

## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Physik 1

#### Zusammensetzung der Luft/Luftdruck und Wasserdruck

Die uns umgebende atmosphärische Luft ist ein Gasgemisch, welches sich aus den unten genannten Einzelgasen zusammensetzt. Für die in der Tauchmedizin notwendigen Berechnungen ist folgende Genauigkeit ihrer Zusammensetzung ausreichend: 21% Sauerstoff + 79% Stickstoff (incl. 1% Edelgase). Da der Hauptbestandteil der Edelgase in der Atemluft Argon (Ar) ist und dieser sich bezüglich der physiologischen Wirkungen ähnlich wie Stickstoff verhält, können diese hier subsumiert werden.

Das Gewicht einer Wassersäule von 1 cm Höhe und 1 cm<sup>2</sup> Grundfläche beträgt genau 1 Pascal. 10 Meter Wassersäule üben etwa den gleichen Druck aus wie die atmosphärische Luftsäule. Da Flüssigkeiten praktisch inkompressibel sind, erhöht sich der Druck in ihnen linear mit zunehmender Wassertiefe. Es kommt so je 10 Meter Wassertiefe zu einer Druckzunahme um 1 bar.

Mit zunehmender Höhe sinkt der Luftdruck. Auf den ersten 1000 Metern ist die Druckabnahme annähernd linear. Bis ca. 4000 m Höhe kann überschlagsmäßig mit einem Druckabfall von 0,1 bar pro 1000 Meter gerechnet werden.

Auch in Bergseen nimmt der Druck mit der Tiefe linear um 1 bar je 10 Meter Wassersäule zu.

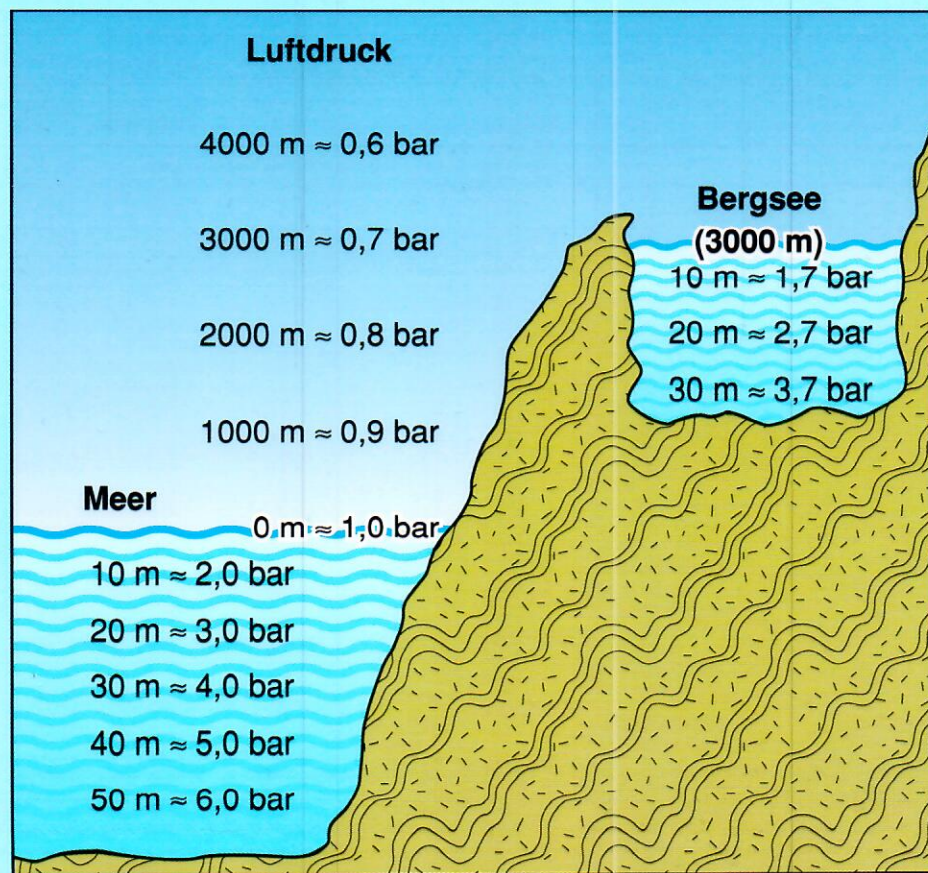
## Tauchmedizin/Physik 1

### Zusammensetzung der Luft

Stickstoff	(N <sub>2</sub> )	78,09 %
Sauerstoff	(O <sub>2</sub> )	20,95 %
Kohlendioxid	(CO <sub>2</sub> )	0,03 %
Argon	(Ar)	0,93 %
andere Gase		Spuren

*1 m<sup>3</sup> Luft bei 1 bar wiegt 1,29 kg*

### Luftdruck und Wasserdruck



## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Physik 2

#### **Gasgesetz von Boyle-Mariotte**

Das erste fundamentale Gesetz, welches sich vom idealen Gasgesetz (siehe Folie 4) ableitet und für die Tauchmedizin erhebliche Bedeutung hat, wurde durch Sir Robert Boyle (1627 – 1691) aufgestellt. Durch diese Gesetzmäßigkeit lassen sich viele der druckwechselinduzierten Erkrankungen (insbesondere die Barotraumata) erklären.

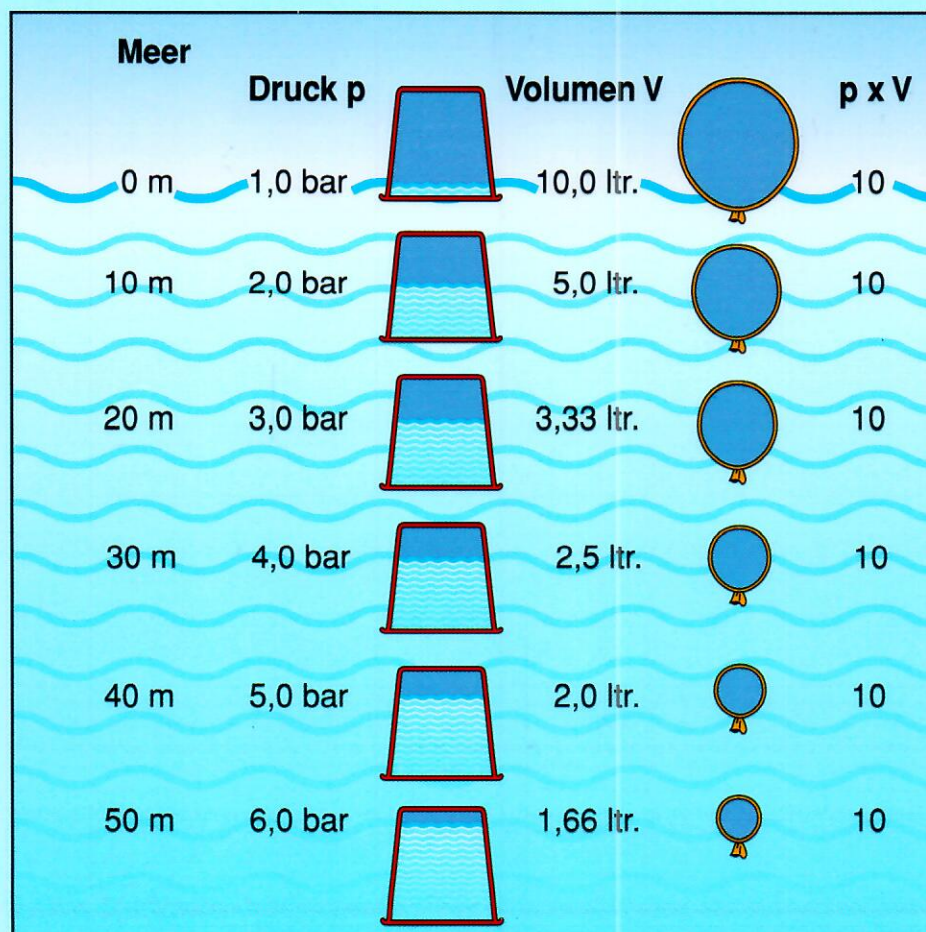
## Tauchmedizin/Physik 2

### Gasgesetz von Boyle-Mariotte

Das Produkt aus dem Druck  $p$  und dem Volumen  $V$  ist bei einer abgeschlossenen Gasmenge konstant, wenn die Temperatur konstant bleibt!

$$p \times V = \text{const.} \quad \text{für } T = \text{const.}$$

Arbeitsformel:  $p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$



## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Physik 3

#### **Gesetz von Amontons**

Das Gesetz von Amontons gilt wie das Gesetz von Boyle-Mariotte für abgeschlossene ideale Gasmengen und beschreibt die gegenseitige Abhängigkeit von Druck und Temperatur bei Gasen. Praktische Relevanz hat dieses Gesetz sowohl für den Taucher als auch für den Taucherarzt. Das Phänomen des sinkenden Flaschendruckes im kühlen Wasser läßt sich hiermit erklären.

Für Berechnungen sind in die Formel Temperaturen in Kelvin [K] einzusetzen. Die Skalierung ist dieselbe wie auf der Celsius-Skala, beginnt jedoch am absoluten Nullpunkt ( $-273\text{ °C}$ ).

## Tauchmedizin/Physik 3

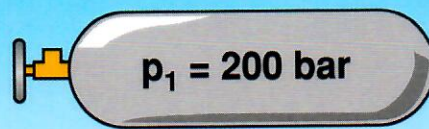
### Gasgesetz von Amontons

Der Quotient aus dem Druck  $p$  und der Temperatur  $T$  ist bei einer abgeschlossenen Gasmenge konstant, wenn das Volumen konstant bleibt!

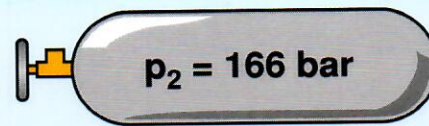
$$\frac{p}{T} = \text{const.} \quad \text{für } V = \text{const.}$$

Arbeitsformel:  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$   $T$  = Temperatur in Kelvin  
(= Temperatur in  $^{\circ}\text{C} + 273$ )

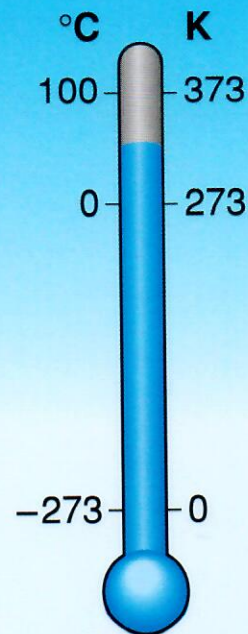
Druck in einer Pressluftflasche nach schnellem Flaschenfüllen ( $p_1$ ) und in kaltem Wasser ( $p_2$ )



$$T_1 = 333 \text{ K } (= 60 \text{ }^{\circ}\text{C})$$



$$T_2 = 277 \text{ K } (= 4 \text{ }^{\circ}\text{C})$$



## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Physik 4

#### Gesetz von Gay-Lussac/Thermische Zustandsgleichung idealer Gase

##### Gesetz von Gay-Lussac (Charles Law)

Dieses Gesetz beschreibt die Volumenänderungen eines Gases bei konstantem Druck in Abhängigkeit von der Temperatur. In der tauchmedizinischen Literatur wird dieses Gesetz allerdings häufig fälschlich für die Druckänderungen eines Gases bei gleichbleibendem Volumen zitiert. Diese treten allerdings in der praktischen Anwendung beim Tauchen so gut wie nicht auf. Auf eine grafische Darstellung wird daher verzichtet.

#### Thermische Zustandsgleichung idealer Gase (allgemeines Gas-Gesetz)

Zur Beschreibung des Verhaltens eines Gases benutzt man in der Physik ein „erdachtes“, nicht reales Gas. Dies weist folgende Eigenschaften auf: Die Gasatome werden als punktförmig (also ohne Volumen) angenommen und üben daher keine Wechselwirkungskräfte aufeinander aus. Ebenso bestehen keine Wechselwirkungen mit der Umgebung. Die auf den vorherigen Folien beschriebenen Gasgesetze stellen Sonderformen des allgemeinen Gasgesetzes dar. Dies wird deutlich, wenn man die Formeln mit der umgestellten Formel des allgemeinen Gasgesetzes vergleicht:

$$\frac{p \times V}{T} = n \times R.$$

## Tauchmedizin/Physik 4

### Gasgesetz von Gay-Lussac (Charles law)

Der Quotient aus dem Volumen  $V$  und der Temperatur  $T$  ist bei einer abgeschlossenen Gasmenge konstant, wenn der Druck konstant bleibt!

$$\frac{V}{T} = \text{const.} \quad \text{für } p = \text{const.}$$

Arbeitsformel:  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$       $T = \text{Temperatur in Kelvin}$   
 (= Temperatur in °C + 273)

### Allgemeines Gasgesetz

= Thermische Zustandsgleichung idealer Gase

$$p \times V = n \times R \times T$$

oder

$$\frac{p \times V}{T} = n \times R$$

$p$  = Druck  
 $V$  = Volumen  
 $n$  = Stoffmenge in kmol  
 $R$  = allgemeine Gaskonstante  
 $T$  = Temperatur in Kelvin

Die Gasgesetze von

**Boyle-Mariotte** ( $p \times V = \text{const.}$  für  $T = \text{const.}$ )

**Amontons** ( $\frac{p}{T} = \text{const.}$  für  $V = \text{const.}$ )

und **Gay-Lussac** ( $\frac{V}{T} = \text{const.}$  für  $p = \text{const.}$ )

sind Sonderformen des Allgemeinen Gasgesetzes

## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Physik 5

#### Gesetz von Dalton

Betrachtet man die Atemluft als ein Gemisch aus 79% Stickstoff und 21% Sauerstoff, so betragen bei einem Gesamtdruck von 1,0 bar der Partialdruck des Stickstoffs 0,79 bar der des Sauerstoffs 0,21 bar. Erhöht sich jetzt der Gesamtdruck auf 5 bar, so beträgt der Teil-  
druck des Stickstoffs entsprechend seinem Anteil von 79% im Atemgasgemisch 3,95 bar und der des Sauerstoffs entsprechend seinem Anteil von 21% im Atemgasgemisch 1,05 bar.

Der Begriff „Fraktion“ [F] entspricht dem %-Begriff, 100% entsprechen einer Fraktion von 1,0. Mit der Formel  $P = P_{\text{ges}} \times F$  lassen sich Tiefengrenzen für beliebige Gasgemische unter Berücksichtigung der Toxizität einzelner Gase im Gemisch errechnen.

## Tauchmedizin/Physik 5

### Gasgesetz von Dalton

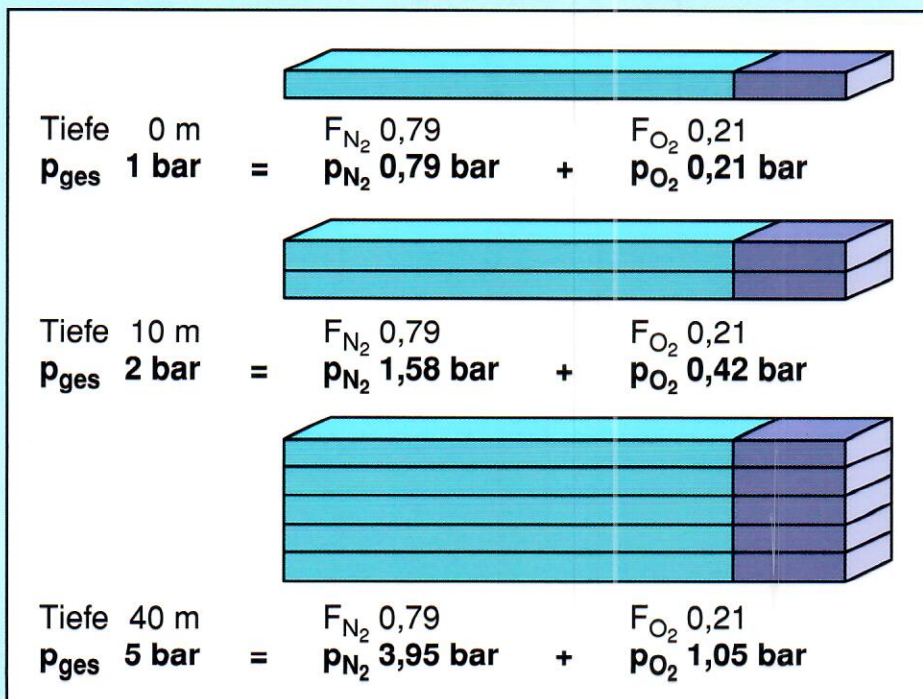
Der Gesamtdruck eines Gasgemisches  $p_{\text{ges}}$  ist gleich der Summe der Partialdrücke der einzelnen Gase im Gemisch!

$$p_{\text{ges}} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n$$

Der Partialdruck  $p$  eines Gases ist gleich dem Produkt aus dem Gesamtdruck des Gasgemisches  $p_{\text{ges}}$  und der Fraktion  $F$  des Gases!

$$p = p_{\text{ges}} \times F$$

### Partialdruckerhöhungen beim Presslufttauchen



## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Physik 6

#### Gesetz von Henry

Die Moleküle eines Gasgemisches dringen ihrem Partialdruck entsprechend solange in die Flüssigkeit ein, bis ein Gleichgewichtszustand erreicht ist, d. h. bis ebenso viele Moleküle aus dem Gasraum in die Flüssigkeit eindringen wie Moleküle aus der Flüssigkeit in den Gasraum austreten.

Das Verhältnis des Volumens eines in Lösung befindlichen Gases zum Volumen der Flüssigkeit ist eine bei gegebenen Temperatur- und Druckverhältnissen konstante Größe und heißt nach Bunsen: „Bunsen’scher Löslichkeitskoeffizient  $\alpha$ “.

Der Löslichkeitskoeffizient  $\alpha$  ist die Menge eines Gases in Milliliter, die sich bei 760 Torr Partialdruck ( $\cong 1$  bar) in 1 Liter Flüssigkeit bei gegebener Temperatur lösen kann.

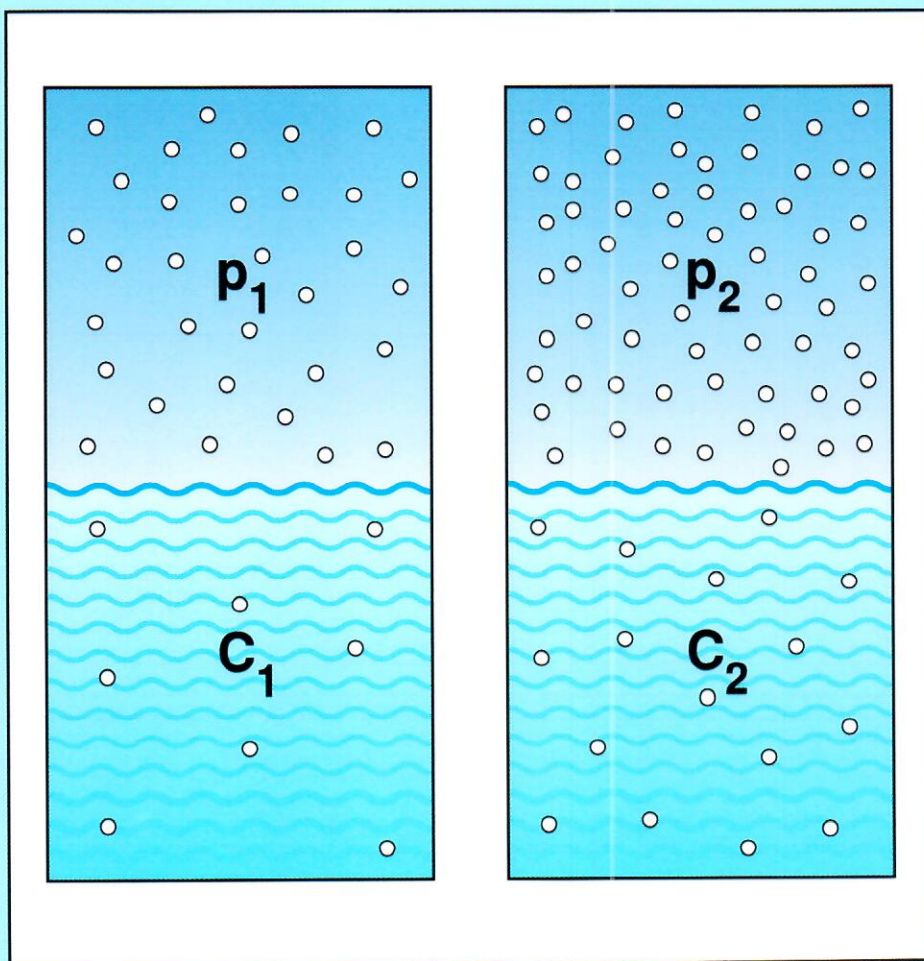
## Tauchmedizin/Physik 6

### Gasgesetz von Henry

Die Gasmenge **C**, die sich in einer Flüssigkeit lösen kann, ist dem Druck **p** des ungelösten Gases proportional!

$$\alpha \times \frac{p}{C} = \text{const.} \quad \text{für } T = \text{const.}$$

$\alpha$  = spezifischer (Bunsen'scher) Löslichkeitskoeffizient



## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Physik 7

#### Gasgesetz von Henry, Anwendungsbeispiel

Auf dieser Folie sind sechs verschiedene Zustände des Modells zu sehen, mit dem auf Folie Physik 6 das Gasgesetz von Henry erklärt wurde. Beginnt man oben links und verfolgt die Veränderungen in diesem Modell entsprechend den Pfeilen gegen den Uhrzeigersinn, so können die Effekte gezeigt werden, die sich während und nach einem „Tauchgang“ ergeben.

Die kleinen Kreise in der Gasphase und der Flüssigkeitsphase stellen Gasmoleküle dar. In der oberen Reihe („Normal“-Druck) sind in jeder der drei Gasphasen gleich viele (wenige) Moleküle vorhanden. In der unteren Reihe (während des „Tauchgangs“) sind in jeder der Gasphasen jeweils drei mal so viele Moleküle vorhanden, was eine Verdreifachung des Gasdrucks symbolisieren soll.

Ausgangspunkt des „Tauchgangs“ ist ein Fließgleichgewicht zwischen Gasdruck  $P_1$  der Gasphase und Gaskonzentration  $C_1$  in der Flüssigkeit. Hier lösen sich pro Zeiteinheit genauso viele Gasmoleküle in der Flüssigkeit, wie aus ihr wieder in die Gasphase entweichen. Die Flüssigkeit ist „gesättigt“.

Während der Druckerhöhung und während der Dauer des Aufenthaltes in der „Tauchtiefe“ ( $P_2$ ) kommt es zu einer Aufsättigung der Flüssigkeit. Ausgehend von einem geringen Gasdruck in der Flüssigkeit (wenige Gasmoleküle oben links) lösen sich so lange weitere Gasmoleküle in der Flüssigkeit, bis erneut ein Fließgleichgewicht erreicht wird ( $P_2/C_2$  unten rechts). Die Flüssigkeit ist hier wieder entsprechend dem Umgebungs(gas)druck „gesättigt“.

Während der Gasdruckabnahme am Ende des „Tauchgangs“ und in der Zeit nach dem Tauchgang (oben rechts bis oben links) entweichen so lange Gasmoleküle aus der Flüssigkeit, bis das ursprüngliche Fließgleichgewicht ( $P_1/C_1$ ) wieder hergestellt ist.

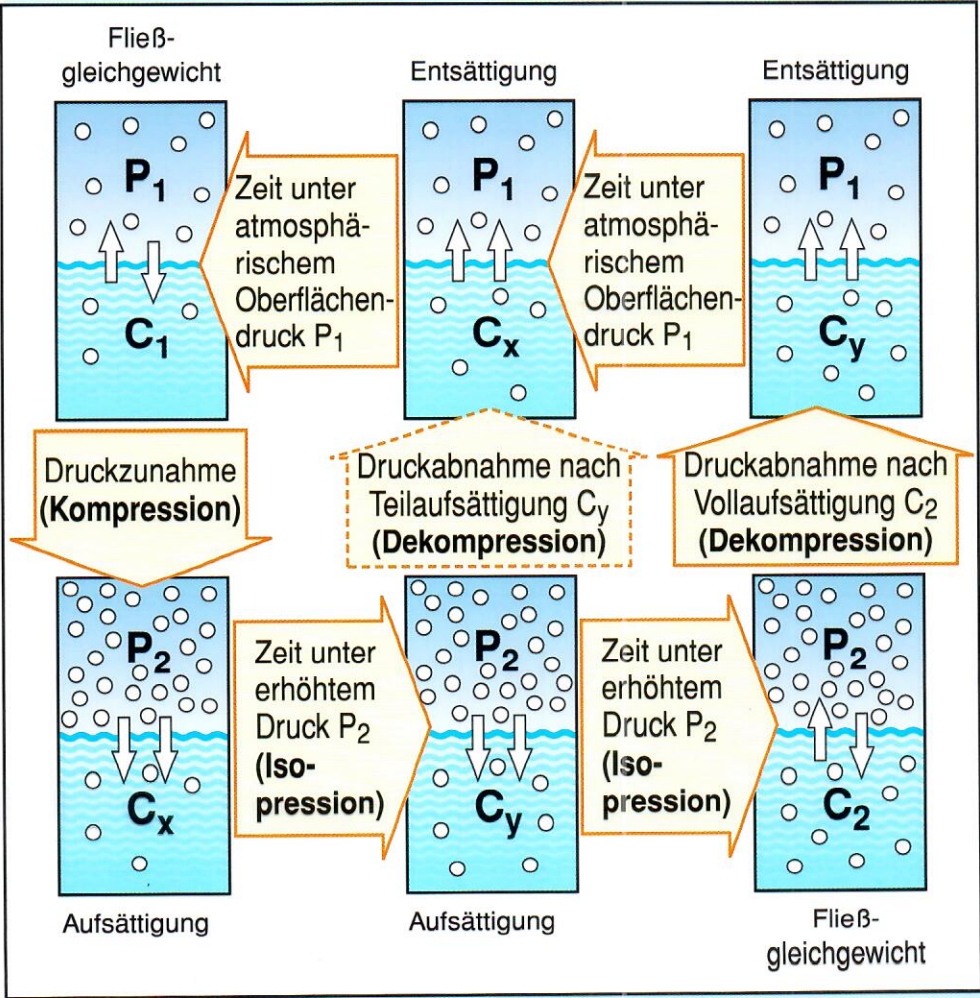
Die mit der „Tauchzeit“ zunehmende Gaskonzentration  $C$  wird mit den nicht näher bestimmten Indices  $x$  und  $y$  symbolisiert. Entsprechende Gaskonzentrationen zwischen den Werten  $C_1$  und  $C_2$  finden sich auch während der Entsättigung der Flüssigkeit.

Wird ein „Tauchgang“ abgebrochen, bevor ein neues Fließgleichgewicht (= „Sättigung“ der Flüssigkeit) erreicht ist, so wird das Fließgleichgewicht des Ausgangszustandes schneller erreicht.

# Tauchmedizin/Physik 7

## Gasgesetz von Henry, Anwendungsbeispiel

Bei Änderung des Druckes **P** eines ungelösten Gases ändert sich die in einer Flüssigkeit gelöste Gasmenge **C** durch Aufsättigung oder Entsättigung der Flüssigkeit.  
Das Erreichen eines Fließgleichgewichtes zwischen **P** und **C** ist zeitabhängig.



## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Physik 8

#### Sehen unter Wasser (1)

Unter Wasser und beim Übertritt von Lichtstrahlen von der Luft ins Wasser sind verschiedene optische Effekte zu beobachten.

#### **Frequenzabhängige Absorption**

Lichtstrahlen werden vom Wasser in Abhängigkeit von ihrer Wellenlänge absorbiert. Die geringste Eindringtiefe hat Infrarot (Wärmestrahlung) und rotes Licht. Die größte Eindringtiefe hat blaues, violettes und ultraviolettes Licht. Reines Rot erscheint schon in geringer Tiefe als Schwarz. Jenseits von etwa 50 Metern Tiefe ist nur noch Blau und Grau zu unterscheiden. Menschliches Blut erscheint in einer Tiefe von 10 Metern bereits grün-gelblich.

Wichtig für die frequenzabhängige Lichtabsorption ist nicht allein die Wassertiefe, sondern generell der Weg des Lichts einer beliebigen Lichtquelle durch das Wasser. Strahlt man z.B. mit einer Tauchlampe mit „weißem“ Licht in größerer Tiefe einen roten Fisch im Abstand von 3 Metern an, so erscheint dieser fast schwarz, da der Weg des Lichts durch das Wasser 6 Meter beträgt (Lampe – Fisch – Auge).

#### **Brechung und Reflexion von Lichtwellen an der Wasseroberfläche**

Entsprechend der unterschiedlichen optischen Dichte der beiden Medien werden schräg auftreffende Lichtwellen beim Übergang von der Luft ins Wasser zum Lot hin gebrochen.

Trifft das Licht mit einem größeren Winkel als  $48,5^\circ$  auf die Wasseroberfläche auf, so wird es reflektiert und dringt nicht ins Wasser ein. Aus diesem Grund ist es am Morgen und am Abend trotz ausreichendem Tageslicht im Wasser deutlich weniger hell als um die Mittagszeit.

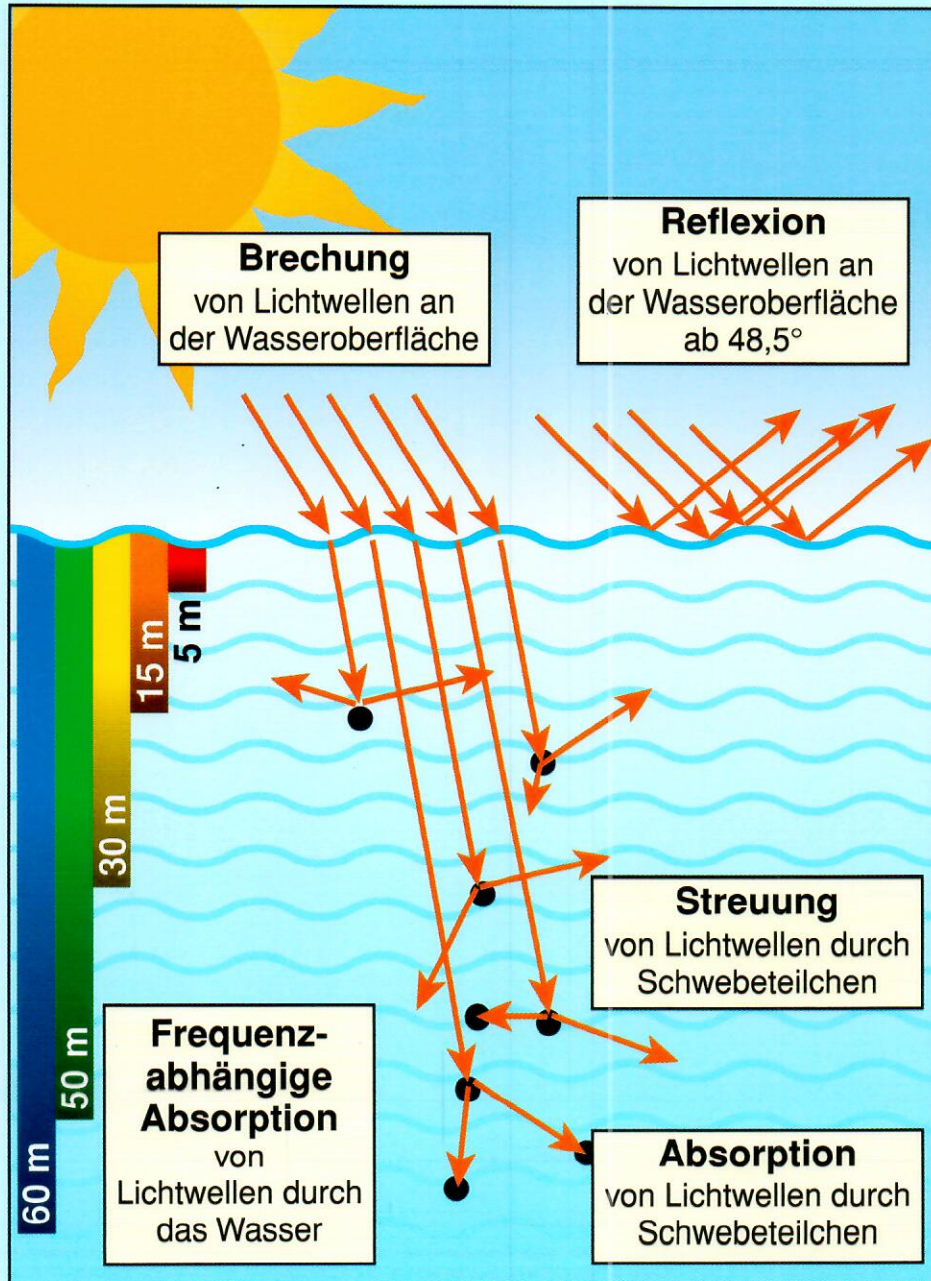
**Absorption und Streuung durch Schwebeteilchen**

Neben der frequenzabhängigen Absorption durch das Wasser selbst kommt es zusätzlich durch Schwebeteilchen im Wasser zu einer frequenzunabhängigen Absorption von Licht.

Durch Reflexion der Lichtwellen an Schwebeteilchen kommt es zu einer Streuung des Sonnenlichts. Dieses diffuse Licht verringert den Kontrast zwischen Licht und Schatten und erschwert das Erkennen von Dingen unter Wasser.

# Tauchmedizin / Physik 8

## Sehen unter Wasser (1)



## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Physik 9

#### Sehen unter Wasser (2)

Das menschliche Auge ist für die Grenzfläche Luft/Hornhaut konstruiert. Durch die Brechung des Lichts entsprechend der optischen Dichte an der Grenzfläche dieser beiden Medien ist es möglich, daß der nachgeschaltete Sehapparat (Vordere Kammer, Linse und Glaskörper des Auges) ein scharfes Bild auf die Netzhaut projiziert.

Das ungeschützte Auge kann bei einem direkten Lichtübertritt vom Wasser in die Hornhaut aufgrund der anderen optischen Dichte des Wassers und der dadurch bedingten anderen Brechung der Lichtwellen kein scharfes Bild auf die Netzhaut projizieren.

Schaltet man zwischen Wasser und Hornhaut einen luftgefüllten Raum und ist die Grenzfläche zwischen Wasser und Luft plan, so kann wieder ein scharfes Bild auf die Netzhaut projiziert werden (z.B. Tauchermaske, Taucherhelm, Aquariumscheibe).

Es verbleiben unter diesen Umständen die Effekte, die durch den Lichtübertritt Wasser/Glas/Luft bedingt sind. Da Wasser eine optische Dichte von 1,33 gegenüber der optischen Dichte 1,00 von Luft hat, erscheinen alle Dinge im Wasser entsprechend dem Quotienten  $1,33/1,00$  um den Faktor 1,33 vergrößert. Bei räumlichem Sehen erscheint die Distanz zum Gesehenen entsprechend auf  $3/4$  verkürzt ( $1,00/1,33$ ).

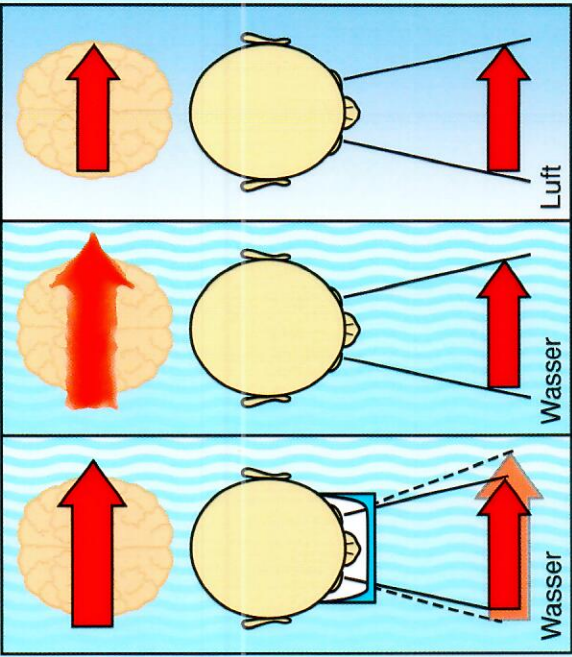
Da alle Dinge, die wir im Wasser sehen, um  $1/3$  vergrößert erscheinen, ist unser Gesichtsfeld entsprechend eingeschränkt. Das Gesichtsfeld durch eine Tauchmaske ist also unter Wasser deutlich kleiner, als es bei der Anprobe im Tauchgeschäft erscheint.

Während wir in Luft und ohne Tauchermaske normalerweise ein Gesichtsfeld von horizontal  $200^\circ$  und vertikal  $130^\circ$  haben, so ist unser Gesichtsfeld unter Wasser auf maximal  $97^\circ$  beschränkt, da ab einem Auftreffwinkel auf eine plane Grenzfläche von  $48,5^\circ$  Lichtwellen an der Grenzfläche reflektiert werden. Praktisches Beispiel: Versuchen Sie einmal, aus sehr kurzer Distanz in ein größeres Aquarium zu schauen.

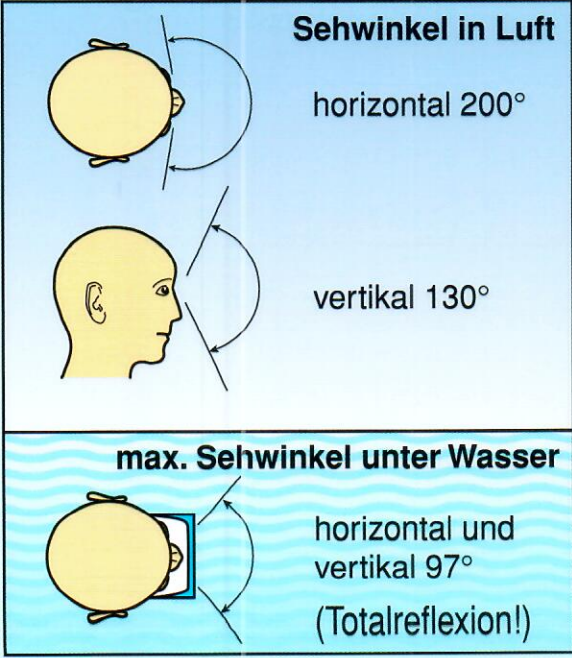
# Tauchmedizin/Physik 9

## Sehen unter Wasser (2)

Menschliche Augen können unter Wasser nicht scharf sehen. Durch eine plane Grenzfläche gesehen erscheinen Dinge im Wasser scharf, aber um 1/3 größer oder bei räumlichem Sehen um 1/4 näher.



Da alle Dinge im Gesichtsfeld unter Wasser um 1/3 vergrößert erscheinen, ist das Gesichtsfeld entsprechend eingeschränkt.



## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Physik 10

#### Hören unter Wasser

Schallwellen bewegen sich im Wasser mehr als viermal so schnell wie in der Luft. Die Übertragungsverluste sind auch über große Entfernungen deutlich geringer als in der Luft. Besonders geringe Verluste ergeben sich für niedrigere Frequenzen. Dies führt zu einem tiefenbetonten Hören auch weit entfernter Schallquellen.

Einen besonderen Nachteil bietet die hohe Unterwasser-Schallgeschwindigkeit für die Ortung von Schallquellen. Für die Bestimmung, in welcher Richtung sich eine Schallquelle befindet, ist die Zeitdifferenz zwischen dem Auftreffen von Schallwellen am linken und rechten Ohr der wichtigste Faktor. Durch die hohe Schallgeschwindigkeit unter Wasser ist diese Zeitdifferenz auf weniger als  $\frac{1}{4}$  geschrumpft. Daneben ist auch der für die Ortung wichtige Lautstärkeunterschied zwischen zugewandtem und abgewandtem Ohr durch die geringe Schallabsorption im Wasser deutlich verringert. Insgesamt ist ein Richtungshören sehr schwer. Die meisten Schallergebnisse werden „im Kopf“ wahrgenommen.

# Tauchmedizin/Physik 10

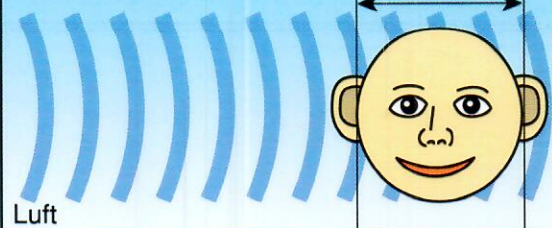
## Hören unter Wasser

Unterschiede zum Hören in der Luft:

- Schallgeschwindigkeit 1440 m/s
- geringere Übertragungsverluste durch Absorption
- Hören über große Entfernungen
- besonders geringe Absorption tiefer Frequenzen von 0,5 – 1 kHz

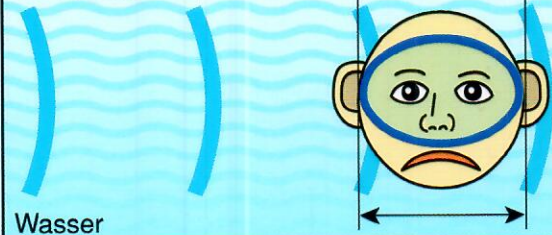
Schallgeschwindigkeit 333 m/s

Auftreffzeit-Differenz



Luft

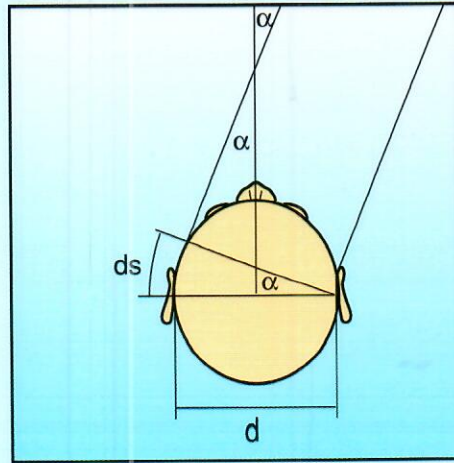
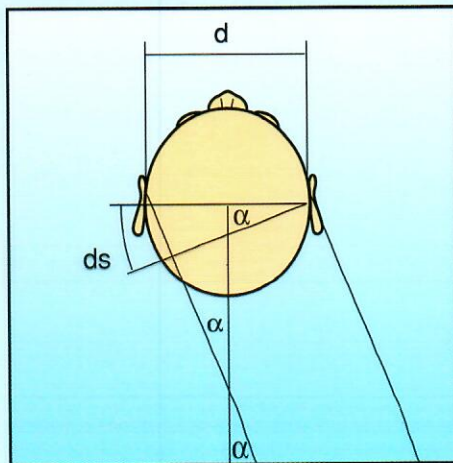
Schallgeschwindigkeit 1440 m/s



Wasser

Darstellung des Richtungshörens beim Menschen. Registriert wird die Laufzeitdifferenz zwischen rechtem und linkem Ohr.

Darstellung des Richtungshörens beim Menschen, Funktion der Ohrmuschel. Aufgrund der Trichterfunktion der Ohrmuschel kann die Schallquelle geortet werden.



## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Immersion 1

#### Definition

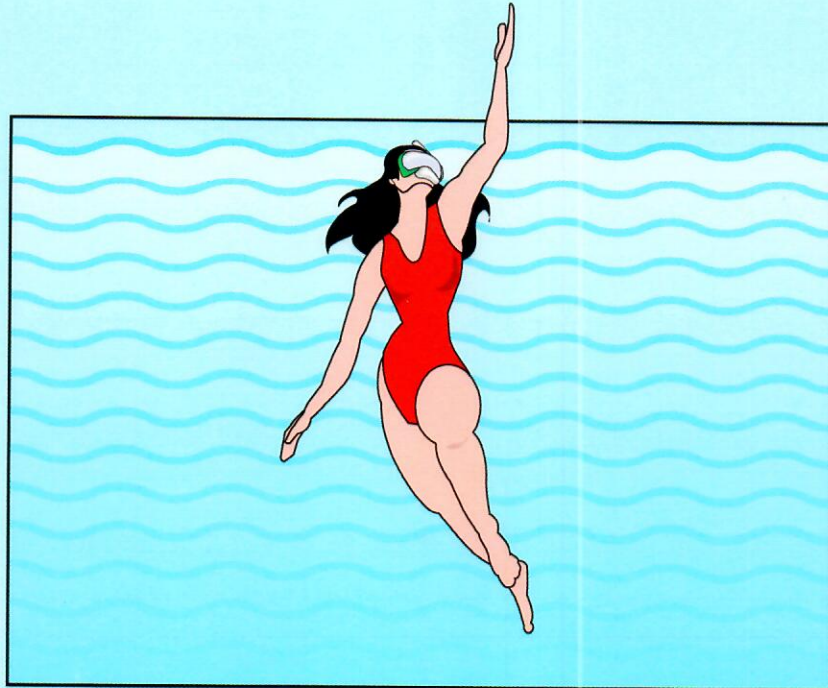
Unter Immersion versteht man das Eintauchen eines Organismus in ein flüssiges Medium. Im häufigsten Fall handelt es sich dabei um Wasser, aber nicht zwangsläufig, so gibt es auch Taucheinsätze in Öl (z.B. auf Tankern) oder in Säuren/Laugen etc.

Für unsere grundsätzliche Betrachtung soll hier nur über das Eintauchen des Menschen in Wasser diskutiert werden. Die hierbei auftretenden physiologischen Veränderungen sind nicht nur für Taucher relevant, sondern finden auch in anderen Bereichen der Medizin Interesse. So werden täglich alte und kardiozirkulatorisch vorbelastete Patienten z.B. bei der Verordnung von Bewegungsbädern den hydrostatisch bedingten Änderungen ihres Kreislaufsystems ausgesetzt.

Die Immersionseffekte lassen sich grob in drei Kategorien einteilen. Beim Aufenthalt im Wasser finden sich:

- Änderungen im Wärmehaushalt
- Schwerkraftbedingte Änderungen
- Hautveränderungen

## Tauchmedizin/Immersion 1



### Definition:

Unter **Immersion** versteht man das Eintauchen eines Organismus in ein flüssiges Medium.

Unter **Immersionseffekten** versteht man die physiologischen und physikalischen Auswirkungen der Immersion auf den Organismus, insbesondere:

- **Änderungen im Wärmehaushalt**
- **Hautveränderungen**
- **Schwerkraftbedingte Änderungen**

## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Immersion 2

#### Wärmehaushalt des Tauchers – Wärmeverlust über die Haut

Der Mensch ist ein homöothermes Lebewesen, die Körpertemperatur wird in den engen Grenzen zwischen 36,5 und 37,5 °C konstant gehalten. Die Regulationsmechanismen gegen Wärmeverlust sind beim Taucher im wesentlichen die Durchblutungsrosselung der Körperschale sowie die Erhöhung der Wärmeproduktion in der Leber und der Skelettmuskulatur.

Die Wärmeabgabe erfolgt grundsätzlich auf drei Wegen:

- 1) Strahlung
- 2) Leitung und Konvektion
- 3) Verdunstung,

wobei für den Taucher nur der Verlust durch Leitung und Konvektion von Bedeutung ist.

Die Wärmeleitfähigkeit des Wassers ist gegenüber der Luft ca. 25mal höher.

Dennoch verliert der unbedeckte Mensch in Wasser nur ca. 3–4 mal soviel Wärme, da infolge massiver Vasokonstriktion das Temperaturgefälle zwischen Körperschale und Wasser stark verringert wird. Fast aufgehoben werden diese Verhältnisse, wenn der Mensch unter Wasser Arbeit verrichtet.

Unterhalb von 15 °C Wassertemperatur reicht die physiologische Wärmeproduktion allerdings nicht mehr aus, um einen kontinuier-

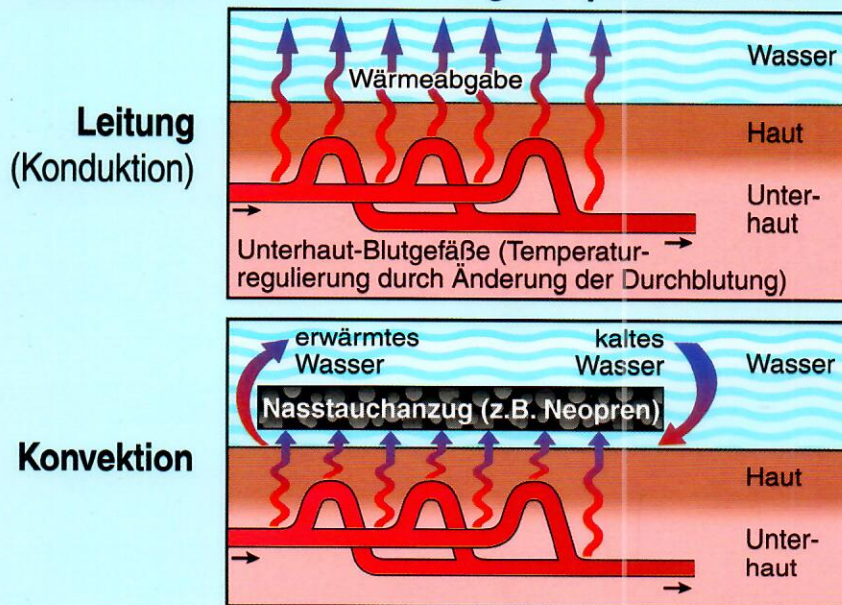
lichen Wärmeverlust zu kompensieren, die Überlebenszeit des Menschen nimmt hier quasi linear mit der Wassertemperatur ab. Die Wärmeabgabe kann durch die Anwendung einer isolierenden Schicht (Neopren-Anzug) deutlich verringert werden.

## Tauchmedizin/Immersion 2

### Wärmehaushalt des Tauchers – Wärmeverlust über die Haut

Die Wärmeabgabe erfolgt grundsätzlich durch:	(im Wasser)
<b>1. Strahlung</b>	(ja)
<b>2. Leitung (Konduktion) und Konvektion</b>	(ja, wichtig!)
<b>3. Verdunstung</b>	(nein)

### Wärmeverlust im Wasser erfolgt hauptsächlich durch:



Besonderheiten des Wärmeverlustes im Wasser:

- 1. Wärmeleitfähigkeit von Wasser ist ca. 25 mal höher als Wärmeleitfähigkeit von Luft**
- 2. Wärmeverlust eines unbedeckten Menschen ist in Wasser ca. 3–4 mal so hoch wie Wärmeverlust in Luft (Kompensation durch Engstellung der Unterhaut-Blutgefäße)**
- 3. Bewegung steigert Wärmeverlust!**

## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Immersion 3

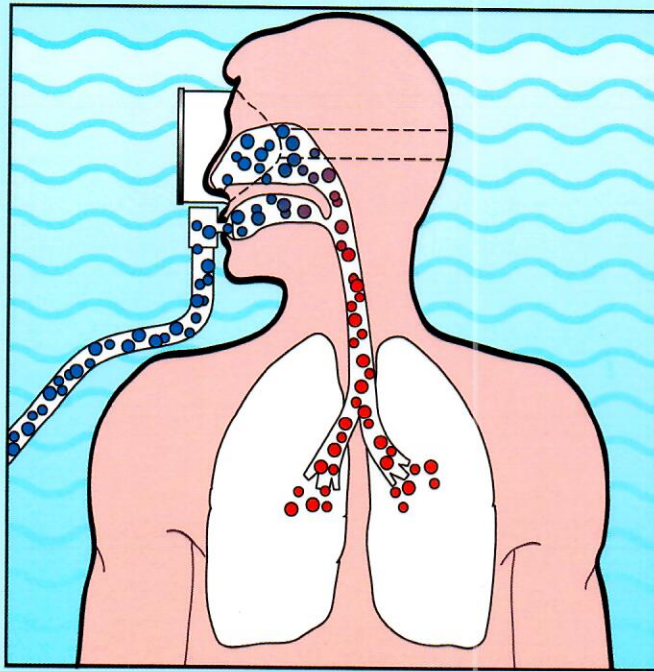
#### Wärmehaushalt des Tauchers – Wärmeverlust über die Atmung

Ein nicht zu unterschätzender Faktor bei der Wärmeabgabe von Tauchern ist die Atmung. Wird aus einer Flasche Preßluft geatmet führen drei Umstände zu einem erheblich schnelleren Wärmeverlust als unter atmosphärischen Bedingungen:

- 1) die angebotene Luft ist kalt      – Wärmeentzug bei der Anwärmung im Nasen – Rachenbereich
- 2) die angebotene Luft ist trocken      – Wärmeentzug bei der Anfeuchtung im Nasen – Rachenbereich
- 3) die angebotene Luft ist verdichtet      – höherer Wärmeentzug durch größere Wärmeleitfähigkeit

## Tauchmedizin/Immersion 3

### Wärmehaushalt des Tauchers – Wärmeverlust über die Atmung



### Wärmeverlust beim Gerätetauchen

**Atemgas ist kalt** (durch Drucksenkung im Lungenautomaten, gilt nicht für Rebreather)

- **Wärmeentzug bei Anwärmung im Nasen-Rachenbereich**

**Atemgas ist trocken** (Atemgas aus HD-Kompressoren ist trocken, gilt nicht für Rebreather)

- **Wärmeentzug bei Anfeuchtung im Nasen-Rachenbereich**

**Atemgas ist verdichtet** (abhängig von der Tauchtiefe)

- **Höherer Wärmeentzug durch größere Wärmeleitfähigkeit**

## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Immersion 4

#### Hautveränderungen/Entzündung des äußeren Ohrgangs

##### *Grundlagen*

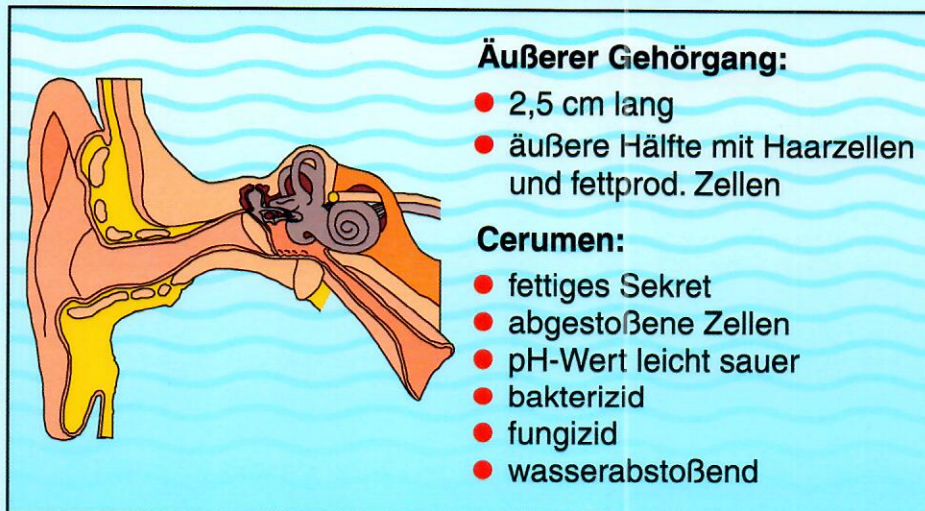
Der äußere Gehörgang ist beim Erwachsenen ca. 2,5 cm lang, die äußere Hälfte enthält haar- und fettproduzierende Zellen. Der pH-Wert des Ohrenschmalz (Cerumen) ist leicht sauer, hierdurch wird die bakterizide (bakterienabwehrende) Funktion unterstützt. Wird diese physiologische Schutzschicht entfernt (z. B. durch das Ausspülen während des Schwimmens oder Tauchens) oder lokal durchbrochen (z. B. durch kleine Verletzungen beim Kratzen im Gehörgang oder dem Benutzen von Wattestäbchen oder Gehörstopfen), wird eine Besiedlung der Gehörgangshaut mit pathogenen (krankmachenden) Mikroorganismen begünstigt. Der äußere Gehörgang bildet mit seinem feucht-warmen Klima sowie dem fehlenden Lichteinfall ideale Bedingungen für eine Keimbesiedlung. Beim Schwimmen und Tauchen wird der Gehörgang ausgewaschen.

## Tauchmedizin/Immersion 4

### Hautveränderungen

- Aufweichung der Haut
- leichte Verletzbarkeit
- günstige Bedingungen für eine bakterielle Besiedelung
- Salzwasserkontakt bei einigen Hauterkrankungen positiv

### Taucherohr (Schwimmer- oder Badeohr)



### Entzündungen werden begünstigt durch:

- Tauchen und Schwimmen in kontaminierten Gewässern
- Schmutzpartikel oder Mikroorganismen wie Bakterien, Algen oder Plankton

## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Immersion 5

#### Taucherohr

Viele Taucher kennen die Symptome des sogenannten Taucherohres. Insbesondere bei Tauchreisen in tropische Gewässer ist regelmäßig eine große Anzahl von Tauchern hiervon betroffen, die Inzidenz in diesen Tauchrevieren wird mit 20–30% angegeben. Abhängig von der Art der Keimbesiedlung stellen sich die Symptome unterschiedlich dar. Häufig kommt es zunächst zu einem Juckreiz im Bereich des Gehörganges, dieser kann jedoch schnell in einen heftigen Schmerz übergehen. Teilweise kommt es zu Sekretionen aus dem Gehörgang, in seltenen Fällen kann die Infektion auf die Ohrmuschel übergehen. Die Symptome entwickeln sich bei bakteriellen Infektionen in der Regel schneller, Pilzinfektionen verlaufen eher schleicher, münden jedoch häufig ebenfalls in einer ausgeprägten Schmerzsymptomatik. Insbesondere in der Frühphase der Infektion veranlaßt der bestehende Juckreiz den Taucher, im Gehörgang zu kratzen (entweder mit dem Finger oder mit Hilfsmitteln wie Wattestäbchen), hierdurch werden zusätzlich Mikroverletzungen gesetzt, die in einen Teufelskreis münden und die Infektion beschleunigen bzw. unterhalten.

#### Prävention

Der Taucher sollte grundsätzlich auf Manipulationen am Gehörgang verzichten, um Mikroverletzungen und damit Invasionspforten für die Mikroorganismen zu verhindern.

Aus langjähriger Erfahrung hat sich folgendes Vorgehen bewährt:

- Ausschluß sämtlicher prädisponierender Faktoren, ggf. Behandlung von Grunderkrankungen
- Der Taucher sollte nach dem Tauchgang eine gründliche Gehörgangstoilette vornehmen, das heißt, der Gehörgang sollte mit körperwarmem klarem Süßwasser gründlich ausgespült werden. Danach sollte der Gehörgang luftgetrocknet werden.
- Zur Imitierung der Cerumenfunktion muß der Gehörgang danach gefettet werden, empfohlen wird das vorsichtige Einbringen von Panthenolsalbe an den Gehörgangseingang (nicht tief in den Gehörgang einbringen), durch die Erwärmung der Salbe verteilt sich diese im Gehörgang und fettet diesen.
- Jegliche Manipulationen am Gehörgang sind zu unterlassen.

## Tauchmedizin/Immersion 5

### Hautveränderungen im Gehörgang

#### Symptome

Inzidenz 20 – 30 %

- Juckreiz im Bereich des Gehörgangs
- heftiger, persistierender und z.T. pochender Schmerz
- teilweise Sekretionen aus dem Gehörgang
- Halbseiten-Kopfschmerz
- Vollbild mit starkem Krankheitsgefühl
- Unfähigkeit zur Nahrungsaufnahme
- entzündlich bedingte schmerzhafte Schwellung der Lymphknoten

#### Einfache Maßnahmen zur Prävention

- prädisponierende Faktoren ausschließen
- grundsätzlich auf Manipulationen am Gehörgang verzichten
- nach dem Tauchgang eine gründliche Gehörgangstoilette vornehmen:
  - Gehörgang mit körperwarmem klarem Süßwasser gründlich ausspülen
  - Gehörgang lufttrocknen
  - Gehörgang danach fetten (zur Imitation der Cerumenfunktion)

## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Immersion 6

#### Prophylaxe des Taucherohrs

In Taucherkreisen haben sich zur medikamentenlösigen Prophylaxe des Taucherohres einige mehr oder weniger sinnvolle Rezepturen etabliert. Wir empfehlen die Gabe von Borglycerin-Alkohol-Ohrentropfen, durch den Alkoholanteil wird der Gehörgang relativ schnell ausgetrocknet, das Glycerin führt zu einer leichten Fettung, die Borsäure tötet Mikroorganismen ab. Nach Applikation dieser Ohrentropfen (2 Tropfen in jedes Ohr, Einwirkdauer ca. 15 Minuten) sollte der Gehörgang unbedingt ebenfalls mit Panthenolsalbe gefettet werden.

#### Rezept

Borsäure	0,66 g
Glycerol	6,60 g
Ethanol 90%	ad 20,00 g

## Tauchmedizin/Immersion 6

### Hautveränderungen im Gehörgang

#### medikamentöse Maßnahmen zur Prävention

Borglycerin-Alkohol-Ohrentropfen

<b>Rp.</b>	<b>Borsäure</b>	<b>0,66 g</b>
	<b>Glycerol</b>	<b>6,60 g</b>
	<b>Ethanol 90 %</b>	<b>ad 20,00 g</b>

2 Tropfen in jedes Ohr, Einwirkdauer ca. 15 Minuten



#### Differentialdiagnose

- Tauchgangsanamnese
- Inspektion des äußeren Ohrs
- Inspektion des Gehörgangs
- Inspektion des Trommelfells
- Stimmgabel-Versuch

## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Immersion 7

#### Druckeinwirkung auf die Lunge

Legt der Mensch sich in eine Badewanne, so sind die absolut auftretenden hydrostatischen Druckwerte verglichen mit Tauchgängen sehr gering. Da der Kopf hier aber aus dem Wasser ragt und daher der intrapulmonale Druck dem der Oberfläche entspricht, entsteht ein Druckgradient der zu physiologischen Gegenreaktionen führt. Diese sind beim Baden in der Regel stärker ausgeprägt als beim Tauchen, da ja hierbei via Lungenautomat im Vergleich zum Umgebungsdruck ein annähernd identischer Druck in den Lungen aufgebaut wird. Hier ist lediglich bei aufrechter Körperhaltung die Druckdifferenz zwischen Mund und basalen Lungenabschnitten zu betrachten.

Durch die Immersion kommt es zu:

- einer Verlagerung von Blutvolumina
- einer Veränderungen der Nierenfunktion
- einer Veränderungen des Hormonstatus

## Tauchmedizin/Immersion 7

### Schwerkraftbedingte Änderungen

#### Bei Immersion

- Differenz zwischen Druck in der Lunge und Druck auf den Brustkorb

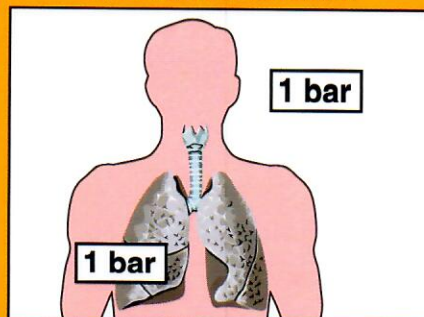
#### hierdurch

- Verlagerung von Blutvolumina
- Veränderungen der Nierenfunktion
- Veränderungen des Hormonstatus

### Druckeinwirkung auf die Lunge

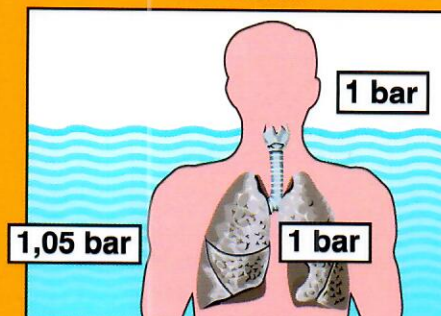
#### Umgebungsdruck in Meereshöhe [1 bar]

Normobarer Zustand



extrapulmonaler Druck = 1 bar  
 intrapulmonaler Druck = 1 bar  
 Druckdifferenz zwischen apikalen und basalen Lungenabschnitten = 0

Immersion



extrapulmonaler Druck = 1,05 bar  
 intrapulmonaler Druck = 1 bar  
 Druckdifferenz zwischen apikalen und basalen Lungenabschnitten = 40 – 50 cm Wassersäule (0,04 – 0,05 bar)

## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Immersion 8

#### Regulierung des Blutvolumens

Im menschlichen Körper wird das Blutvolumen als unabhängiger Parameter reguliert. Als Meßfühler für dieses System dienen Dehnungsrezeptoren in den Herzwänden und in den thorakalen Gefäßen.

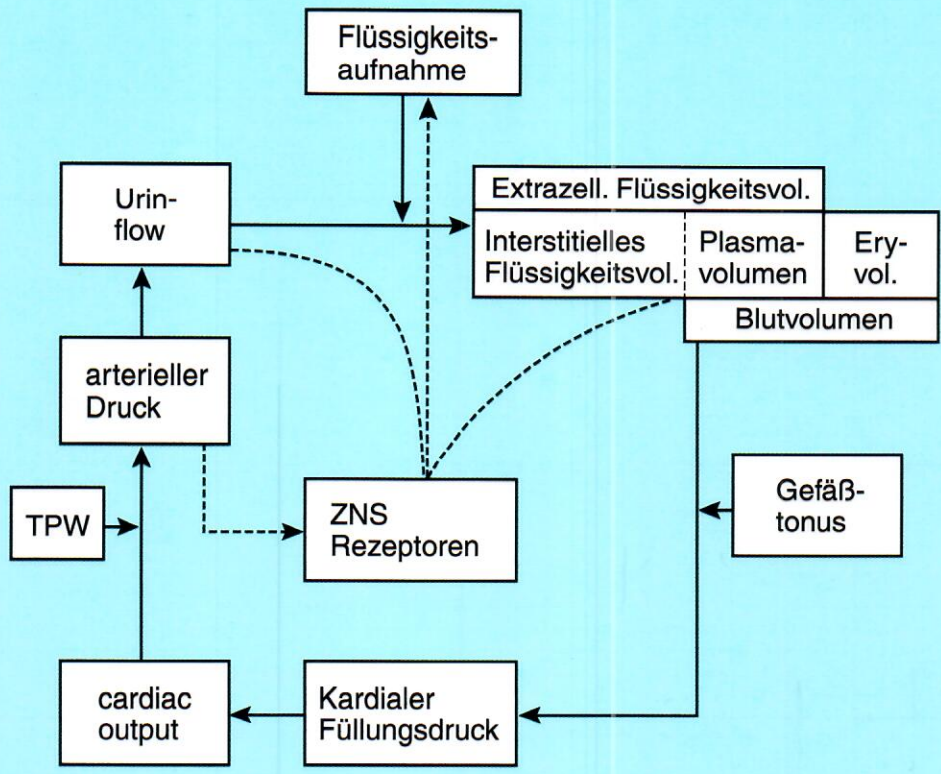
Die Regulierung des extrazellulären Flüssigkeitsvolumens und des Plasmavolumens geschieht durch einen mechanischen Feedback und einen reflexregulierten Feedback-Mechanismus durch das autonome Nervensystem. Beide Mechanismen sind nur funktionsfähig, wenn der Füllungsdruck des Herzens eine Funktion des Blutvolumens darstellt. Die Pfeile I und II zeigen die Hauptwege der Regulierung des extrazellulären Flüssigkeitsvolumens an, der Pfeil III deutet an, daß bei einem konstanten extrazellulären Flüssigkeitsvolumen das Plasmavolumen durch Verschiebung der Grenzlinie zwischen Plasmavolumen und interstitiellem Flüssigkeitsvolumen nach rechts oder links beeinflußt werden kann.

# Tauchmedizin/Immersion 8

## Schwerkraftbedingte Änderungen

**Regulierung des Blutvolumens**

Meßfühler:  
Dehnungsrezeptoren in den Herzwänden und in den thorakalen Gefäßen



## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Immersion 9

#### **Verteilung des Blutvolumens und Blutdruckverhältnisse in den verschiedenen Kompartimenten des Kreislaufsystems**

Das arterielle System enthält ca. 15 % des Blutvolumens, der arterielle Druck ist hierbei abhängig vom cardiac output und dem totalen peripheren Widerstand (TPW). Das Niederdrucksystem bestehend aus den Venen, dem rechten Herzen, dem Lungenkreislauf und dem linken Ventrikel in der Diastole beinhaltet 85 % des Blutvolumens, der Druck in diesem System hängt ab von der Dehnbarkeit des Gefäßbettes und dem Blutvolumen. Die Zahlen auf der linken Bildhälfte geben den mittleren Druck in mm Hg in dem entsprechenden Kompartiment wieder, die Werte auf der rechten Bildhälfte entsprechen den geschätzten Volumina der Hauptkompartimente des Systems. Die schattierte Fläche repräsentiert das Füllungsreservoir des linken Ventrikels.

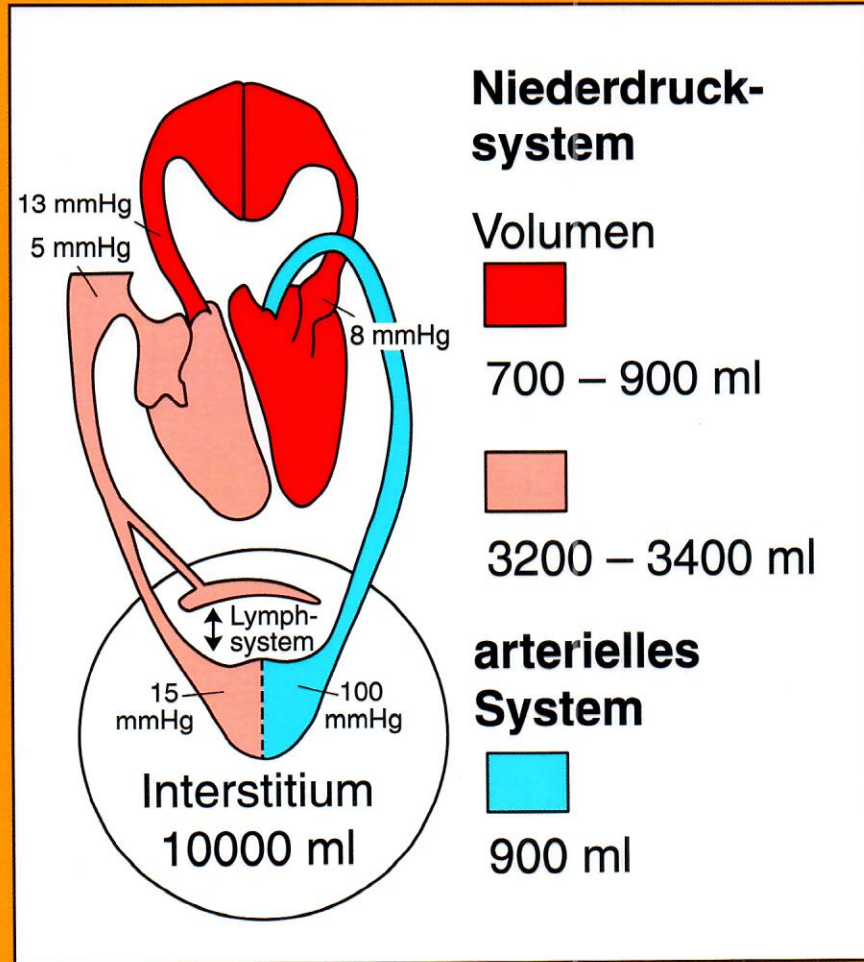
### Ursachen für Änderungen im thorakalen Blutvolumen

Anstieg	Abfall
Bluttransfusion	Blutverlust
Atmung bei negativem Druck	Atmung bei positivem Druck
Einnahme einer horizontalen Position (Bettruhe, Schwerelosigkeit)	Orthostase, Anstieg der Gravitationskräfte (Zentrifuge)
Immersion unter thermoneutralen Bedingungen	Reduzierung des venösen Rückstromes (Einengung der V. cava)
Positive Druckverhältnisse an den abhängigen Körperpartien (Schockhose)	Negative Druckverhältnisse an den abhängigen Körperpartien
Kälteexposition	Hitzeexposition

# Tauchmedizin/Immersion 9

## Schwerkraftbedingte Änderungen

### Verteilung des Blutvolumens und Blutdruckverhältnisse im menschlichen Körper



## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Immersion 10

#### Hypothese von Gauer & Henry

Die „Hypothese von Gauer & Henry (Gauer-&-Henry-Reflex)“ besagt, daß die Immersion zu einer Verlagerung von Blut in zentrale Bereiche des Organismus führt, wodurch thorakale Strukturen gedehnt werden. Infolge der Dehnung dieser intrathorakalen Strukturen kommt es zu einer Aktivierung von Mechanorezeptoren, welche wiederum über die Ausschüttung von Hormonen oder neuronal vermittelt zu einem Anstieg der Urinproduktion und einem Anstieg der  $\text{Na}^+$ -Exkretion in der Niere führt.

Gauer & Henry waren die ersten, die zeigen konnten, daß der Anstieg der Urinproduktion in der Niere nach Steigerung des zentralen Blutvolumens verhindert werden kann, wenn man den N. vagus am Hals eines anästhesierten Versuchstieres (Hund) durchtrennt.

Die Abbildung zeigt eine schematische Darstellung der Volumenumverteilung im Niederdrucksystem nach intrathorakal durchgeführter Immersion.

A = Orthostase

B = Immersion bis zum Zwerchfell

C = Immersion bis zum Hals

Die Differenz des intrathorakalen Blutvolumens zwischen A und C beträgt bis zu 700 ml.

## Tauchmedizin/Immersion 10

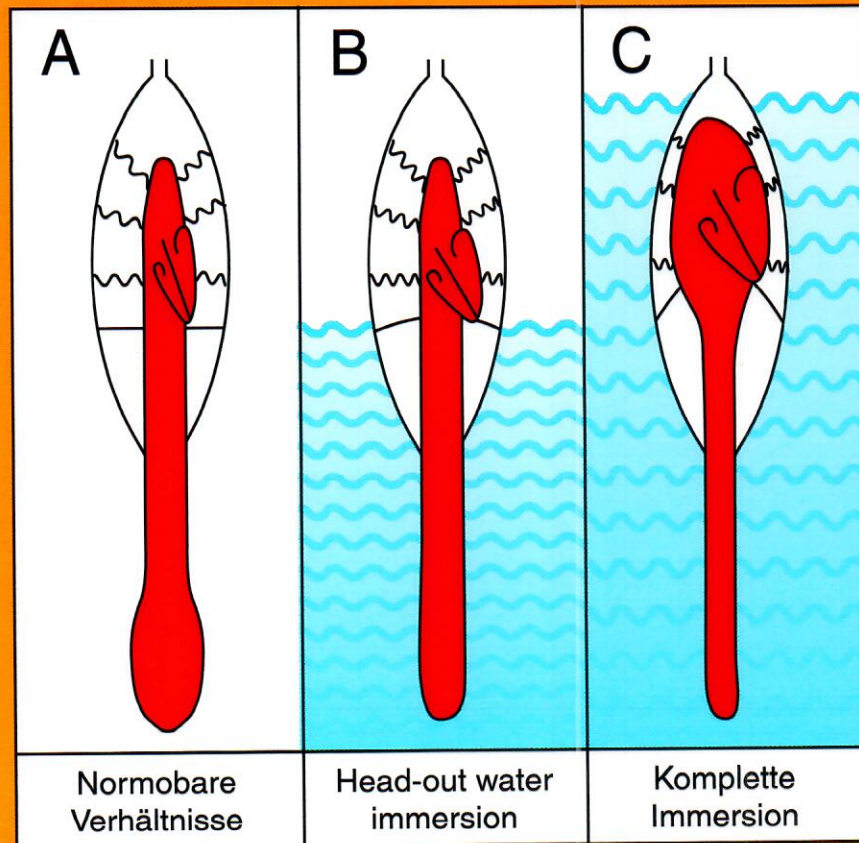
### Schwerkraftbedingte Änderungen

#### Hypothese von Gauer & Henry

(Gauer-&-Henry-Reflex)

#### Durch Immersion

- Verlagerung von Blut in zentrale Bereiche
- Dehnung der intrathorakalen Strukturen
- Aktivierung von Mechanorezeptoren
- Ausschüttung von Hormonen
- Anstieg der Urinproduktion



## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Immersion 11

#### Kreislaufveränderungen

Die Abbildung zeigt die Mechanismen der Kreislaufveränderungen unter Immersion:

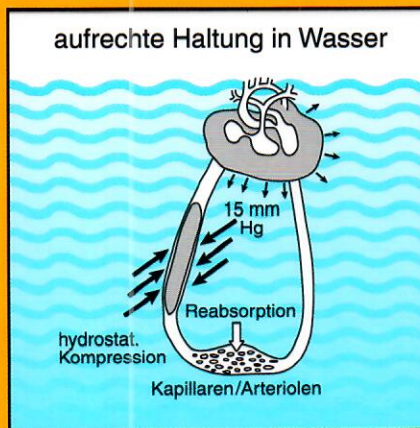
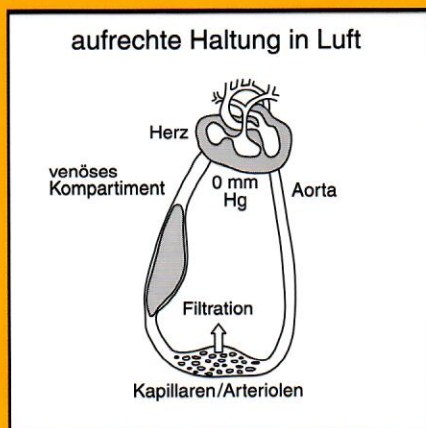
Beim Menschen findet sich in aufrechter Körperhaltung eine ‚Überfüllung‘ der körperabhängigen Venen mit einer Filtration von Flüssigkeit aus den Kapillaren. Hieraus folgt ein relativ kleines kardiales Füllungsvolumen (linke Bildhälfte). Bei einer thermoneutralen Immersion in aufrechter Position bis zum Hals wird das venöse Kompartiment durch hydrostatische Kräfte komprimiert und Blut in den Thorax transportiert. Hierdurch steigt zum einen der zentralvenöse Druck, zum anderen erhöht sich das kardiale Füllungsvolumen. Zudem wird Flüssigkeit aus den Geweben reabsorbiert um das Blutvolumen zu erhöhen.

Die Tabelle zeigt die Werte der Kreislaufveränderungen bei der Immersion des ganzen Körpers (stehend oder sitzend in Luft versus stehend oder sitzend in Wasser) an.

# Tauchmedizin/Immersion 11

## Schwerkraftbedingte Änderungen

### Kreislaufveränderungen bei der Immersion



### Primäre Effekte

zentrales Blutvolumen	+ 700 ml
Herzvolumen	+ 180 ml
zentraler Venendruck	+ 12 bis + 18 mmHg
intrathorakaler Druck	+ 4 bis + 5 mmHg
transmuraler Druck	+ 8 bis + 13 mmHg

### Sekundäre Effekte

Schlagvolumen	+ 35 %
Cardiac output	+ 32 %
totaler peripherer Widerstand	- 30 %
peripherer Venendruck	- 30 %
arterieller Druck	+ 10 mmHg

## Hinweise für den Vortragenden

### Tauchmedizin/Immersion 12

#### Mechanorezeptoren

Die Mechanorezeptoren, die sich im Herzen befinden, haben ihre Afferenzen im sympathischen und parasympathischen System und werden als kardiale bzw. kardiopulmonale Rezeptoren bezeichnet. Bei diesen Rezeptoren lassen sich mehrere Typen unterscheiden, der am besten untersuchte Typ befindet sich in den Vorhöfen des Herzens und gibt seine Afferenzen über myelinisierte Fasern an den N. vagus ab.

Das Diagramm zeigt die kardioveskuläre Antwort von gesunden und kardial denervierten, nicht anästhesierten Hunden auf die Immersion. Die Daten zeigen die prozentuale Änderung von den pre-Immersionswerten an.

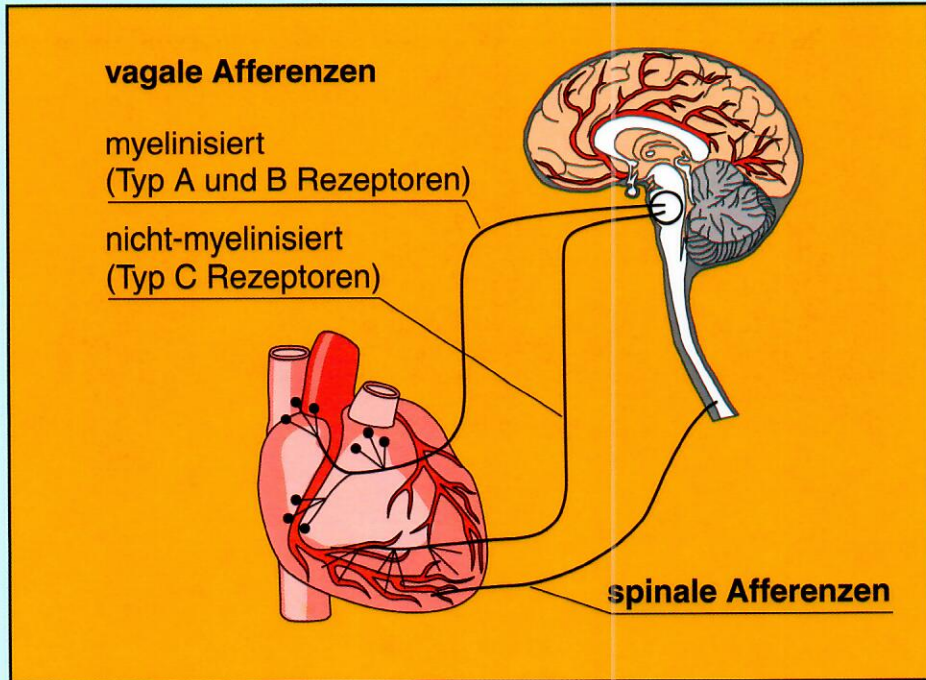
- Q = cardiac-output
- HR = Herzfrequenz
- SV = Schlagvolumen
- $P_{\text{art}} - p_{\text{pl}}$  = Differenz zwischen arteriellem und intrapleuralem Druck
- $P_{\text{la}} - p_{\text{pl}}$  = Differenz zwischen links-atrialem und intrapleuralem Druck

Der Anstieg des cardiac-output ist in beiden Gruppen identisch; der Anstieg wird über verschiedene Mechanismen herbeigeführt. Der totale periphere Widerstand ist in beiden Situationen gleich.

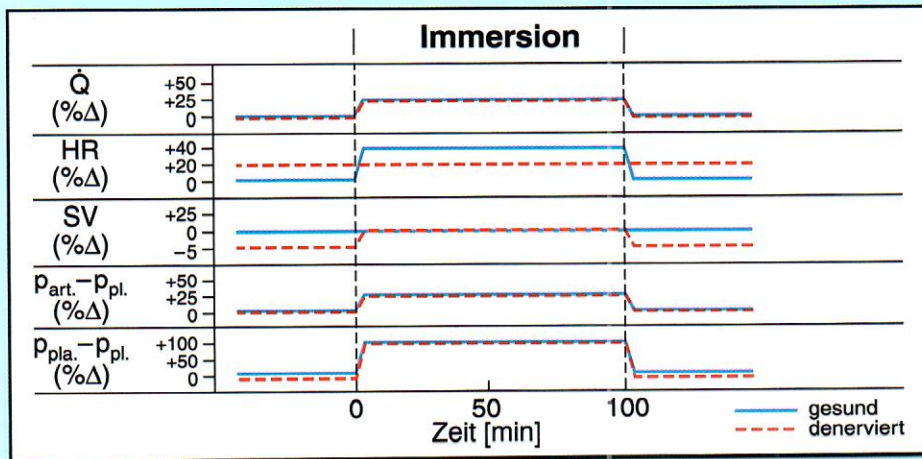
# Tauchmedizin/Immersion 12

## Schwerkraftbedingte Änderungen

### Kardiopulmonale Rezeptoren



### Kardiale Denervation



## Hinweise für den Vortragenden

### U-Boot-Medizin

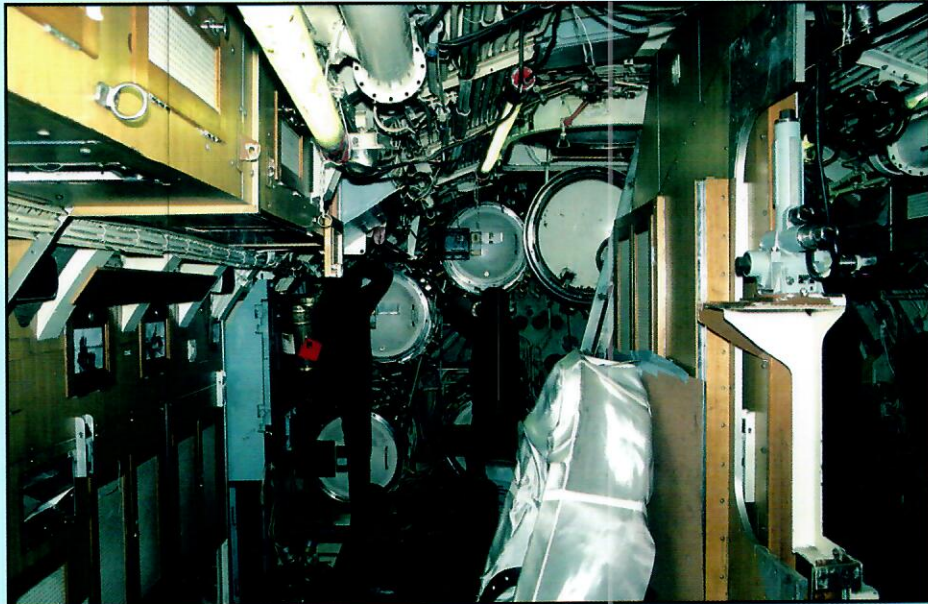
#### Arbeitsplatzbesonderheiten

Die Lebens- und Arbeitsverhältnisse an Bord eines U-Bootes weichen erheblich von den „normalen“ Arbeits- und Lebensumständen auch und insbesondere auf Überwasserschiffen ab und beeinflussen das Wohlbefinden der Besatzung an Bord erheblich.

In der von der Außenwelt völlig abgeschlossenen Atmosphäre können eine Vielzahl von Faktoren zur gesundheitlichen Beeinträchtigung des U-Boot-Fahrers führen. Hier sind als Besonderheiten aufzuführen:

- extreme räumliche Enge
- Fehlen des Sonnenlichtes
- Besonderheiten der Witterungs- und Temperatureinflüsse
- veränderte O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atemluft
- Beimengungen giftiger und gefährlicher Stoffe in der Atemluft
- Verunreinigung der Raumluft durch Schwebeteilchen
- Störung des Schlaf/Wach-Rhythmus
- mangelnde körperliche Bewegung
- Abweichung von der normalen Ernährung
- unzureichende persönliche Hygiene
- eingeschränkte Wasch/Toilettenbedingungen
- psychologische Beeinträchtigungen durch Arbeiten in beengten Räumen und von der Außenwelt abgeschlossen

## U-Boot-Medizin / Arbeitsplatzbesonderheiten



Räumliche Enge an Bord eines deutschen U-Bootes

### Besonderheiten für Lebens- und Arbeitsbedingungen:

- extreme räumliche Enge, von der Außenwelt abgeschottet
- fehlendes Sonnenlicht
- besondere Witterungs- und Temperatureinflüsse
- veränderte O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atemluft
- Störungen des Schlaf-/Wachrhythmus
- mangelnde körperliche Bewegung
- mangelnde Hygienemöglichkeiten
- Abweichungen von normalen Ernährungsmöglichkeiten

## Hinweise für den Vortragenden

### U-Boot-Medizin

#### U-Boot-Typen

##### Zivile U-Boote (oberes Bild)

Das abgebildete Forschungs-U-Boot gehört zur Arbeitsgruppe um Prof. Peter Fricke, einem bekannten Verhaltensbiologen des Max Planck-Institutes in München / Seewiesen. Das Boot ist für zwei Personen geeignet und für Tauchtiefen bis 400 Meter zugelassen.

Die zentrale Kugel mit der Plexiglaskuppel ist der Aufenthaltsraum der Forscher. Oberhalb dieser (rechts und links) befinden sich die Auftriebstanks. Diese werden von den Pressluftflaschen (je 2 Stück) rechts und links unterhalb der zentralen Kugel versorgt.

Der Einstieg geschieht von oben. Dort befindet sich eine zusätzliche, kleine Plexiglaskuppel.

##### U-Boote der Marine (unteres Bild)

Die Größe deutscher Marine-U-Boote ist auf Grund von Forderungen der Alliierten nach dem zweiten Weltkrieg auf eine maximale Größe von 500 Tonnen beschränkt. Aufgrund dieser Größenvorgaben wurden die taktischen Anforderungen auf die heute noch aktuelle Bauweise der U-Boote zugeschnitten.

Das Bild zeigt das typische Übersteigemanöver auf hoher See. Ein Schlauchboot fährt seitlich auf den U-Bootrumpf auf. Man wartet dann ein Wellental ab um möglichst horizontal den U-Bootturm und die dort befestigten Sprossen zu erreichen.

## U-Boot-Medizin / U-Boot-Typen



Deutsches Forschungs-  
U-Boot „Jago“



500-Tonnen-U-Boot der Bundesmarine

## Hinweise für den Vortragenden

### U-Boot-Medizin/U-Boot-Rettung 1

#### Nasse Rettung unter Druck

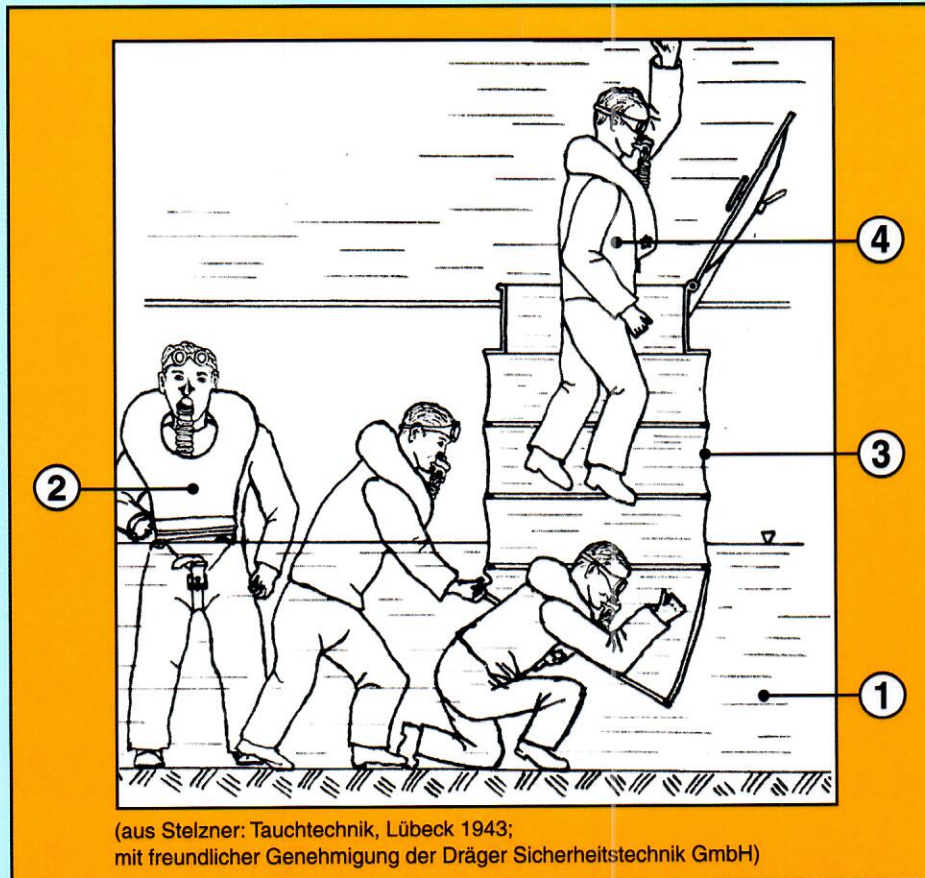
Auf den Ausstiegsluken des Bootes lastet der Umgebungsdruck der Tiefe in der das U-Boot festliegt.

Standardszenario der deutschen Marine ist ein in 30 Metern Wassertiefe (Durchschnittstiefe der Ostsee) liegendes U-Boot. Auf den Luken würde dann ein Druck von 4 bar lasten.

Um die Luken öffnen zu können, muß der Druck des U-Bootes im Innenraum dem des Außendruckes angepaßt werden. Dies geschieht mittels Wassereinstrom in das U-Boot. Spezielle Ventile sollen dann so viel Wasser in das Boot eindringen lassen, bis die verbleibende Luft auf  $\frac{1}{4}$  komprimiert, bzw. das Boot  $\frac{3}{4}$  geflutet ist (hier bezogen auf die Beispieltiefe von 30 Metern). Erst dann können die Luken geöffnet werden.

Damit beim Öffnen der Luken das verbleibende Gas (die Atemluft) nicht gänzlich entweicht, sind sogenannte Luftfallen um die Luken angebracht. Diese werden vor der Lukenöffnung herabgelassen und das Gas verbleibt im Boot. Anschließend wird nacheinander unter der Luftfalle durchgetaucht und das Boot verlassen.

## U-Boot-Medizin / U-Boot-Rettung 1



### Prinzip der nassen Rettung unter Druck:

1. Druckausgleich durch U-Boot-Flutung  
– U-Boot-Atmosphäre nicht mehr atembar
2. Besatzung atmet aus Tauchretter oder aus Atemnotluftanlage
3. Vor Lukenöffnung „Luftfalle“ um Gasaustritt zu verhindern
4. Freier Aufstieg mittels Auftriebskörper

## Hinweise für den Vortragenden

### U-Boot-Medizin/U-Boot-Rettung 2

#### Prinzip der U-Boot-Rettungsübung im Tauchtopf

Zunächst wird, wie in Folie 1 beschrieben das U-Boot geflutet und die Luftfalle herabgelassen. Dann wird die U-Boot-Luke geöffnet.

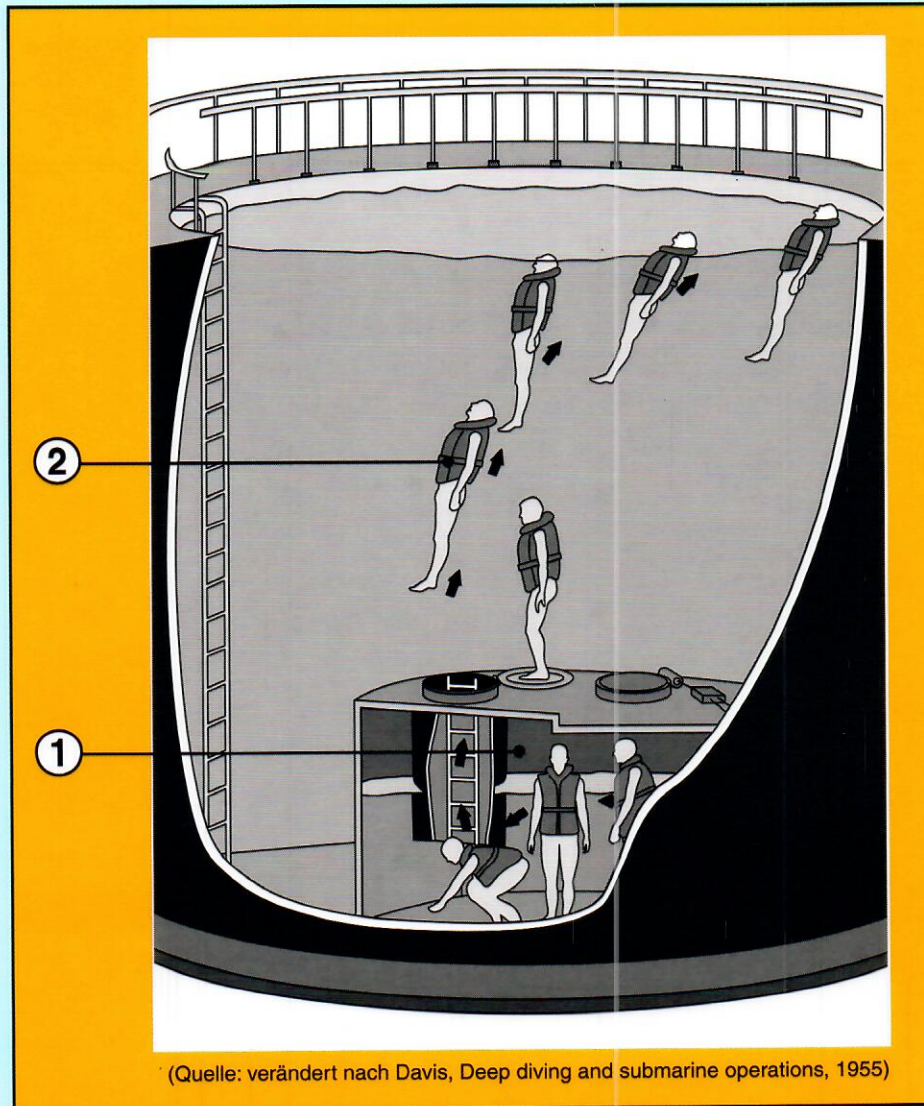
Bei der Flutung des U-Bootes gelangt Seewasser auf die, im Boden des Bootes untergebrachten Batterien. Diese entwickeln giftige Schwefelwasserstoffe und Chlorgase. Aus der Bootsatmosphäre kann von diesem Zeitpunkt an nicht mehr geatmet werden. Zudem würden die Gase Schleimhäute und Augen reizen.

In deutschen U-Booten ist im gesamten U-Boot eine Druckleitung angebracht. Aus dieser kann der U-Bootfahrer an eine Vielzahl von Kupplungsstellen einen Lungenautomaten einkuppeln und daraus atmen.

In anderen U-Booten atmet die Besatzung aus einer Art Kreislaufgerät (Folie). Dieses dient dann auch gleich als Auftriebskörper.

Hat der U-Bootfahrer das Turmluk verlassen, aktiviert er den Auftriebskörper und treibt innerhalb kürzester Zeit an die Wasseroberfläche.

## U-Boot-Medizin / U-Boot-Rettung 2



### Prinzip der U-Boot-Rettungsübung im Tauchtopf:

1. U-Boot-Rumpf mit Luftfalle
2. Freier Aufstieg bis an die Wasseroberfläche