



Human Performance & Limitations (HPL)

Menschliches Leistungsvermögen

Marco Vornkahl

18.01.2015



Literatur und Quellen

- **Flug ohne Motor; Winfried Kasserer. Motorbuchverlag**
- **Der Privatflugzeugführer: Band 8 – Menschliches Leistungsvermögen; Jan Kupzog. Luftfahrtverlag**
- **<http://www.sportmedpraxis.com>**
- **<http://www.flugmedizin.org>**



Inhaltsverzeichnis

1. Einführung in HPL
2. Das Steuerzentrum
3. Die Erdatmosphäre
4. Die Atmung
5. Flugphysiologie: Atmung
6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper
7. Überleben in der Atmosphäre
8. Beschleunigungen
9. Gleichgewichtssinn und Orientierung
10. Sehsinn
11. Gehör
12. Physiologische Belastungen
13. Mentale Belastungen und Training
14. Fehlervermeidung / Fehlerkorrektur



1. Einführung in HPL





1. Einführung in HPL

- Anteil „Faktor Mensch“ an Gesamtzahl der Flugunfälle?
 - **ca. 80 % !!!**
- Motivation des Unterrichtsfaches HPL:
 - Verringerung dieses Prozentsatzes über Kenntnisse der Funktionsweise des menschlichen Körpers und die ihn beeinflussenden Faktoren
- Der menschliche Körper und seine Organe sind nicht für das Fliegen konzipiert
 - **Daher: Reaktion und Funktion der Sinnesorgane im Flug kennen und verstehen**

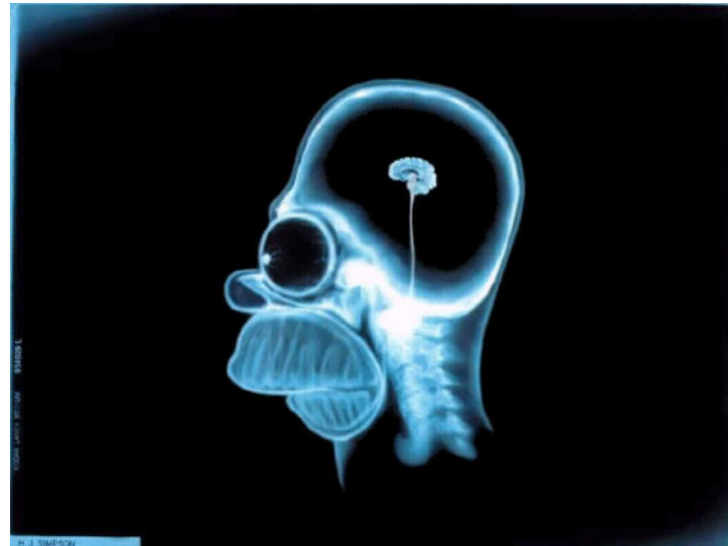


1. Einführung in HPL

- Psychische Faktoren führen jedoch die Unfallursachen bei „Human Factors“ Unfällen an
 - Selbstüberschätzung
 - Disziplinlosigkeit
 - Unangreifbarkeit
- Mentales Training ist sehr wichtig für die Vermeidung von Flugunfällen

2. Das Steuerzentrum

Zentralnervensystem, peripheres Nervensystem, Hormonsystem,
Lernen und Gedächtnis





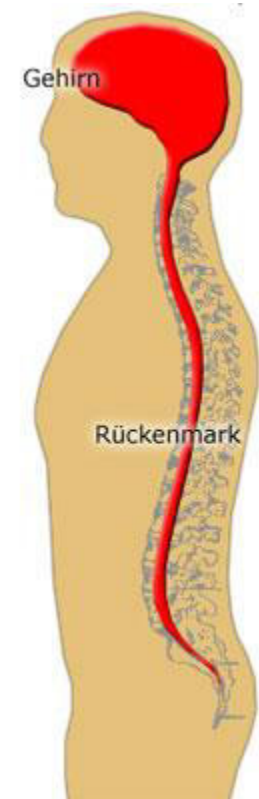
2. Das Steuerzentrum

- Das Steuerzentrum des Menschen besteht im wesentlichen aus 3 Komponenten:
 - Das Zentralnervensystem (ZNS)
 - Das periphere Nervensystem
 - Vegetatives Nervensystem (VNS)
 - Somatisches Nervensystem
 - Das Hormonsystem (endokrines System)

2. Das Steuerzentrum

2.1 Das Zentralnervensystem (ZNS)

- Gehirn und Rückenmark bilden das ZNS
- Zentraler Teil der „Schaltzentrale“ des Menschen
- Steuerung der Organe und des Bewegungsapparates
- Umwelteinflüsse werden über Sinnesorgane aufgenommen und über Nerven (Neuronen) an das Gehirn weitergeleitet
- Gehirn selektiert und gewichtet diese Signale





2. Das Steuerzentrum

2.2 Das periphere Nervensystem

- Vegetatives Nervensystem (VNS)

- Auf empfangene Reize wird unwillkürlich reagiert (Reflex)

- Bsp.: Blutdruckerhöhen nach dem aufstehen, Aktivierung der Schweißdrüsen bei Hitze

- Somatisches Nervensystem (nicht relevant)



2. Das Steuerzentrum

2.3 Das Hormonsystem

- Steuert Körperfunktionen wie Stoffwechsel, Wachstum
- Steuerprozesse wesentlich langsamer als ZNS/VNS



3. Die Erdatmosphäre

Aufbau, ICAO-Standardatmosphäre, Zusammensetzung der Luft

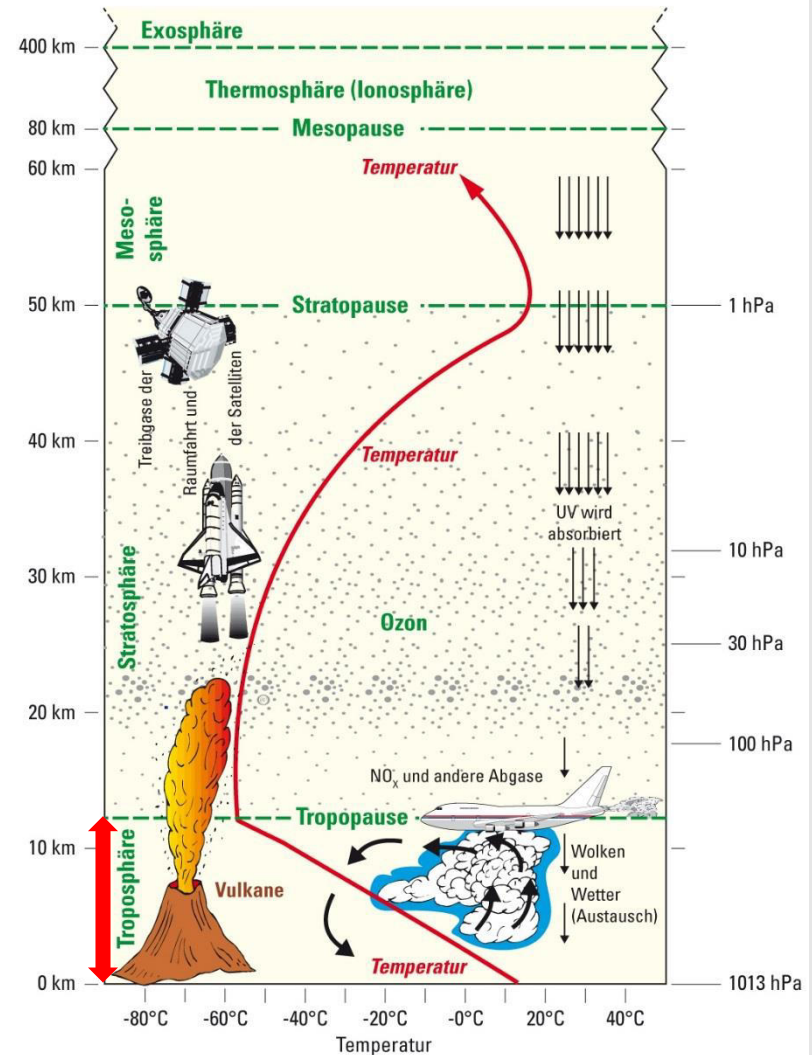


3. Die Erdatmosphäre

3.1 Aufbau der Atmosphäre (1)

- Troposphäre
 - 0 - 36000 ft (ca. 11 km)
 - Temperatur sinkt von 15 °C auf -56,5 °C
 - Temperaturabnahme 2 °C pro 1000 ft (ca. 0,65 °C pro 100 m)
 - Luftdruck halbiert sich alle 18000 ft (5500 m)

- Tropopause
 - Grenzschicht zur Stratosphäre
 - Temperatur bleibt konstant (Isothermie)
 - Luftdruck fällt weiterhin

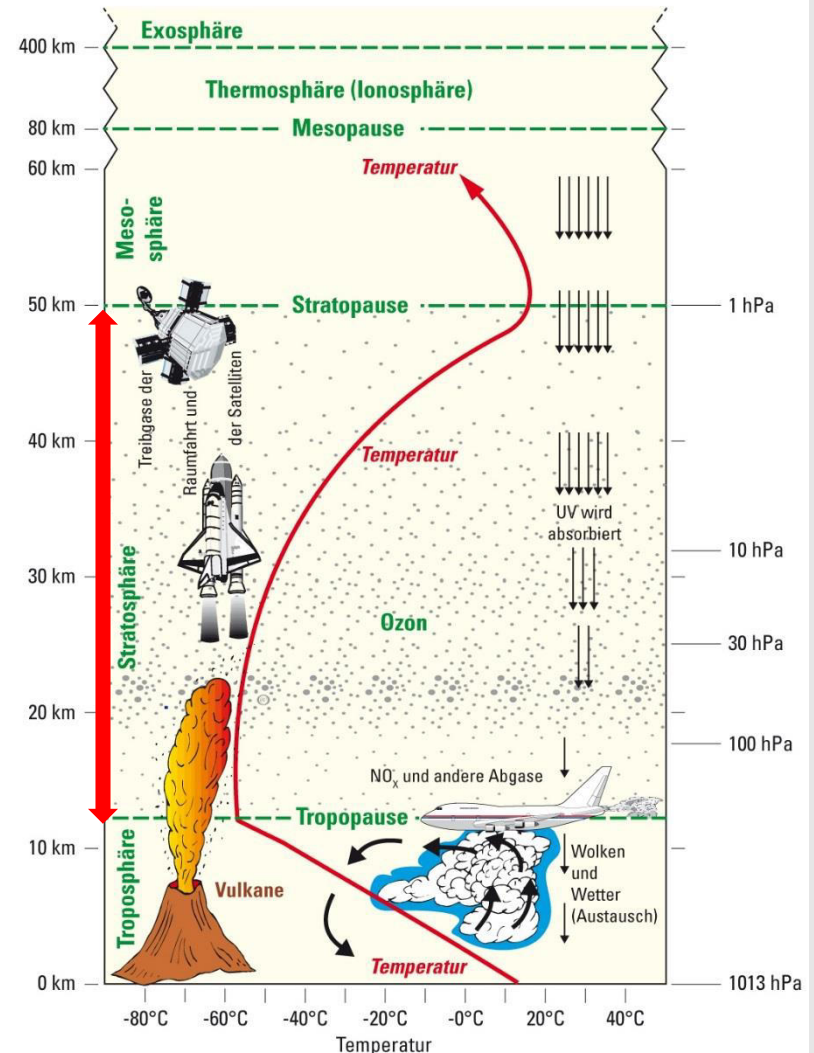


3. Die Erdatmosphäre

3.1 Aufbau der Atmosphäre (2)

- **Stratosphäre**
 - Ende Tropopause – 165 000 ft (5 km)
 - Temperaturanstieg (Inversion)
Grund: Entstehung von Ozon (UV-Licht)
 - Luftdruck halbiert sich alle 18000 ft (5500 m)
 - Sehr trockene Luft, daher kaum Wolken

- **Stratopause**
 - Grenzschicht zwischen Stratosphäre und Mesosphäre





3. Die Erdatmosphäre

3.2 ICAO Standardatmosphäre (ISA)

Einheitliche Definition der Atmosphäre, die weltweit für die Luftfahrt gilt

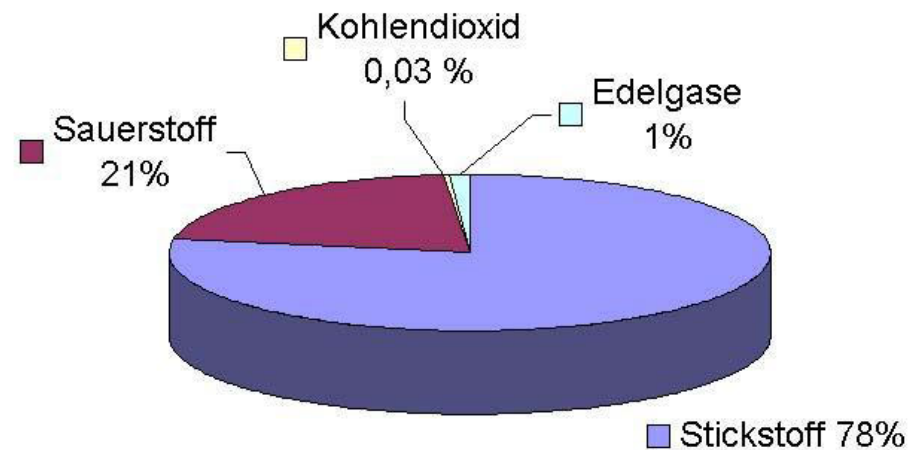
- Temperatur: +15 °C (288,15 K)
- Temperaturgradient: -2 °C pro 1000 ft; -0,65 °C pro 100 m
- Luftdruck: 1013,25 hPa (\cong 1,01325 bar)
- Luftdichte: 1,225 kg/m³
- Tropopause: Höhe: 36 000 ft (11 km)
Temperatur: -56,5 °C



3. Die Erdatmosphäre

3.3 Zusammensetzung der Luft

- Zusammensetzung der Luft bleibt bis zu einer Höhe von ca. 100 km konstant
- Luftdichte $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$





3. Die Erdatmosphäre

3.4 Atmosphärische Bedingungen im Flugzeug

- Der Großteil der privaten Luftfahrt findet in Höhen bis 10 000 ft

	Flughöhe in ft	Flughöhe in m	Luftdruck in hPa	Temperatur in °C
<u>Bereits in 10 000 ft:</u>	0	0	1 013	15
▪ Luftdruck 32 % geringer	5 000	1 524	843	5
▪ Temperatur deutlich < 0 °C	10 000	3 048	697	-5
	15 000	4 572	572	-15
	20 000	6 096	466	-25
<u>In 18 000 ft:</u>	25 000	7 620	376	-35
▪ Luftdruck 50 % geringer	30 000	9 144	301	-45
▪ Temperatur min. -21 °C	35 000	10 668	238	-55

⋮

- Der menschliche Körper kann in solchen Bedingungen nicht auf Dauer überleben!

4. Die Atmung

Grundlagen, Funktionsprinzip, Flugphysiologische Aspekte





4. Die Atmung

4.1 Grundlagen

- Ohne Sauerstoff kann der menschliche Organismus nicht überleben
- Atmung stellt sicher, dass dem Körper Sauerstoff zugeführt wird
- Energiegewinnung durch Verbrennung (Oxidation) von Nährstoffen in den Zellen

- O_2 - Aufnahme

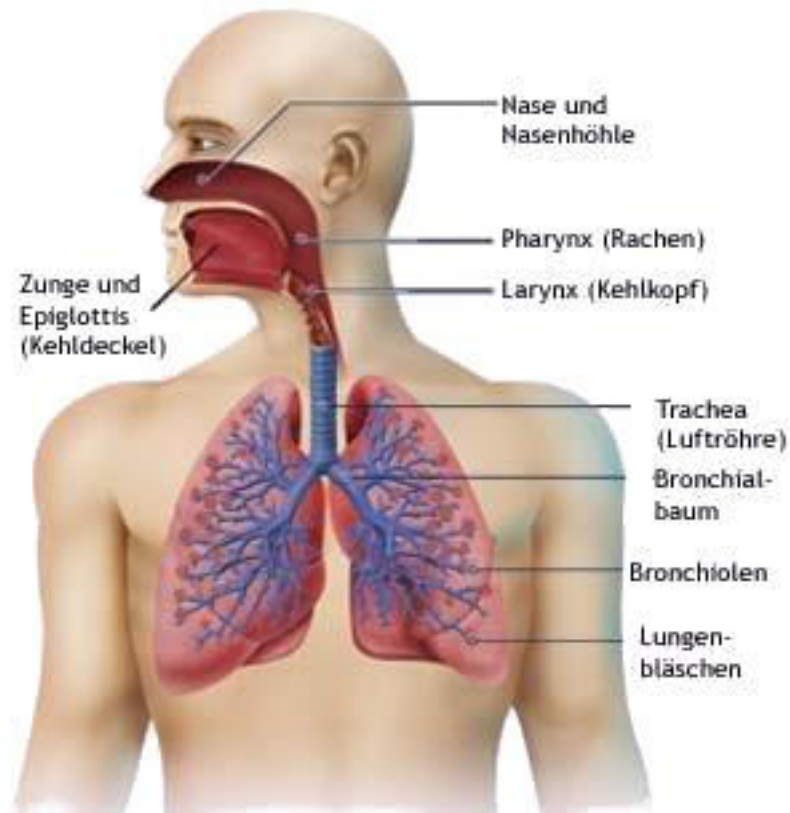
- CO_2 - Abgabe



Atmung

4. Die Atmung

4.1 Grundlagen



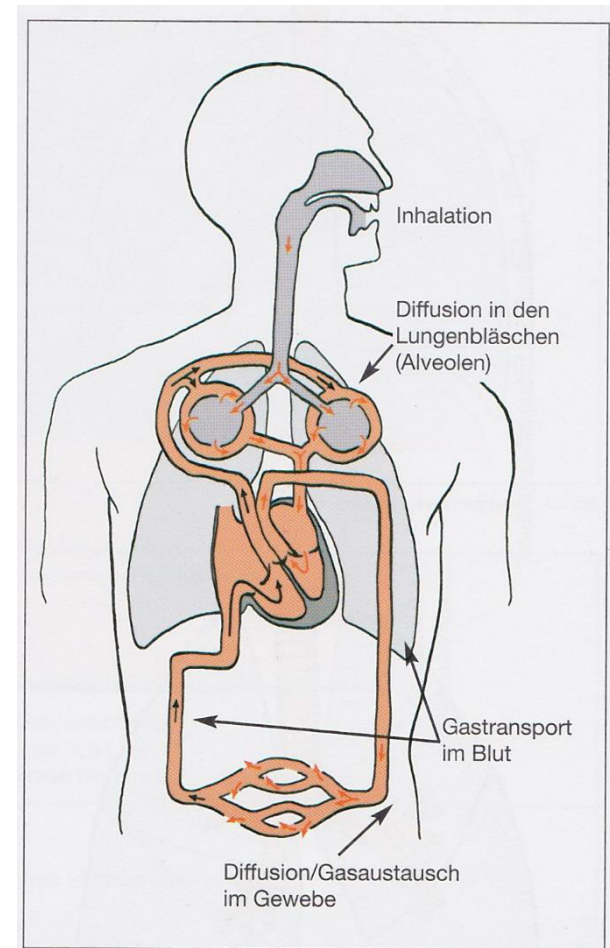
[Link zum Video: Atmung](#)



4. Die Atmung

4.2 Funktionsprinzip

1. Inhalation und Ventilation der Lunge
2. Diffusion (Transport) von O_2 aus den Lungenbläschen ins Blut bzw. von CO_2 aus dem Blut
3. Transport der Atemgase im Blut
4. Gasaustausch zwischen Blut und Zelle

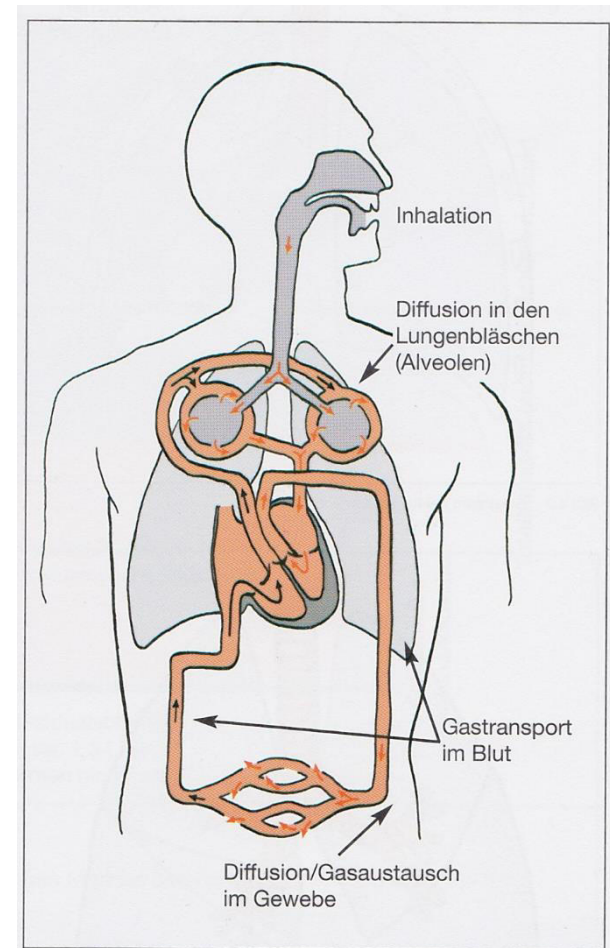


4. Die Atmung

4.2 Funktionsprinzip

1. Inhalation und Ventilation der Lunge

- Transport der Atemgase in die Lunge und wieder aus ihr heraus
- Luft wird gereinigt, erwärmt und angefeuchtet
- Einatmen ist ein aktiver Vorgang, ausatmen passiv



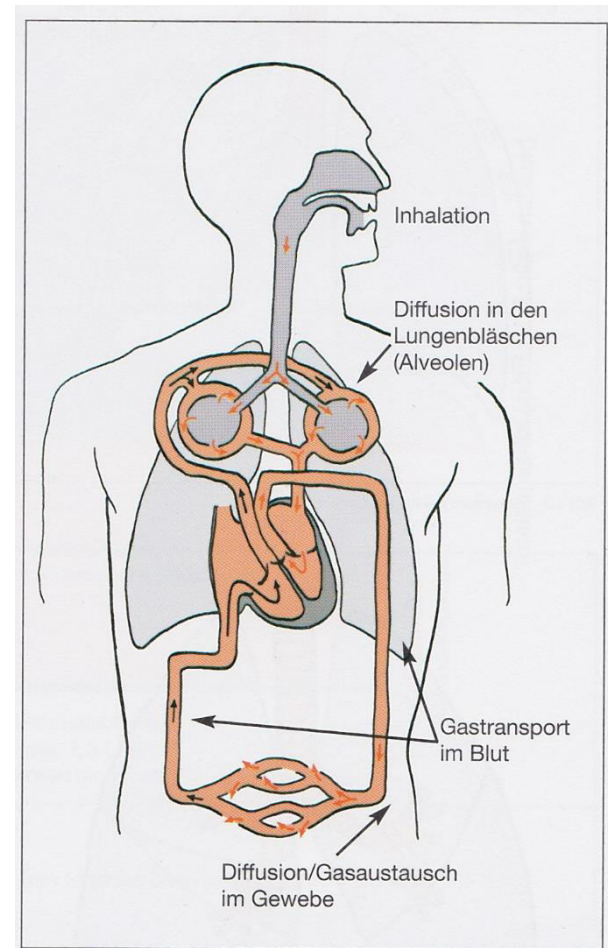
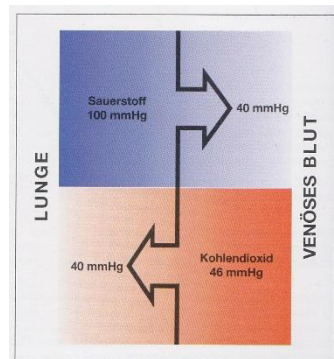
4. Die Atmung

4.2 Funktionsprinzip

2. Diffusion (Transport) von O₂ aus den Lungenbläschen ins Blut bzw. von CO₂ aus dem Blut

- Luft gelangt in die Alveolen und es findet ein Gasaustausch mit dem Blut statt
 - O₂ ins Blut
 - CO₂ aus dem Blut in die Alveolen

- Diffusion: Stofftransport durch ein Konzentrationsgefälle

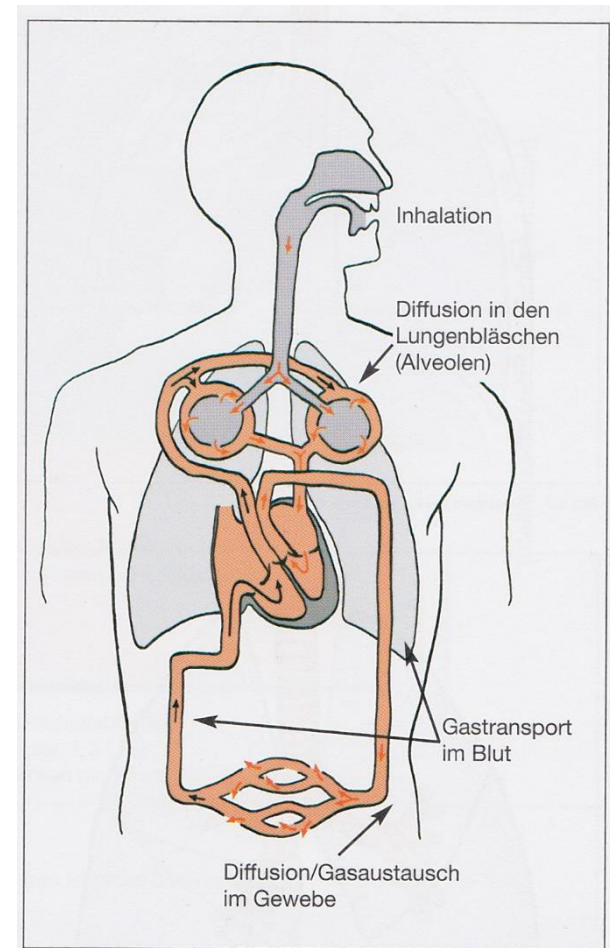


4. Die Atmung

4.2 Funktionsprinzip

3. Transport der Atemgase im Blut

- Blut übernimmt den Transport des O_2 zu den Zellen bzw. den Abtransport des CO_2 zur Lunge
- Bindungspartner für die beiden Gase ist der Farbstoff der roten Blutkörperchen, das Hämoglobin (Hb)
- O_2 lagert sich an: hellrote Färbung des Hb
- CO_2 lagert sich an: bläuliche Farbe des Hb

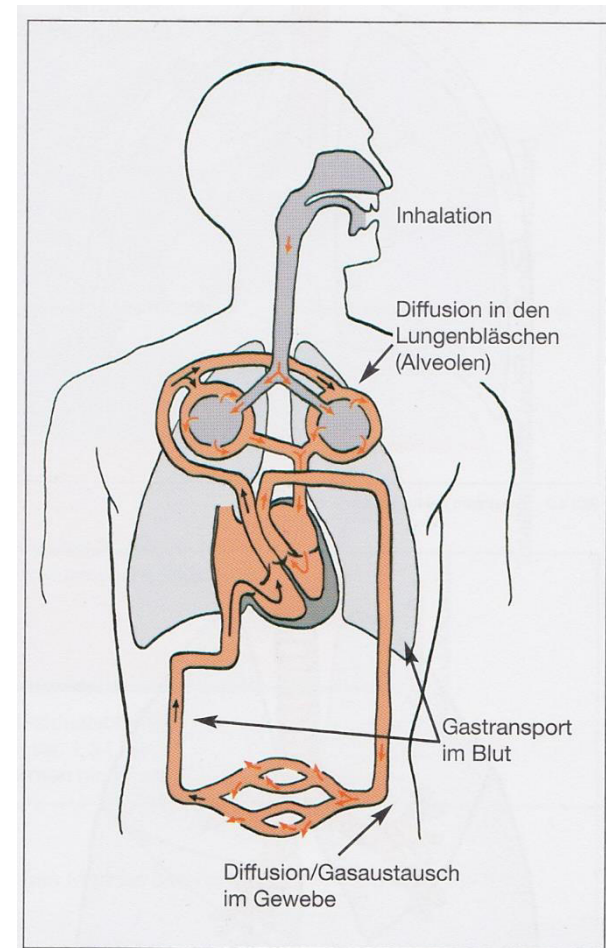


4. Die Atmung

4.2 Funktionsprinzip

4. Gasaustausch zwischen Blut und Zelle

- Auch wieder Diffusionsprozess durch Partialdruckgefälle
- Zellen benötigen O_2 zur Verbrennung von Nährstoffen um Energie zu gewinnen



5. Flugphysiologie: Atmung

Allgemeines, Hypoxie, CO-Vergiftung, Hyperventilation





5. Flugphysiologie: Atmung

5.1 Allgemeines (1)


	Höhe	O ₂ - Sättigung	Symptome
Indifferente Zone	MSL bis 7000 ft (2100 m)	97 % - 93 %	<ul style="list-style-type: none"> Keine Einschränkungen Ausnahme: Ab 5000 ft eingeschränktes Nachtsehen
Reaktionsschwelle – erste Reaktion des Organismus			
Kompensations – oder Anpassungszone	7000 ft – 10000 ft / 12000 ft (2100 m bis 3000 m/ 3600 m)	93 % - 85 %	<ul style="list-style-type: none"> Vollständige Kompensation möglich Ausnahme: Ab 8000 ft Kurzzeitgedächtnis eingeschränkt
Störschwelle – Ausfallerscheinungen nicht mehr kompensierbar			
Mangelzone	10000 ft/ 12000 ft – 22000 ft (6700 m)	85 % - 60 %	<ul style="list-style-type: none"> Leistungsfähigkeit nimmt mit zunehmender Höhe rapide ab
Kritische Schwelle – Bewusstlosigkeit; nach einiger Zeit Tod			



5. Flugphysiologie: Atmung

5.1 Allgemeines (2)

Merke:

- Sauerstoffmangel tritt bereits unter 10 000 ft (3000 m) auf! Nachtsehen und Kurzzeitgedächtnis können bereits eingeschränkt sein
- Ab 7 000 ft: Erste O₂ - Mangelsymptome erkennbar (Reaktionsschwelle)
- Ab einer Höhe von 10 000 ft – 12 000 ft (3000 m – 3500 m) liegt die O₂ - Sättigung bei > 90 %  Mangelversorgung des Gehirns





5. Flugphysiologie: Atmung

5.2 Sauerstoffmangel (Hypoxie) (1)

- Alle 4 Teilschritte der Atmung basieren auf ausreichendem Partialdruck des Sauerstoff
- Sinkt der O_2 - Partialdruck auf 40 mmHg ab ist keine Diffusion mehr möglich
- Ein Partialdruck von 40 mmHg ist ab ca. ca. 25 000 ft (7500 m) erreicht (ISA)
- Mangelnde O_2 - Versorgung führt zu Teil- oder Totalausfällen von Organen



5. Flugphysiologie: Atmung

5.2 Sauerstoffmangel (Hypoxie) (2)

Mögliche Symptome des Sauerstoffmangels (Hypoxie)

Bei einsetzendem O ₂ - Mangel	<ul style="list-style-type: none"> • Müdigkeit, Benommenheit • Gestörtes Temperaturempfinden • Druckgefühl im Kopf • Kribbeln in Fingern und Zehen • Leichte Sehstörungen • Leichtes Schwindelgefühl • Konzentrationschwächen • Nachlassendes Koordinationsvermögen
Fortgeschrittener O ₂ - Mangel	<ul style="list-style-type: none"> • Starke Müdigkeit, Abgeschlagenheit • Pochen im Kopf • Sehstörungen • Starker Schwindel • Muskelzittern (Tremor) • Übelkeit • Verlust von Urteilsvermögen/ Realitätssinn • Verlust von Entscheidungs-/ Kritikfähigkeit • Verlust von Reaktionsvermögen • Euphorie/Hochstimmung • Apathie/Teilnahmslosigkeit
Endphase	<ul style="list-style-type: none"> • Muskelkrämpfe • Versagen von Kreislauf/Atmung • Tod



5. Flugphysiologie: Atmung

5.2 Sauerstoffmangel (Hypoxie) (3)

Subjektive Symptome:

- Sehstörungen (Verlust des Farbsehens, Gesichtsfeld eingeschränkt)
- Konzentrationsstörungen
- Schwindelgefühl
- Beklemmungsgefühl
- Abnormales Temperaturempfinden
- Kribbeln in den Extremitäten
- Euphorie oder Apathie

Objektive Symptome:

- Hyperventilation
- Bläuliche Verfärbung der Lippen und / oder Fingern (Zyanose)
- Beeinträchtigung/Verlust des Urteilsvermögens
- Verringertes Auffassungsvermögen
- Verminderte Kritikfähigkeit
- Koordinationsstörungen





5. Flugphysiologie: Atmung

5.2 Sauerstoffmangel (Hypoxie) (4)


- Hypoxie erfolgt schleichend, ein Erkennen ist nicht oder nur sehr schwer möglich
- Bei Einsetzen der Hypoxie tritt keine Luftnot und kein Erstickungsgefühl auf
- Da das Gehirn O_2 - unterversorgt wird, wird das Erkennen der Symptome erschwert
- Die Höhen, in denen Hypoxie auftritt sind keine festen Werte (Tagesformabhängig / Gesundheitszustand)
- Vorbeugung von Hypoxie:

Rechtzeitiges Benutzen der Sauerstoffmaske, nicht auf gesetzliche Forderung verlassen!



5. Flugphysiologie: Atmung

5.3 Kohlenstoffmonoxidvergiftung (CO - Vergiftung) (1)

- CO ist ein farbloses und geruchloses Gas, das bei der unvollständigen Verbrennung entsteht
- Heizung bei kolbenbetriebenen Flugzeugen leitet Außenluft ins Cockpitinnere, welche über den Auspuff geleitet wird  Erwärmung der Luft
- Bei Defekt des Auspuffs (Riss oder ähnliches) gelangen Abgase dadurch in das Cockpit und somit auch CO
- Bereits geringe Mengen CO blockieren das Hämoglobin und damit Sauerstofftransport und führen zu schwersten Vergiftungserscheinungen
- Es stellen sich gleiche Symptome ein wie bei der Hypoxie



5. Flugphysiologie: Atmung

5.3 Kohlenstoffmonoxidvergiftung (CO - Vergiftung) (2)

Bei Verdacht auf CO im Cockpit:

- Heizung sofort ausstellen
- Alle Lüftungen öffnen
- Möglichst 100 % Sauerstoff einatmen

Hilfsmittel zum detektieren von CO in der Kabinenluft:

- Dead – STOP Aufkleber (CO - Detektor)





5. Flugphysiologie: Atmung

5.4 Hyperventilation (1)

Unter Hyperventilation versteht man eine Beschleunigung oder Vertiefung der Atmung, die über die Bedürfnisse des Organismus hinaus geht

Mögliche Auslöser:

- Willentliches Einsetzen
- Durch körperliche Arbeit hervorgerufener erhöhter Stoffwechsel
- Krankhafte Beeinflussung der Atemsteuerung
- Externe Einflüsse wie Erschrecken, Furcht, Schmerz, Stress usw.
- Hypoxie
- Falsche Maskenatmung

Hyperventilieren führt nicht zu einer stärkeren Anreicherung des Blutes mit O₂



5. Flugphysiologie: Atmung

5.4 Hyperventilation (2)

- Hyperventilieren führt zu einer CO_2 -Verarmung im Blut \longrightarrow pH – Wert des Blutes steigt
- Erhöhter pH – Wert verringert die O_2 - Diffusion in die Zelle \longrightarrow Sauerstoffmangel

Merke:

- Hyperventilation führt zum Sauerstoffmangel im Gehirn \longrightarrow Symptome wie bei Hypoxie
- Hyperventilation kann durch sehr bewusstes Atmen entgegnet werden (Atemtiefe und Frequenz bewusst reduzieren)
- Bei auftreten einer Hyperventilation sollte die Flughöhe unter 10 000 ft verringert werden und wenn möglich 100 % O_2 geatmet werden





6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

Allgemeine Gasgleichung, Barotraumen, Henrysches Gesetz, Druckfallkrankheit





6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.1 Die allgemeine Gasgleichung (1)

6.1.1 Gesetz von Boyle-Mariotte

- „Das Produkt aus Druck und Volumen ist bei einem eingeschlossenen Gas gleich bleibender Temperatur konstant“ (Gesetz von Boyle-Mariotte)
- Mathematisch:
$$p \cdot V = const.$$
- D.h. für die Fliegerei: Die im Körper befindlichen Gase dehnen sich bei abnehmenden Umgebungsdruck aus



6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.1 Die allgemeine Gasgleichung (2)

6.1.2 Gesetze von Gay-Lussac

1. „Das Volumen eines eingeschlossenen Gases ist proportional zur Temperatur (P = const.)

- Mathematisch: $V_1/V_2 = T_1/T_2$
 - D.h.: Steigt die Temperatur steigt auch das Volumen
-

2. „Der Druck eines eingeschlossenen Gases ist proportional zur Temperatur (V = const.)

- Mathematisch: $p_1/p_2 = T_1/T_2$
- D.h.: Steigt die Temperatur, steigt auch der Druck



6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.1 Die allgemeine Gasgleichung (3)

6.1.3 Zusammenfassung der Gesetze zur allgemeinen Gasgleichung

Aus Zusammenfassung von Boyle-Mariotte und Gay-Lussac Gesetz folgt die allgemeine Gasgleichung:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Beispiel: Luftpaket wird vom Boden auf 10 000 ft gehoben

- 1. Volumenvergrößerung da Luftdruck abnimmt
- 2. Volumenverringern da Temperatur sinkt



Kompensation



6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.1 Die allgemeine Gasgleichung (3)

6.1.3 Zusammenfassung der Gesetze zur allgemeinen Gasgleichung

Aus Zusammenfassung von Boyle-Mariotte und Gay-Lussac Gesetz folgt die allgemeine Gasgleichung:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Beispiel 2: Mensch steigt im Wellenaufwind von 0 ft auf 10 000 ft, was passiert mit inneren Gasen?

- ➔ 1. Volumenvergrößerung da Luftdruck abnimmt
- ➔ 2. Temperatur konstant auf 37 °C, d.h. keine Volumenänderung

Folge: wesentlich stärkere Ausdehnung der eingeschlossenen Gase als das Luftpaket



6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.2 Barotraumen

6.2.1 Allgemeines

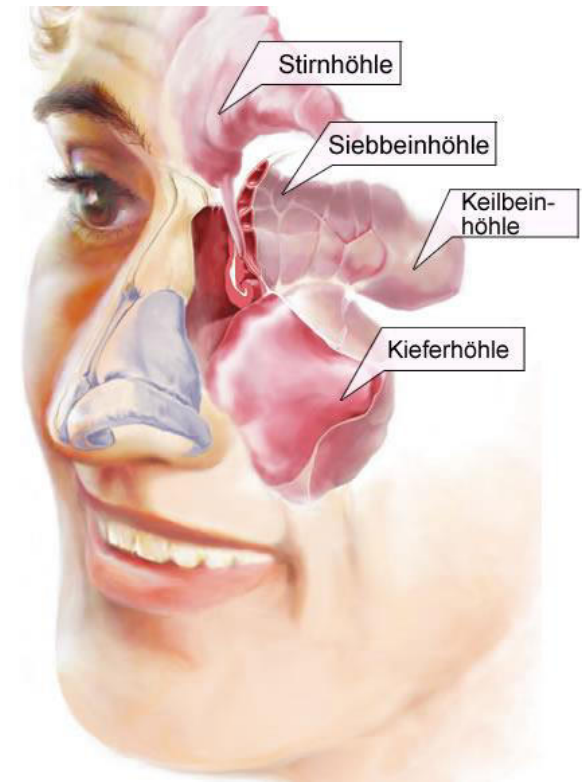
- Gase dehnen sich bei Druckabnahme erheblich aus und ziehen sich bei Druckzunahme zusammen
- Solange die Gase nach Außen entweichen, bzw. nach innen gelangen können besteht kein Problem
- Bei Behinderung dieses Gasaustausches können jedoch Unterdrücke in Hohlräumen (Ohren, Nebenhöhlen etc.) entstehen, die zu starken Schmerzen und zu einer möglichen Handlungsunfähigkeit führen

6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.2 Barotraumen

6.2.2 Ausdehnung der Gase in den Nebenhöhlen (1)

- Nasennebenhöhlen sind mit Schleimhäuten ausgekleidet und haben die Aufgabe, die Luft beim Einatmen zu reinigen und anzufeuchten
- Sie sind mit der Nase verbunden sodass Änderungen des Luftdruck im Normalfall kein Problem darstellen





6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.2 Barotraumen

6.2.2 Ausdehnung der Gase in den Nebenhöhlen (2)

Aber: Bei Entzündung der Schleimhäute (Erkältung) schwellen diese an und blockieren die die Verbindung zur Nase

- Beim Steigflug möchte das Gas expandieren, wird aber vom Knochengebilde daran gehindert
 - Überdruck entsteht, stellt aber kein Problem dar
- Beim Sinkflug (vor allem beim schnellen Abstieg) funktionieren die Verbindungsgänge dann wie **Einwegventile** (Luft kann nur entweichen aber nicht angesaugt werden)
- Das Gas zieht sich zusammen und es entsteht ein Unterdruck, der nicht ausgeglichen werden kann



Starke Schmerzen im Bereich der Nebenhöhlen





6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.2 Barotraumen

6.2.2 Ausdehnung der Gase in den Nebenhöhlen (3)

Gegenmaßnahmen, wenn das Barotrauma auftritt

- Sinkflug stoppen und zunächst die Höhe halten, bis Beschwerden verschwunden sind
- Wenn möglich wieder in den Steigflug übergehen (Motorflugzeug oder Motorsegler)
- Bei akuten Beschwerden (z.B. Erkältet mit einem Passagierjet in den Urlaub fliegen) können Nasentropfen/Spray helfen, die zu einem Anschwellen der Schleimhäute führen
- **Generell gilt: Schon bei geringen Anzeichen von Erkältung ist ein Flug zu unterlassen**





6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.2 Barotraumen

6.2.3 Ausdehnung der Gase im Mittelohr (1)

- Das Ohr ist durch die eustachische Röhre (Ohrtrumpete) mit dem Rachenraum verbunden
- Druckausgleich findet über Ohrtrumpete zwischen Mittelohr und Rachenraum statt
- Bei Entzündungen der Ohrtrumpete schwellen deren Schleimhäute an und Verschießen sie

 Druckausgleich findet nicht mehr statt

- Wölbung des Trommelfells je nach Druckzustand:
 - Bei Überdruck im Mittelohr nach außen
 - Bei Unterdruck im Mittelohr nach innen



6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.2 Barotraumen

6.2.3 Ausdehnung der Gase im Mittelohr (2)

- Bei Überdruck (Steigflug) funktioniert der Druckausgleich noch gut, da die Ohrtrompete geweitet wird
- Bei Unterdruck (Sinkflug) wird die Ohrtrompete verschlossen (Einwegventil)
- Einschränkung der Hörfähigkeit, da das Trommelfell nicht frei Schwingen kann (Wölbung)
- Bei größerer Druckdifferenz stechender Schmerz, sogar Reißen des Trommelfells möglich
- **Gegenmaßnahmen:** Kau- und Schluckbewegungen, Valsalva-Manöver, Sinkflug stoppen und ggf. weiter steigen



6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.2 Barotraumen

6.2.4 Valsalva-Manöver




- Sollten Kau- und Schluckbewegungen nicht helfen den Druckausgleich zu erreichen können sogenannte Valsalva-Manöver durchgeführt werden um ihn zu erzwingen
- Hierzu wird die Nase zugehalten, der Mund geschlossen und Luft über den Rachenraum durch die Ohrtrompete in das Mittelohr gepresst
- Es ist jedoch möglich, dass Keime und Erreger in das Mittelohr gelangen und zu einer Mittelohrentzündung führen
- DESHALB: Am besten eine solche Situation vermeiden, indem man bei einer Erkältung nicht fliegt



6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.2 Barotraumen

6.2.4 Barodontalgie

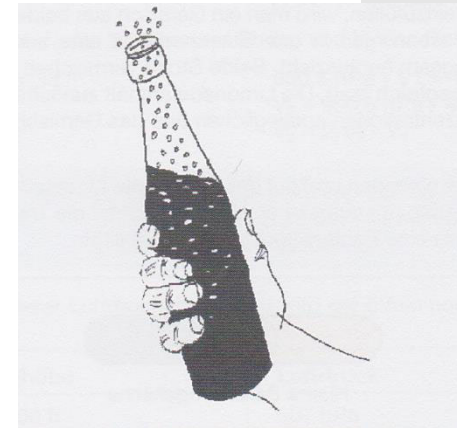
- Tritt bei kranken Zähnen oder falsch vorgenommenen Füllungen auf
- Gase sind in und unter den Zähnen eingeschlossen
- Beim Steigflug haben die Gase das Bestreben sich auszudehnen  Starke Schmerzen
- Schmerzen klingen auch nach der Landung nicht ab
- Vermeidungsstrategie: Zahnhygiene ;-)

6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.3 Druckfallkrankheit

6.3.1 Das Henrysche Gasgesetz

- „Die Menge eines in einer Flüssigkeit gelösten Gases ist proportional zum Druck des Gases auf die Flüssigkeit“
- D.h. wenn man eine Flüssigkeit (Wasser mit Kohlensäure) unter Druck setzt (schütteln), so kann viel Gas darin gelöst werden
- Fällt der Druck (öffnen der Flasche) so kann nicht mehr so viel Gas gelöst werden und es entweicht in die Gasphase (Sprudeln)
- Heißt also: Je höher ich fliege, desto geringer wird der Druck, desto weniger Sauerstoff kann im Blut gelöst werden





6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.3 Druckfallkrankheit (2)

- Tritt bei plötzlicher Druckabnahme auf 50 % des ursprünglichen Umgebungsdrucks auf
 - Z.B. Versagen der Druckkabine
- Henrysches Gesetz:
 - Menge eines in einer Flüssigkeit gelösten Gases ist proportional zum Umgebungsdruck
- Körper besteht aus vielen Flüssigkeiten in denen hauptsächlich Sauerstoff und Stickstoff gelöst sind
- Bei plötzlichen Druckabfall werden die Flüssigkeiten beginnen auszugasen



6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.3 Druckfallkrankheit (3)

- Sauerstoff stellt dabei kein Problem dar, da es vom Hb gebunden wird
- Problem:
 - Stickstoff ist in größeren Mengen im Körper und bildet Bläschen, die sich im Fettgewebe einlagern
- Symptome der Druckfallkrankheit:
 - Hautreizung
 - Gelenkschmerzen
 - Chokes (Brennende Schmerzen im Brustkorb)
 - Kopfschmerzen, Beeinträchtigungen der Augen, Muskelzittern
 - Kreislaufkollaps bis hin zum Schlaganfall



6. Auswirkung des Luftdrucks auf den Körper

6.3 Druckfallkrankheit (4)

- Gegenmaßnahmen beim plötzlichen Druckabfall:
 - Rekompensation (Sinkflug)
 - Sofortige ärztliche Behandlung (Überdruckkammer)
 - Reine Sauerstoffatmung
- Gleiche Problematik wie Taucher- oder Caissonkrankheit (nur umgekehrt)
- Deshalb sollte nach einem Tauchgang **24 h** gewartet werden, bis man ein Flugzeug mit Druckkabine besteigt, da sich sonst der Effekt verstärkt



7. Überleben in der Atmosphäre

Temperaturprobleme, Flüssigkeitshaushalt, Sauerstoffanlage, Selbstrettungszeit (TUC)

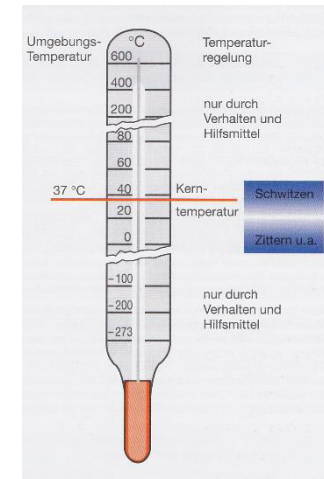


7. Überleben in der Atmosphäre

7.1 Temperaturprobleme

7.1.1 Allgemeines

- Druck und Temperaturschwankungen stellen die größten Probleme für den Menschen dar
- Kerntemperatur des Menschen liegt bei 37 °C
- Temperatur der Umgebung weicht oft stark von 37 °C ab
- Der Mensch kann Temperaturunterschiede von 17 °C – 33 °C durch Regulierung der Durchblutung der Haut ausgleichen
- Außerhalb dieses Temperaturbands ist der Körper auf Hilfsmittel angewiesen (Zittern, Schwitzen)





7. Überleben in der Atmosphäre

7.1 Temperaturprobleme

7.1.2 Unterkühlung

- Sinkt die Temperatur auf unter 17 °C beginnen die Muskeln zu zittern um Wärme zu gewinnen
- Zittern verbraucht jedoch Energie, die dann an anderen Stellen im Organismus fehlt
 - Energie muss zugeführt werden um weiterhin Wärme zu produzieren
- Ab einer Temperatur von -2 °C reicht das Zittern nicht mehr aus und es wird Schutzkleidung benötigt, damit der Organismus noch funktioniert
- Bei unzureichendem Schutz kühlt der Körper aus (Hypothermie), was zum Tod führen kann
- Gegenmaßnahmen beim Fliegen: mehrere Kleidungsschichten (Zwiebelprinzip) mit ausreichender Belüftung in Bodennähe



7. Überleben in der Atmosphäre

7.1 Temperaturprobleme

7.1.3 Hitzekollaps

- Reicht Erhöhung der Durchblutung setzt ab 33 °C Schwitzen ein (Abkühlung der Haut durch Verdunsten)
- Durch Schwitzen verliert der Körper viel Wasser und Salz (ausreichende Wasserzufuhr)
- Herzfrequenz und Gefäße weiten sich sodass das Blut abkühlen kann
- Wird die Durchblutung zu stark erhöht (über Leistungsfähigkeit hinaus) kommt es zum Hitzekollaps (Blutdruckabfall - Kreislaufkollaps)



7. Überleben in der Atmosphäre

7.1 Temperaturprobleme

7.1.4 Hitzschlag

- Hitzschlag ist vom Hitzekollaps zu unterscheiden
- Zustand der Hyperthermie (Überhitzung des Körpers)
- Wenn die Kerntemperatur nicht mehr auf 37 °C gehalten werden kann und auf 39,5 °C steigt, fällt der Mensch ins Delirium
- Symptome: Krämpfe, Desorientiertheit
- Bei unveränderter Temperatur treten schwerste Schädigungen des Gehirns auf, die zum Tod führen können



7. Überleben in der Atmosphäre

7.1 Temperaturprobleme

7.1.5 Schutz vor Sonneneinstrahlung und Hitzekollaps / Hitzschlag

- Hohe Temperaturen werden hauptsächlich am Boden angetroffen (Warten am Start bei geschlossener Haube, mithelfen beim Flugbetrieb im Hochsommer)
- Aber auch in großen Höhen strahlt die Sonne durch die Plexiglashaube auf den Kopf
- Bereits ab einer Körpertemperatur von 38 °C ist eine Beeinträchtigung der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit nachweisbar

Gegenmaßnahmen:

- Das Tragen eines Sonnenhutes nicht nur im Flugzeug sondern auch am Boden
- Viel und regelmäßig trinken, da der Körper Wasser und Salze verliert





7. Überleben in der Atmosphäre

7.2 Flüssigkeitshaushalt

- Durch Schwitzen verliert der Mensch etwa 0,5 L Flüssigkeit pro Tag
- Durch das Ausatmen gehen ebenfalls 0,5 L verloren
- Durch Ausscheidung von Urin gehen 1,5 L an Flüssigkeit verloren
- ➔ Flüssigkeitsverlust etwa 2,5 L pro Tag (Ohne körperliche Anstrengung)
- Wird dieser Verlust nicht ausgeglichen kommt es zu einem stark verminderten Leistungsvermögen des Köpers
- Wasser wird am schnellsten von den Zellen aufgenommen und verarbeitet und es deswegen während des Fluges zu empfehlen (Stark gezuckerte Getränke sollten vermieden werden)



7. Überleben in der Atmosphäre

7.3 Die Sauerstoffanlage

- Beimischung von Sauerstoff zur Atemluft kann die Störschwelle (10 000 ft – 12 000 ft) in größere Höhen verschieben
- Bei Atmung von 100 % Sauerstoff wird die Schwelle auf 40 000 ft verschoben

Höhe in m	Umgebungsdruck	Alveolärer Sauerstoff-Druck	Sauerstoff-Bedarf in %
0	760 mmHg	100 mmHg	21 %
2 000	596 mmHg	77 mmHg	25 %
3 000	526 mmHg	67 mmHg	31 %
4 000	462 mmHg	58 mmHg	45 %
5 000	405 mmHg	50 mmHg	47 %
6 000	355 mmHg	43 mmHg	49 %
7 000	308 mmHg	37 mmHg	61 %
8 000	267 mmHg	31 mmHg	70 %
9 000	231 mmHg	26 mmHg	81 %
10 000	198 mmHg	21 mmHg	94 %
11 000	169 mmHg	17 mmHg	100 %



7. Überleben in der Atmosphäre

7.3 Selbstrettungszeit - TUC

- Die Reaktionszeit, die dem Menschen in großer Höhe bleibt, bevor er Handlungsunfähig wird (und in Folge stirbt), wird Selbstrettungszeit genannt oder auch Time of Usefull Consciousness (TUC)
- Beispielszenarien:
 - Leck in der Druckkabine beim Linienflug
 - Defekt der Sauerstoffanlage beim Wellenflug

Höhe	5 000m 16 400 ft	7 000m 23 000 ft	9 000 m 29 500 ft	10 000 m 32 800 ft	11 000 m 36 100 ft	12 000 m 39 400 ft
TUC	ca. 30 min	ca. 5 min	ca. 90 s	ca. 60 s	ca. 45 s	ca. 30 s

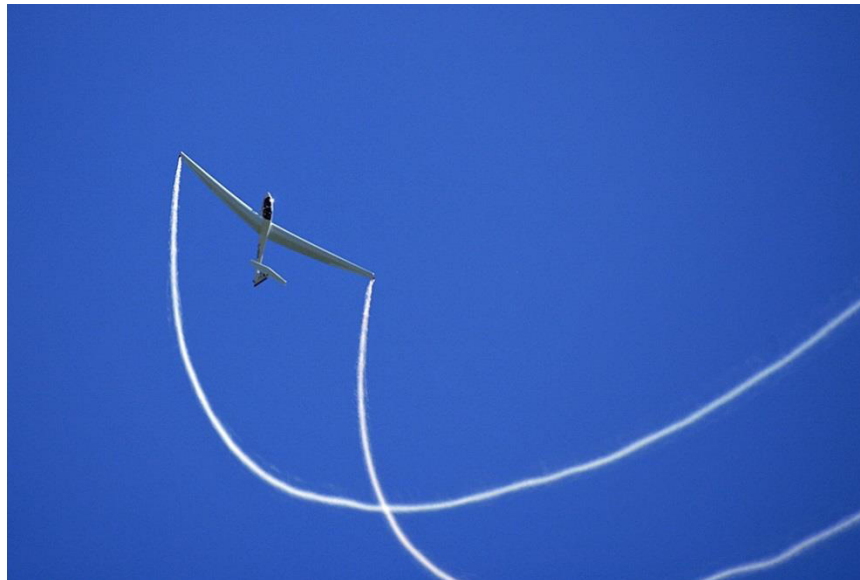
- Beachte das Abstieg aus großen Höhen viel Zeit braucht





8. Beschleunigungen

Allgemeines, Arten von Beschleunigungen,
Wirkung von Beschleunigungen



8. Beschleunigungen

8.1 Allgemeines



- Neben den atmosphärischen Wirkungen auf den Organismus, ist auch das Verständnis der Wirkung von Beschleunigungen auf den Körper wichtig
- Beschleunigungen bringen den Normalbetrieb des Organismus durcheinander
- Gleichbleibende Geschwindigkeiten werden vom Menschen kaum wahr genommen, tritt allerdings eine Änderung der Geschwindigkeit oder der Richtung auf, so bemerkt der Mensch das
- Eine Geschwindigkeitsänderung wird Beschleunigung genannt
 - Positive Beschleunigung \triangleq Geschwindigkeitserhöhung
 - Negative Beschleunigung \triangleq Geschwindigkeitsverringern



8. Beschleunigungen

8.2 Einflussfaktoren

8.2.1. Richtung von Beschleunigungen

- Es gibt im wesentlichen lineare und radiale Beschleunigungen

- Lineare Beschleunigung:
 - Veränderung der Geschwindigkeit pro Zeit
 - Keine Richtungsänderung
 - Bsp. Starten eines Flugzeug bzw. Bremsen

- Radiale Beschleunigung:
 - Veränderung der Richtung
 - Keine Geschwindigkeitsänderung
 - Bsp. Kurvenfahrt im Auto, Looping
 - Je enger der Radius desto höher die Beschleunigung



8. Beschleunigungen

8.2 Einflussfaktoren

8.2.2. Dauer der Beschleunigung

- Es wird zwischen kurzen und langen Beschleunigungen unterschieden
- Kurze Beschleunigungen:
 - Wirkungsdauer: < 1 s
 - Kaum Auswirkungen auf Körper
 - Bsp.: Entfaltung des Fallschirms
- Lange Beschleunigungen:
 - Wirkungsdauer: > 2 s
 - Führen zu flugphysiologischen Reaktionen des Organismus
 - Bsp.: Kurvenflug mit hoher Querneigung



8. Beschleunigungen

8.2 Einflussfaktoren

8.2.3. weitere Einflussfaktoren

- Stärke der Beschleunigung (G - Belastung)

- Einwirkfläche der Beschleunigung
 - Großflächig: Der ganze Körper wird in den Sitz gepresst
 - Punktuell: Beim Bremsen in die Gurte gepresst werden

Auswirkungen von Beschleunigungen:

- Wirkung auf den Kreislauf und andere Teile des Organismus (z.B. Black-out)
- Kinetose (Luftkrankheit, Seekrankheit)
- Desorientierung bzw. Täuschung des Gleichgewichtssinnes (z.B. Vertigo)



8. Beschleunigungen

8.3 Die Erdanziehung

- Alle Gegenstände auf der Erde bzw. in Erdnähe unterliegen der Erdanziehung
- Beschleunigung wirkt in Richtung des Erdmittelpunktes
- Die Erdbeschleunigung wird abgekürzt „g“ genannt
- $1 g \approx 9,81 \frac{m}{s^2}$
- Beschleunigungen in der Fliegerei werden als Vielfaches der Erdanziehung ($n \cdot g$) ausgedrückt
 - Man spricht von auftretender **G – Belastung** (**G – Load**) bzw. **Lastvielfaches**



8. Beschleunigungen

8.4 Die Newton'schen Axiome (1687)

Der Physiker Isaac Newton hat die Wirkung von Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Kräften auf Gegenstände untersucht und entsprechende Gesetzmäßigkeiten beschrieben

1. Newton'sches Axiom:

Ein bewegter Körper hat das Bestreben sowohl die Bewegungsrichtung als auch die Geschwindigkeit beizubehalten. Ein Wechsel in Richtung und /oder Geschwindigkeit kann nur durch Krafteinwirkung von außen erreicht werden

Beispiel:

- Geradeausflug im Motorflugzeug (Körper hat eine gleichbleibende Richtung und Geschwindigkeit)
- Ziehen des Knüppels (Äußere Kraft)
- Flugzeug geht in Steigflug über (Richtungsänderung)



8. Beschleunigungen

8.4 Die Newton'schen Axiome (1687)

2. Newton'sches Axiom:

Die einen Körper beschleunigende Kraft ist proportional zur Beschleunigung

Mathematisch:

$$F = m \cdot a$$

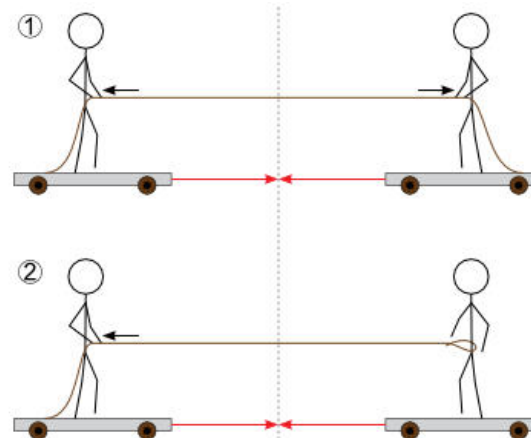
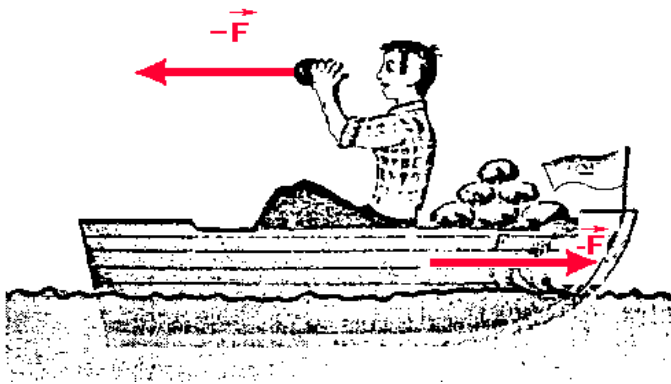
-
- Gewicht eines Körpers ist eine Kraft (Gewichtskraft) (Masse \neq Gewicht)
 - Die Gewichtskraft hängt von der Masse des Körpers und der wirkenden Beschleunigung ab
 - Ein Mensch mit einer Masse von 80 kg übt eine Gewichtskraft von 800 N (auf der Erde)
 - Sitzt der Mensch im Flugzeug mit 60 ° Querneigung so ist er einer Beschleunigung von 2 G ausgesetzt und übt eine Kraft von 1600 N aus

8. Beschleunigungen

8.4 Die Newton'schen Axiome (1687)

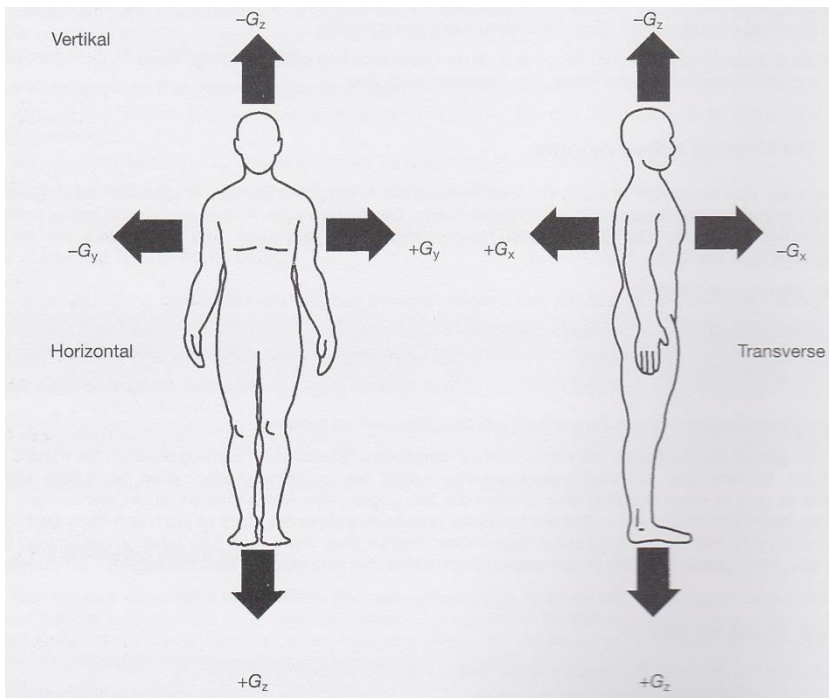
3. Newton'sches Axiom:

Kräfte treten immer paarweise auf (Actio = Reactio) („Jede Kraft hat eine Gegenkraft“)



8. Beschleunigungen

8.5 Richtung von Beschleunigungen



- **Z - Achse: („eyeballs up/down“)**
 - parallel zur Flugzeug - Hochachse
 - $+G_z$: Hineinpressen in den Sitz
 - $-G_z$: Herausheben aus den Sitz
- **X - Achse: („eyeballs in/out“)**
 - Verläuft durch Brust und Rücken
 - $+G_x$: Körper nach hinten gedrückt
 - $-G_x$: Körper nach vorne gedrückt
- **Y - Achse: („eyeballs left/right“)**
 - Vom linken Arm zum rechten Arm
 - $+G_y$: Körper nach links gedrückt
 - $-G_y$: Körper nach rechts gedrückt



8. Beschleunigungen

8.6 Wirkung von Beschleunigungen

8.6.1 Beschleunigungen in Richtung der x – Achse („eyeballs in/out“)

- Sehr hohe Toleranz des Körpers gegenüber in dieser Beschleunigungsrichtung (Bis zu $+15 G_z$ bzw. $-5 G_z$)
- Allerdings können kurze hohe G – Belastungen zu Überlastungen von Körperteilen führen (Knochenbruch)
- Beispiel für „eyeballs in/out“ Beschleunigung:
 - Katapultstart einer Achterbahn („eyeballs in“ bzw. $+ G_z$)
 - Vollbremsung mit einem Auto („eyeballs out“ bzw. $- G_z$)
- Diese Beschleunigungsrichtung tritt in der Fliegerei eigentlich nur bei Start (Beschleunigung) und Landung (Abbremsen) vor, jedoch sind die G – Belastungen dabei gering



8. Beschleunigungen

8.6 Wirkung von Beschleunigungen

8.6.2 Beschleunigungen in Richtung der y – Achse („eyeballs left/right“)

- Sehr hohe Toleranz des Körpers gegenüber in dieser Beschleunigungsrichtung (noch höher als in x - Richtung)
- Allerdings können kurze hohe G – Belastungen zu Überlastungen von Körperteilen führen (z.B. ruckartige Seitwärtsbewegung führt zu Verrenken der Halswirbelsäule)
- Beispiel für „eyeballs left/right“ Beschleunigung:
 - Fahrt in der „Jaguar - Bahn“

8. Beschleunigungen

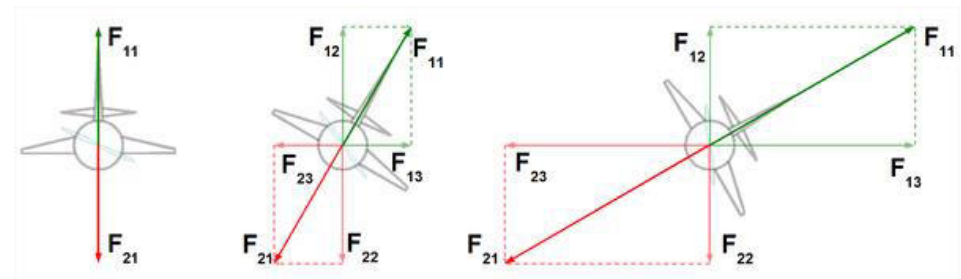
8.6 Wirkung von Beschleunigungen

8.6.3 Beschleunigungen in Richtung der z – Achse („eyeballs up/down“) (1)

- Beschleunigungen in Richtung der z – Achse sind für die Luftfahrt sehr relevant
- Diese Art der Beschleunigung tritt u.a. beim Kurvenflug auf (siehe Bild)
 - Resultierende F_{21} ist ein vielfaches der der Erdbeschleunigung g

- G – Belastung im Kurvenflug:

- $G = 1/\cos(\beta)$ (β : Querneigung in °)





8. Beschleunigungen

8.6 Wirkung von Beschleunigungen

8.6.3 Beschleunigungen in Richtung der z – Achse („eyeballs up/down“) (2)

Wirkung von G – Belastungen auf den Körper (Ohne Auswirkung auf Organismus):

- Ab +2 G_z :
 - nicht muskelunterstütztes Gewebe hängt schlaff hinab („lange Backen“)
 - Probleme Hände und Füße zu koordinieren (durch deren erhöhtes Gewicht)

- Ab +3 G_z :
 - Das Aufstehen ist nicht mehr möglich (Kein Notausstieg beim Trudeln)

- Ab +8 G_z :
 - Anheben von Händen und Füßen nicht mehr möglich, Kopf kann nicht mehr gehoben werden



8. Beschleunigungen

8.6 Wirkung von Beschleunigungen

8.6.4 „eyeballs „down“ (+ G_x) – Beschleunigungen und die Wirkung auf den Organismus (1)

- Blutdruck im Liegen 100 mmHg
- Beim Aufstehen wirkt die Erdanziehung, d.h. der Blutdruck im Kopf fällt (70 mmHg) und der Blutdruck in den Füßen steigt (190 mmHg)
- Körper kann durch Kontraktion der Blutgefäße bzw. der Muskeln dieses Ungleichgewicht ausgleichen (Bei „normalen“ Bedingungen auf der Erde, also +1 G)
- Bei höheren G – Belastungen steigt das Gewicht des Blutes an und der Körper kann das Absacken des Blutes in die Füße nicht mehr ausgleichen



8. Beschleunigungen

8.6 Wirkung von Beschleunigungen

8.6.4 „eyeballs „down“ (+G_x) – Beschleunigungen und die Wirkung auf den Organismus (2)

- Schon bei konstant einwirkenden +3 G_z kommt es zu **Einschränkungen der Sehkraft**
 - Mangelnde Durchblutung der Retina, da Blut Richtung Herz versackt
 - Nach ca. 15 s kommt es dann zum „**Grey - Out**“ (man sieht nur noch schwarz/weiß)
- Kurz darauf stellt sich der **Tunnelblick** ein
 - Peripheres Sehen funktioniert nicht mehr, da Retina von der Mitte aus Durchblutet wird





8. Beschleunigungen

8.6 Wirkung von Beschleunigungen

8.6.4 „eyeballs „down“ (+ G_x) – Beschleunigungen und die Wirkung auf den Organismus (3)

- Ab etwa +4,5 G_z kommt es dann zum „Black - Out“
 - Blutdruck im Kopf fällt auf unter 20 mmHg, Retina wird nicht mehr durchblutet
 - Sehvermögen wird schnell wieder hergestellt bei Nachlassen der G - Belastung





8. Beschleunigungen

8.6 Wirkung von Beschleunigungen

8.6.4 „eyeballs „down“ (+ G_x) – Beschleunigungen und die Wirkung auf den Organismus (4)

- Bei Erreichen von +5 bis +6 G_z tritt **Bewusstlosigkeit** auf
 - Durchblutung des Gehirns bricht komplett zusammen, dadurch Hypoxie
 - Engl. Bezeichnung **G**–**LOC** (**G** induced **L**oss **O**f **C**onsciousness)
 - Erholungsphase ca. 15 s





8. Beschleunigungen

8.6 Wirkung von Beschleunigungen

8.6.5 „eyeballs „up“ ($-G_x$) – Beschleunigungen und die Wirkung auf den Organismus (1)

- Negative Beschleunigungen treten vor allem beim Kunstflug auf
- Der Menschliche Körper verträgt diese Beschleunigungen noch weniger als positive
- Bei negativen Manövern versackt das Blut in den Kopf und die unteren Extremitäten werden unterversorgt
- Folge: Blutdruck im Gehirn steigt



8. Beschleunigungen

8.6 Wirkung von Beschleunigungen

8.6.5 „eyeballs „up“ ($-G_x$) – Beschleunigungen und die Wirkung auf den Organismus (2)

- Ab etwa $-2 G_z$ kommt es zum „Red – Out“ (Rot-Sehen)
 - Das untere Augenlid rutscht über das Auge, durch die dünne durchblutete Haut wird rot gesehen

- Ab $-3 G_z$ enormer Druck im Kopf
 - Augen fühlen sich an als wollten sie aus dem Kopf springen
 - Es können Kopfschmerzen auftreten
 - Adern im Auge (auch im Kopf) können Platzen
 - Bis zu 15 s zu ertragen (länger = Bewusstlosigkeit)



8. Beschleunigungen

8.7 Erhöhung der G - Toleranz

- Pressatmung (Kunstflug)
- Anti- G -Anzug (Jetpiloten, Red Bull Air Race)
- Sitzposition



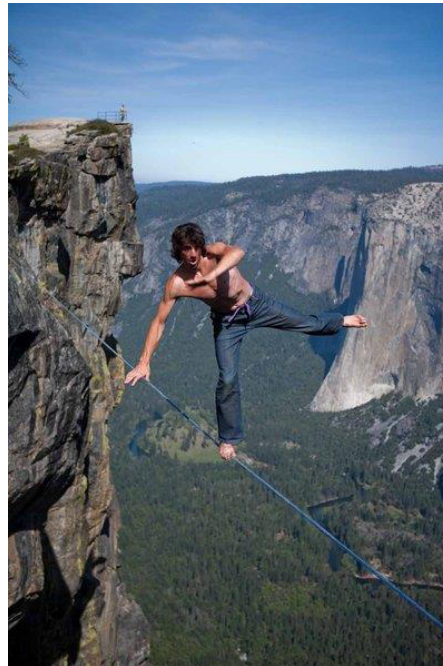
8. Beschleunigungen

8.8 Verringerung der G - Toleranz

- Stress
- Krankheit oder Unwohlsein
- Müdigkeit
- Hitze
- Alkohol
- Leerer Magen
- Hyperventilation / Hypoxie

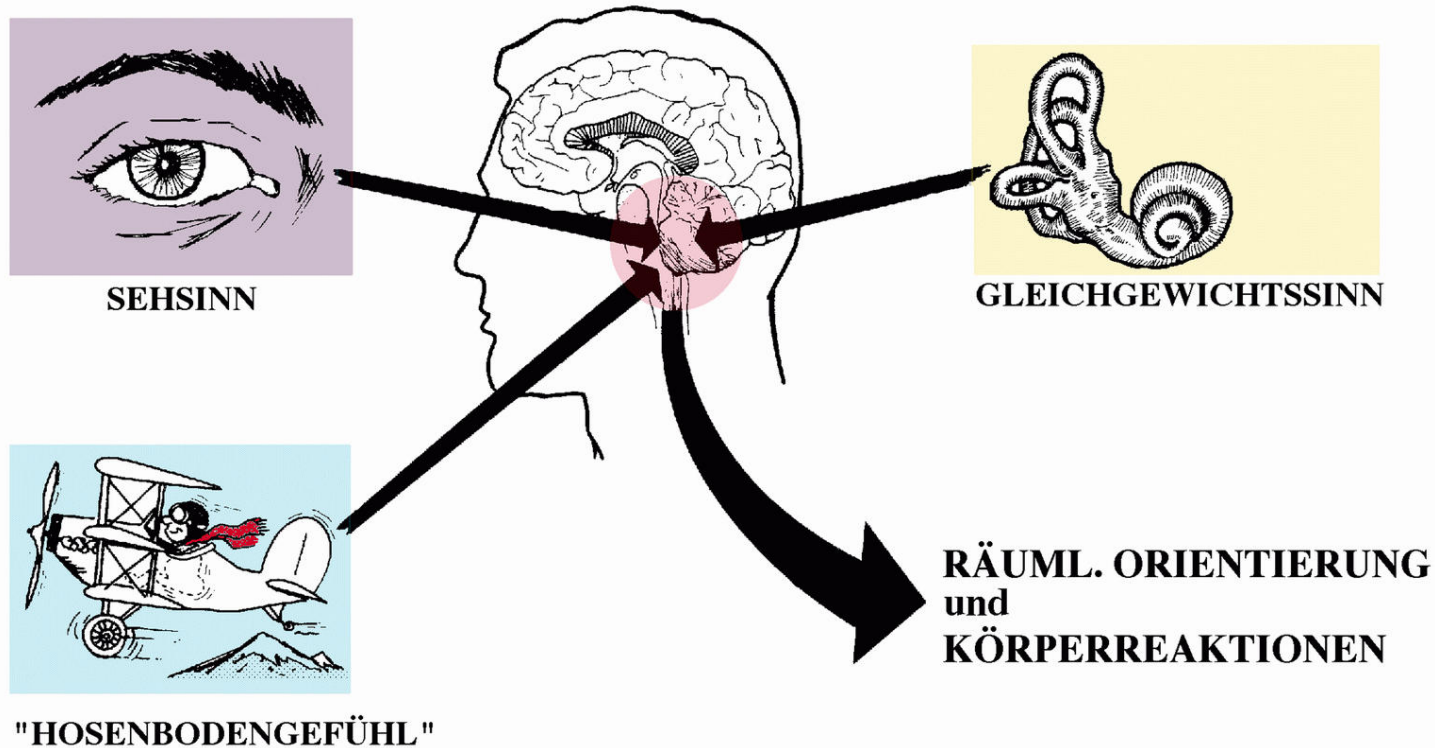
9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

Vestibularorgan, Täuschungen des Gleichgewichtssinnes



9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

9.1 Allgemeines





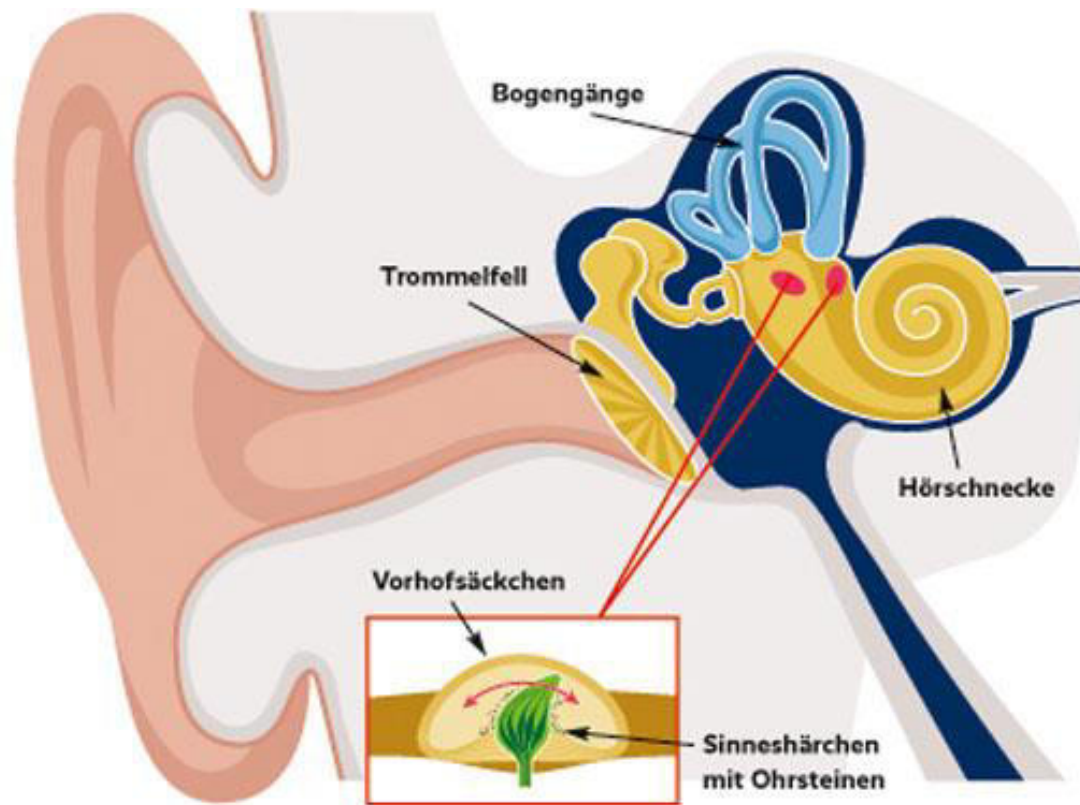
9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

9.1 Allgemeines

- Die Fähigkeit das Gleichgewicht zu halten wird vom Gehirn aus gesteuert
- 3 Komponenten:
 1. Sehsinn
 2. Gleichgewichtsorgan (Vestibularorgan)
 3. Sensoren in Haut, Sehnen, Gelenken, Muskeln (Auch als „Hosenbodengefühl bekannt“)

9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

Vestibularorgan (Gleichgewichtsorgan)





9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

9.1 Allgemeines

▪ Sehsinn :

- Bei **Tageslicht** und **gutem Wetter** nützen wir zu etwa **90 % den Sehsinn zur Orientierung**
- Bei **Nacht** und/oder **schlechtem Wetter/Sicht** nimmt die Möglichkeit diesen zu nutzen ab oder fällt ganz weg

▪ Gleichgewichtsorgan:

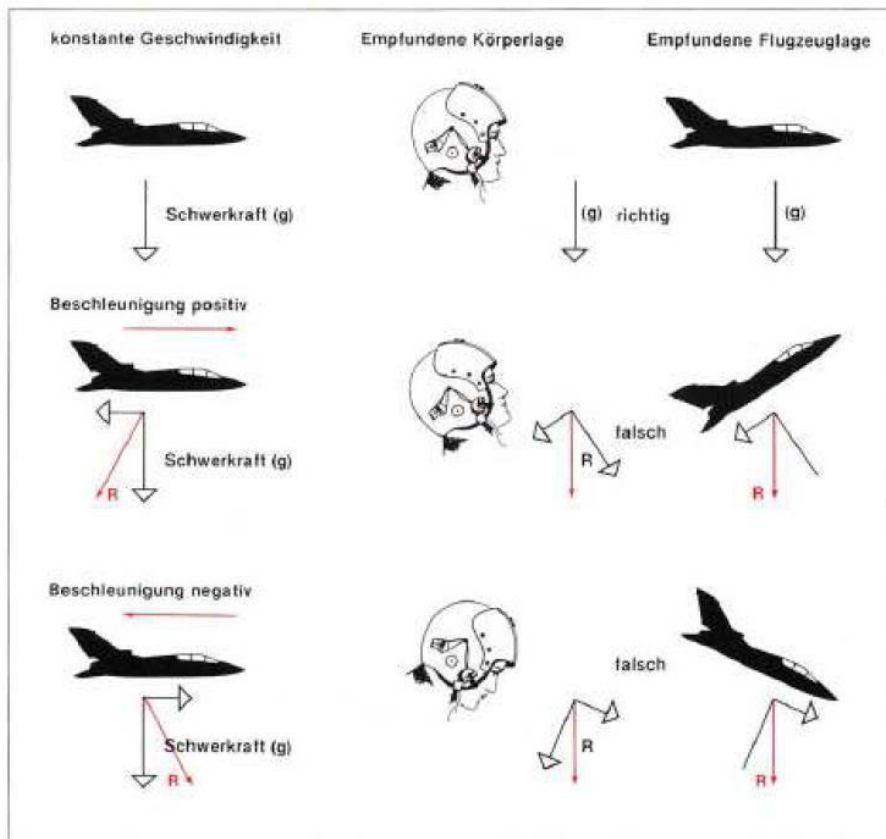
- Aus dem **Gleichgewichtsorgan** im Innenohr liefern uns Gewichts- und Beschleunigungssensoren entsprechende Informationen

▪ „Hosenbodengefühl“:

- Leider ist diese **Information unzuverlässig**, da das Gehirn damit **nicht zwischen Schwerkraft und Fliehkraft** unterscheiden kann.

9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

9.2 Einfluss der linearen Beschleunigung auf Orientierung



- Lineare Beschleunigung führt zum falschen Eindruck des Steigfluges
- Lineare Verzögerung führt zum falschen Eindruck des Sinkfluges
- Grund:
 - Durch die Beschleunigung rutscht die Flüssigkeit im Gleichgewichtsorgan nach hinten bzw. nach vorne und signalisiert steigen bzw. sinken



9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

9.3 Orientierungsverlust bei Drehbewegungen

9.3.1 Coriolis-Täuschung

- Form der Überreizung des Gleichgewichtssinnes
- Bei längerem Kurvenflug kehren die Indikatorhärchen wieder in Ausgangszustand zurück
- Wird dann der Kopf geneigt, z.B. beim Suchen von Gegenständen oder starker Luftraumbeobachtung werden die Indikatorhärchen wieder bewegt (Beschleunigungen werden angezeigt)
- **Folge:** Gehirn interpretiert diese Signale als Luftfahrzeugbewegung (Orientierungsverlust)
- Gegenmaßnahme: **Kopf ruhig halten**





9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

9.3 Orientierungsverlust bei Drehbewegungen

9.3.2 Vertigo

- Starker Drehschwindel (Coriolis-Täuschung in Extremform)
- Es kann kein Punkt mehr fixiert werden
- Vermehrt auch bei mäßiger Sicht zu beobachten (Sehsinn eingeschränkt)
- Gegenmaßnahmen:
 - **Aufrecht sitzen, den Kopf nicht bewegen, versuchen einen Punkt zu fixieren**
 - **Sobald Instrumente fixiert werden können, Fluglage korrigieren**
 - **Vertrauen auf die Instrumente (!!!)**





9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

9.3 Orientierungsverlust bei Drehbewegungen

9.3.3 Stationärer Kurvenflug (z.B. Kurbeln bei konstanter QN)

- Da die Indikatorhärchen nach einer gewissen Zeit wieder in Normallage zurückwandern entsteht der Eindruck des Geradeausfluges
- Beim Ausleiten der Kurve wird eine Beschleunigung in Gegenrichtung signalisiert, somit kann der Eindruck einer Kurve in Gegenrichtung entstehen
- Da bei Kurvenflug das Höhenruder gezogen werden muss und es beim Ausleiten wieder nachgelassen werden muss, wird der Eindruck einer Beschleunigung nach unten vermittelt
- Das Ausleiten einer koordinierten Kurve führt also zur Sinnestäuschung:
 - **Kurve in Gegenrichtung und Sinkflug, obwohl man geradeaus fliegt**





9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

9.3 Orientierungsverlust bei Drehbewegungen

9.3.4 „Das Friedhofs – Trudeln“ („graveyard-spin“) (1)

- Beim Einleiten des Trudelns wird z.B. eine **Drehung nach links** gemeldet
- Nach ca. 30 s kehren die Indikatorhärchen in **Normalposition** zurück
 - Eindruck des Geradeausfluges
- Beim Ausleiten des Trudelns entsteht die Illusion des **Trudelns nach rechts**
- Bei schlechter Sicht kann es dazu führen das trotz des eigentlichen Geradeausfluges versucht wird das vermeintliche Trudeln nach rechts zu beenden
 - Folge: Trudeln nach links wird eingeleitet usw. (Bis zum „Friedhof“)



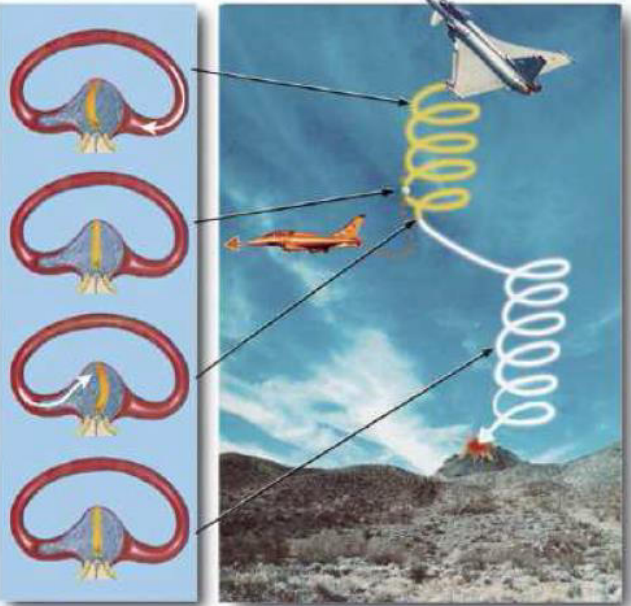
9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

9.3 Orientierungsverlust bei Drehbewegungen

9.3.4 „Das Friedhofs – Trudeln“ („graveyard-spin“) (2)

FRIEDHOFSTRUDELN (Graveyard spin)

Illusion des Gegentrudelns gegen Spirale. Wenn der Pilot nach einer längeren Trudelphase die Maschine ausleitet, so glaubt er, in der entgegengesetzten Richtung zu trudeln (die gestrichelte Linie zeigt die wahrgenommene Bewegung). Um diesem vermeintlichen Trudeln entgegenzuwirken, leitet er ein erneutes Trudeln in ursprünglicher Richtung ein.





9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

9.4 Kinetose (1)

- Bewegungskrankheit oder auch Luft-/See-/Reisekrankheit
- Auslöser ist die Überreizung des Gleichgewichtsorgans (verstärkt durch Stress, Angst, Alkohol, Müdigkeit)
- Besonders negative Beschleunigungen (z.B. durch Turbulenzen) führen zur schweren Gleichgewichtsstörungen und Übelkeit
- **Symptome für Kinetose sind:**
 - Häufiges Gähnen
 - Speichelfluss
 - Übelkeit, Erbrechen
 - Schwindel
 - Schweißausbrüche
 - Erhöhter Puls und Blutdruckabfall





9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

9.4 Kinetose (2)

- In Folge der Symptome leiden die Betroffenen unter Konzentrationsschwäche, werden apathisch und willenlos

- Abhilfe:
 - Mit den Augen einen ruhigen Punkt fixieren (Horizont)
 - Frische Luft
 - Leichte Nahrung (aber kein leerer Magen)
 - Lärmdämmung
 - Vermeiden von Turbulenzen (Umfliegen von Schlechtwettergebieten)
 - Vermeidung von Manövern mit hohen Beschleunigungen
 - Bei betroffenen Piloten evtl.. Auf einem nahegelegenen Flugplatz landen
 - Medikamente gegen Reisekrankheit (**Nur für Passagiere**)
 - Aufklärende Beruhigung von Passagieren (Infos über Ablauf des Fluges)
 - **Absolut unbrauchbar ist das trinken von Alkohol vor dem Flug**





9. Gleichgewichtssinn und Orientierung

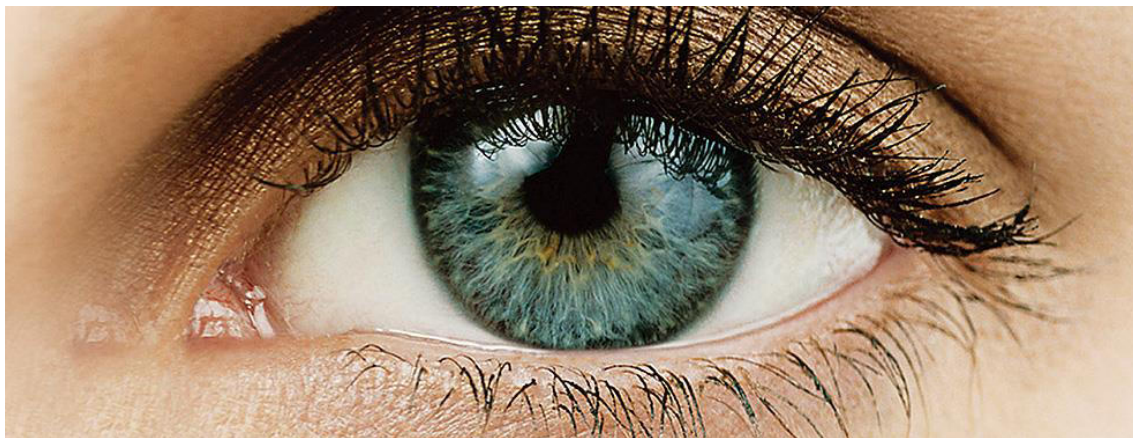
9.5 Täuschungen des „Hosenbodengefühls“

- „Hosenbodengefühl“ nicht für Orientierung im Raum geeignet (Keine Unterscheidung von Schwerkraft und Zentrifugalkraft / Scheinlot)
- Alleiniges Verlassen auf „Hosenbodengefühl“ z.B. beim Einfliegen in eine Wolke führt unweigerlich zum Unfall
- Täuschungen:
 - Beim Einleiten einer Kurve wird am Höhenruder gezogen um die Höhe zu halten
 - Die auftretende Beschleunigung zusammen mit erhöhtem Sitzdruck führen dann zum Eindruck des Steigfluges

 Merke: Beim koordiniertem Kurvenflug wird der Eindruck eines Steigfluges vermittelt

10. Sehsinn

Funktion des Auges, optische Täuschungen





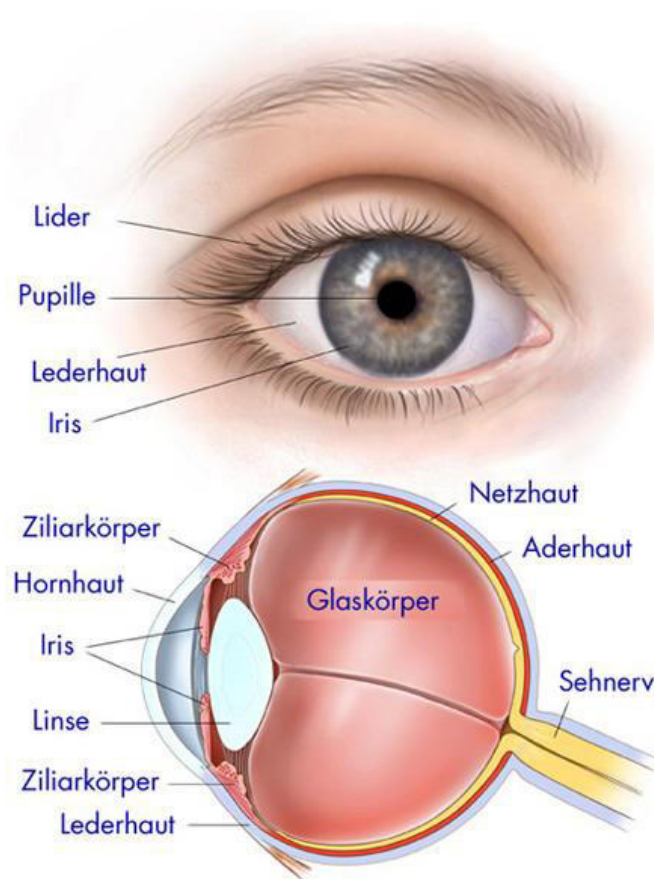
10. Sehsinn

10.1 Allgemeines

- 90 % der Lageorientierung durch den Sehsinn
- Entfernungsschätzung, räumliches Sehen
- Fehlsichtigkeit verhindert rechtzeitiges und sicheres Erkennen von anderen Flugobjekten, Gelände, etc.
- Farbsehstörungen können das Ablesen von Instrumenten behindern
- Optische Täuschungen können zu Unfällen führen

10. Sehsinn

10.2 Das Auge



[Link zum Video: Das Auge](#)





10. Sehsinn

10.2 Das Auge

- Zentrales Sehen für hohe Detailschärfe und Farbsehen bei gutem Licht erfolgt durch die „Zapfen“
- Peripheres Sehen, welches Bewegung besser wahrnimmt und das Sehen bei Nacht und Dämmerung erfolgt durch die „Stäbchen“ an der Netzhautperipherie
 - Deshalb kann es durchaus sein das beim Nacht Objekte scharf gesehen werden können, wenn man $5^\circ - 6^\circ$ an ihnen vorbeischaud
- Scharfstellen von Objekten verschiedener Entfernungen durch flachziehen der Linse (Ferne) und elastisches zurückstellen der Linse (Nahbereich)



10. Sehsinn

10.2 Das Auge

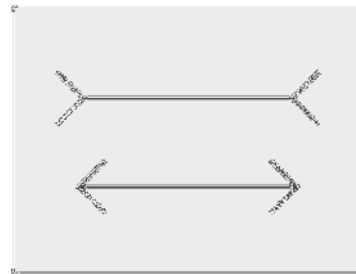
Verminderung der Sehleistung durch:

- Alkohol
- Medikamente
- Sauerstoffmangel
- Müdigkeit, Unkonzentriertheit
- Stress
- Kälte oder Hitze

10. Sehsinn

10.3 Optische Täuschungen

- Fehlinterpretationen des Gehirn
- Wiedererkennungsfaktor verringert notwendige Rechenleistung des Gehirns



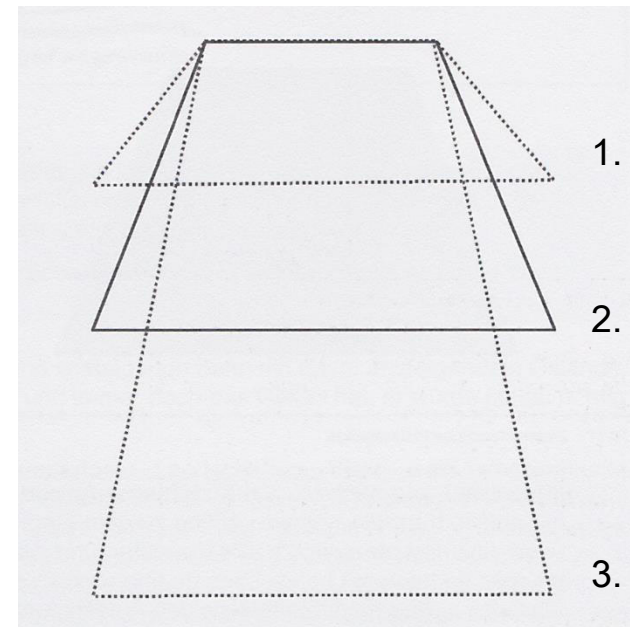
10. Sehsinn

10.3 Optische Täuschungen

10.3.1 Fehleinschätzungen beim Anflug

- Gehirn muss beim Anflug optische Informationen auswerten
 - Anfluggeschwindigkeit
 - Anflugwinkel
 - Sinkgeschwindigkeit
 - Höhe über Grund
- Dabei kann es zu Schätzfehlern kommen
 - Erfahrung hilft diese Schätzfehler zu vermeiden

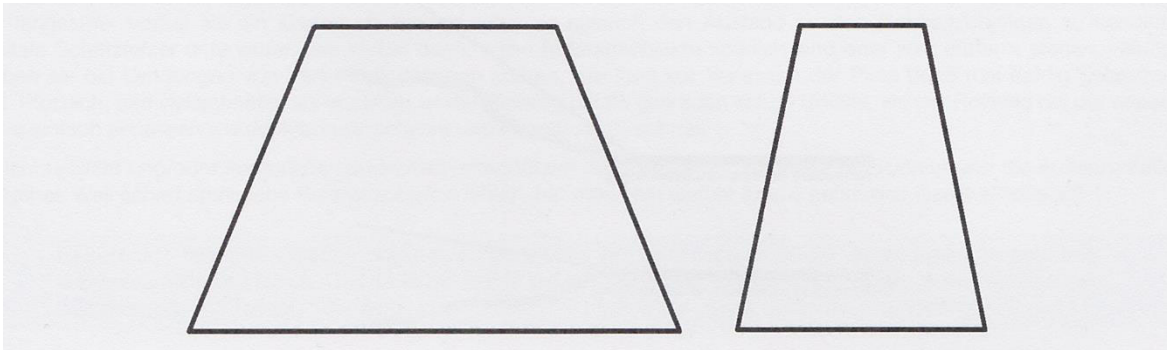
1. Zu tief
2. Richtiger Anflug
3. Zu hoch



10. Sehsinn

10.3 Optische Täuschungen

10.3.2 Fehleinschätzungen beim Anflug (Breite der Landebahn)



- Beide Pisten sind gleich lang
- Linke Piste doppelt so breit wie die rechte
- Gleiche Anflughöhe

- Optische Erscheinung:
 - Anflug auf linke Piste korrekt
 - Anflug auf rechte Piste scheint zu hoch zu sein
 - **Jedoch sind beide Anflüge korrekt**



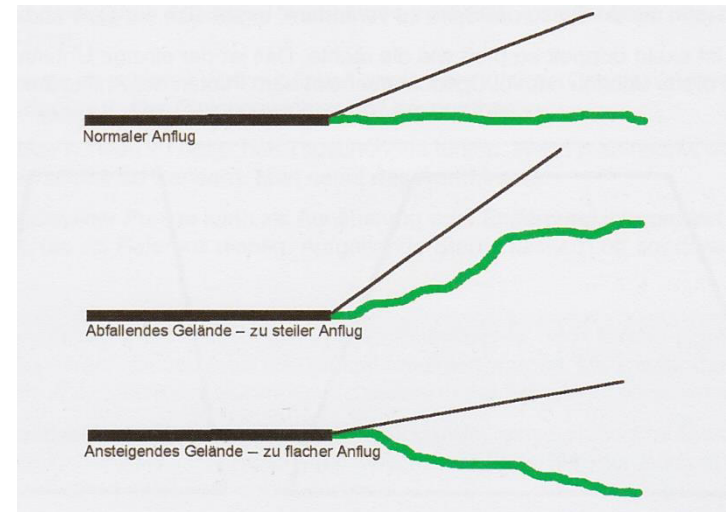
10. Sehsinn

10.3 Optische Täuschungen

10.3.3 Fehleinschätzungen beim Anflug (Geländehöhe)

- Abfallendes Gelände:
 - Eindruck zu tief zu sein
 - Korrektur führt zu einem zu hohen Anflug
 - Gefahr des Überschießen der Landebahn

- Ansteigendes Gelände:
 - Eindruck zu hoch zu sein
 - Korrektur führt zu einem zu flachen Anflug
 - Gefahr des Zukurzkommens oder der Kollision mit Hindernissen vor der Landebahn

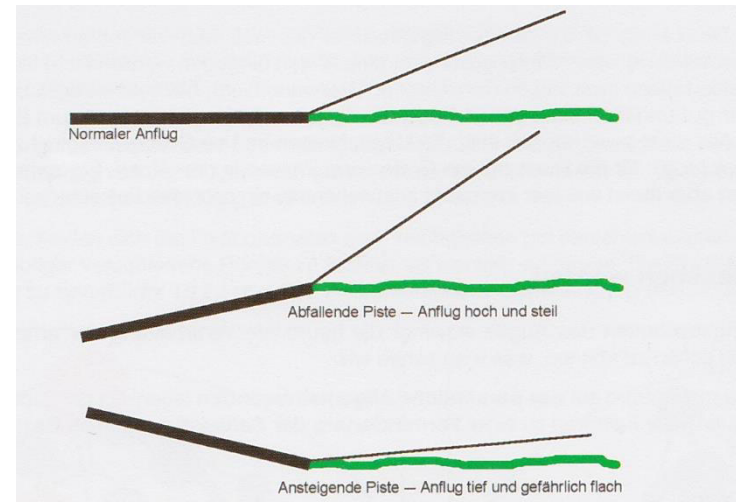


10. Sehsinn

10.3 Optische Täuschungen

10.3.4 Fehleinschätzungen beim Anflug (Bahnneigung)

- **Abfallende Piste:**
 - Gleitwinkel wird zu flach eingeschätzt
 - Landung erfolgt steil und mit hoher Sinkrate
- **Ansteigende Piste:**
 - Eindruck zu hoch zu sein und zu weit zu kommen
 - Anflug erscheint zu steil
 - Durch korrigieren kommt man zu tief und gefährlich flach
 - Aufsetzen ist hart, da man zu wenig zieht

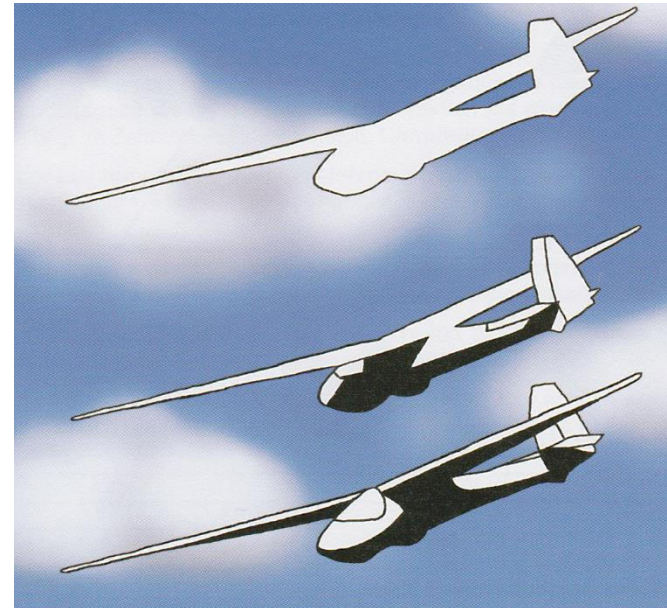


10. Sehsinn

10.3 Optische Täuschungen

10.3.5 weitere Optische Täuschungen

- Nähert sich ein Flugzeug oder entfernt es sich?
- Autokinese
 - Bei Nacht betrachtete Lichtpunkte (Sterne) beginnen scheinbar zu wandern
- Flicker Schwindel / Flicker Vertigo
 - Rhythmisches Blinken oder Blitzen kann zu Schwindelgefühlen führen





10. Sehsinn

10.4 Schutz des Auges

- Eine gute Sonnenbrille ist beim Fliegen unverzichtbar
- Schutz des Auges auch vor seitlichen Lichteinfall (Gletscherbrille)
- Sie sollte das UV – Licht ausfiltern und Blendungen vermeiden und darüber hinaus:
 - Die Unterscheidung verschiedener Farben qualitativ nicht wesentlich verringern
 - Keine störende Polarisationswirkungen hervorrufen (Stören das Ablesen von elektronischen Instrumenten)
- Außerdem fördert eine Sonnenbrille eine schnellere Dunkelanpassung (Nur für das Fliegen bei Nacht)



10. Sehsinn

10.5 Kollisionsvermeidung und Luftraumbeobachtung

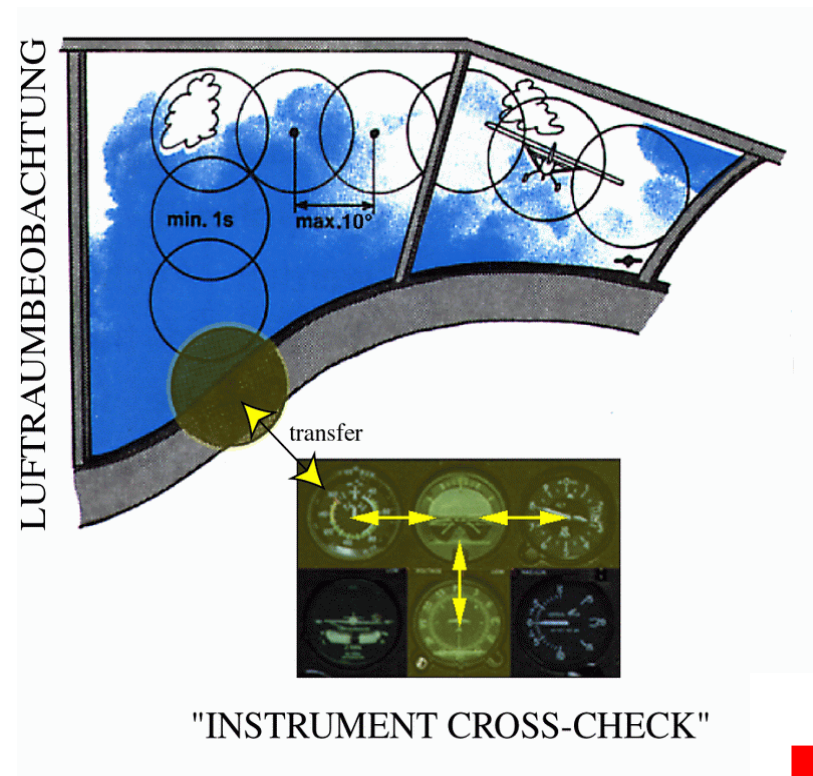
- Kollisionsvermeidung ist Luftraumbeobachtung
- Richtige Sehtechnik für Luftraumbeobachtung nötig
- Nicht darauf verlassen gesehen zu werden
- Entfernungen können wir nicht sehen, wir schätzen sie
 - Bewegungen des Objektes zu anderen Gegenständen (Referenzobjekten)
 - Landung eines A380 und eines Business-Jets (A380 sieht langsamer aus)

10. Sehsinn

10.5 Kollisionsvermeidung und Luftraumbeobachtung

Scanning – Methode zur Luftraumbeobachtung

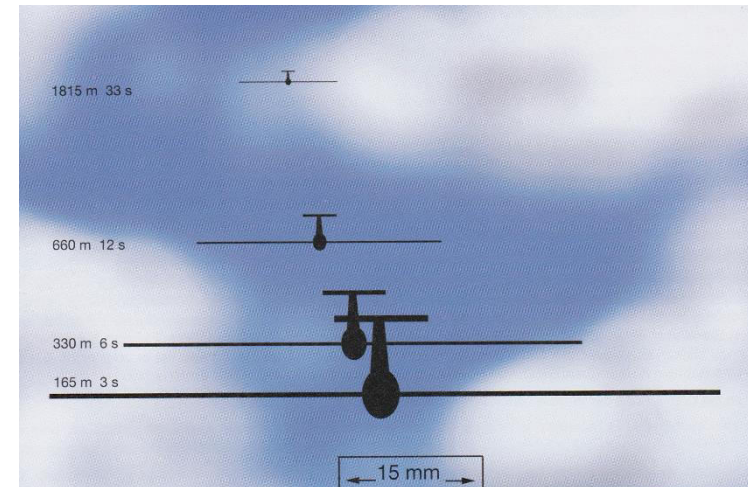
- Augen abschnittsweise ca. 10-20 Grad wandern lassen
- ca. 1 Sek. auf den sich leicht überschneidenden Blicksektoren verweilen
- Ständiges wiederholen dieses Vorgangs



10. Sehsinn

10.5 Kollisionsvermeidung und Luftraumbeobachtung

- Eine Maschine die den Flugweg kreuzt ist leicht zu erkennen
- Ein Flugzeug auf frontalen Kollisionskurs ist schwer zu erkennen und sehr gefährlich
 - Zunächst ist es sehr klein und wird stationär bleiben
 - Anschließend wird es langsam größer
 - Am Ende wird es rasch größer und eine Kollision ist kaum noch zu vermeiden
- Ein realistisches Zeitmaß zwischen Erkennen eines Kollisionsrisikos und dem Einleiten eines Ausweichmanövers ist ca. 5 – 10 s



10. Sehsinn

10.5 Kollisionsvermeidung und Luftraumbeobachtung

LATENZZEITEN beim SEHVORGANG

Aktion (Skysearch)	Zeit(sec)	
	f. Aktion	Total
WAHRNEHMUNG	0,100	0,100
VORBEREITUNG der MOTORIK	0,175	0,275
AUGENBEWEGUNG (40°)	0,050	0,325
FIXIEREN	0,070	0,395
ERKENNEN	0,650	1,045
	Summe:	1,045
ENTSCHEIDEN	2,000	3,045
CONTROLS BEWEGEN	0,400	3,445
AUSWEICHBEWEGUNG des Flugzeugs	2,000	5,445
	Summe:	5,445



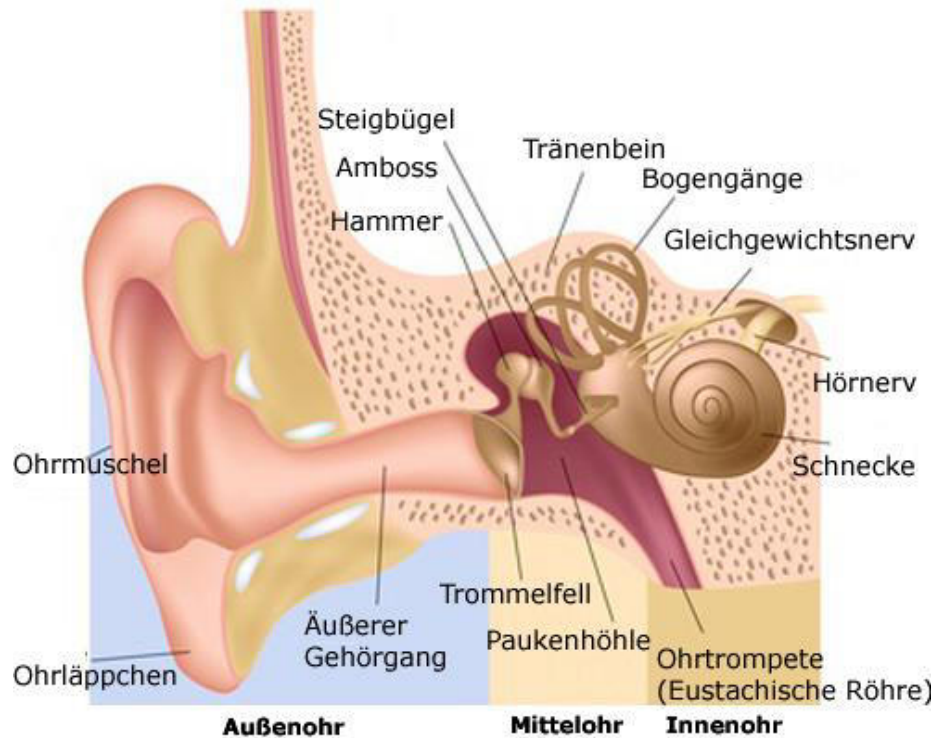
11. Gehör

Funktionsprinzip, Schutz des Gehörs



11. Gehör

11.1 Funktionsweise des Gehörs



[Link zum Video: Das Gehör](#)





11. Gehör

11.2 Warum ist gutes Hören wichtig?

- Verständigung mit anderen Luftfahrzeugen bzw. Fluglotsen
- Verständigung mit Co – Piloten um Missverständnisse zu vermeiden
- Wahrnehmung von Warnsignalen, die von Instrumenten ausgegeben werden (z.B. Flarm)

Schutz des Gehörs in Motorflugzeugen (auch Motorsegler mit Klapptriebwerk)

- Headset bzw. Lärmschutz - Ohrstöpsel



12. Physiologische Belastungen

Alkohol, Medikamente, Rauchen





12. Physiologische Belastungen

12.1 Allgemeines

Bei folgenden Faktoren ist ein Flug in jedem Falle zu unterlassen:

- **D** rugs
- **E** xhaustion
- **A** lcohol
- **T** obacco
- **H** ypertonie

In diesem Abschnitt werden Faktoren besprochen, die die Leistungsfähigkeit besonders einschränken



12. Physiologische Belastungen

12.2 Alkohol (1)

- Alkohol ist eine Droge (jedoch in der Gesellschaft gängig)
- Bereits geringe Mengen Alkohol im Blut stellen beim Fliegen eine extreme Gefährdung dar
- Deshalb: **In der Fliegerei gilt absolutes Alkoholverbot !!!**
- Alkoholabbau ca. 0,1 ‰ pro Stunde durch die Leber (kann nicht beschleunigt werden)
- Um jegliches Risiko auszuschließen gilt 8 h vor dem Flug ein absolutes Alkoholverbot (je nach Situation meist auch länger)





12. Physiologische Belastungen

12.2 Alkohol (2)

- Einfluss des Alkohols auf den Körper
 - Gleichgewichtssinn gestört
 - Sprachzentrum gestört
 - Verschwommenes Sehen
 - Kritikfähigkeit und Selbstbeherrschung schwindet
 - Wohliges Überlegenheitsgefühl

- Einige Symptome ähneln denen der Hypoxie
 - Die Wirkung des Alkohols verstärkt sich in großen Höhen (Ein Phänomen, was so mancher Fluggast nicht bedenkt)





12. Physiologische Belastungen

12.2 Alkohol (3)

Wirkung eines steigenden Alkoholgehalts auf den Körper

- Ab 0,2 ‰ ist die Reaktionszeit bereits merklich beeinträchtigt , bewegte Objekte können nicht mehr scharf gesehen werden
- Ab 0,3 ‰ leidet der Überblick (unkoordinierte Informationsverarbeitung) und das periphere Sehen
- Ab 0,6 ‰ Tunnelblick, Unfallrisiko verdoppelt sich
- Ab 0,8 ‰ Unfallrisiko erhöht sich um den Faktor 5 - 15





12. Physiologische Belastungen

12.3 Schlaf

- Bei Schlafmangel treten Leistungseinbußen ein
- Zunahme von Fehlern beobachtbar
- Sinkt der tägliche Schlaf unter 4,5 h treten starke Leistungseinbußen ein
 - Ein Flug ist zu unterlassen





12. Physiologische Belastungen

12.4 Medikamente

- Einnahme von Medikamenten beeinflusst Organismus und kann zu Physiologischen Belastungen führen
 - Deshalb ist das Informieren des Fliegerarztes unverzichtbar, wenn trotz regelmäßiger Einnahme geflogen werden soll
- Auch nicht verschreibungspflichtige Medikamente können Nebenwirkungen verursachen, die das sichere Führen eines Flugzeug beeinträchtigen können
- Auch Wechselwirkungen von verschiedenen Medikamenten ist möglich (ggf. Hausarzt oder Fliegerarzt kontaktieren)
- Auch Impfungen können noch 48 h nach Verabreichung Reaktionen verursachen (Fliegerarzt kontaktieren)





12. Physiologische Belastungen

12.5 Rauchen

Auch Rauchen schädigt den Körper und kann in der Fliegerei die Leistungsfähigkeit mindern

- Durch Rauchen werden Schadstoffe eingeatmet, die die Atemorgane schädigen
- Stärkere Anfälligkeit gegenüber Hypoxie als Nichtraucher, da sich eine leichte CO Vergiftung einstellt
- Herz – Kreislaufsystem wird durch Nikotin geschädigt
- Rauchen während des Fliegens verboten, da Brandgefahr



13. Mentale Belastungen und Training

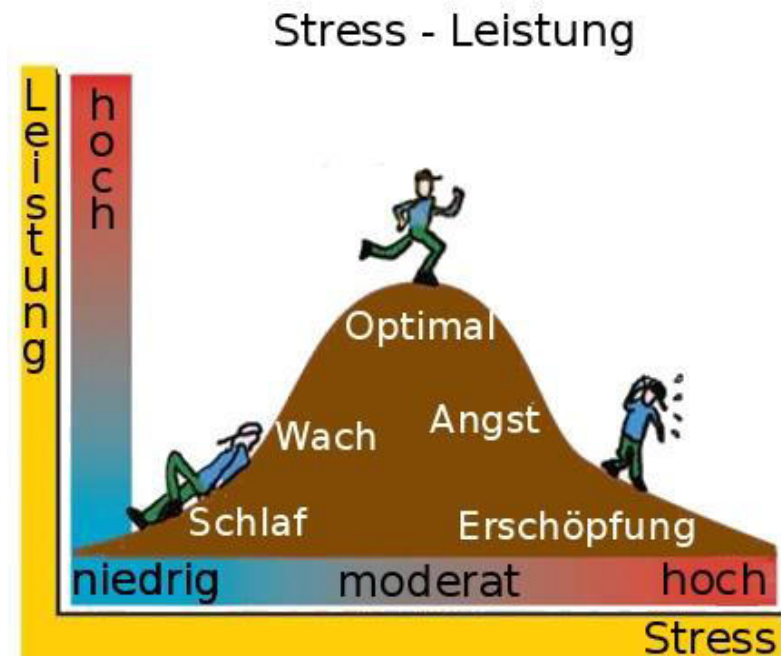
Stress, Persönlichkeitsentwicklung, Verhalten, mentales Training



13. Mentale Belastungen und Training

13.1 Stress

- Stress, Anspannung und Motivation beeinflussen unsere Leistungsfähigkeit
- Bei moderater Erhöhung des Stresses steigt zunächst die Leistungsfähigkeit
- Steigt die Anspannung jedoch weiter wird die Leistungsfähigkeit abfallen (Überbelastung)
- Erst ein optimaler Stresslevel macht optimale Leistung möglich

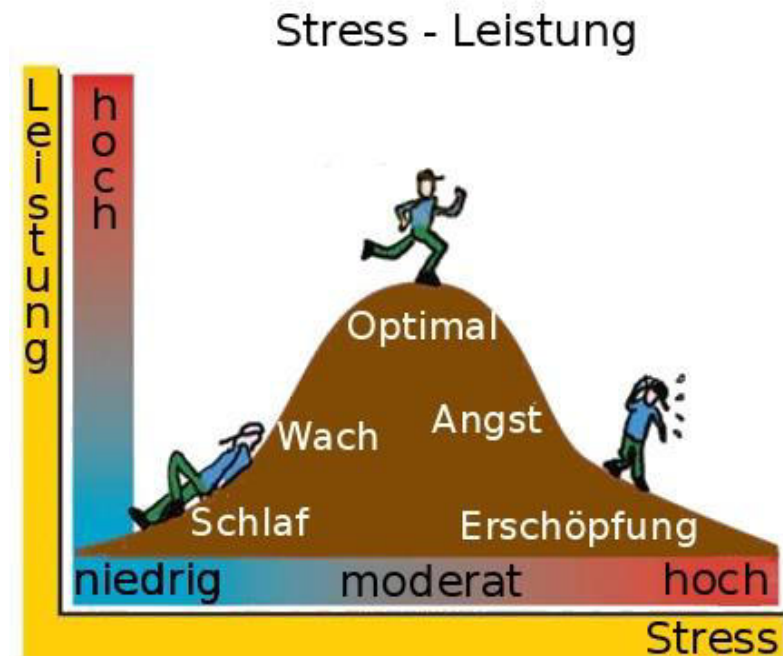


13. Mentale Belastungen und Training

13.1 Stress

Bei beginnender Überbelastung:

- Nutzen aller verfügbaren Hilfsmittel:
 - Checklisten
 - Navigationshilfen
 - Unterstützung anderer (Co - Pilot)





13. Mentale Belastungen und Training

13.2 Persönlichkeitsentwicklung

- Persönlichkeitsentwicklung findet am rasantesten im Alter von 6 – 8 Jahren statt
- Im Alter von 20 – 25 Jahren ist diese in etwa abgeschlossen
- Diese Persönlichkeit lässt sich dann später nicht mehr bzw. nur noch sehr schwer ändern
- Was man aber ändern kann ist die Einstellung des Einzelnen



13. Mentale Belastungen und Training

13.3 Einstellung und Verhalten

Folgende Grundhaltungen (Hazardous Attitudes) sind für einen Piloten gefährlich:

- Disziplinlosigkeit
- Gefühl der Unverletzbarkeit
- Unüberlegtheit
- Resignation
- Imponiergehabe





13. Mentale Belastungen und Training

13.3 Einstellung und Verhalten

13.3.1 Disziplinlosigkeit (ANTIAUTHORITY)

- „Ich lass mir nichts vorschreiben“
- Das fliegerische Umfeld ist geprägt von Regeln und Standardverfahren
- Auch wenn man sie nicht immer versteht, sollte man sich an Regeln halten

Begegnung mit folgender positiven Denkweise:

- **Folge den Vorschriften, sie sind in der Regel richtig!**





13. Mentale Belastungen und Training

13.3 Einstellung und Verhalten

13.3.2 Gefühl der Unverletzbarkeit (INVULNERABILITY)

- „Mir kann nichts passieren“
- Führt in der Regel zu antiautoritärem Verhalten

Begegnung mit folgender positiven Denkweise:

- **Ich bin nicht unverwundbar, mir kann genauso etwas passieren wie jedem anderen auch!**





13. Mentale Belastungen und Training

13.3 Einstellung und Verhalten

13.3.3 Unüberlegtheit / Impulsivität (IMPULSIVITY)

- Beispielsituation:
 - Bei einer Notlandung weicht der Pilot ohne Nachdenken von dem vorgesehenen Landefeld ab
- Entscheidungen sollten gut überlegt sein, eine impulsive Entscheidung ist meistens die falsche

Begegnung mit folgender positiven Denkweise:

- „Nicht so schnell, erstmal überdenken.“





13. Mentale Belastungen und Training

13.3 Einstellung und Verhalten

13.3.4 Resignation (RESIGNATION)

- „Egal, was ich mache, nichts hilft mir!“
- Das Befinden in einer scheinbar ausweglosen Situation und daraufhin die „Flinte ins Korn werfen“
- Aber es gibt eigentlich immer eine Lösung, man muss sich nur aktiv damit auseinandersetzen

Begegnung mit folgender positiven Denkweise:

- „Ich bin nicht hilflos, ich kann was ändern!“





13. Mentale Belastungen und Training

13.3 Einstellung und Verhalten

13.3.5 Imponiergehabe / Macho

- „Das pack' ich schon“ oder „Denen zeig' ich es“
- Das Eingehen eines unnötigen Risikos z.B. bei Airshows oder zum beeindrucken von Freunden

Begegnung mit folgender positiven Denkweise:

- „Es ist dumm Risiken einzugehen“





13. Mentale Belastungen und Training

13.4 Mentale Belastungen

- Psychische und Physische Faktoren können zu mentalen Belastungen führen
 - Persönliche Probleme, berufliche Belastungen
 - Unwohlsein

- Daher sollte man sich vor jedem Flug fragen: Bin ich sicher?
 - **I** – Illness
 - **M** – Medication
 - **S** – Stress
 - **A** – Alcohol
 - **F** – Fatigue
 - **E** – Eating

- Wenn einer dieser Punkte relevant ist, sollte man nicht fliegen!





13. Mentale Belastungen und Training

13.5 Mentales Training (1)

- Aufgenommene Sinneseindrücke gehen in einen Kurzzeitspeicher
- Durch Zusammensetzen der Eindrücke entsteht ein Bild unserer Umwelt
- Erfahrung erleichtert das Erkennen von Situationen mit relativ geringer Rechenleistung des Gehirns
 - Somit kann man schneller reagieren und gewinnt dadurch evtl.. wertvolle Zeit bei Notfällen
- Gehirn muss aber im Training bleiben um weiterhin schnell zu arbeiten
 - Daher Mentales Training





13. Mentale Belastungen und Training

13.5 Mentales Training (2)

Wie kann mentales Training aussehen?

- Gedankliches Fliegen einer Platzrunde (evtl. auch mit Bewegung der Extremitäten)
- Durchspielen von Notfallsituationen und dabei Handgriffe bzw. Abfolgen simulieren
 - Seilriss
 - Trudeln
 - Notausstieg
- Leistungsdaten der geflogenen Flugzeuge verinnerlichen



14. Fehlervermeidung / Fehlerkorrektur





14. Fehlervermeidung / Fehlerkorrektur

14.1 Mit Fehlern umgehen

- Jeder Mensch macht Fehler, auch Fluglehrer und erfahrene Piloten, nicht nur Flugschüler oder unerfahrene Scheinpiloten (Aufmerksam machen wenn ein erfahrener Pilot scheinbar einen Fehler macht)
- Auseinandersetzen mit eigenen und Fehlern anderer erhöht sie Flugsicherheit
- Eigene Fehler nicht verschweigen sondern mit anderen teilen und daraus die richtigen Schlüsse ziehen (leider nicht sehr verbreitet)
- Fehler werden verschwiegen weil eigene Fehler als „peinlich“ empfunden und verdrängt werden und ggf. im Verein negativ sanktioniert werden
- Regelmäßige Flugsicherheitsbriefings können Unfälle vermeiden (Teilnahme sollte Pflicht sein)



14. Fehlervermeidung / Fehlerkorrektur

14.2 Fehler vermeiden

- Benutzung von Checklisten
 - Checklisten helfen ganz erheblich bei der Flugdurchführung
 - Sie haben sich bewährt und decken alle Punkte ab
 - Wenn sie abgearbeitet wurde kann man sich voll auf das Fliegen konzentrieren (Senkung des Stresslevels)
 - Abläufe sind systematisiert

- Kein Verlass auf technische Hilfsmittel (GPS, Flarm, etc.)
 - Grundfertigkeiten werden verlernt (Navigation, Luftraumbeobachtung)
 - Bei überraschendem Ausfall steigt der Stresslevel erheblich und es können gefährliche Situationen entstehen

Gibt es noch Fragen?





Ende

Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit