

2. Internationales Höhensymposium

11. – 14. August 2005

am Watzmann und auf der Reiteralpe/Oberjettenberg,

# Höhenphysiologische Aspekte bei der Einführung EF 2000 Eurofighter

... im Auftrag des Generalarztes der  
Luftwaffe, GenArzt Dr. E. Rödiger

Oberstarzt Dr. med. Dipl.-Ing. H. Welsch

Leiter Abteilung - Flugphysiologie -  
Flugmedizinisches Institut der Luftwaffe  
D-01936 Königsbrück

# Abteilung Flugphysiologie des Flugmedizinischen Instituts der Luftwaffe

**Leiter: Oberstarzt Dr. med. Dipl.-Ing. H. Welsch**



**KÖNIGSBRÜCK**



## EF 2000

Eurofighter / „Typhoon“

Beschleunigung:

- $+9G_z$  (bis zu  $+12G_z$ ) , G-onset  $15 \text{ g s}^{-1}$

Höhe:

- **65.000 ft, Steigrate  $50.000 \text{ ft min}^{-1}$**



4<sup>th</sup> - generation A/C



2<sup>nd</sup> - generation A/C



# Höhenphysiologie

- Physik der Atmosphäre
- Physiologische Aspekte
- Operationelle Aspekte
- Medizinische Aspekte
- Propädeutische Aspekte
- Therapeutische Aspekte



# Höhenphysiologie

- **Physik der Atmosphäre**



# Physik der Atmosphäre

Gasgesetze von

- *Boyle-Mariotte* ( $P_1/P_2 = V_2/V_1$ )
- *Dalton* ( $P = p_1 + p_2 + p_n$ )
- *Henry* ( $P_1/P_2 = Q_1/Q_2$ )

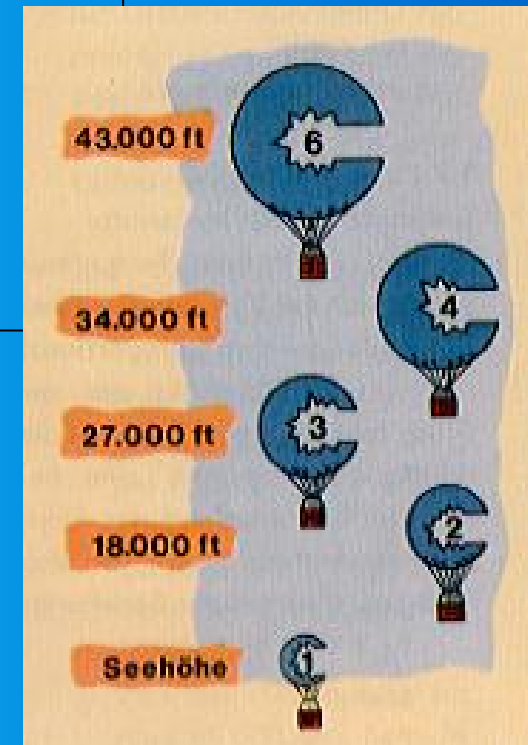


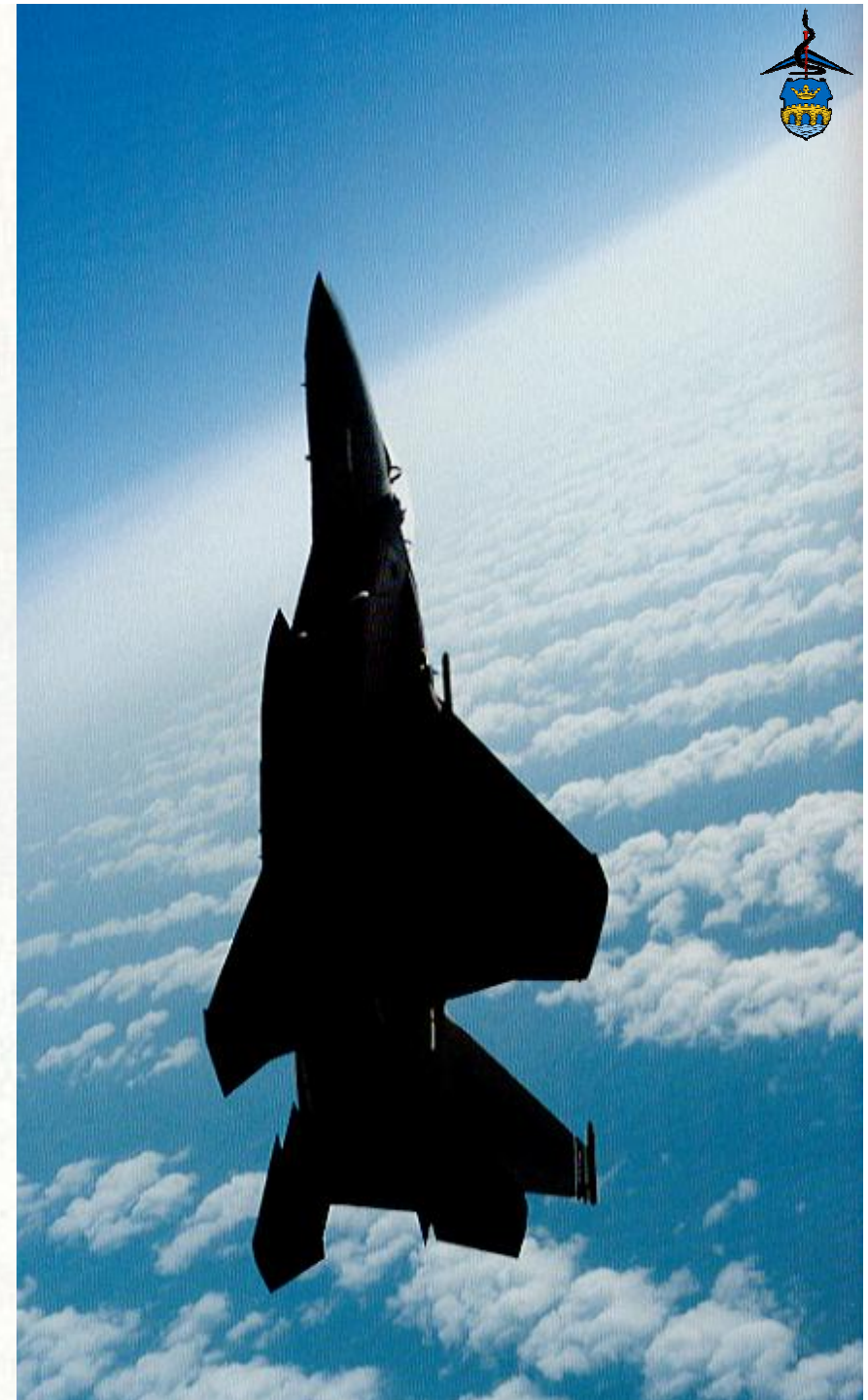
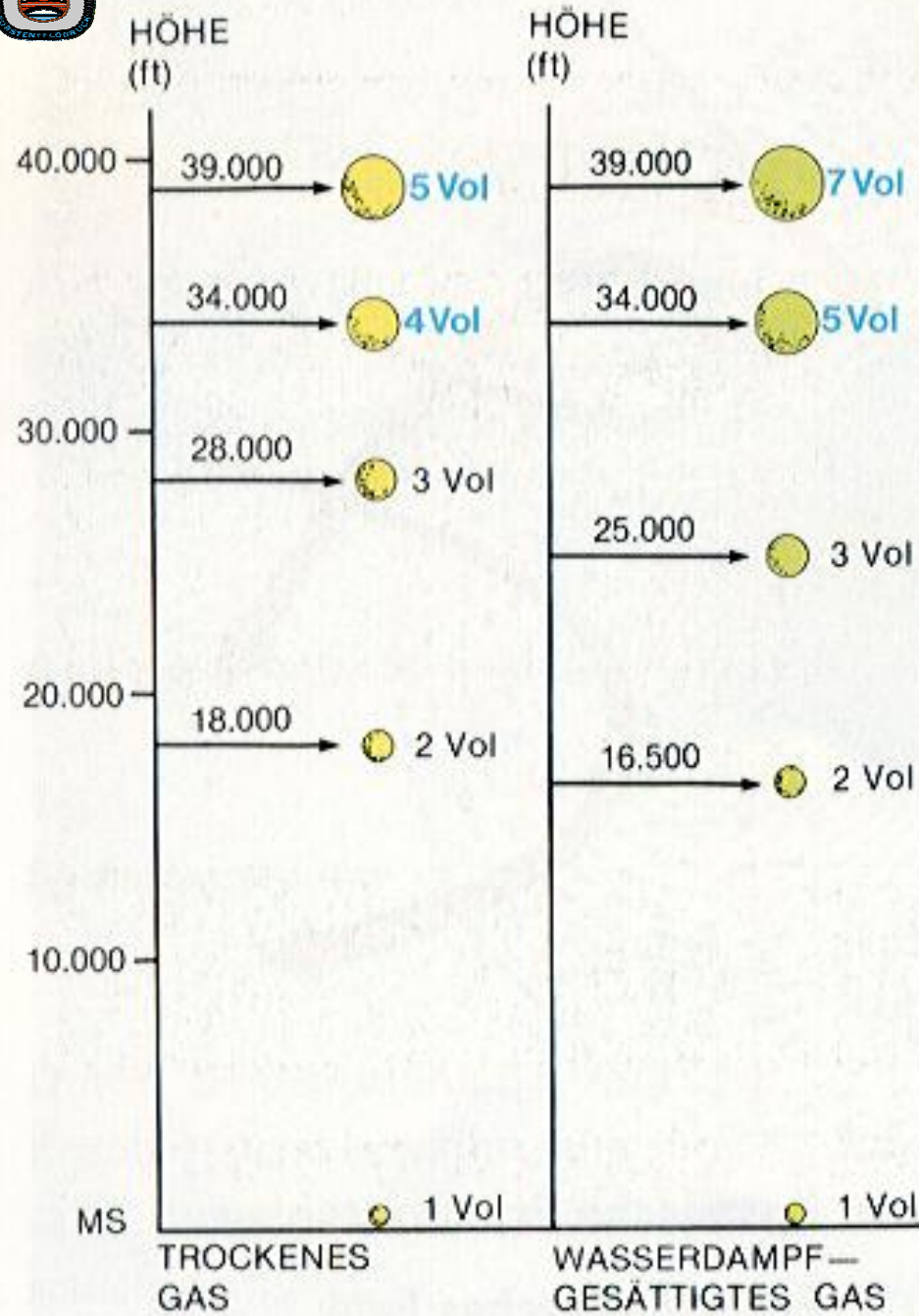
Robert Boyle

## Gasgesetz nach Boyle-Mariotte:

Das Volumen eines Gases verhält sich  
umgekehrt proportional zum Druck  
des Gases

(Temperatur konstant)







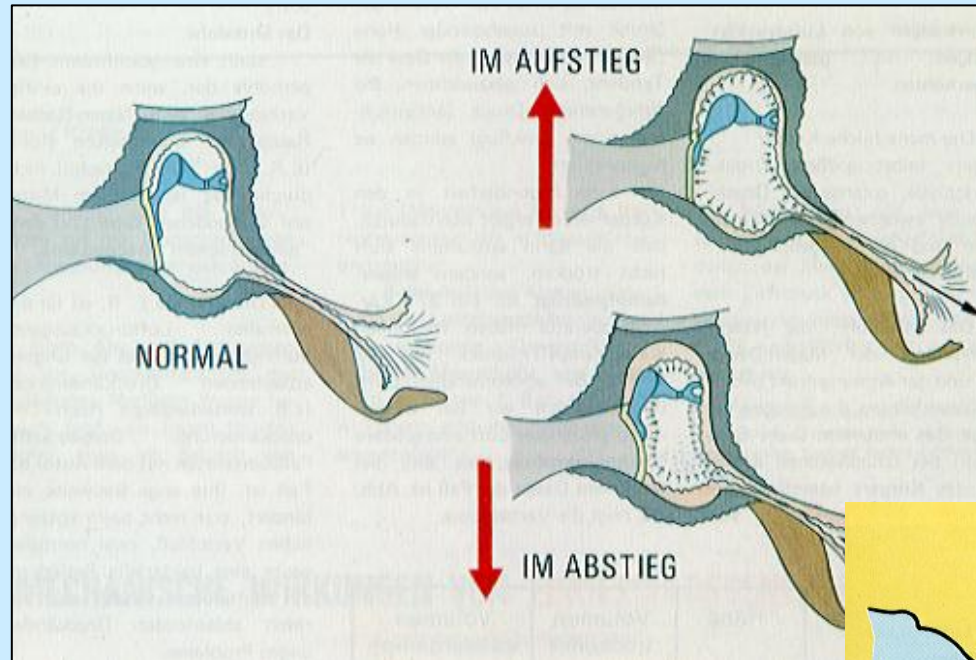


# Höhenphysiologie

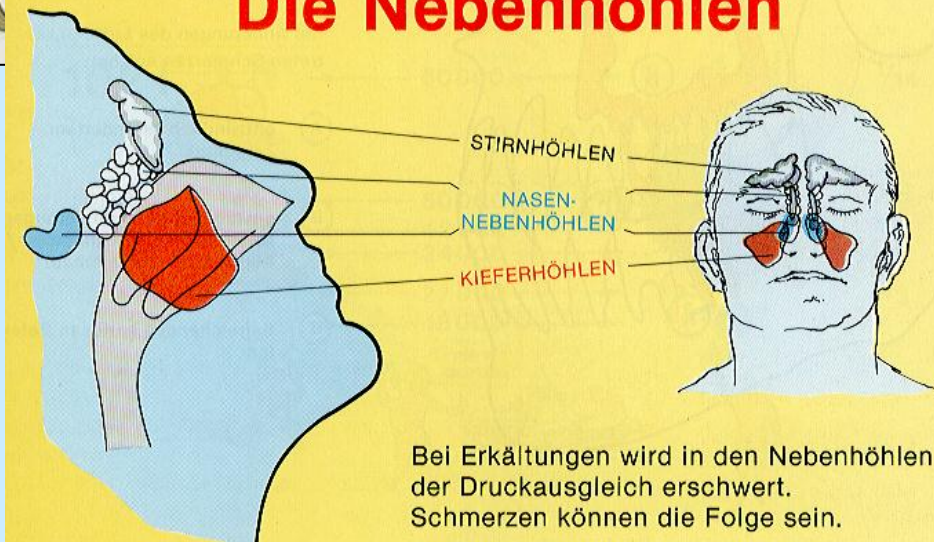
- Physik der Atmosphäre
- **Physiologische Aspekte**



# Mittelohr



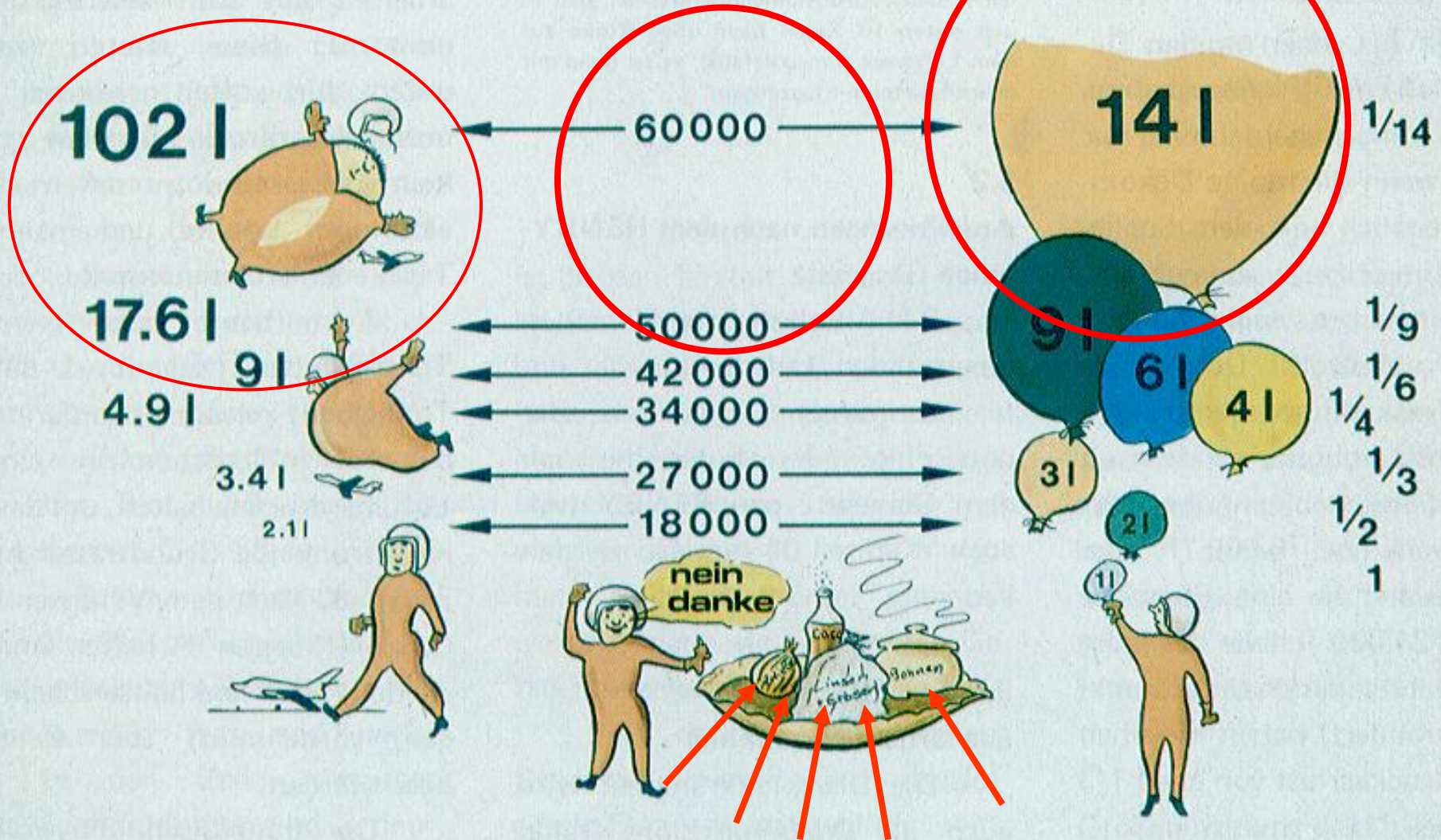
## Die Nebenhöhlen



Bei Erkältungen wird in den Nebenhöhlen der Druckausgleich erschwert. Schmerzen können die Folge sein.



# Magen-Darmtrakt





# Höhenphysiologie

- Physik der Atmosphäre
- Physiologische Aspekte
- **Operationelle Aspekte**



# Rapide Dekompression



Volumenausdehnung bei trockenen und wasserdampfgesättigten Gasen

**trockene Gase**

**H<sub>2</sub>O-gesättigte Gase**

8.000 ft =	753 mbar	1
22.000 ft =	428 mbar	1,76
<hr/>		
	325 mbar	

690 mbar	1	
365 mbar	1,89	
<hr/>		
	325 mbar	

6.000 ft =	812 mbar	1
34.000 ft =	250 mbar	3,25
<hr/>		
	562 mbar	

749 mbar	1	
187 mbar	4,01	
<hr/>		
	562 mbar	

8.000 ft =	753 mbar	1
38.000 ft =	207 mbar	3,64
<hr/>		
	546 mbar	

690 mbar	1	
144 mbar	4,79	
<hr/>		
	546 mbar	

6.000 ft =	812 mbar	1
38.000 ft =	207 mbar	3,92
<hr/>		
	605 mbar	

749 mbar	1	
144 mbar	5,20	
<hr/>		
	605 mbar	

8.000 ft =	753 mbar	1
34.000 ft =	250 mbar	3,01
<hr/>		
	503 mbar	

690 mbar	1	
187 mbar	3,69	
<hr/>		
	503 mbar	



# Rapide Dekompression

Volumenausdehnung bei trockenen und wasserdampfgesättigten Gasen

trockene Gase			H <sub>2</sub> O-gesättigte Gase		
8.000 ft =	753 mbar	1	690 mbar	1	
22.000 ft =	428 mbar	1,76	365 mbar	1,89	
	325 mbar		325 mbar		
18.500 ft =	498 mbar	1	435 mbar	1	
45.000 ft =	148 mbar	3,36	85 mbar	5,12	
	350 mbar		350 mbar		
20.000 ft =	466 mbar	1	403 mbar	1	
50.000 ft =	116 mbar	4,02	53 mbar	7,60	
	350 mbar		350 mbar		
21.500 ft =	438 mbar	1	375 mbar	1	
55.000 ft =	91 mbar	4,81	28 mbar	13,39	
	347 mbar		347 mbar		
22.500 ft =	417 mbar	1	354 mbar	1	
60.000 ft =	72 mbar	5,79	9 mbar	39,33	
	345 mbar		345 mbar		
23.500 ft =	400 mbar	1	337 mbar	1	
65.000 ft =	57 mbar	7,02	-6 mbar	-56,17	
	343 mbar		343 mbar		



der Differenzdruck 350 mbar entspricht 5 PSI

Wasserdampf-Partialdruck bei 37°C:  
47mmHg = 63 mbar



# Höhenphysiologie

- Physik der Atmosphäre
- Physiologische Aspekte
- Operationelle Aspekte
- Medizinische Aspekte



# Gasgesetz nach Henry



Die Menge eines Gases in Lösung ist proportional dem Druck des Gases über der Flüssigkeit

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$$





# BENDS

- Taubes Gefühl in Gelenken und Muskeln
- Innerhalb einer Stunde anfangs dumpfe dann pochende Schmerzen
- Schmerzen in Gelenken und Muskeln (Schulter-, Ellbogen-, Handgelenke)

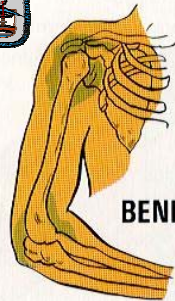


# NEUROLOGISCHE (ZNS) STÖRUNGEN



## Ausfälle des Hirn und Nervenbereiches

- Sehstörungen, Kopfschmerzen, Hörbeeinträchtigungen, Ohrensausen, Muskelzittern



BENDS

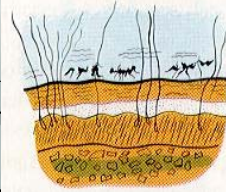
Bei Druckabfall ( 50% ) kann gelöster Stickstoff im Körper gasförmig werden



Bläschen - bildung



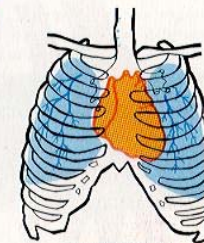
ZNS-STÖRUNGEN



PARÄSTHESIEN

# PARÄST

- Juckreiz, der bisweilen mit Rötung und Schwellung einhergeht
- Kleine punktförmige, flohstichartige Ausschläge
- Durch Kratzen werden die Bläschen nur verteilt und die vom Juckreiz befallene Fläche vergrößert sich



CHOKES

# CHOKES

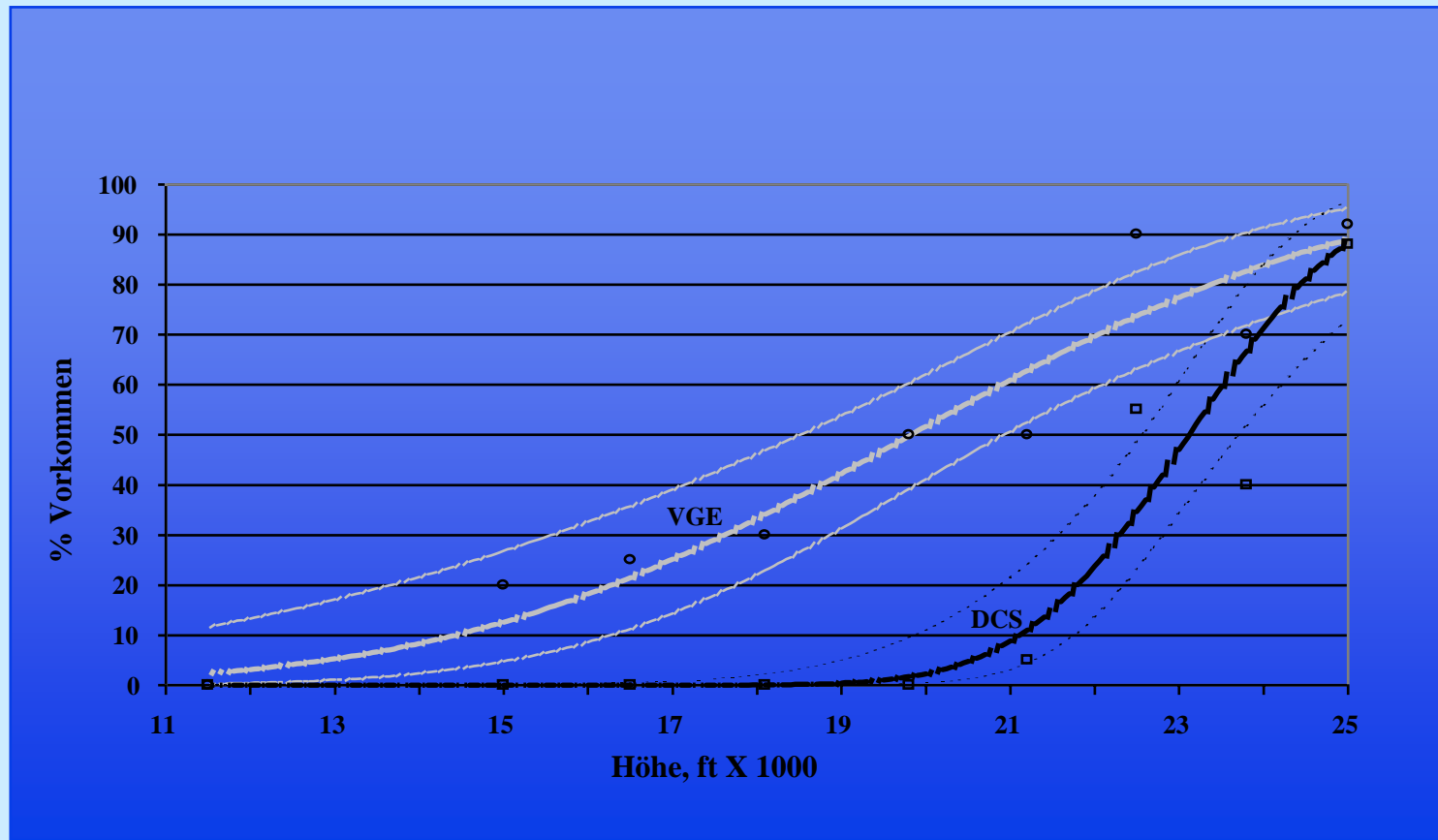
in Lungengefäßnetz

isationen hinter dem Brustbein

- Erstickungsanfälle
- Allgemeine Kollapszeichen (kalter Schweiß, Blässe, Schwindel)



# Auftreten von Druckfallkrankheit (DCS) und venöser Gasembolie (VGE) bei Aufenthalt in größerer Höhe; ohne Voratmung (nach Andrew A. Pilmanis, Ph.D.)





# Die wichtigsten variablen Einflussgrößen

- Höhe
- Aufenthaltsdauer
- Zusammensetzung des Atemgases
- Voratmung
- Bewegung / körperliche Anstrengung



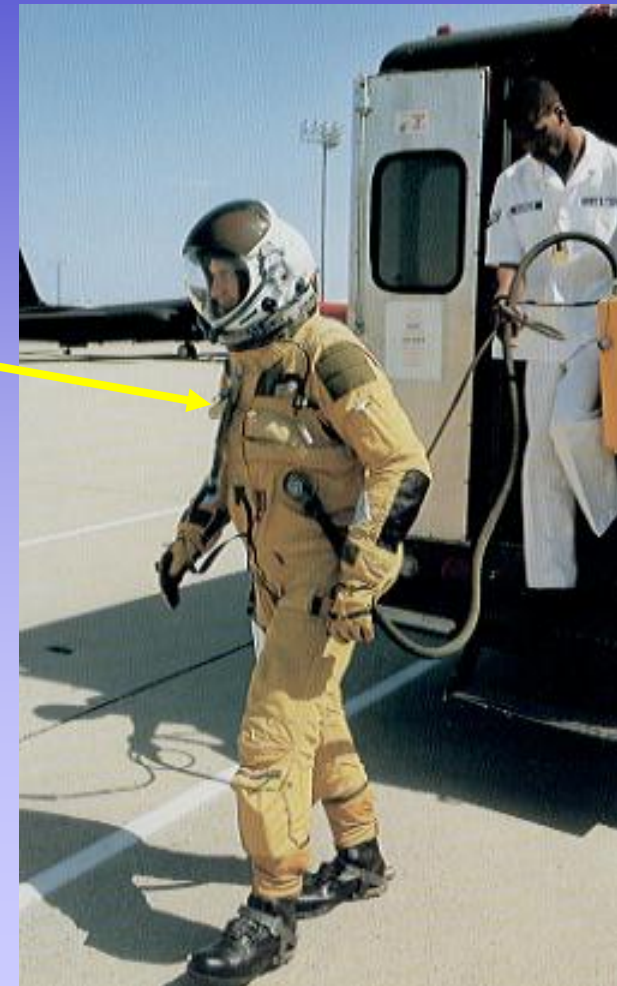
# Höhenphysiologie

- Physik der Atmosphäre
- Physiologische Aspekte
- Operationelle Aspekte
- Medizinische Aspekte
- **Propädeutische Aspekte**



# Vorbeugende Maßnahmen gegen Druckfallkrankheit (DCS)

- **Druckkabine (+)** Im EF 2000 aber nicht so!
- **Druckanzug (+/-)**
- **Gebrauch von 100 % Sauerstoff (+/-)**
- **Voratmung mit Sauerstoff (-)**
- **eingeschränkte Zeit auf Höhe (!)**
- **eingeschränktes Arbeiten auf Höhe (!)**





# Höhenphysiologie

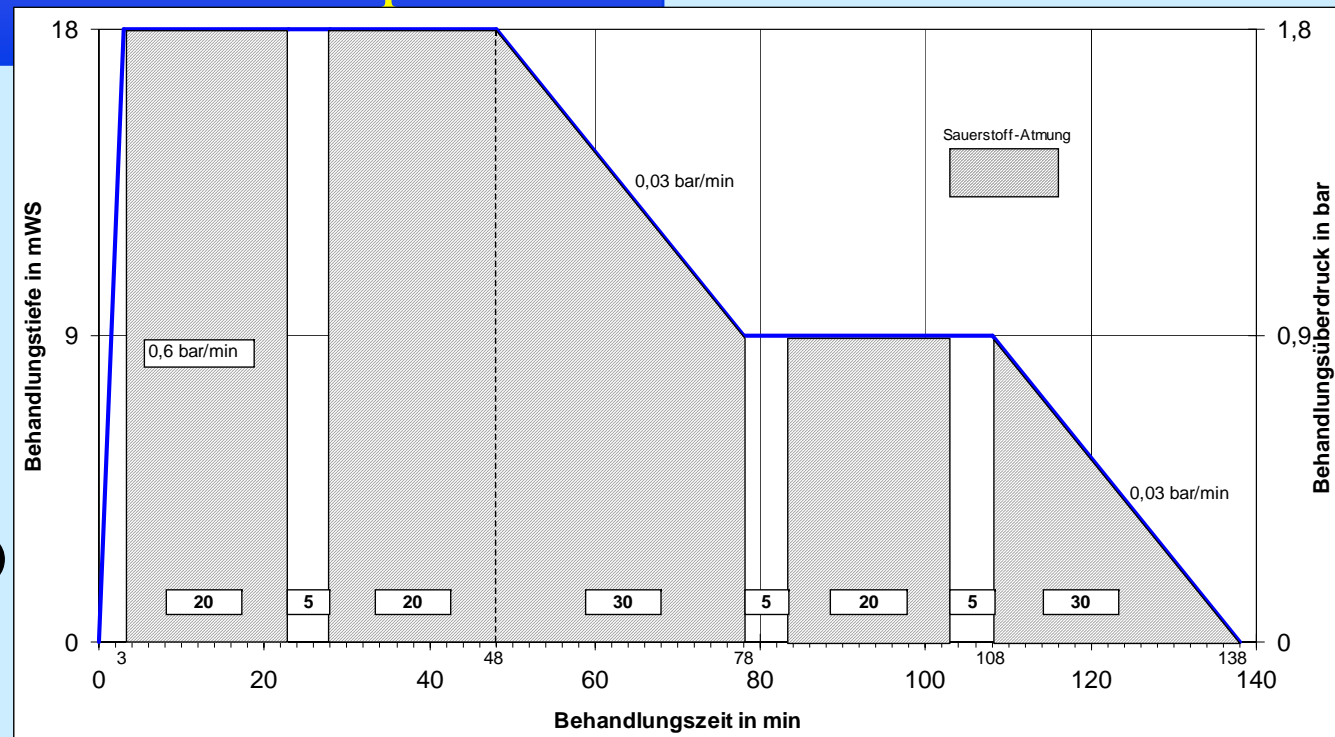
- Physik der Atmosphäre
- Physiologische Aspekte
- Operationelle Aspekte
- Medizinische Aspekte
- Propädeutische Aspekte
- **Therapeutische Aspekte**



# Maßnahmen gegen Druckfallkrankheit (DCS)

- Atmung von 100% Sauerstoff  
(normobare Sauerstofftherapie)
- Hyperbare Sauerstofftherapie

**Tauchgang zur  
Behandlung von  
DCS (Gelenk- und  
Muskelschmerzen)**



Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit!



Oberstarzt Dr. med. Dipl.-Ing. H. Welsch

Leiter Abteilung - Flugphysiologie -  
Flugmedizinisches Institut der Luftwaffe

D-01936 Königsbrück

Tel.: +49-35795-349 300

eMail: HeikoWelsch@Bundeswehr.org

Fragen?