalleitungs-schwerhörigkeit und Schallempfindungsstörungen. Die heutigen Operationsmethoden ließen diese Komplikationen selten werden.

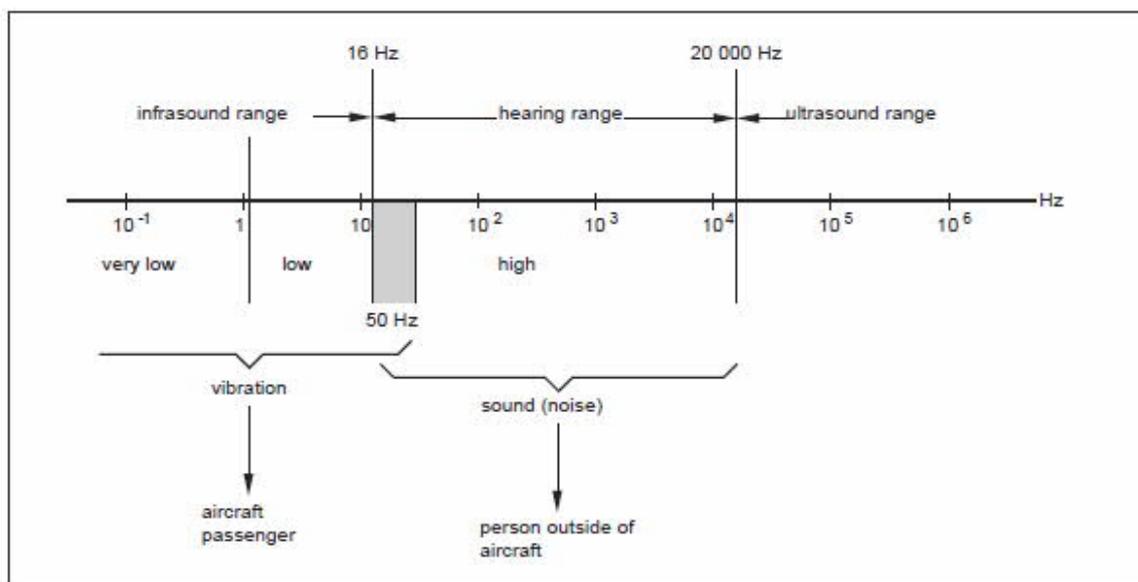


Abb. 11.1: Frequenzspektrum vom Materieschwingungen (Lärm und Vibration)

11.1 Klinische Untersuchung des äußeren Ohres, des Gehörganges und des Trommelfells, Hörprüfungsmethoden, auditive Wahrnehmung

Die otologische Untersuchung beginnt mit der Inspektion des äußeren Ohres, der Ohrmuschel und des Gehörgangseinganges, um die Passform der Kopfhörer und die ungehinderte Schalleitung zum Trommelfell sicherzustellen. Flugmedizinisch ist hier der sichere druckfreie Sitz der Kopfhörer und des Gehörgangschutzes maßgebend. Formveränderungen der Ohrmuschel und des Gehörgangseinganges können beispielsweise bei Kopfhörern (head sets) oder bei den "active noise reduction systems" Beschwerden und Funktionseinbußen hervorrufen. Schallschutzmaßnahmen werden durch Passungenauigkeiten unterlaufen und bewirken einen unzureichenden Schallschutz sowie ein nicht vorhandenes Sicherheitsgefühl. Ekzeme der Ohrmuschel oder des Gehörgangseinganges bedeuten flugmedizinisch eine Beeinträchtigung für das Tragen von Gehörgangschutzes. Zur flugmedizinischen Untersuchung gehört auch die Beratung hinsichtlich der Hygiene und Pflege. Das Tragen eines Gehörgangschutzes bedeutet die Bildung einer Feuchtkammer, wodurch eine Persistenz ebenso wie eine Chronifizierung von Gehörgangsekzemen begünstigt wird. Gehörgangsekzeme sowie chronische externe

Otitiden schränken das Tragen des Gehörgangsgeschützes ein und beeinträchtigen auch die Schallübertragung über den Kopfhörer oder den Helmlautsprecher.

Der äußere Gehörgang (vergl. Abb. 11.2) darf durch anatomische oder sonstige Veränderungen (z. B. Cerumen, Osteome) nicht verlegt sein, damit eine ungehinderte Schallübertragung auf das Trommelfell sichergestellt ist.

Gehörgangsveränderungen:

- behindern den Sitz von Gehörgangsgeschütz
- führen bei Entzündungen durch Bildung einer feuchten Kammer unter den Kopfhörern oder hinter dem Gehörgangsgeschütz zur verzögerten Ausheilung und begünstigen eine Chronifizierung.
- Gehörgangsverengungen durch Osteome und Anomalien behindern die Beurteilung der Trommelfelle und der Mittelohrbelüftungsprüfung - (Valsalvamanöver)

Flugmedizinisch relevant heißt hier, dass diese Veränderungen zu einer Behinderung der Kommunikation durch Behinderung der Schallübertragung auf das Trommelfell führen, oder eine Behandlungsnotwendigkeit mit Einschränkung der erforderlichen Schutzmaßnahmen (Kopfhörertragen oder Schallschutz) bedingen.

Die Trommelfelle sind normalerweise porzellanfarbig spiegelnd intakt ohne eine wesentliche Gefäßzeichnung. Bei der Otoskopie zeigt sich ein Licht-Reflex im vorderen unteren Quadranten. Die normale Belüftung des Mittelohres erfolgt über die Eustachische Röhre. Die Belüftung ist vom klinischen Aspekt gewährleistet, wenn das Valsalva-Manöver erfolgreich durchgeführt werden kann, erkennbar an einer Vorwölbung des Trommelfelles, gelegentlich auch an der Veränderung des Lichtreflexes.

- Neben dem Valsalva Versuch stehen noch andere Verfahren zur Verfügung, die die Druckverhältnisse in den Mittelohrräumen beeinflussen können:
Toynbee: Mittelohrunterdruck durch Öffnen der Tube mittels Sogaufbau im Epipharynx bei geschlossenem Mund und geschlossener Nase und unter aktiven Schluckakt. Dieser Versuch sollte durchgeführt werden, wenn bereits im Steigflug der in der Regel spontan entstehende Druckausgleich nicht funktioniert.
- Politzer-Maßnahme: : Ärztliche Maßnahme zur Wiederherstellung der Tubenfunktion durch Anwendung eines Politzerballons und gleichzeitiger Aufforderung einen K-Laut zu sprechen um den Abschluss des Epipharynx sicherzustellen. Rachenkolben nach Frenzel: Die Stuka-Piloten im 2. Weltkrieg hatten oft nicht die Möglichkeit mit einer Hand die Nase zu verschließen um bei den extrem hohen Sinkraten einen normalen Druckausgleich durchzuführen, da eine Hand den Steuerknüppel und die andere die Bombenklappe bedienen musste. Durch kräftige Dorsalverlagerung des Zungenrundes nach hinten oben konnte ohne zu Hilfenahme der Hände ein leichter Druck im Nasenrachen aufgebaut werden.

11.1.1 Prüfung der luftvermittelten Schallübertragung - Schalltransfer - Physiologie:

Nach Sicherstellung der freien Sicht auf das Trommelfell folgt die Beurteilung des Hörvermögens.

11.1.1.1 Cochlea

Die audiologische Untersuchung soll ein ausreichend sicheres, die Flugsicherheit nicht einschränkendes Sprachverstehen nachweisen. Die Ableitung des Reintonaudiogrammes wird über Kopfhörer mit Sinustönen in definierten Frequenzen und regelbarer Lautstärke in einem schallisolierten Raum vorgenommen. Dies ist die Prüfung der luftvermittelten Schallübertragung.

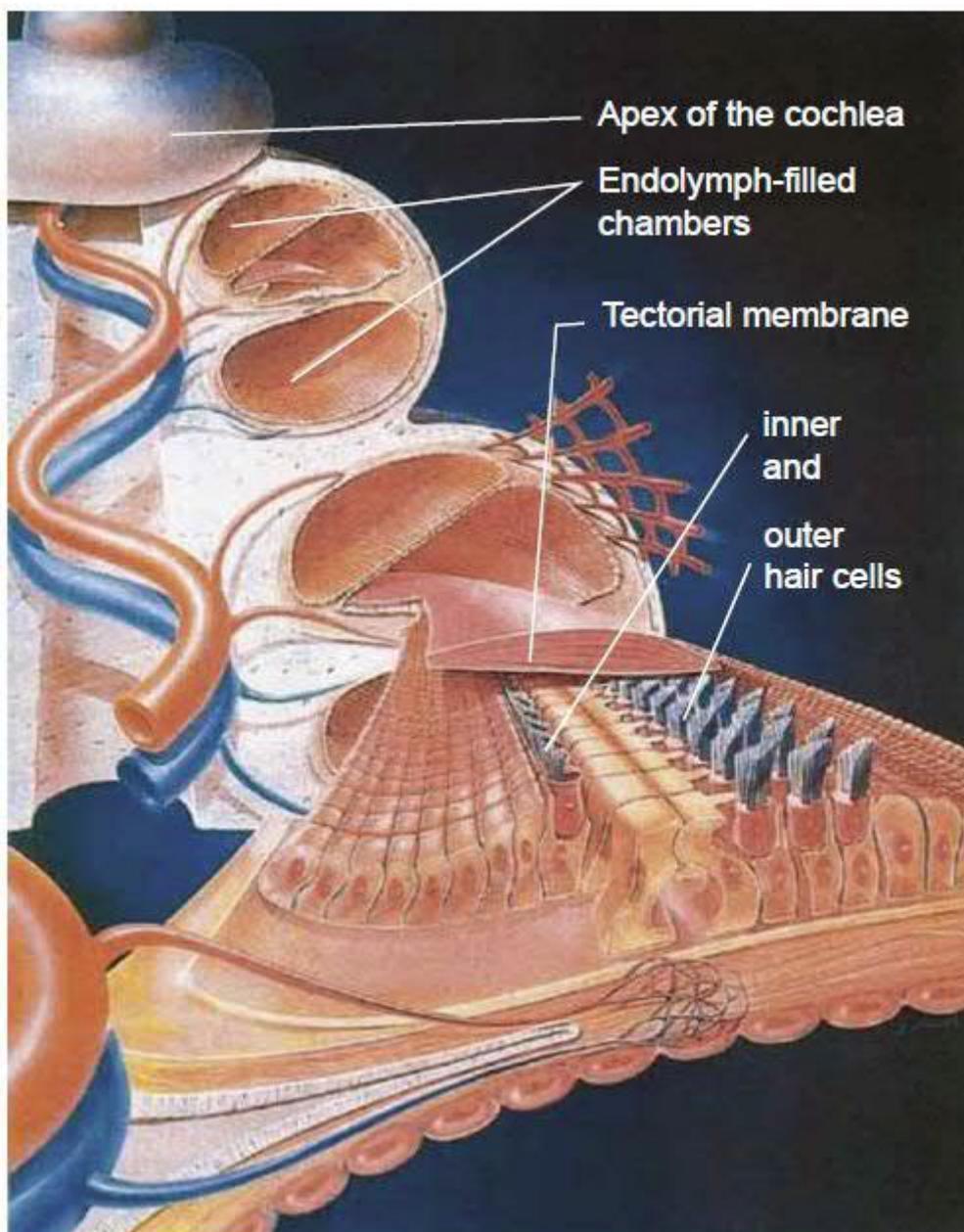


Abb. 11.2: Sectional view of the cochlea

Das Trommelfell dient zur Schalltransformation der Luftschwingung in die Masseschwingung der Gehörknöchelchenkette. Die Gehörknöchelchenkette leitet die Schallschwingung als Masseschwingung weiter und überträgt diese Schwingung über die Stapesfußplatte (im ovalen Fenster) auf die Flüssigkeitssäule der Cochlea, indem eine Flüssigkeitswelle (sog. Wanderwelle) vom ovalen Fenster ausgeht.

11.1.1.2 Wanderwelle

Die dabei entstehende Wanderwelle wird in der Cochlea in eine Sinusschwingung zerlegt. Im cochleären Resonanzbereich kommt es zu einer Erregung der Haarzelle mit Umwandlung der Energie in einen elektrischen Impuls, der dann über den Hörnerv fortgeleitet wird. Die durch den Schallimpuls entstandene Wanderwelle wird in der Cochlea reflektiert (gebunden an die intakte Funktion der äußeren Haarzelle) und kann als otoakustische Emission nachgewiesen werden.

11.1.1.3 Prüfung des Hörvermögens

Der physiologische Weg entspricht unter Flugbedingungen der Schallabgabe des Kopfhörerlautsprechers durch das Tragen des „head sets“ oder des Cockpitlautsprechers, wenn ohne „head set“ kommuniziert wird. Für die zivile Tauglichkeitsstufe Klasse 2 und LAPL - ist die Prüfung der Verständlichkeit ausreichend, wenn Umgangssprache jedes Ohr getrennt gemessen von 2 m Abstand mit dem Rücken zum Untersucher gewandt verstanden wird.

Über das Sprachverstehen erfolgt keine weitere Angabe oder Forderung.

Für die militärischen Richtlinien gelten folgende in der Zentralvorschrift A1-831/0-4008 Ziffer 347 a) und b) formulierten Bedingungen:

Audiometrische Grenzwerte die nicht unterschritten werden dürfen.

WFV 1 ¹

Hz	500	1000	2000	3000	4000	6000
dB	20	15	15	20	25	25

Werden bei Erstuntersuchung für WFV1 und WFV 3 diese Werte überschritten, gilt nachfolgende Tabelle 2² (WFV 2). Die Erteilung Tauglichkeit ist dann an folgende Auflagen gebunden:

- Verkürzte Untersuchungsfrist für die folgende Nachuntersuchung (12 Monate)
- Bereitstellung und Verwendung speziell ausgewählter Gehörschützer³
- Besondere Kontrolle der Benutzung am Arbeitsplatz
- Ggfs. Maßnahmen zur Verringerung des Tages-Lärm-Expositionspegels in
- Abstimmung mit dem Verband.

¹ Diese Grenzwerte entsprechen den berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen G 20 Tabelle 1 (bis zum 30. Lebensjahr) : Hörverlustgrenzwerte für Erstuntersuchungen; die Werte gelten für Luftleitung. Bei Schalleitungsstörung (Differenz zwischen Luft- und Knochenleitungskurve um mehr als 15 dB bei mehr als zwei Frequenzen) gilt die Knochenleitungskurve.

² Hörverlustgrenzwerte für Nachuntersuchungen

³ s. hier: „Ärztliche Beratung zur Anwendung von Gehörschützern BGI 823“, „Einsatz von Gehörschützern“ BGR 194, „Gehörschutzinformationen für Personen mit Hörverlust“ BGI 686 und „Gehörschutzinformationen“ BGI 5024.

WFV 2

In Anlehnung an die berufsgenossenschaftlichen Grundsätze G 20 darf der altersabhängige Hörverlustgrenzwert die in der unten angegebenen Tabelle dargestellten Werte nicht übersteigen.⁴

Lebensalter L in Jahren	Summe der Hörverluste bei 2,3, und 4 KHz in dB
$L \leq 20$	65
$20 < L \leq 25$	75
$25 < L \leq 30$	85
$30 < L \leq 35$	95
$35 < L \leq 40$	105
$40 < L \leq 45$	115
$45 < L \leq 50$	130
$L > 50$	140

Tabelle : Hörverlustgrenzwerte für Nachuntersuchungen gem. berufsgenossenschaftlicher Grundsätze G 20

Werden die Knochenleitungswerte überschritten ist ein ausreichendes Sprachverständnis im Störlärm (gem. o.a. Vorgabe) zu fordern.

Bei einer seitendifferenten Innenohrschwerhörigkeit ist eine retrocochleäre Störung auszuschließen. (z. B. durch Messung evozierter Hirnstammpotentiale)

Werden die Standardwerte bei Nachuntersuchungen nicht erreicht, so ist der Nachweis ausreichenden Sprachverständnisses mittels Sprachaudiometrie in Ruhe und mit zusätzlicher Geräuschkulisse erforderlich (Nr. 235). Im Übrigen gelten dann die geforderten Auflagen nach Ziff. 345(1). Dabei ist in folgender Weise zu prüfen:

Störgeräusch (hinterer Lautsprecher): weißes Rauschen von 65 dB

Nutzschallmessung (vorderer Lautsprecher): bei 80 dB mindestens 90 % Verständlichkeit für Einsilber, bei 90 dB kein Abfall der Sprachverständlichkeit über 5%. Die Kriterien der ZDv 46/32; 2.1 – G 20 Lärm – sind zu beachten.

Eine **Schalleitungsstörung** muss gesondert HNO-fachärztlich auf ihre flugmedizinische Relevanz, wenn möglich in Einrichtungen der Bundeswehr, geprüft werden.

Audiologische flugmedizinische Zusatzuntersuchungen:

Zur Überprüfung in Grenzfällen empfiehlt sich die Testung im Flugzeug, da insbesondere viele PPL-Flieger die Bordlautsprecher benutzen. Die Erfahrung aus mehreren Gutachten zeigt, dass mit dem Benutzen von Hörgeräten keine Hörverbesserung in einer Schallumgebung zu erreichen ist. Vorteile bei Schwerhörigen bietet die Benutzung von "active noise reduction Systemen". Die bessere Lautsprecherqualität mit gutem Abschluss des Ohrbereiches durch die Lautsprecherkapsel bedeutet neben einem begrenzten Schallschutz auch eine höhere Sprachverständlichkeit durch Minimierung des Störschalles. Eine Störschallreduktion bewirken die „active noise reduction Systeme“ nur bis zu einem Frequenzbereich bis ca. 1000 Hz. Das heißt allerdings nicht, dass man sich hinsichtlich einer adäquaten Hörgeräteversorgung bei Piloten zurückhalten sollte. Ein Cockpit mit Hörgeräten zu besteigen ist allerdings in den seltensten Fällen sinnvoll.

⁴ Bei Schalleitungsstörung s. Fußnote 1

11.2 Physikalische Messung und physiologische Beurteilung der auralen und extraauralen Wirkung von Schallwellen auf den menschlichen Körper

Lärm ist physikalisch - technisch nicht definiert, wie dies bei den Begriffen Ton, Klang, Geräusch oder Knall der Fall ist, und wie sie nachfolgend verwendet werden.

11.2.1 Definition:

Schall im eigentlich physiologisch-physikalischen Sinn bezeichnet eine periodische Dichte-, Druck- bzw. Formveränderung der Luft, von Flüssigkeiten und festen oder elastischen Körpern, die direkt oder indirekt (Körperschall) auf das menschliche Gehörorgan übertragen werden, und innerhalb bestimmter Grenzen und ohne Rücksicht auf die Art ihrer Erzeugung wahrgenommen werden. Sehr tiefe Frequenzen werden dabei durch die Resonanz der Haut- und Organdrucksensoren wahrgenommen. Außerhalb des menschlichen Fühl- und Hörbereiches liegt der Infraschall unterhalb und der Ultraschall oberhalb der menschlichen Wahrnehmung.

Für die Beschreibung des Schalles sind folgende Parameter von Bedeutung:

Die Amplitude ist der Weg um den die Teilchen ausgelenkt werden („Lautstärke“). Die Frequenz ist die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde gemessen in Hertz (Hz); den Abstand zwischen zwei Maxima oder Minima der Auslenkungswelle bezeichnet man als Wellenlänge (λ) Die Schalldauer beschreibt die Expositionszeit

Als Schalldruck werden die Druckschwankungen eines kompressiblen Schallübertragungsmediums (üblicherweise Luft) bezeichnet, die bei der Ausbreitung von Schall auftreten. Beurteilung einer Schallquelle:

Zur Beurteilung einer Schallquelle dient die Messung des Schalldruckes. Bei einem Schallpegelmessgerät dient das Mikrophon als Empfänger mit der Aufgabe die einfallenden Schalldrücke in eine elektrische Wechselspannung umzuwandeln und zur Anzeige zu bringen.

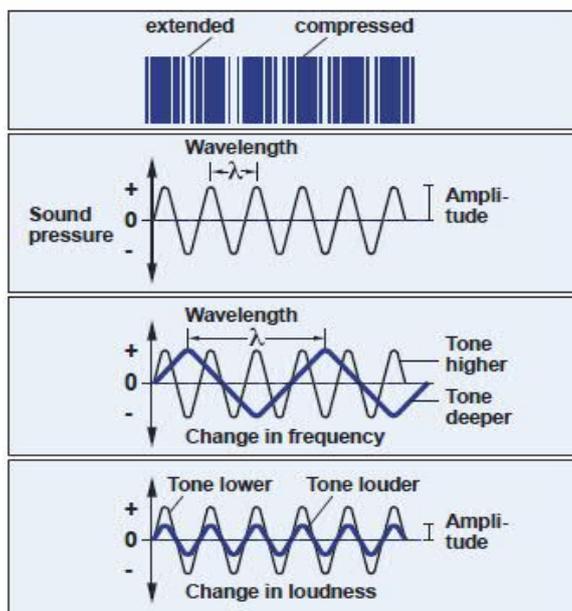


Abb. 11.3: Wellenlänge und Amplitude

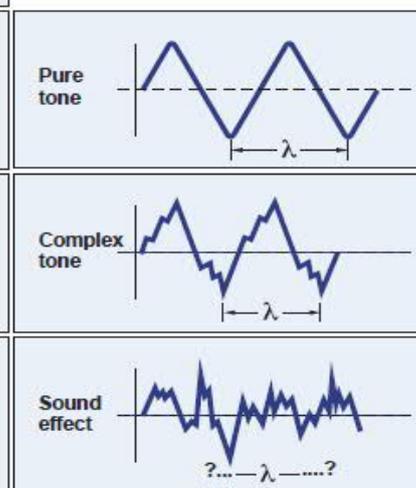


Abb. 11.4: Schwingungsformen in der Akustik

Die Schallmessung verfolgt deshalb zwei Zielrichtungen:

- Die Schallabstrahlung (Schallemission) dient der Beurteilung der Schallquelle
- Die Schalleinwirkung (Schallimmission) dient zur Beurteilung der Wirkung auf den Menschen

Zur Schallpegelmessung gehört deshalb neben der Angabe der gemessenen Frequenz, die Angabe des Schalldruckes auch bezogen auf die Druckaufbaucharakteristik und die Zeitdauer der Schalleinwirkung.

- Ton: Schall mit sinusförmigem Druckverlauf und einer im Hörbereich liegenden Frequenz
- Klang: Schall, bestehend aus mehreren harmonischen Tönen, d.h. aus Tönen, deren Frequenzen in einem ganzzahligen Verhältnis stehen.
- Knall: Schall mit kurzzeitigem, impulsförmigen Druckverlauf
- Lärm: Schalleindruck, der in psychologischer Sicht belästigend ist oder in medizinischer Sicht objektiv messbare vegetative Reaktionen auslöst und bei extremer Art vorübergehend oder dauerhaft das menschliche Ohr schädigt
- Geräusch: Schall, bestehend aus mehreren unharmonischen Tönen z.B. Zischen, Brummen, Rauschen
- Vibration: Vibration als eine besondere Form der periodischen Dichte-, Druck- bzw. Formveränderungen der Luft, von Flüssigkeiten und festen oder elastischen Körpern mit der Besonderheit der Schwingungsübertragung mit Resonanzbildung

Bezugspunkt in der Audiometrie und Schalldruckpegelmessung in Dezibel ist die menschliche Hörschwelle für 1000 Hz. Diese Größe wurde als Durchschnittswert hörgesunder Jugendlicher ermittelt und international mit

$$\begin{aligned} & \underline{2 \cdot 10^{-4} \text{ Pa Schalldruck}} \\ & \text{oder} \\ & \underline{2 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}^{-2} \text{ Schalleistung}} \end{aligned}$$

festgelegt.

Definitionsgemäß bedeuten damit 0 dB $2 \cdot 10^{-5}$ Pa Schalldruck.

Schallquelle	Schalldruckpegel* [dB (A)]
Absolute Stille, schalltoter Raum (schwollenstärke)	0
Flüstersprache, Taschenuhrenticken	20
Ruhiger Garten	30
Wohnquartier, ohne Verkehr	40
Radio, Zimmerlautstärke	50
PKW, 10 m	60
Starker Straßenverkehr, laute Radiomusik	80
Motorrad, Autohupe 5 m	100
Presslufthammer, Propellermaschine	120
Flugmotoren, Kesselschmiede, Beatmusik (2m Lautsprecherabstand) (Schmerzwelle)	130
Jettriebwerk	140

* Weitgehend identisch mit Lautstärkepegel in Phon

Abb. 11.5: Schalldruckpegel unterschiedlicher Quellen

Der menschliche Hörbereich in Schalldruck gemessen umfasst 7 Zehnerpotenzen, bei der Schallleistung aufgrund der Proportionalität zum Quadrat des Schalldruckes sind es 14 Zehnerpotenzen. Dabei hat man die „sehr variable“ Schmerzschwelle gewählt, die bei einem Schalldruck von

2×10^2 Pa

2×10^3 μ bar

2×10^{-2} Watt pro cm^2 erreicht wird.

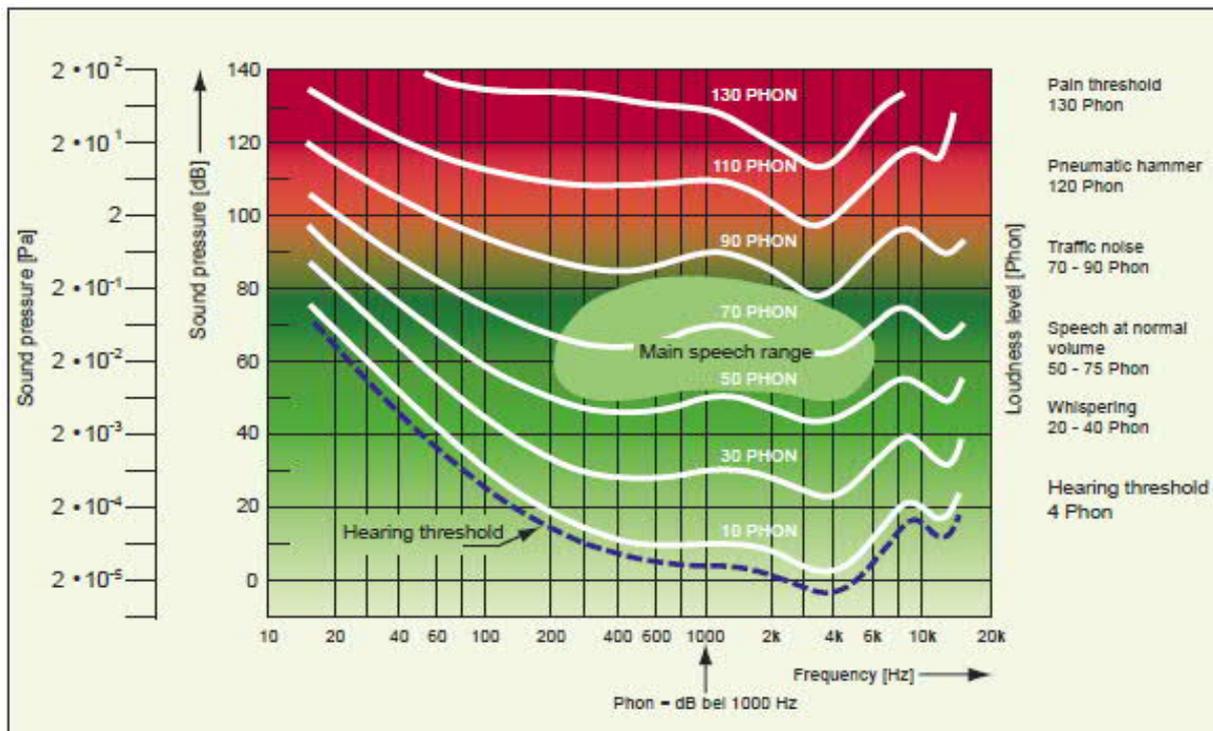


Abb. 11.6: Schalldruck, Schalldruckpegel und Lautstärke

Die cochleären Nervenzellen (Innenohrhaarzellen) reagieren somit in einem sehr weiten Schalldruckbereich. Aufgrund des großen Reaktionsumfanges des menschlichen Ohres wurde eine logarithmische Zahlenskala eingeführt und eine Pegelgröße definiert, die als relative Änderung einer Größe gegenüber einem Bezugswert derselben Größe angegeben wird. Die Darstellung der unteren und oberen Grenze des Hörbereichs stellt eine Beschreibungsgröße dar, zu der weiterhin das Hörfrequenzspektrum (cochleär wahrnehmbare Schallschwingung) gehört, welche das Frequenzspektrum der unteren Hörfrequenz von etwa 16 Hz bis 20 Hz bis zur oberen Hörfrequenz von etwa 16.000 Hz bis 20.000 Hz umfasst. Frequenzen unter 20 Hz werden vorwiegend im Fühlbereich der Drucksensoren wahrgenommen. Aus dem Verhältnis des gemessenen Schalldrucks (p) zum Schalldruck der unteren Hörschwelle (p_0) wird der Schalldruckpegel $L_p = 20 \times \lg p/p_0$ Dezibel (dB) errechnet, der Aufschluss über die Belästigung oder Gefährdung des Menschen in dieser Schallumgebung gibt. Der Schalldruckpegel wird in Dezibel (dB) angegeben. Infolge der Charakteristik der logarithmischen Maßeinheit bedeutet eine Verdoppelung des Schalldruckes eine Erhöhung des Schallpegels um 6 dB, eine 10-fache Erhöhung eine Erhöhung um 20 dB, eine 1000-fache Erhöhung einen Anstieg um 60 dB. Zur Beurteilung der psychologischen Wirkung einer Schallquelle dient die Analyse der Frequenzzusammensetzung.

Bewerteter Schallpegel (A)

Die Innenohrhaarzellen des Menschen reagieren im Frequenzbereich von 16 Hz bis 20 Hz bis 20000 Hz. Bei tiefen und hohen Frequenzen benötigen wir einen höheren Schalldruck, um die gleiche schwellenhafte Hörempfindung auszulösen. Diese physiologischen Messpunkte wurden im gesamten Frequenzspektrum und Empfindlichkeitsbereich nicht als physikalisch definierte Messpunkte ermittelt, sondern aus Reihenmessungen mit subjektiver Angabe der minimalen Aktivierungsenergie wie der maximalen Energie zur Auslösung des Symptoms - Schmerz. So ist der notwendige minimale Erregungsschalldruck bei 250 Hz und 10 kHz um 20 dB, also das 10-fache größer als im Hauptsprachbereich zwischen 1000 Hz und 4000 Hz. Um dieses Phänomen zu berücksichtigen, wurden in zahlreichen Testreihen mit Versuchspersonen Kurven gleicher Lautstärke entwickelt. Dabei wurde die Lautstärkenangabe so gewählt, dass sich numerische Gleichheit mit dem Schalldruck in Dezibel bei einer Frequenz von 1000 Hz ergibt. Die Einführung der Bewertungskurven hatte den Sinn bei einem Hörgesunden nicht eine physiologisch gekrümmte absolute Hörkurve sondern eine gerade Hörlinie abzuleiten. Der Hörverlust ist dann als Abweichung von der Geraden definiert und unmittelbar abzuleiten. Durch Einbau von Filtern in die Schallpegelmesser wird die Bewertung so verändert, dass der angezeigte dB(A)-Wert dem durchschnittlichen Hörempfinden möglichst nahe kommt. Als Beispiel soll das Empfinden unterschiedlicher Kabinengeräusche im Lfz-Muster C 160 „Transall“ (vorwiegend tieffrequent – zivil Turboprop Dash 8 oder ATR 42) oder beim Tornado (WS PA 200 „Tornado“) (vorwiegend höherfrequent – zivil vergleichbar den alten Triebwerken der Boeing 707) angeführt werden.

11.2.2. Schallwahrnehmung

Äußeres Ohr – Gehörgang	Erste Schallaufnahme durch trichterförmige Anordnung von Ohrmuschel und Gehörgang mit begrenzter akustischer Schutzfunktion.
Mittelohr	Schallverstärkung durch Überwindung des Impedanzverhältnisses zwischen Luft- und Flüssigkeiten (Verstärkung durch das Flächenverhältnis Stapesfußplatte/Trommelfell = 1:17 und Hebelwirkung zwischen Hammergriff und Amboßschenkel = 1:1,3 also insgesamt Verstärkung von 1:22)
Cochlea	Die von Schwingungen der Stapesfußplatte ausgelöste Wanderwelle erzeugt frequenztopisch (hohe Frequenzen an der Basis der Cochlea und tiefe Frequenzen im Bereich des Helikotrema) eine maximale Auslenkung der Basilarmembran und damit eine maximale Erregung der Haarzellen. Dabei dienen die äußeren Haarzellen als Vorverstärker für die inneren Haarzellen. In Abhängigkeit der angebotene Schallenergie kommt es zu einer Versteifung (hohe Energie) oder Lockerung (niedrige Energie) der äußeren Haarzellen. (Nichtlineare Schalltransformation.)
N.VIII pars cochlearis	Leitung der elektrischen Impulse
Hörbahn und Hörzentrum, auditiver Cortex	Umsetzung der elektrischen Nerven-potentiale zu einer nutzbaren Schall-Wahrnehmung, Erzeugung des Richtungshören über Laufzeitdifferenz zwischen rechts und links (Schwelle bei 30µs Laufzeitdifferenz bzw. Abweichung der Schallquelle um 3° aus der Mittellinie)

11.2.3 Schallwirkung auf den Menschen

Zur Beurteilung der Schallwirkung auf den Menschen ordnete Lehmann bereits in den fünfziger Jahren die Beschallungsreaktionen in ein Schema mit definierten menschlichen Individualreaktionen ein. Die psychischen Wirkungen sind schallunspezifisch und können auch durch andere Sinnesreize ausgelöst werden.

Stufe I:

30 - 65 dB(A): Psychische Wirkungen, Konzentrationsschwäche, Aufmerksamkeitsverlust, erhöhte Ermüdbarkeit, Schlafstörungen

Diese Wirkungen sind bei Aufenthalt im Schallfeld auslösbar und allein abhängig von der psychischen Verfassung, Intellekt und Einstellung zum Schallfeld.

Dabei werden Geräusche mit vorwiegend hohen Frequenzanteilen (Kreischen, Pfeifen) störender als tiefes Brummen oder Rauschen empfunden. Als besonders psychisch beeinträchtigend wirken pulsierende, diskontinuierliche und überraschende Geräusche. Schlafstörungen mit Minderung der Schlaftiefe treten z.B. bei Schichtdienst ein, da hier in einer physiologisch ungünstigen Phase der zirkadianen Rhythmik Einwirkungen auftreten. Die Beeinträchtigungen wirken sich als verstärkender Faktor unabhängig vom absoluten Schallpegel aus. Krankheitsverläufe können dadurch richtungsweisend verändert werden.

Stufe II: Vegetative Reaktionen, Hemmungen der Magenperistaltik und Speichelsekretion, Anstieg der diastolischen Blutdruckwerte,

65 - 90 dB(A)
ab 70 dB(A) Stoffwechselsteigerung periphere Gefäßverengung, Pupillenerweiterung, verminderte Hautdurchblutung

über 80 dB(A) Innenohrhaarzellschäden bei langjähriger Einwirkung

Die psychischen Einflüsse wirken auf das vegetative Nervensystem, je nach Konstitution in unterschiedlicher Stärke, im Sinne der Erhöhung des Sympathikotonus. Gesundheitsstörungen durch Schallereignisse können nur selten im Sinne einer Dosis - Wirkung - Beziehung ursächlich entschlüsselt werden. Ein ursächlicher Zusammenhang von Schallbelastung und Innenohrhaarzellschaden ist für eine Dauerbelastung über 80 dB (A) bei langjähriger Beschallung wahrscheinlich, sicher ab einer Beschallung über 85 dB (A) nachgewiesen. Andere Gesundheitsstörungen sind im Sinne einer Noxenaddition zu werten unter besonderer Berücksichtigung der psychischen Verfassung, die von der gegebenen Situation („ausgeliefert sein“), Persönlichkeitsstruktur, Einstellung zum Schallerzeuger und der Charakteristik des Schallemission. Eine Gewöhnung an Schallereignisse ist im Sinne einer Reaktionsabschwächung durch Ermüdung der Rezeptoransprechbarkeit mit Minderung der Schädlichkeit nicht nachgewiesen, für die Haarzelle gilt sogar die Addition der schädigenden Einwirkung - Schalltrauma.

Stufe III:

90 - 120 dB(A) Vorübergehende Hörschwellenabweichung (TTS) (Temporary Threshold Shift) - von Intensität und Dauer des Schallereignisses abhängig, Tinnitus, beginnende Störung des Sprachverstehens

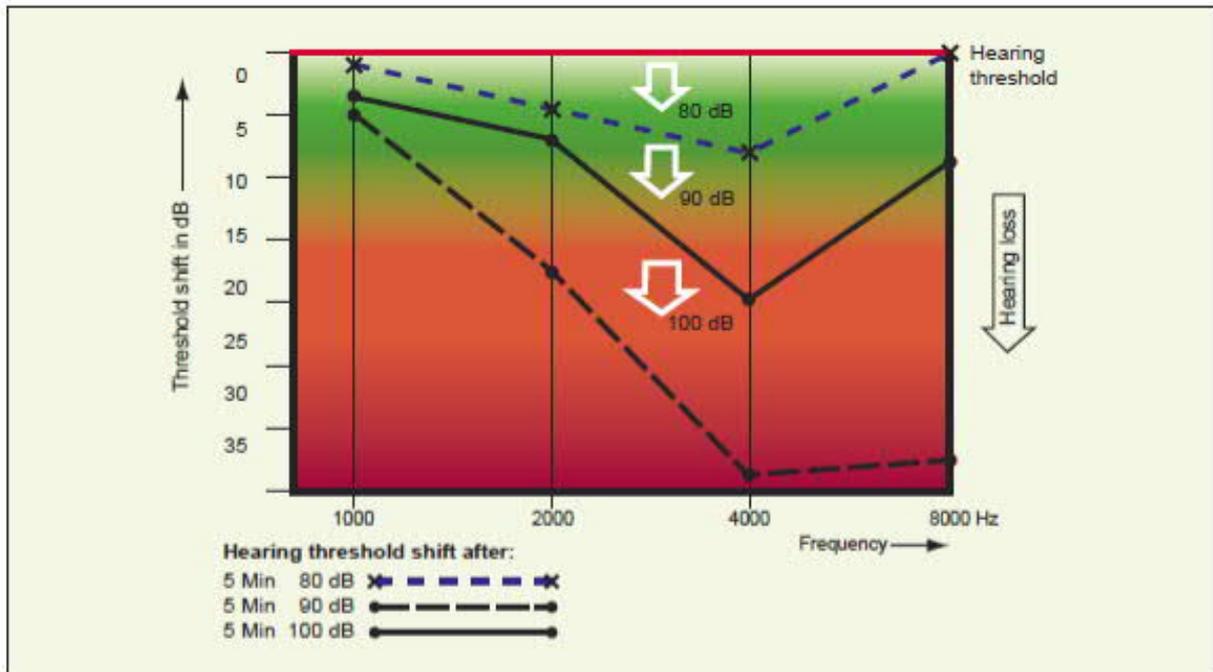


Abb. 11.7: Schwellenabwanderung nach 5 min Geräuschbelastung in Abhängigkeit von der Lautstärke (nach Nakamura)

Die vorübergehende Schwellenabwanderung geht der eigentlichen bleibenden Hörschädigung voraus und ist noch vollständig rückbildungsfähig. Als Ursache wird eine Stoffwechsellerschöpfung der Innenohrhaarzelle angesehen. Die Schwellenanhebung im Audiogramm ist der Nachweis der sich erholenden Innenohrhaarzelle oder die Regeneration der durch das Schalltrauma erloschenen „otoakustischen Emissionen“. Das Ausmaß des Schalltraumas ist abhängig vom Schalldruck und der Schalldruckaufbaucharakteristik sowie der Schalldauer und äußert sich subjektiv als Vertäubungsgefühl mit einem Tinnitus, der die Dauer der Schwellenabweichung überdauern kann. Wer mehrere Stunden in einem Auto fährt und Musik hört oder ohne Gehörschutz in der Transall mitgeflogen ist, kennt dieses Vertäubungsgefühl sicher.

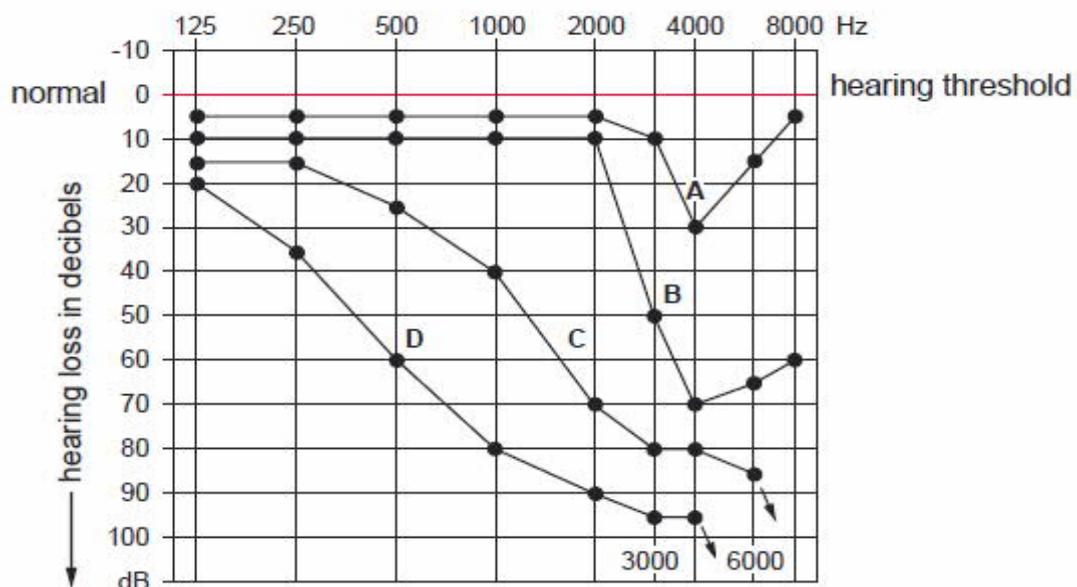


Abb. 11.8: Audiogramm eines fortschreitenden Hörverlustes bei langdauernder Lärmexposition

Stufe IV: 100 - 140 dB (A) Dauernde Schwellenabwanderung (Permanent Threshold Shift = PTS), irreversibler Strukturschaden der Innenohrhaarzelle, deutliche Störung des Sprachverstehens

Die dauernde Schwellenabwanderung ist Folge einer Zerstörung der Innenohrhaarzelle entweder durch ein singuläres Schalltrauma mit hohen Schalldrücken und steiler Schallaufbaucharakteristik oder durch wiederholte unterschwellige Schalltraumata im Zeitraum der vorübergehenden Schwellenabwanderung, sodass die vollständige „restitutio ad integrum“ nicht eintreten kann. Im Audiogramm findet sich dann eine Hörschwellenabsenkung im Bereich der Schädigungsstelle der Cochlea. Die Schädigungsstelle liegt im Bereich der Frequenz, die die maximale Resonanzschwingung in der Cochlea erzeugte.

Stufe V: ab 140 dB (A) Cerebrale Störungen, Bewegungsstörungen im Sinne von Koordinationsstörungen, Schwindel, bei tiefen Frequenzen Übelkeit und Beklemmungsgefühl oder Strukturschäden im Resonanzbereich der Organe

Die medizinischen Aspekte der Schallwirkung wurden zunächst im Schädigungsbereich der Cochlea erforscht, da hier eine Dosis-Wirkungs-Beziehung nachweisbar war und gute Schutzmechanismen anwendbar waren. Die psychischen Reaktionen treten unabhängig vom Gehörschutz auf und beeinträchtigen die zentralnervöse Informationsverarbeitung. Bei geistiger Tätigkeit im Schallfeld ab 85 dB (A) lässt sich eine erhöhte Störbarkeit bei der Bildung von z.B. Arbeitsstrategien feststellen. Schall wirkt vor allem in Verbindung mit anderen Faktoren, wie z.B.:

Aufgabenmerkmale	Schwierigkeit, Dauer, Wichtigkeit, Termindruck u.a.
Äußere Arbeitsbedingungen	Temperatur, Feuchtigkeit, Lichtverhältnisse, Tageszeit, u.a.
Persönliche Voraussetzungen	Qualifikation, Verantwortungsbewusstsein, Anspannung, Ermüdbarkeit, Koordination, u.a.

11.2.4 Lärmbelastung im Flugbetrieb

Die angeführten Daten stammen überwiegend aus Messberichten der Wehrtechnischen Dienststelle für Luftfahrzeuge (WTD 61) in Manching. Kritisch angemerkt werden muss, dass keine vergleichbaren Messdaten vorliegen.

Strahlflugzeuge im Nahbereich (15 m Radius)		
PA 200 „Tornado“	Leerlauf	96 dB(A) – 124 dB(A)
	85 %	106 dB(A) – 124 dB(A)
	Volllast mit Nachbrenner	117 dB(A) – 131 dB(A)
Im Flugzeugschutzbau		
	Leerlauf	116 dB(A) – 123 dB(A)
	85 %	129 dB(A) – 131 dB(A)
Hubschrauber	Im Nahbereich (10 m Radius)	
BO 105	Leerlauf	94 dB(A) – 114 dB(A)
	Volllast	102 dB(A) – 103 dB(A)
	Schwebeflug	100 dB(A) – 103 dB(A)
CH-53G	Im Nahbereich	
	Volllast	106 dB(A) – 108 dB(A)
	Im Freien (100 m Radius)	
UH-1D	NG 83 %	81 dB(A) – 83 dB(A)
	Im Nahbereich (10 m Radius)	
	Leerlauf	94 dB(A) – 107 dB(A)
	Volllast	101 dB(A) – 110 dB(A)
	Im Freien (100 m Radius)	
	Leerlauf	71 dB(A) – 79 dB(A)
	Volllast	74 dB(A) – 85 dB(A)
	Transportflugzeuge	
C 160 „Transall“	Volllast	98 dB(A) – 100 dB(A)
	Nahe GTG-Hilfsaggregat	
		118 dB(A)

Die extraauralen Messwerte wurden in unterschiedlichen Abständen und Laststufen gemessen. Aus der Vielzahl der unterschiedlichen Lärmquellen sollen nur einige typische und weit verbreitete genannt werden, und zwar an Arbeitspositionen des beteiligten Personals soweit die Schädlichkeitsgrenze von 90 dB(A) überschritten wird. Nach den ISO-Richtlinien wird der Standlärm in dB(A) von 15 ° zu 15 ° rund um die Maschine im Umkreis von 100 Metern ermittelt, dazu treten Messwerte in bestimmten typischen Arbeitsbereichen direkt an der Maschine auf. Die angegebenen Werte variieren je nach Bodenbewuchs, Windrichtung und Stärke des Windes sowie reflektierenden Flächen. Bei Standlärm mit Volllast liegen die höchsten Schallpegel seitlich hinter der Maschine in der Strahlvermischungszone, da hier starke Turbulenzen zwischen ruhender Umgebungsluft und Hochgeschwindigkeitsschubstrahl entstehen; nach vorne zu sind die Pegel um 10 bis 20 dB geringer. Im Leerlauf liegen die Gesamtpegel wesentlich niedriger.

Angeführt seien zudem einige arbeitsmedizinisch wichtige Bodenpersonalbelastungen, sofern nicht moderne schallgedämmte Maschinen genutzt werden.

Hilfsaggregate	Anlassgerät GTG		103 dB(A)
	Startbahnenteiser	Außen	118 dB(A)
		Im Fahrerhaus	96 dB(A)

Aus den vorliegenden Messwerten geht eindeutig hervor, dass das technische Personal besonders chronisch schalltraumatisch gefährdet ist. Das Tragen von Schallschutzkleidung, Gehörschutz sowie die berufsgenossenschaftliche Überwachung (G 20 Lärm) in regelmäßigen Abständen sind deshalb erforderlich.

Geräuschpegel im Cockpit in Ohrnähe der Piloten:

Flugbetriebsdaten		Schallpegel
PA 200	Horizontalflug 472 kt	105 dB(A)
CH-53G	Horizontalflug 170 kt / 2.500 ft	101 dB(A)
UH-1D	Horizontalflug 100 kt / 2.500 ft	98 dB(A)
BO 105	Horizontalflug 110 kt	104 dB(A)
C 160	Reiseflug 170 kt / FL 200	91 dB(A)

Die Flugzeugführer und Besatzungen tragen Helme oder Sprechgeschirre, bei denen die Hörkapseln in schalldämpfende Ohrpolster eingelassen sind. Ein Helm, der zuverlässig den Cockpitschall und den erforderlichen Sprachschallpegel auf einen akzeptablen und die Haarzellenfunktion nicht beeinträchtigenden Schalldruck reduziert, ist bisher nicht vorhanden. Für die meisten Luftfahrzeuge ist nach wie vor das Tragen von zusätzlichem Gehörgangsgehörschutz unter dem Helm erforderlich. Da der Gehörschutz aus PU Schaumstoff physikalisch eine Überdämmung im Hochtonbereich bewirkt und damit das Sprachverstehen reduziert wird, hat sich in den meisten Luftfahrzeugen der Bundeswehr die Nutzung von Otoplastiken mit Filter (meist 15dB) durchgesetzt. Bei Nutzung dieser Form des Gehörschutzes kommt es **nicht** zu einer Überdämmung im Hochtonbereich und damit zu einer besseren Konsonantenverstehen, was für das Gesamtsprachverstehen im Gegensatz zum Vokalverstehen die entscheidende Rolle spielt. Die in anderen Flugzeugmustern verwendeten „headsets“ weisen eine zu geringe Schalldämmung auf, um von einer im Sprechfunkverkehr akzeptablen nicht cochleäre schädigenden Schallbelastung zu sprechen. Daher gilt auch hier, dass die Benutzung von Gehörgangsgehörschutz zur cochleären Protektion erforderlich ist. Neben dem fliegenden Personal ist aber auch das technische Personal besonderen Schallbelastungen ausgesetzt. Das Tragen von Schallschutzkleidung, Gehörschutz sowie die audiometrische Überwachung in regelmäßigen Abständen sind deshalb arbeitsmedizinisch erforderlich.

Ergänzung - Hörschäden durch Impulsschall

Impulsschall ist jeder Soldat zumindest während seiner Grundausbildung bei der Schieß- und Sprengausbildung ausgesetzt. Danach ist die Impulsschallbelastung je nach Laufbahn sehr unterschiedlich. Kennzeichen des Impulsschalls ist die sehr kurze Schallaufbauzeit im Millisekundenbereich mit hohem Schalldruck. Besonders traumatisierend sind gedeckte Schießstände, weil hier durch Schallreflexion die Druckspitzen noch verstärkt werden. Technisches Personal in Flugzeugsheltern, Ausbildungspersonal beim Schießen gehört zum besonders gefährdeten Personenkreis für chronische Impulsschallschäden mit Innenohrhaarzelledegeneration schon nach kurzer ungeschützter Expositionszeit. Typisches Zeichen einer Impulsschallschädigung ist das unmittelbare Vertäubungsgefühl mit einem Begleittinnitus. Erste Hilfemaßnahme ist die sofortige Lärmkarenz und die notfallmäßige rheologische Behandlung. (Haftungsproblem, WDB-Anspruch). Das Zeitintervall zwischen Traumazeitpunkt und Therapiebeginn ist statistisch ein wesentlicher Faktor für die „restitutio ad integrum“. Die rheologische Therapie kann ohne vorhergehende Audiometrie nach Entfernung aus dem Lärmbereich begonnen werden. Der wesentliche Unterschied zwischen einem Schalltrauma und der Komplikation bei einem Explosionsschalltrauma ist die

Trommelfellzerreiung mit oder ohne Rundfenstermembranruptur. Die Innenohrhaarzellschdigung allein ist dagegen kein Unterscheidungskriterium, wohl aber ein pantonaler Hrverlust (Rundfenstermembranruptur bedenken).

Daten über Schusswaffenlrm (entnommen der Merkschrift: Lärmprobleme der Bundeswehr)

	Druckpegel [dB]	Wirkdauer [ms]
Pistole P1 am Ohr des Schtzen	163 dB(A)	0,2
Leuchtpistole, je nach Patronenart	156 dB(A) – 167 dB(A)	0,5 – 0,8
Gewehr G3, am linken Ohr des Schtzen	161 dB(A)	1,0
Maschinengewehr MG1 am Ohr d. Schtzen	155 dB(A)	1,5 – 2,0
Panzerfaust leicht, am Ohr des Schtzen	183 dB(A)	0,8 – 1,5
Panzerfaust schwer, am Ohr des Schtzen	187 dB(A)	2,0
Flak 40 mm, Richtschtze	170 dB(A)	1,0
Kanone 105 mm Panzer Leopard, Luke offen	150 dB(A)	30
Kommandant und Ladeschtze, Mrser 122 mm, leicht, in Mrsertrger, Luke offen, Richt- und Ladeschtze	180 dB(A) – 184 dB(A)	

Ein wirksames Hrschutzprogramm ist aus diesen Gründen im Rahmen der Streitkräfte notwendig.

Es muss umfassen:

- lrmmindernde Maßnahmen an der Schallquelle
- Benutzung von persnlichem Hrschutzmaterial wie Gehrganggehrschutz, Hrschutzkappen, Hrschutzkleidung
- audiometrische Überwachung des lrmgefhrdeten Personals nach G 20 (Lärm)

Als Lrmbereich wird nach der Unfallverhütungsvorschrift der Ort bezeichnet, an dem die fachkundige Ermittlung einen ortsgebundenen Beurteilungspegel von 85 dB(A) bzw. 90 dB(A) feststellte oder der Hchstwert des nicht bewerteten Schalldruckpegels mindestens 140 dB oder mehr ergab. Werden Personen im Lrmbereich beschäftigt, ist grundsätzlich die Gefahr einer Gehrschdigung gegeben. Während bei Beurteilungspegeln von 85 dB(A) bis 89 dB(A) Gehrschden nur bei langandauernder Lärmbelastung auftreten knnen, nimmt bei Beurteilungspegeln ab 90 dB(A) die Schnelligkeit der irreversiblen Innenohrhaarzellschdigung zu. Bei Beurteilungspegeln unter 80 dB(A) ist eine Schädigung nicht wahrscheinlich. Kritisch wird der Bereich zwischen 80 - 85 dB(A) beurteilt, da bei geringfügiger Unterschreitung von 85 dB(A) genetische Innenohrhaarzelldefekte schneller zur Ausprägung kommen knnen, ebenso wie man zunehmende Innenohrhaarzelldegenerationen in diesem Bereich nicht sicher bei Erkrankungen wie Hrsturz, Hrsturzrezidiv oder Morbus Meniere aber auch bei ausgedehnten Ohrradikalhhlen und beim Stapesersatz nicht allein der Grunderkrankung anlasten darf. Bei extrem hohen Schalldrücken von mehr als 140 dB (Knalle, Explosionen) knnen Gehrschden schon durch Einzelschallereignisse verursacht werden, in Einzelfällen auch bereits bei niedrigeren Schalldrücken.

11.2.5 Gehörschutz/Schallschutz

Von der Emissionsquelle breitet sich die Schallwelle aus und wirkt auf das Ohr und den menschlichen Körper. Die Schallwelle wird im Medium Luft fortgeleitet und trifft im Bereich der Ohrmuschel auf den Schalltrichter, der mit dem Gehörgang den Luftkanal zum Mittelohr bildet. Das äußere Ohr wird durch das Trommelfell vom Mittelohr getrennt. Das Trommelfell ist mit der sich anschließenden Gehörknöchelchenkette für die Transformation der luftvermittelten Schallwelle in eine mechanische Schwingung erforderlich, um eine Übertragung auf das Innenohr über die Stapesfußplatte zu ermöglichen. Die Stapesfußplatte als Endglied der mechanischen Gehörknöchelchenschwingungskette schließt den flüssigkeitsgefüllten Raum der Innenohrschnecke ab und überträgt die mechanische Schwingung als Flüssigkeitswanderwelle auf die Cochlea. Entspricht nun die Schwingungsamplitude der Wanderwelle einer Schneckenlokalisierung, bei der sich ein Resonanzphänomen zeigt, so führt diese Resonanzschwingung zu Scherkräften an den an der Basilmembran ansetzenden Innenohrhaarzellen. Die durch die Wanderwelle erzeugten Scherkräfte an den Innenohrhaarzellen sind der adäquate Reiz für die Transformation von mechanischer Energie in elektrische Energie durch Nerveneinzelzellentladungen. Die in der Cochlea erzeugten elektrischen Impulse werden in der Hörnervenbahn zu den höhergelegenen Hörzentren fortgeleitet und dort zu einem bewussten Höreindruck verarbeitet. Der Ort, an dem die mechanische Energie in elektrische Einzelpotentiale umgewandelt wird, ist unsere an der Basilmembran anheftende Innenohrhaarzelle. Wir wissen heute, dass hier nicht eine starre Verbindung vorhanden ist, sondern die Innenohrhaarzelle aktiv auf die durch die Wanderwelle erzeugten Scherkräfte reagiert und sich kontrahieren kann, wodurch eine energiearme aber messbare retrograde Wanderwelle gegen die Stapesfußplatte erzeugt wird. Die Abstrahlungsenergie wird bei der so genannten otoakustischen Emission gemessen. Nachdem die otoakustischen Emissionen als Phänomen der Innenohrhaarzelle zweifelsfrei sich bestätigten, wurden die lärmbedingten Innenohrhaarzellschäden ebenso wie die Degeneration erklärbar. Unser Mittelohr überträgt eine Schallwelle über die Gehörknöchelchenkette nahezu energieverlustfrei bis etwa 60 dB(A). Bei einer höheren Lautstärke wirkt ein Schutzmechanismus, der die an der Stapesfußplatte übertragene Energie zum Aufbau der Wanderwelle dämpft. Dieser Schutzmechanismus wird durch 2 Muskeln, den M. Stapedius und den Musculus tensor tympani erreicht. Die Kontraktion dieser Muskeln bewirkt eine Versteifung der Gehörknöchelchenkette und damit eine Verschlechterung der Schallübertragung. Das beide Muskeln durch den N. Facialis innerviert werden, wird klar, wenn z. B. nach einer peripheren Facialisparese über einer Hyperakusis geklagt wird. Wir lösen diesen Schutzmechanismus bei der Messung des Stapediusreflexes aus. Der Schutzmechanismus setzt eine Impulscharakteristik voraus, auf die das Ohr reagieren kann. Entwicklungsgeschichtlich haben die heutigen technischen Schalle eine andere Charakteristik, da sie einen sehr steilen Anstieg oder eine so hohe Energie besitzen, dass dieser Schutzmechanismus versagt und die Energie des Schallereignisses bis in die Cochlea fortgeleitet wird und mechanische Zerstörung verursacht. Typische plötzliche Schallereignisse sind Explosionen oder Knallereignisse wie Schüsse oder Sylvesterknallkörperentladungen; typische Dauerschallereignisse sind Niethämmer in der Industrie oder die Abstrahlungsenergie bei der Überprüfung von Strahltriebwerken oder beim Flugzeugstart die Voll-Last-Treibwerksleistung. Treffen diese Schallenergien auf das ungeschützte Ohr sind Einzelschallereignisse mit Dauerschäden verbunden und können zu dem lästigen posttraumatischen Tinnitus führen. Der Abstand von der Schallquelle ist dabei der entscheidende Faktor. Als eine mögliche Hypothese wird diskutiert, dass bei diesen Ereignissen die Energie der

Wanderwelle so groß ist, dass die Scherkräfte die Dehnungsfähigkeit der Haarzelle übersteigen und die Verbindung zur Basilarmembran reißt, wodurch die irreversible Zelldegeneration eingeleitet wird. Kommt es bei Explosionsereignissen zu starken Luftdruckanstiegen, so ist das elastische Schwingungssystem Trommelfell überfordert und zerreißt. Tritt dabei keine Rundfenstermembranruptur ein, so sind die Innenohrschäden oftmals geringer als bei Knallereignissen bei denen diese Rupturen auftreten. Die chronische Lärmschädigung ist auch durch die erneute Belastung in der Erholungsphase nach Lärmbelastung bedingt.

Zur Verdeutlichung einige Beispiele:

Jeder von uns kennt das Phänomen der Vertäubung nach langen Autofahrten mit gleichzeitigem Radiohören. Konzentrationsarmes Hören bedeutet eine Lautstärke etwa 5 - 10 dB(A) über der Umgebungslautstärke. Steigen wir aus dem Wagen bei einer Rast, werden wir feststellen, dass die unverändert belassene Lautstärke unangenehm laut empfunden wird, und wir regelnd eingreifen. Lärmarbeiter beschreiben dieses Phänomen ebenfalls dadurch, dass sie Reaktionen der Familienmitglieder beschreiben wie z.B. die Lautstärke des Fernsehers, die als zu hoch von unbelasteten Angehörigen empfunden wird. Oder sprechen sie den Walkman hörenden Jugendlichen an, dessen Musik sie gut auf einer Straße verstehen können, so benötigen sie eine höhere Lautstärke als bei anderen Personen im gleichen Umfeld. Audiometrieren nach Lärmbelastung und nach 12 - stündiger Ruhephase lässt dieses Phänomen objektivierbar und messbar werden. Kommt es nicht zu einer vollständigen Erholung, so erfolgt die nächste Lärmbelastung in einem chronischen Überlastungsbereich der Innenohrhaarzelle. Dies führt zur schleichenden Degeneration, die im Zelluntergang mit Funktionsverlust endet, wie wir es aus anderen Bereichen der Pathophysiologie bei Überlastung kennen. Nachfolgende Tabelle zeigt die personenbezogenen Beurteilungspegel bezogen auf 85 dB(A) Äquivalenzdosis:

88	dB(A)	4	h
91	dB(A)	2	h
94	dB(A)	1	h
97	dB(A)	30	min
100	dB(A)	15	min
103	dB(A)	7,5	min

Die heutigen Walkmen erreichen diese oberen Werte, sobald man im Straßenverkehr in ca. 1 m Abstand die Musik wahrnehmen kann. Die Wirkung des Hörschutzes durch den Fliegerhelm wird durch das Tragen von Gehörgangsgeschütz erhöht. Erklärbar wird daraus auch die Fehleinschätzung über den Nutzen von Hörgeräten. Die älteren Modelle verstärken ungefiltert sämtliche akustischen Signale, ohne dass eine Selektion und Abschwächung des Störschalles erfolgt. Neuere Modelle verstärken selektiv. Ungeachtet dessen bedeutet die Nutzung eines Hörgerätes die flugmedizinisch bedenkliche Situation der Einengung des akustischen Nutzfeldes durch die physikalisch bedingte Begrenzung durch den Hörgerätelautsprecher.

Das Benutzen eines Headsets bedeutet:

- Nutzung des größeren akustischen Nutzfeldes
- Nutzung der physikalisch höheren Dynamik
- Möglichkeit der Separierung von Störschall - und Sprachschallsignal ohne cochleäre Belastung

Die Nutzung von active noise reduction“ Systemen wird durch die Darstellung der Wirkung von Gehörgangsgeschütz ebenfalls relativiert. Die derzeit erhältlichen Systeme (Stand 10/2001) können lediglich im Frequenzband bis 750 Hz bis 1000 Hz einen frequenzversetzten Gegenschall produzieren, der zu einer akustischen Schallenergiereduktion führt. Bei höheren Frequenzen ist dieser Effekt nicht mehr nutzbar weil es dann zu einer Schallenergieverstärkung kommen würde. Bei der Entwicklung von Gehörschutzsystem darf das Helmgewicht nicht außer Acht gelassen werden damit die Halswirbelsäule nicht unnötig mit zusätzlichem Gewicht belastet wird. Hier sind bereits sinnvolle Systeme für der Nutzung in der Praxis umgesetzt. So werden im Helmsystem des Unterstützungshubschrauber Tiger sogenannte „personal fitted communication ear plugs (pCEP’s) verwendet Es handelt sich dabei um Otoplastiken mit integrierten Lautsprechern ähnlich Hörgeräten. Dadurch wird bei gleichzeitiger Gewichtersparnis eine ideale Trennung zwischen Störschall und Nutzschall erreicht.

Für den Betrieb als Arbeitsumgebung heißt es in der Unfallverhütungsvorschrift § 15 Schutz vor Lärm:

- In Betriebsräumen ist der Schallpegel so niedrig zu halten, wie es nach der Art des Betriebs möglich ist. Der Beurteilungspegel am Arbeitsplatz in Arbeitsräumen darf unter Berücksichtigung der von außen einwirkenden Geräusche höchstens betragen:
- bei überwiegend geistiger Arbeit 55 dB(A)
- bei einfachen oder überwiegend mechanisierten Bürotätigkeiten und vergleichbaren Tätigkeiten 70 dB(A)
- bei allen sonstigen Tätigkeiten 85 dB(A), soweit dieser Beurteilungspegel nach der betrieblichen möglichen Lärminderung zumutbarer Weise nicht einzuhalten ist, darf er bis zu 5 dB(A) überschritten werden.
- In Pausen-, Bereitschafts-, Liege- und Sanitätsräumen darf der Beurteilungspegel höchstens 55 dB(A) betragen.

Der berufsgenossenschaftliche Grundsatz G 20 – veröffentlicht bei den Berufsgenossenschaften und für die Bundeswehr in der ZDv 46/32 - legt fest, dass an einem Arbeitsplatz bei einer täglichen Arbeitszeit von 8 Stunden und einer Wochenarbeitszeit von 38,5 Stunden mit mehr als 85 dB(A) Dauerschallpegel (Lärm Arbeitsplatz) regelmäßige Untersuchungen und Nachuntersuchungen zu erfolgen haben. Die Untersuchungszeiträume sowie die nachzuweisenden Untersuchungen sind ebenfalls dort festgelegt. Die Angabe der Grenzwerte und ausschließenden Erkrankungen gibt ein festes Entscheidungskorsett vor. Legen wir die Bestimmungen der Unfallverhütungsvorschrift und des Grundsatzes G 20 (Lärm) zugrunde, bedeutet es für unser fliegendes Personal wie Bodenbetriebspersonal eine Beschallung während der täglichen Arbeitszeit, die vegetative Reaktionen auslösen kann (Lehmann). Dabei ist neben dem hörschädigenden Lärm auch ein Frequenz- und Lautheitsspektrum zu beachten, welches Wechselwirkungen auf die Innenohrhaarzellen sowie die Druck- und Fühlsensoren unseres Körpers ausübt. Die Beeinflussung menschlicher Organe, Organsysteme und physiologischer Funktionen betreffen den Resonanzbereich des Körpers. Die Mittelwerte liegen im Infraschallbereich, aber Fühlbereich für Ganzkörpervibrationen - 4 Hz Thorako-Abdominalbereich - 5 Hz und die Wirbelsäule - 12 Hz im unteren Hörbereich für den Kopf mit - 20 Hz für das isolierte Auge - 30 Hz und den Brustkorb - 60 Hz (Dupuis 1984).

Schallereignisse und Vibrationen führen bei:

1 – 3 Hz zu Atemnot	4 – 10 Hz zu erschwerten Atmung
4 – 9 Hz zu allgemeinem Unwohlsein	4 – 12 Hz zu Rückenschmerzen
13 – 20 Hz zu Muskelverspannungen, Kopfschmerzen und Sprachbeeinflussung	

11.3 Verwendete und weiterführende Literatur

- BMVg InSan I 2, 2001. *Wer gut hört hat mehr vom Leben*. Stand September 2001, DSK I 1408220033
- Bronkhurst, A. W., Veltman J. A. und van Breda L., 1996. Application of a Three-Dimensional Auditory Display in a Flight Task. In: *Hum Factors*, 38 (1); S. 23-33, 1996.
- Anon. 1989. *Verkehrs- und Arbeitslärm in der Nachbarschaft*. (Broschur) Naerum: Brüel & Kjaer.
- Burkett, P. R. und Perrin W. F., 1976. Hypoxia and Auditory Thresholds. In: *Aviat. Space Environ. Med.*, 47 (6), S. 649-51, 1976.
- Curry E. T. und Boys, F., 1956. Effects of Oxygen on Hearing Acuity at Simulated Altitude. Eye, Ear, Nose & Throat. In: *Monthly*, 35, S. 239-45, 1956.
- Fluur, E. und Adolfson J., 1966. Hearing in Hyperbaric Air. *Aerospace Medicine*, 37, S. 783-85, 1966.
- Fowler, B. und Lindeis, A.-E., 1992. The Effects of Hypoxia on Auditory Reaction Time and P300 Latency. *Aviat. Space Environ. Med.*, 63, S. 976-81, 1992.
- Fowler, B. und Prlic, H., 1995. A Comparison of Visual and Auditory Reaction Time and P300 Latency Thresholds to Acute Hypoxia. *Aviat. Space Environ. Med.*, 66 (7), S 645-50, 1995.
- Hanschke, W., 1997. Speech language hearing test results of active duty pilots failing the pure tone audiometry limits of ICAO guidelines Method, Problems and Limits to verify the waiver status. AGARD-CP-596 *Audio Effectiveness in Aviation*, 1997.
- Hoffmann, E., 1969. *Lärmprobleme bei der Bundeswehr: Merkschrift im Auftrag des BMVg*, 1969
- Kitahara, M., Ozawa, H., Kodama, A., Izukura, H., Inoue, S. und Uchida, K., 1994. Effect of Atmospheric Pressure on Hearing in Normal Subjects. *Acta Otolaryngol Suppl.* (510), S. 87-91, 1994.
- Klein, S., Mendelson, S. und Gallagher, T.J., 1961. The Effects of Reduced Oxygen Intake on Auditory Threshold Shifts in a Quiet Environment. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 54, S. 401-4, 1961.
- Klein, S., 1961. Effects of Reduced Oxygen Intake on Bone Conducted Hearing Thresholds in a Noisy Environment. *Percept Mot Skills*, 13, S.43-7, 1961.
- Lehmann, G., 1961. *Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin, I. Band: Arbeitsphysiologie*. Berlin/München/Wien: Urban & Schwarzenberg.
- Schmidtke, H., 1981. *Lehrbuch der Ergonomie*. München/Wien: Hanser.
- Smith, G. M. und Seitz, C. P., 1946. Speech Intelligibility Under Various Degrees of Anoxia. *J. Appl. Psychol.* , 30, S. 182-91, 1946.
- Smith, G.M., 1946. The Effect of Prolonged Mild Anoxia on Speech Intelligibility. *J. Appl. Psychol.* , 30, S. 255-64, 1946.
- Thomas, W. G., Summitt, J. und Farmer, J. C., 1974. Human auditory thresholds during deep, saturation helium-oxygen dives. *J Acoust Soc Am.*, 55 (4), 1974.
- Wagstaff, A., Tvette, O. und Ludvigsen, B., 1996. The Effect of a Headset Leakage on Speech Intelligibility in Helicopter Noise. *Aviat. Space Environ. Med.*, 67, S.1031 1038, 1996.